



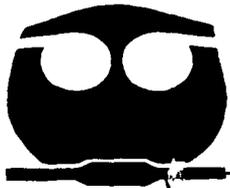
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE ARROZ PULIDO (Oryza sativa)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE QUIMICA DE ALIMENTOS PRESENTA LILIANA DEL VALLE TORRES



MEXICO, D. F. TESIS CON FALLA DE ORIGEN



EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Liliana del Valle  
Torres

FECHA: 26 - may - 02

FIRMA: [Signature]

RECIBIDO  
MAY 26 2002

## **Jurado Asignado:**

Presidente **Prof. PEDRO VALLE VEGA**  
Vocal **Profra. LUCÍA CORNEJO BARRERA**  
Secretario **Profra. LETICIA GIL VIEYRA**  
1er. Suplente **Profra. RUTH VILLASEÑOR GUTIÉRREZ**  
2do. Suplente **Prof. ALFREDO JAVIER SALAZAR ZAZUETA**

## **Sitio donde se desarrolló el tema:**

Laboratorio de Química de Alimentos  
Departamento de Alimentos y Biotecnología L4-A  
Facultad de Química, UNAM.

## **Asesor del tema:**



---

Dr. Pedro Valle Vega

## **Sustentante:**



---

Liliana del Valle Torres

## ***Dedicatorias***

**A mi papá, por tu amor y bondad, tu apoyo, tiempo y protección, por darme todo lo necesario para vivir, por tus enseñanzas y ejemplo.**

**A mi mamá, por todo tu amor, apoyo, esfuerzo y sabiduría que me han enseñado a vivir feliz; por todas las cosas excepcionales, por tus desvelos y por los grandiosos momentos juntas.**

**A Toño, por todos los momentos que hemos compartido, por el apoyo que me has brindado siempre, tu profundidad, tus consejos y detalles inolvidables y por enseñarme a reír y ser yo misma.**

**A Alex, por todo tu apoyo y ternura, por tus consejos y por los excelentes momentos que hemos compartido, ¡miiiiiii !**

**A mis abuelitos, Lolita, Antonio, Soledad y Jesús con todo mi cariño.**

## ***Agradecimientos***

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y ser parte de mi familia.

A toda mi familia, tíos, primos y sobrinos, por todo el amor y atenciones que he recibido y por todo lo vivido. Gracias especiales a Doray y Nedi por ayudarme a conseguir frasquitos.

A Luis, por tu apoyo, aliento y por los grandiosos momentos compartidos.

A Teresa, per la tua bellissima e incodizionata amicizia, per il tuo appoggio e incoraggió, per ogni momento e ogni sogno condiviso.

A Celin, por tu gran ayuda y apoyo, comprensión y cariño.

A Edith, por tu gran amistad de tantos años, por cada momento y por todo tu apoyo.

A Irery y César por su amistad, cada momento compartido y su ejemplo de amor.

A Marco, SAAC y Germán, mis "primos", por todos aquellos excelentes e inolvidables momentos y por su amistad.

A Ricardo Méndez, por todo tu apoyo, motivación y amistad.

Al Sr. Vicente Cuanda y al Lic. Adrián Morán por todo su apoyo, amistad y por darme la oportunidad de aprender más de calidad, procesos y confitería.

Al Grupo de Inteligencia en Manufactura, Gregorio, Gerardo y José Alberto por cada momento compartido y por su amistad.

A Jan Monfã, Irlanda García, Ivan Díaz, Eric Castro, Fredy Chávez, Angélica García, Gerardo Estrada, Erich Maya, Martita Sánchez, Mauricio Pérez-Rubí, Rafael Echávez, Rubén Juárez, Alejandro Múzquiz y Maricarmen Fernández, Eric Vallejo, Jorge González Camarena, Enrique Arriaga, Jana Bobokova, Gitte Clausen, Iqbal Khan, Leticia Mena, Selene Tapia, Manuel Tapia, Miguel Paredes y a todos mis amigos, por su amistad y por formar parte importante de mi vida.

## *Agradecimientos Especiales*

Agradezco enormemente al Dr. Pedro Valle Vega por su tiempo, profesionalismo y por su invaluable apoyo para el logro de esta tesis.

Agradezco profundamente a la M.C. Lucía Cornejo por su gran apoyo, disponibilidad y amistad, así como a la M. Leticia Gil por su ayuda y sus invaluable sugerencias.

Agradezco a mis amigos y compañeros que participaron en este estudio como jueces sensoriales, por su gran apoyo, disponibilidad y ayuda para lograr los resultados obtenidos:

Edith Rivera, Cetilia Brodziak, Alejandro Martínez, Olga María Vélez, Clara Cuevas, Brian Herrera, Ana Lorena Frías, Desirée Quijano, María de Lourdes García, Alberto Bañuelos, Martha Ceballos, Esmeralda Flores, Luisa Edith Osnaya, Juanita Rocío Morales y Paula Cecilia Guadarrama.

Agradezco a mis maestros por sus enseñanzas y a mis compañeros con los que compartí la vida en la universidad.

Los hombres de tu país  
—observó el Principito—  
cultivan cinco mil rosas en un mismo jardín...  
y no encuentran lo que buscan...  
—No lo encuentran- repuse yo.  
Y sin embargo, lo que buscan se podría  
encontrar en una sola rosa o en un poco de agua...  
—Seguramente- repliqué.  
El Principito añadió.  
Pero los ojos son ciegos.  
Hace falta buscar en el corazón.

*Antoine de Saint-Exupéry*

## **INDICE**

	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
<b>I.1.- Arroz</b>	<b>6</b>
I.1.A. Generalidades	6
I.1.B. El grano de arroz	14
I.1.C. Industrialización del arroz pulido	20
I.1.D. Producción y comercialización del arroz pulido	24
<b>I.2.- Degradación de lípidos y rancidez</b>	<b>26</b>
I.2.A. Degradación de lípidos	26
I.2.B. Rancidez	28
<b>I.3.- Antioxidantes</b>	<b>30</b>
<b>I.4.- Índice de Peróxidos</b>	<b>32</b>
<b>I.5.- Contenido de Humedad y Actividad Acuosa (Aw)</b>	<b>33</b>
<b>I.6- Evaluación sensorial</b>	<b>35</b>
I.6.A. Tipos de jueces	37
I.6.B. El sentido del olfato	38
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA</b>	<b>41</b>
<b>II.1.- Análisis proximal del arroz pulido</b>	<b>42</b>
<b>II.2.- Evaluaciones preliminares</b>	<b>44</b>
II.2.A. Diseño	44
II.2.B. Determinación de Contenido de Humedad, Actividad Acuosa (Aw) e Índice de Peróxidos	46
II.2.C. Evaluación sensorial	47
<b>II.3.- Estudio de la estabilidad del arroz pulido</b>	<b>54</b>

II.3.A. Diseño 5x5	55
II.3.B. Evaluación sensorial - Termodegradación Sensorial (TDS)	60
II.3.C. Termogeneración de Rancidez: Valores D y Z	64
II.3.D. Estadística. Análisis de Varianza (ANOVA)	67
<b>CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>69</b>
III.1. Análisis proximal	70
III.2. Evaluación preliminar	70
III.3. Estudio	75
III.3.A. Tablas de Termogeneración de Rancidez	75
III.3.B. Tablas y gráficas de determinaciones fisicoquímicas del estudio	82
III.3.C. Estadística. Diferencia entre tratamientos	84
III.4. Análisis y Discusión de Resultados	87
<b>CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>95</b>
<b>APÉNDICE I.-Glosario de términos</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.- Tablas estadísticas</b>	<b>109</b>
ANEXO I.- Valores F	109
ANEXO II.- Valores críticos para <i>t</i> de Student	112
ANEXO III.- Números aleatorios	114

## RESUMEN

Con el fin de conocer el nivel de deterioro del arroz pulido (rancidez) por efectos del tiempo y la temperatura, se sometió arroz blanco pulido regular variedad Milagro Filipino a diferentes tratamientos y condiciones de almacenamiento: Abierto sin tratamiento, Abierto Tostado, Cerrado sin tratamiento, Cerrado Tostado y Cerrado con Antioxidante (0.05% de Terbutilhidroquinona o TBHQ); a cinco diferentes temperaturas (ambiente, 30° C, 37° C, 50° C y 60° C) y cinco tiempos (10, 20, 30, 40 y 50 días).

Se realizaron pruebas fisicoquímicas y evaluaciones sensoriales olfativas con jueces semientrenados que evaluaron las muestras mediante una escala relativa de intensidad de rancidez (1=no rancio, 10=extremadamente rancio), teniendo como referencias 3 muestras con valores de 1, 6 y 10 y se prosiguió con un análisis estadístico de las mismas.

Los resultados indican que el nivel de deterioro del arroz pulido es directamente proporcional al tiempo y a la temperatura de almacenamiento ya que la temperatura induce reacciones de oxidación de los ácidos grasos insaturados contenidos en el arroz pulido, generando peróxidos que al romperse generan aldehídos y cetonas, compuestos carbonílicos volátiles responsables del olor característico de rancidez.

Se recomienda usar TBHQ como antioxidante en el arroz, siempre y cuando el producto final sea almacenado máximo a 37° C por no más de 50 días; esto con el fin de proteger la calidad del arroz, ya que, al almacenar el arroz con TBHQ a temperaturas

mayores de 37° C se origina una coloración rosa pálido. De preferencia se debe almacenar abierto para evitar la acumulación de volátiles.

El grano de arroz pierde humedad durante su almacenamiento. El agua libre se pierde primero por las condiciones de temperatura, pero se mantiene en equilibrio con el ambiente, por lo que es recuperable. Sin embargo, la pérdida de agua ligada es mayor entre más elevada sea la temperatura y mayor sea el tiempo de almacenamiento, es permanente y provoca daño en la textura y apariencia del grano de arroz.

El tratamiento que generó menos indicadores de rancidez es el Abierto sin tostar, seguido por Abierto Tostado y el Cerrado sin tostar, demostrando que el arroz se deteriora con mayor rapidez a mayor temperatura y / o tiempo de almacenamiento y con tratamiento térmico (tostado) que sin tostar.

El análisis estadístico corrobora la diferencia entre tratamientos a un nivel de 5%, mientras que las determinaciones entre jueces no presentan diferencia significativa.

Este estudio es de utilidad para entender la problemática del comportamiento del arroz que es industrializado o que se almacena antes de su consumo (cerrado o abierto), y da las pautas para mantener su estabilidad y características y, de este modo evitar la formación de olores o sabores indeseables.

## INTRODUCCIÓN

Los cereales son un grupo de alimentos muy importante para la población mundial debido a que forman parte de la dieta tradicional de la mayoría de los pueblos ya que producen la mayor cantidad de calorías por unidad de superficie de los cultivos agrícolas, es decir, constituyen la fuente más importante de hidratos de carbono y son también de menor costo que otros alimentos.

Además los cereales tienen la ventaja de que, en comparación con otros alimentos, pueden ser almacenados por tiempos prolongados sin incurrir en procedimientos difíciles ni en deterioros acelerados.

El arroz es uno de los cereales más importantes ya que constituye el alimento principal de más de la mitad de la población mundial. En nuestro país una variedad de arroz de importancia por su consumo es el Milagro Filipino.

El arroz después de su proceso de pulido es almacenado durante periodos variables bajo determinadas condiciones de temperatura, humedad y oxigenación, y en algunos casos ha presentado cierto deterioro que se manifiesta en forma de olores indeseables percibidos principalmente al abrir los empaques de este producto, notándose como "olor rancio".

Este olor rancio es un atributo desagradable o indicativo de deterioro en un alimento, por lo que si el consumidor o las compañías empacadoras o importadoras lo detectaran en el arroz o en cualquier alimento, aún cuando esté en buenas condiciones

podrían rechazarlo, lo que produciría efectos desfavorables a la empresa tanto en su economía como en su imagen. En el caso de la exportación afectaría a la economía nacional ya que gran parte del ingreso de divisas se deriva de ella.

Este problema, considerando la importancia del arroz pulido, plantea la necesidad de conocer su comportamiento bajo diferentes condiciones de almacenamiento, así como las causas de su deterioro, ya que se cuenta con muy pocos datos acerca de su estabilidad. De esta manera se podría controlar el efecto de rancidez en el arroz pulido y así lograr su adecuada conservación.

# CAPÍTULO I

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### I.1.- ARROZ

#### I.1.A. Generalidades

Los cereales constituyen la fuente más importante de calorías en todo el mundo. Éstos se consumen en su forma original ligeramente modificados o procesados. Su importancia para la supervivencia del hombre se ha repetido en todas las civilizaciones, aunque los distintos pueblos han ligado su evolución a un determinado tipo de cereal en función del lugar en el que estaban asentados. (Valpiana, 1998)

*Tabla1.- Clasificación botánica del arroz*

REINO	Vegetal
SUBREINO	Fanerógamas
DIVISIÓN	Tracheophyta
SUBDIVISIÓN	Pteropsidae
CLASE	Angiospermae
SUBCLASE	Monocotiledónea
ORDEN	Cyperales (pastos o zacates)
FAMILIA	Graminaceae
SUBFAMILIA	Panicoideae
TRIBU	Oryzaceae
GÉNERO	Oryza
ESPECIE	Sativa
NOMBRE BOTÁNICO	Oryza sativa L.

El nombre ARROZ es aplicado tanto a la parte comestible, como a la planta de la cual es producido. La planta de arroz comúnmente cultivada es *Oryza sativa L.* (Tabla 1).

Existe gran cantidad de variedades cultivadas de plantas de arroz, sólo en la India hay más de 8,000 y en las Filipinas más de 3,500. Los granos enteros de estas plantas pueden ser blancos, cafés, ámbar, rojos, violetas y sus formas van desde las largas y delgadas hasta las cortas y gruesas.

En el mercado europeo se comercializa un producto de arroz listo para cocinarse muy novedoso que contiene tres diversas especies de arroz cultivadas en Laos; el arroz morado, una especie que está en peligro de extinción, junto con otras dos especies de arroz blanco típicas de Laos, las cuales durante la cocción quedan color violeta debido a la coloración que imparte el arroz morado. Recientemente se ha lanzado este producto al mercado estadounidense. ([www.ifl.org](http://www.ifl.org), 2002).

En México también se ha encontrado arroz morado, en el Estado de Guerrero, aunque sólo es conocido por los habitantes de la zona.

La ingeniería moderna en granos ha desarrollado un gran número de variedades resistentes a enfermedades y que tienen altos rendimientos.

El Servicio de Investigación en Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha lanzado una nueva variedad de arroz que contiene menores niveles de ácido fítico, cuya ingesta mejora las condiciones nutricionales de personas y animales en

países en vías de desarrollo y también las condiciones ambientales. Esto se debe a que los cereales como el arroz pueden almacenar la mayor parte de su contenido de fósforo como ácido fítico, el cual, por su naturaleza, no es digerible por organismos con un sólo estómago (pollos, cerdos, peces y humanos). Además, el ácido fítico se une a minerales como hierro, calcio, magnesio y zinc en los intestinos, lo cual deja menos disponibles estos minerales en el cuerpo humano y al ser desechados en la materia fecal, contaminan el ambiente. En el caso de personas de países en vías de desarrollo que se alimentan básicamente de granos, la inclusión de arroz con menor contenido de ácido fítico en su dieta puede ser de utilidad para evitar problemas de desnutrición. ([www.ift.org](http://www.ift.org), 2002)

El arroz es uno de los principales cultivos del mundo, ya que constituye el alimento principal del ser humano en la mayor parte del mundo por ser el segundo cereal después del trigo, de mayor consumo mundial, por sus altas propiedades energéticas y su adaptabilidad a una amplia gama de condiciones climáticas y de cultivo.

Existen publicaciones que aseguran que desde 1995 el arroz es el cereal más cultivado en nuestro planeta (en 1995, fueron 554 millones de toneladas de arroz por 538 de trigo y 506 de maíz), ocupando el 11% de las tierras cultivables y de los cuales el 90% de la superficie de los arrozales se encuentra en Asia, quien produce el 92% de la cosecha mundial. África, América y cinco países de la Unión Europea (Italia, España, Portugal, Francia y Grecia) se reparten el 8% restante. ([www.epitelio.org](http://www.epitelio.org), 2002).

Este cereal tiene una multitud de variedades, entornos, tipos de cultivo y categorías de comercialización. Es un cereal característico de los países cálidos, aunque se adapta a casi todos los climas y tiene al menos dos centros de origen, uno en Extremo Oriente y otro en África Meridional. Existen pruebas de que en excavaciones efectuadas en India se han encontrado granos carbonizados y grumas de palay de una fecha estimada entre 1,000 y 800 años a.C., impresiones en arcilla de arroz y grumas de 2,300 años a.C. y granos de arroz en vasijas de barro de 2,500 años a.C.; pero en China los escritos históricos más antiguos se remontan a 5,000 años en donde se asienta que el arroz era la planta más importante de las cinco principales productoras de alimentos en ese país. Se estima que fue introducido en Europa hacia el siglo VI d.C. (aunque hasta el siglo XV no se puede considerar que el arroz estuviera extendido por todo el Continente), a México en el siglo XVI y a Norteamérica en el siglo XVII. (Calixto, 1990).

El arroz es una gramínea anual con raíces fibrosas y delgadas, tallo erecto, cilíndrico y hueco, con 3 a 4 nudos. La altura es variable, pero generalmente se encuentra entre los 80 y los 140 cm. Las hojas son lineales, planas, finas (de 50 a 75 cm. de longitud, por 1 a 2 cm. de ancho) cubiertas por una ligera capa vellosa corta y sedosa, provista de una vaina fina y dura porque está formada casi exclusivamente de silicio. (Valpiana, 1998).

La inflorescencia del ápice es una panícula terminal angosta que mide de 15 a 30 cm. de largo, que se caracteriza por tener numerosas ramificaciones. El número de espiguillas varía de acuerdo con la variedad y contienen una sola flor perfecta con 6 estambres, un pistilo con dos estigmas de estilos plumosos y un ovario, conteniendo entre

100 y 200 pequeños frutos o granos. La flor está envuelta por una lema y una palea que constituyen las estructuras que forman la cáscara. El fruto es una carióspside "vestida" de forma alargada u oblonga, y de tamaño grande, mediano o corto y de color ocre o amarillo que al pulirse queda blanco. (Calixto, 1990; Valpiana, 1998).

Las carióspsides, es decir, los granos, son utilizadas para la alimentación humana y para ello necesitan ser sometidas a ciertos procesos como pulido, precocido, semicocido o parbolizado, tostado, etc. , mientras que las otras partes de la planta se utilizan como forraje o como paja de donde se extrae la materia prima para la fabricación de papel.

*Oryza sativa L.*, tiene cuatro subespecies o formas que son: indica, japónica, brevínica y brevis; de éstas, las dos primeras son las más importantes:

La subespecie indica, cultivada en regiones tropicales y la que se cultiva en México, tiene grano delgado y alargado, angosto y ligeramente aplanado, la lema generalmente con o sin aristas cortas, sus hojas son de color verde claro y la hoja superior forma con el tallo un ángulo agudo. Los granos al cocinarse resisten más el sobrecalentamiento conservando su forma y no se adhieren entre sí.

La subespecie japónica prospera de mejor manera en áreas subtropicales, el grano es corto, ancho y abombado con una sección transversal redondeada y su hoja panicular forma con el tallo un ángulo obtuso. (Bienvenido, 1985).

Los principales elementos físicos que influyen en la producción del arroz son el agua para la irrigación, la precipitación, la temperatura y el suelo.

La variedad *Oryza sativa* requiere para su cultivo mucha agua de riego la cual debe estar en corriente constante para que cubra el terreno, es decir, ya que el éxito de este cultivo depende de la abundante cantidad de agua dulce de que se disponga. La altura de la capa de agua se debe ir aumentando conforme crece la planta a fin de que no se desarrollen las malas hierbas.

La expansión de la cosecha también está limitada por la lluvia, debido a que el arroz requiere de una humedad atmosférica relativamente alta y una precipitación de unos 125 a 150 cm., bien distribuida durante todo el año.

También existe el arroz de temporal o cultivo pluvial que se cultiva en campos planos o en pendiente, sin bordos para el manejo de agua, se prepara y se siembra en seco y depende totalmente de la lluvia para obtener la humedad que necesita, por lo que los rendimientos son bajos, actualmente se practica en el 13% de los arrozales. Este tipo de arroz es cultivado generalmente por agricultores minifundistas o de subsistencia de África (42% de los arrozales) y Sudamérica (60%) en zonas en las cuales no hay suficientes recursos económicos.

Los suelos adecuados para el cultivo de arroz son los suelos pesados arcillosos, ya que favorecen a la planta el alto contenido de materia orgánica y elevada capacidad de retención de agua.

El período vegetativo del arroz es de 150 a 270 días según la variedad y las regiones donde mejor se produce son las de clima subtropical o templado y cálido, ya que el arroz necesita de 12° C a 13° C para germinar, de 22° C a 23° C para florear y de 19° C a 20° C para dar granos. Se ha observado que la gran intensidad de luz y calor de los subtrópicos y de las regiones tibias de las zonas templadas son factores que propician los altos rendimientos, en contraste con algunas regiones tropicales de días más cortos y nublados donde los rendimientos disminuyen notoriamente. (Infoaserca, 2002).

El arroz tiene una gran extensión de adaptabilidad sobre la superficie del mundo la cual queda comprendida entre los 45° Norte y 40° Sur del Ecuador. Dentro de esta área de producción están las regiones de América Central, México, medio territorio de los Estados Unidos de América, las Indias Occidentales, la mayor parte de América del Sur, Australia, India, China, Japón, el Archipiélago Malayo y las Islas del Pacífico. La mayor contribución de la producción arrocería del mundo proviene del Continente Asiático, principalmente de China Continental y la India, seguidos por Indonesia, Bangladesh y Tailandia, ya que constituye alrededor del 90% de la cosecha mundial, aunque de éstos sólo La India e Indonesia son exportadores junto con Estados Unidos, Vietnam y Pakistán.

Las regiones productoras de arroz en México son tres y se localizan específicamente, una, la Zona Noreste, sobre la Costa del Océano Pacífico que comprende las entidades de: Sinaloa, Nayarit, Colima, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; otra, la Zona Sureste, sobre la Costa del Golfo de México que comprende las entidades de Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, y una tercera que se denomina Zona Centro que

comprende las entidades de Jalisco, Michoacán, México, Morelos y Puebla. (Calixto, 1990).

Las zonas arroceras en cada Estado de la República Mexicana, en general tienen alturas menores de 1,700 m. sobre el nivel del mar, cuyas temperaturas medias son mayores a los 20° C. Los mayores rendimientos de arroz palay; es decir, arroz con cáscara (3-5 toneladas por hectárea) se obtienen de los Estados de Sinaloa, México, Morelos y Puebla, donde las siembras se llevan a cabo con agua de riego; mientras que en las regiones productoras de la costa del Océano Pacífico y la costa del Golfo de México predominan las siembras de temporal, en las cuales los rendimientos medios del grano son menores de 2.5-3 toneladas por hectárea, pero los costos de cultivo son más reducidos que en las siembras de riego.

La época de siembra que predomina en el país se localiza durante los meses de junio y julio, y en consecuencia, el mayor volumen de las cosechas de arroz se obtiene en los meses de octubre, noviembre y diciembre. (Calixto, 1990).

En países occidentales el arroz es empleado en cereales de desayuno, ya sea tostado o inflado, como una alternativa a la papa y como base de postres, bebidas y sopas instantáneas. También se emplea la harina de arroz para la elaboración de postres, pasteles, galletas y alimentos infantiles. En países asiático-orientales se consume no sólo como grano, sino de muy variadas formas, por ejemplo, los japoneses fermentan el grano para producir *sake*, una bebida alcohólica típica; los vietnamitas lo usan para producir un aguardiente de un alto contenido alcohólico (39° G.L.) llamado *Choum-Choum*, mientras

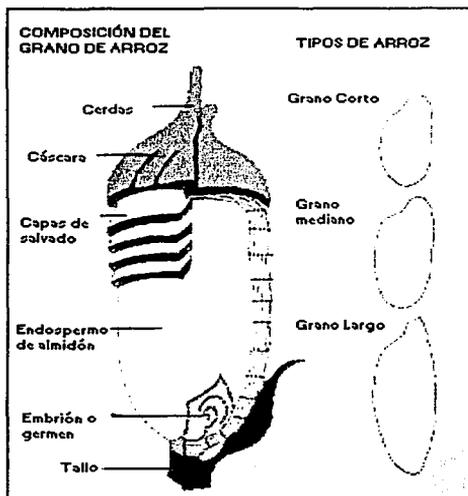
que en China y la India, el arroz también se usa para producir licores como el *arrak*, *rizor* y *yannoh*, y en todo el mundo se emplea como adjunto a la malta de cebada, en la elaboración de bebidas alcohólicas como la cerveza. (Mickelsen, 1997; Valpiana, 1998)

### **I.1.B. El grano de arroz**

La cariósida, es decir, el fruto, está formada por un complejo de membranas (pericarpio) de color muy variable entre el amarillo y el ocre; por un endospermo, constituido principalmente por almidón y proteínas en su capa más exterior; por el embrión (germen), compuesto por el esbozo primario de los órganos de la futura planta. (Valpiana, 1998).

El arroz es un alimento entero, nutritivo y posee cualidades que lo hacen idealmente adecuado para las necesidades de dietas especiales. Es una rica fuente de energía por su elevado contenido de hidratos de carbono (77.4%), principalmente almidón, lo cual representa un gran aporte calórico. Además, por ser un hidrato de carbono complejo, mantiene dicho nivel de energía por periodos mayores y ahorra proteínas ya que el cuerpo no usa la proteína de la dieta o de las reservas del cuerpo para abastecer sus necesidades de energía cuando hay un hidrato de carbono disponible. (USDA, Rice Council, 2000)

**Figura 1.- Composición del grano de Arroz (USDA,2000)**



El almidón se encuentra principalmente en el endospermo del grano. La grasa, fibra, minerales y vitaminas están concentrados en las capas de aleurona y en el germen. (Pomeranz, 1987).

El almidón es un hidrato de carbono compuesto por dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina. En el arroz, el contenido de amilosa va de 12% a 35% del almidón total y el resto es de amilopectina. Los arroces de la subespecie *indica* generalmente contienen más amilosa que los arroces de la subespecie *japónica*. (Pomeranz, 1987).

Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas del arroz, principalmente mediante su capacidad de hidratación, expansión y de gelatinización. Entre más contenido de amilosa contenga el arroz pulido, mayor será su capacidad de hidratación y expansión al cocinar, manteniendo su consistencia firme, mientras que los arroces con más amilopectina tendrán menor consistencia y serán más pastosos y pegajosos, como es en el caso de plattillos orientales.

También existen diferencias de color y brillo entre estos tipos de arroz. Los de mayor contenido de amilosa, presentan menos color y brillo al cocinarse, siendo más atractivas las variedades de arroz con mayor contenido de amilopectina. (Bienvenido, 1985).

**TABLA 2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ARROZ** (USDA, 2000)

<b>COMPONENTE</b>	<b>ARROZ INTEGRAL</b>	<b>ARROZ PULIDO</b>
Hidratos de Carbono totales (%)	77.4	80.4
Agua (%)	12	12
Proteína (%)	7.5	6.7
Grasa (%)	1.9	0.4
Cenizas (%)	1.2	0.5
Fibra cruda (%)	0.9	0.3
Fósforo (mg/100g)	221	94
Potasio (mg/100g)	214	92
Calcio (mg/100g)	32	24
Sodio (mg/100g)	9	5
Niacina (mg/100g)	4.7	1.6
Hierro (mg/100g)	1.6	0.8
Tiamina (mg/100g)	0.34	0.07
Riboflavina (mg/100g)	0.05	0.03

El arroz integral contiene cerca del 8% de proteína, una pequeña cantidad de grasa, no contiene colesterol y es una fuente importante de tiamina, niacina, riboflavina, fósforo, hierro y calcio, además éste puede ser enriquecido con más nutrimentos, es bajo en sodio y no es alergénico. (USDA, Rice Council, 2000).

El arroz blanco pulido es aquel arroz al que se le ha eliminado el salvado y parte del germen así como la cascarilla, y se encuentra muy disminuido en nutrimentos debido a que el proceso de molienda ha removido cerca del 75% de la tiamina, la mayoría de los minerales y parte de la grasa.

Aunque el contenido de proteína del arroz pulido es bajo, ésta es única dentro de los cereales por su valor biológico, ya que las proteínas son ricas en glutelinas (80% mínimo), y contiene los ocho aminoácidos esenciales o indispensables para el cuerpo humano con un balance relativamente bueno. La presencia de proteína es directamente proporcional al grado de pulido que tenga el arroz, ya que entre menos pulido esté más proteína contendrá. Además, cuando se combina con legumbres o proteínas animales como leche o carne, el arroz se convierte en una fuente de proteína aún más valiosa. (USDA, Rice Council, 2000).

Entre las fracciones de proteína, la albúmina cuenta con el mayor contenido de lisina, seguida por la glutelina, globulina y prolamina. El alto contenido de lisina de la proteína de arroz se debe principalmente a su bajo contenido de prolamina. Las proteínas que se encuentran en el arroz pulido son generalmente más bajas en lisina que las proteínas del arroz integral. Las proporciones de albúmina, globulina y de la proteína total son

superiores en las capas externas del grano y decrece hacia el centro; las proporciones de glutelina tienen una distribución inversa. En el arroz, como en otros granos de cereales, las proteínas difieren considerablemente en la composición de aminoácidos y valor biológico, según la variedad de estos. Las diferencias más notables están en la alta concentración de lisina en albúminas y de cistina en globulinas, y en la muy baja concentración de lisina y cistina en las prolaminas. (Bienvenido, 1985).

En la separación del salvado en la molienda se pierden fibra y también cantidades importantes de vitaminas y minerales. Este efecto se magnifica debido a que con el salvado también se separan la capa aleurónica y algunas de las capas más externas del endospermo amiláceo, fuente de las vitaminas y minerales del arroz. (Morgante, Fassati, Ciusa y Curti, 1984).

El arroz pulido contiene de 0.3% a 0.5% de azúcares, principalmente sacarosa mientras que el arroz integral contiene de 0.6% a 1.4%.

El salvado de arroz es una fuente excelente de aceite comestible, de proteínas y otros nutrimentos. La causa fundamental por la que el salvado de arroz no se consume como alimento humano es la inestabilidad de este subproducto y su deterioro gradual y rápido desde el mismo instante de su obtención, originado por una actividad enzimática intensa y por el alto contenido de fibra y sílica. (Primo y Carrasco, 1973).

El proceso de transformación de arroz palay a pulido, ocurre a través de una serie de etapas bien definidas que son fundamentales para obtener un producto de alta calidad.

La calidad en el arroz pulido es sumamente importante y se determina por el tamaño del grano y por cualidades como consistencia, brillo, resistencia e integridad. Además debe estar limpio, sano, libre de plagas, contaminación, olores y sabores extraños al grano así como cualquier otro olor objetable desde el punto de vista comercial. El contenido de humedad no debe rebasar el 14% y de impurezas debe tener máximo 0.5%.

Los grados de calidad determinados para el arroz blanco pulido son los siguientes: Super Extra, Extra, Comercial y Popular (Ver Tabla 3). Según la Norma Oficial Mexicana, para todos ellos se debe cumplir con los parámetros de calidad antes mencionados. (NOM – FF-35. "Arroz Pulido", 1982).

*Tabla 3.- Calidades del Arroz Blanco Pulido*

<b>Tipos de producto</b>	<b>Super Extra Tipo 5%</b>	<b>Super Extra Tipo 15%</b>	<b>Extra Tipo 25%</b>	<b>Comercial Tipo 45%</b>	<b>Popular Tipo 55% O Más</b>
Arroz entero	95% mín.	85% mín.	75% mín.	55% mín.	45%
Quebrado	5% máx.	14% máx.	22% máx.	40% máx.	50%
Granillo	0%	1%	3%	5%	5%

En consecuencia, el arroz blanco que no obtenga el mínimo de grano entero, o que rebase los máximos de granos quebrados y granillo se rechaza, así como los dañados y defectuosos.

### **I.1.C. Industrialización del arroz pulido**

Generalmente la cosecha se realiza cuando el contenido de humedad del grano tiene un nivel entre el 18% y 22%, determinado a través del método de autopropulsión. Después de la cosecha, y antes de ser almacenado, el arroz requiere ser sometido a una fase de secado para reducir su contenido de humedad de 12% a 14%, niveles adecuados para lograr su almacenamiento. Una vez concluido el secado, se limpia el arroz seco normalmente mediante sistemas de aspiración con el fin de eliminar materia extraña, impurezas y polvo; se almacena en silos el menor tiempo posible con una humedad inferior a 14% y a una temperatura no superior a los 10° C. (Valpiana, 1998).

En este punto puede semicocerse el arroz antes de ser pulido ya que en el proceso se modifica el almidón y esto ayuda a retener muchas de las vitaminas y el valor mineral. Este arroz semicocido o parbolizado se coloca en grandes tanques y se remoja en agua para posteriormente ser sometido a procesos a vacío, presión, vapor y secado. (Rice Council. USDA, 2000)

A pesar del proceso de secado, natural o industrial, el arroz sigue conservando un determinado porcentaje de agua. El arroz entero, palay o encascarillado continúa siendo un cereal "vivo" que completa durante el almacenaje su propia maduración y que, por lo tanto, en esa fase puede resultar dañado, puede sufrir alteraciones o ser invadido por parásitos. (Valpiana, 1998).

Debido a esto, después de la limpieza del grano entero se realiza el proceso de trillado o descascarillado, el cual consiste en quitarle la cascarilla protectora o cubierta al grano, que es la parte no comestible del arroz o cascabillo, mediante fricción con una máquina descascarilladora, donde los granos enteros pasan entre discos abrasivos o bandas de hule móviles y se separan las cascarillas mediante la aplicación de aire obteniendo así el arroz integral o cargo. Este arroz integral es llamado así porque conserva íntegras sus propiedades nutritivas ya que es un grano que sigue envuelto por el pericarpio, aún contiene el germen y sigue conservando todas sus sales minerales y sus vitaminas.

La siguiente etapa es el pulido del arroz integral, el cual se lleva a cabo en la misma máquina descascarilladora mediante un rotor que raspa o pule por fricción la cubierta de color café del salvado y el embrión, donde la escobilla de la máquina elimina el resto de la capa de aleurona y de las partículas harinosas. (Rice Council. USDA, 2000)

Una vez descascarillado el grano, se lleva a cabo su blanqueo o blanqueado, es decir, el frotamiento de los endospermos de los granos, los unos contra los otros, obteniendo así un aspecto blanco y mate de los granos de arroz; para lo cual se utilizan conos de blanquear, los cilindros tipo Engelberg o algunos otros como los de cilindro horizontal cubiertos de esmeril, los de cilindro de esmeril oblicuo o los de cilindro de esmeril de secciones.

Finalmente, el arroz puede ser sometido a tratamientos de acabado con el objetivo de dar brillo, presentación final y calidad para su posterior venta al consumidor. Entre los

acabados del arroz se encuentra el pulido regular, el glaseado y el matizado. En el caso del pulido regular, los granos son pulidos en un cono bruñidor; para el glaseado, cuyo procedimiento consiste en cubrir los granos con una suspensión de talco en polvo y glucosa en un tambor de glaseo de tipo horizontal, lo cual ayudará a obtener además de brillo mayor resistencia, es decir, más calidad, por lo que sólo se realiza para arroces de lujo; y por último, el matizado, que es bañar ligeramente el arroz con aceite o vaselina.

La fase de descascarillado se puede llevar a cabo a través de diversos tipos de descascarilladoras, entre las cuales se encuentran las de muelas, de rodillos de caucho, con bandas de caucho, con cilindros tipo Engelberg; sin embargo, los más usados son los dos primeros. (Infoaserca, 2002).

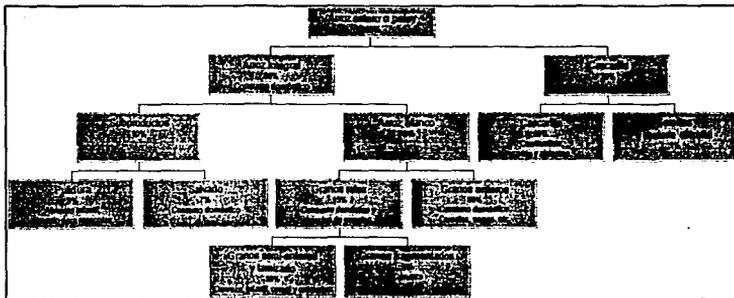
Durante el proceso del pulido, el arroz es constantemente observado a modo de separar los granos rotos y / o dañados y clasificado para obtener un producto de la más alta calidad.

En caso de que el destino del arroz a procesar sea la exportación, se puede realizar sólo el descascarillado a modo de obtener el arroz integral para que sea exportado a granel y que de este modo el proceso de pulido se realice en el país en el cual se comercializará al consumidor, o bien, se puede enviar completamente procesado, esto dependerá de las necesidades del país importador.

Se estima que el rendimiento del arroz entero es de un 70% en el grano entero y partido, 7% de salvado, 3% de puliduras y 20% de cáscara. El salvado, las puliduras, así como los residuos y subproductos del arroz se emplean generalmente como forraje. Otro de los usos del arroz, utilizando la fracción embrionaria del salvado, es la obtención de aceite, generalmente usado por la industria de productos de tocador para la elaboración de jabones, y las cáscaras de arroz pueden usarse como combustible, así como en la fabricación de material aislante, cartón, rayón y linóleo. (Infoaserca, 2002).

El arroz pulido es un producto que puede emplearse no tan sólo en la industria alimenticia, constituyendo una materia prima importante para otros satisfactores.

**Cuadro 1.- Proporciones y usos de productos del proceso de pulido del arroz**



### **I.1.D. Producción y comercialización del arroz pulido**

El promedio anual de la producción mundial de arroz es de aproximadamente de 520 millones de toneladas métricas. Siendo los principales productores China, India, Indonesia, Bangladesh y Tailandia. El rendimiento promedio mundial en toneladas métricas por hectárea cultivada es de 2.4, con un crecimiento de aproximadamente 1%. (Infoaserca, 2002).

Del total de cultivos que se producen en el país, los granos ocupan más de las tres cuartas partes de la superficie cosechada y menos de la mitad del valor de la producción.

La industria arrocera se localiza considerando tres factores fundamentales: la infraestructura regional, la proximidad a las zonas productoras de materia prima y a la cercanía de los centros de consumo o de distribución.

La ubicación de las 70 industrias beneficiadoras de arroz se concentra principalmente en las regiones de mayor producción del grano, de tal forma que en los Estados de Sinaloa y Veracruz se localizan el 54% de éstas y en la región Sureste (Tabasco, Chiapas, Campeche y Quintana Roo) el 11% de las mismas. El resto de las industrias se encuentran diversificadas en otras 10 entidades federativas. (Infoaserca, 2002).

La producción nacional se obtiene de las cosechas de los ciclos Primavera - Verano y Otoño - Invierno. Durante el ciclo Otoño - Invierno la producción nacional decrece. La

superficie arrocera de riego se ubica en su mayor proporción en Sinaloa, donde el agua almacenada en las presas se destina para el periodo Otoño - Invierno y los remanentes para el ciclo Primavera - Verano. En Sinaloa, el cultivo de la soya compite con el del arroz, siendo una de las razones de los cambios bruscos en la producción. (INEGI, 1999).

Las distintas variedades de arroz que se cultivan en el país son:

- De Siembra Directa (Sinaloa):  
Chica 4, Chica 6, Chica 8, Bamoa, Culiacán A 80, Navolato A 80, etc.
- De Siembra Directa (Veracruz, Campeche, Tabasco):  
Cárdenas A 80, Champotón A 80, Grijalba A 80, Milagro Filipino, Campeche A 80, etc.
- De Siembra Indirecta (Morelos):  
Morelos A 70, Morelos A 83.

La oferta nacional del arroz se integra con los volúmenes procedentes de las cosechas nacionales y si éstas son insuficientes, del mercado externo. Aún cuando la producción nacional del arroz es importante, no es suficiente para satisfacer las necesidades del mercado, por lo que ha sido necesario recurrir a las importaciones del arroz pulido, principalmente de Estados Unidos, Australia, Japón y Vietnam.

El arroz puede encontrarse en el mercado nacional como arroz integral, arroz blanco o pulido, precocido y arroz parbolizado o semicocido.

## **I.2. DEGRADACIÓN DE LÍPIDOS Y RANCIDEZ**

### **I.2.A. Degradación de lípidos**

Las principales fuentes de lípidos son los tejidos animales y las semillas oleaginosas. Las grasas y los aceites son los principales lípidos presentes en los alimentos contribuyendo a la textura y en general a las propiedades sensoriales del producto. Tanto las grasas como los aceites están constituidos por prácticamente 100% de triacilglicéridos, los que a su vez son ésteres de ácidos grasos con glicerol. Consecuentemente, dichos ácidos representan un alto porcentaje de la composición de los triacilglicéridos y de las grasas y los aceites.

Las diferencias de estabilidad (tendencia a la oxidación), el comportamiento, la plasticidad, el estado físico, el patrón de cristalización, el índice de yodo, la temperatura de solidificación, etc. de las grasas y los aceites se deben fundamentalmente a la presencia y a la concentración de los ácidos grasos constituyentes.

Los ácidos grasos que comúnmente se encuentran en los alimentos son los que se presentan en el Cuadro 2, los cuales generalmente se encuentran esterificados integrando los triacilglicéridos y cuando se llegan a encontrar en estado libre es porque muy probablemente ocurrió una hidrólisis del enlace éster. La mayoría de ellos son ácidos monocarboxílicos de cadena lineal, con número par de átomos de carbono ya que su metabolismo se lleva a cabo mediante moléculas de carbono pares. (Baduí, 1990).

**Cuadro 2: Ácidos grasos más comunes en los alimentos** (Baduí, 1990)

<b>Saturados</b>	<b>Insaturados</b>
Butírico	Palmitoleico
Caproico	Oleico
Caprílico	Linoleico
Cáprico	Linolénico
Láurico	Araquidónico
Mirístico	Vaccénico
Palmitico	Gadoleico
Estearico	Erúxico
Araquídico	Brasídico
Behénico	Cetoleico
Lignocérico	
Cerótico	

Los ácidos grasos saturados son mucho más estables a los diversos mecanismos oxidativos de deterioro de las grasas que los insaturados; sin embargo, en condiciones de temperatura muy alta (más de 200° C), como llega a suceder en el freído, y en presencia de oxígeno, pueden sufrir reacciones de oxidación.

Debido a la presencia de insaturaciones, estos compuestos tienen una gran reactividad química ya que están propensos a transformaciones oxidativas y de isomerización. Son muy abundantes en los aceites vegetales y marinos, su temperatura de fusión disminuye con el aumento de las dobles ligaduras y ésta es siempre menor que la de los saturados para una misma longitud de cadena. Los que contienen una sola insaturación se llaman monoenoicos o monoinsaturados, y a los de más de una se les denomina polienoicos o poliinsaturados. (Baduí, 1990).

El contenido de grasa en el arroz pulido es de 0.4% mientras que en el arroz integral es de 1.9%. Las grasas de los cereales están formadas principalmente por lípidos neutros, glicolípidos y fosfolípidos; estos lípidos son relativamente ricos en ácido linoléico, esencial en la alimentación humana.

El salvado de arroz es una de las materias primas más importantes para la extracción de aceites. Las grasas y aceites pueden sufrir diferentes transformaciones que además de reducir el valor nutritivo del alimento producen compuestos volátiles que imparten olores y sabores desagradables; esto se debe a que el enlace éster de los acilglicéridos es susceptible a la hidrólisis química y enzimática y a que los ácidos grasos insaturados son sensibles a reacciones de oxidación. El grado de deterioro depende del tipo de grasa o aceite.

### **I.2.B. Rancidez**

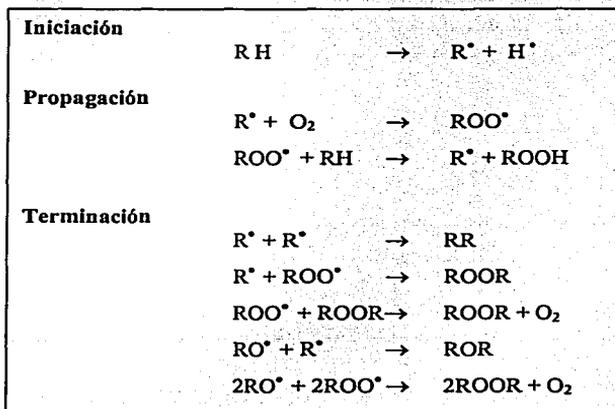
El término rancidez se emplea para describir los diferentes mecanismos a través de los cuales se alteran los lípidos, estos son la lipólisis o rancidez hidrolítica y la autooxidación o rancidez oxidativa (Cuadro 3). La lipólisis se debe básicamente a la acción de las lipasas que liberan ácidos grasos de los triacilglicéridos, mientras que la rancidez oxidativa se refiere a la acción del oxígeno y de las lipoxigenasas sobre las insaturaciones de los ácidos grasos. (Baduí, 1990; Mistry y Min, 1987).

La autooxidación consiste en la oxidación de los ácidos grasos insaturados, es decir, con dobles ligaduras generándose compuestos, algunos de peso molecular bajo que le confieren olor característico a las grasas oxidadas y a su vez mantienen y aceleran la

reacción. Entre los productos sintetizados se encuentran algunos de peso molecular bajo que le confieren el olor característico a las grasas oxidadas. Ésta se lleva a cabo por medio de radicales libres en tres pasos:

- a. **Iniciación.**- El ácido graso RH pierde un hidrógeno del metileno y forma un radical libre R' con dos híbridos de resonancia; se cataliza por luz, calor, Cobre (Cu), Hierro (Fe) , radiaciones  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  y por la lipoxigenasa.
- b. **Propagación.**- R' reacciona con O<sub>2</sub> y produce un radical hidroperóxido ROO', que a su vez reacciona con otro RH y genera nuevamente R'.
- c. **Terminación.**- Los diferentes radicales reaccionan entre sí formando dímeros RR, hidroperóxidos ROOH, y peróxidos ROOR; la ruptura de estos últimos genera aldehídos y cetonas responsables del olor rancio de las grasas.

**CUADRO 3.-Mecanismo de oxidación de lípidos** (Badui, 1990)



La autoxidación se favorece a medida que se incrementa la concentración de ácidos grasos insaturados (o el índice de yodo), ya que los más insaturados necesitan menos tiempo para absorber la misma cantidad de gas, y por lo tanto, se oxidan más rápido. Es decir, durante el almacenamiento de los aceites, los enlaces insaturados absorben oxígeno y reaccionan análogamente a los peróxidos. A un cierto nivel los productos volátiles (aldehídos y cetonas) que se forman tienen un efecto perjudicial sobre el gusto y el olor, conocido como rancidez oxidativa.

Los ácidos grasos además de la autoxidación pueden sufrir reacciones de descomposición cuando se someten a temperaturas elevadas en presencia o en ausencia de oxígeno. La degradación de los ácidos grasos saturados con oxígeno implica la formación de monohidroperóxidos, cuya ruptura produce sustancias de peso molecular bajo como aldehídos y cetonas, responsables de ciertos olores característicos; algunas de estas sustancias son semejantes a las que se identifican en las reacciones de oxidación. (Baduí, 1990).

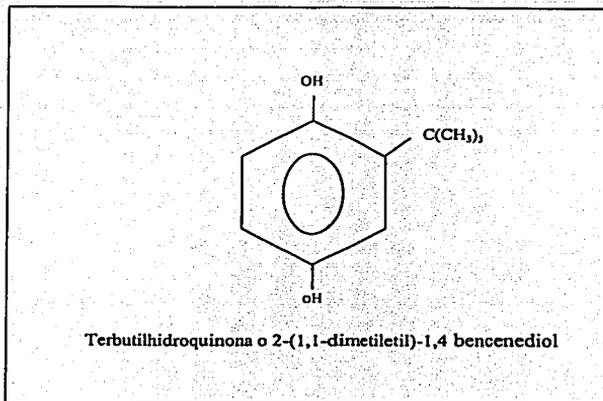
### 1.3. ANTIOXIDANTES

Existen dos tipos de compuestos que se emplean para evitar el deterioro oxidativo de los lípidos. Estos son los donadores de protones como el butilhidroxianisol (BHA), el butilhidroxitolueno (BHT), la terbutilhidroquinona (TBHQ) y el galato de propilo, que no detienen la formación de los radicales que se generan en la oxidación, sino que al

reaccionar con ellos los estabiliza y se producen radicales del antioxidante que son menos activos; y los secuestradores. Los primeros compuestos contienen una o más funciones hidroxilo y actúan en los pasos de iniciación y propagación de la oxidación, pues ceden un átomo de hidrógeno tanto a los radicales ácido graso ( $R\bullet$ ) como a los hidroperóxidos ( $ROO\bullet$ ), restaurando el primero al ácido (RH) y formando el correspondiente hidroperóxido (ROOH) con el segundo. (Baduí, 1990).

Los radicales de los antioxidantes son estables debido a su resonancia y, por lo tanto, no promueven la oxidación como lo hacen los radicales de los ácidos grasos.

***Cuadro 4.- Terbutilhidroquinona (TBHQ)***



La terbutilhidroquinona (TBHQ) es un antioxidante que en los últimos años ha adquirido una gran popularidad con la propiedad de que es más soluble en agua que otros antioxidantes, además de presentar una mayor potencia en aceites vegetales y desempeñar un efecto sinergista al usarse en diferentes mezclas. Es adecuado para sistemas con poca agua, por lo que se solubiliza adecuadamente y se distribuye homogéneamente en la fase lipídica y así actúa sobre los radicales libres. (Warner, Frankel, Snyder y Porter, 1986).

Los antioxidantes son poco estables durante el almacenamiento ya que sufren cambios químicos y sus soluciones, incluso pueden cristalizar causando una reducción en su poder. También se pueden oxidar bajo las mismas condiciones que alteran a los lípidos como son luz, oxígeno, altas temperaturas y presencia de metales. (Baduí, 1990).

#### **I.4. ÍNDICE DE PERÓXIDOS**

Se denomina Índice de Peróxidos a los miliequivalentes de oxígeno activo en forma de peróxido, contenido en un kilogramo de grasa o aceite, calculados a partir del yodo liberado por el yoduro de potasio (KI). Es uno de los métodos químicos más comunes y se basa en la capacidad de los peróxidos de oxidar el ion yoduro del yoduro de potasio y producir yodo que se valora con una solución de tiosulfato. Debido a que los peróxidos están sujetos a reacciones de degradación, sólo pueden ser detectados durante las primeras etapas de la oxidación; es decir, al estudiar una grasa o aceite demasiado oxidado es probable que el índice sea bajo, a pesar de que el olor sea característico de reacciones muy

avanzadas. Esta prueba es poco exacta en productos deshidratados y en aquellos que tienen un contenido bajo de lípidos. (Baduí, 1990).

### **I.5. CONTENIDO DE HUMEDAD Y ACTIVIDAD ACUOSA ( $A_w$ )**

En los tejidos animales y vegetales el agua no está uniformemente distribuida debido a los complejos hidratados que se establecen con proteínas, hidratos de carbono, lípidos y otros componentes. En general, el contenido de humedad de un alimento se refiere a toda el agua en forma global, sin considerar que en la mayoría de los productos existen regiones microscópicas que debido a una alta acumulación de lípidos no permiten su presencia y la obligan a distribuirse en forma heterogénea. El citoplasma de las células presenta un alto porcentaje de proteínas capaces de retener más agua que los organelos que carecen de macromoléculas hidrófilas semejantes, por lo que, para tener un sistema estable, los diferentes componentes de los alimentos deben encontrarse en equilibrio entre sí respecto al potencial químico, la presión osmótica y la presión de vapor de agua que desarrollen.

Esta situación hace que existan diferentes estados energéticos y de comportamiento fisicoquímico de las moléculas de agua en los alimentos.

El agua ligada es aquella porción que no congela en las condiciones normales de congelamiento a  $-20^{\circ}\text{C}$  y el agua libre es aquella que se volatiliza fácilmente, se pierde en el calentamiento, se congela primero y es la principal responsable de la actividad acuosa.

El agua ligada es la más difícil de eliminar en los procesos térmicos comerciales de secado, está unida a la superficie sólida; en algunos casos se puede reducir parcialmente en la deshidratación, pero esto no es recomendable, ya que, además de que se requeriría mucha energía para ello, se podría dañar el alimento. Su presencia ejerce un efecto protector, sobre todo contra las reacciones de oxidación de lípidos porque actúa como barrera de oxígeno.

La actividad acuosa ( $A_w$ ) es la porción de agua disponible de un alimento que propicia diversos procesos químicos, físicos, enzimáticos y microbiológicos, tanto favorables como indeseables, por lo que representa el grado de interacción del agua con los demás constituyentes. La actividad acuosa, junto con la temperatura, el pH y el oxígeno, son los factores que más influyen en la estabilidad de los productos alimenticios.

Muchas de las reacciones químicas y enzimáticas se favorecen con el aumento de la actividad acuosa puesto que el agua propicia la movilidad del sustrato y de los productos y participa en las transformaciones hidrolíticas. Además, las enzimas adquieren su actividad catalítica cuando establecen una estructura terciaria gracias a la influencia de este disolvente. Por esto, varios métodos de conservación de alimentos se basan en la reducción y el control de la actividad acuosa, como es el caso de los productos deshidratados y concentrados. (Badui, 1990).

Con base en el valor de actividad acuosa se puede predecir la estabilidad de un alimento ya que ésta es una propiedad intrínseca y se relaciona con el contenido de humedad mediante las curvas o isotermas de adsorción y desorción. (Badui, 1990).

La humedad presente en el arroz pulido debe ser menor al 14% ya que si se rebasa este límite pueden favorecerse alteraciones de tipo enzimático, microbiológico y químico.

## **1.6. EVALUACIÓN SENSORIAL**

La evaluación sensorial se ocupa de la medición y cuantificación de las características de un producto, ingrediente o modelo, las cuales son percibidas por los sentidos humanos. Los "instrumentos" principales para efectuar la evaluación sensorial son los órganos sensores y la capacidad integradora de los jueces. (Pedrero, 1989).

La tecnología ha desarrollado instrumentos y equipos que pueden distinguir diferentes atributos, sin embargo, ninguno ha logrado duplicar o sustituir el juicio humano, por la gran sensibilidad de éste y porque los equipos proporcionan buenas correlaciones unidimensionales de los atributos sensoriales individuales, además de que los análisis físicos y químicos dan resultados de características aisladas. En cambio, las respuestas sensoriales son más complejas debido a la integración simultánea de señales múltiples como apariencia, olor, aroma, gusto, textura, sonido, etc., las cuales el evaluador sensorial asocia con su experiencia pasada, los efectos contextuales y su anticipación a la emisión de su juicio.

Aunque cualquier persona tiene las herramientas para realizar evaluaciones sensoriales (con sus cinco sentidos de percepción), éstas deben efectuarse con rigor científico e invariablemente llevando un control de los evaluadores, lugar, horario, forma y material adecuado. Todo este control proporciona confiabilidad y reproducibilidad de las respuestas obtenidas que sirven para la toma de decisiones inherente a la solución de problemas.

En la actualidad, la evaluación sensorial ha sido de suma importancia en el diseño o modificación de gran cantidad de productos de consumo como herramienta de mercadeo y control de calidad, además de ser cada vez más reconocida y aplicada debido a que se relaciona y complementa con disciplinas como la psicología, fisiología, química, física y estadística obteniendo así resultados reales y concretos.

La calidad sensorial de los productos con los que un consumidor convive diariamente puede evaluarse de distintas formas. Generalmente un consumidor hace un análisis de forma directa con el empleo de sus sentidos y de esta manera califica, con base en experiencia o entrenamiento, los atributos de un producto. Si el producto no le es agradable, éste lo rechazará.

En el caso de juzgar la calidad de las grasas, la acumulación de sustancias producidas en el deterioro permiten al consumidor identificar olores y sabores característicos de la rancidez que suelen ser desagradables.

## **I.6.A. Tipos de jueces**

Se denomina "juez sensorial" al individuo que está dispuesto a participar en una prueba para evaluar un producto valiéndose de la capacidad perceptiva de uno o varios de sus sentidos.

Existen dos tipos de jueces:

**Analítico u objetivo.-** Es el individuo que ha sido seleccionado entre un grupo de candidatos para demostrar una sensibilidad sensorial específica, deseada para un estudio.

**Afectivo o consumidor.-** Es una persona que consume el producto en estudio y participa comunicando al investigador su nivel de agrado, su aceptación o rechazo, o el orden de su preferencia de las muestras que se le presenten. Se utiliza principalmente en investigaciones de mercado. (Pedrero, 1989).

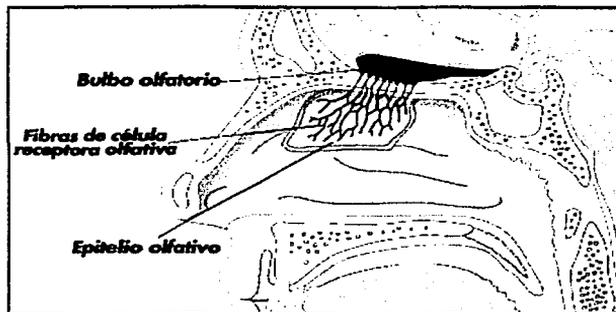
La persona que participe como juez en un estudio deberá recibir un entrenamiento acerca del método que seguirá para efectuar su evaluación y sobre las características de importancia del producto que se evaluará.

La estadística es la disciplina de mayor relevancia para la evaluación sensorial ya que su aplicación es esencial para lograr un adecuado diseño de experimentos, análisis e interpretación de datos sensoriales. (O'Mahony, 1986).

## **I.6.B. El sentido del olfato**

El sentido del olfato es muy importante ya que nos permite percibir el aroma y el olor de los objetos que nos rodean. El órgano mediante el cual funciona este sentido es el sistema nasal, en el cual la nariz es la parte externa y visible. En el interior de la nariz (cavidad nasal) y de la zona facial cercana a la nariz existen regiones cavernosas cubiertas de una mucosa pituitaria, la cual conduce hacia células y terminales nerviosas (bulbo olfatorio) que reconocen los olores y transmiten al cerebro la sensación olfativa. Las sustancias olorosas de los objetos generalmente son volátiles y llegan a las fosas nasales por medio de aire. Dichas sustancias se difunden a través de la membrana mucosa para, finalmente, ponerse en contacto con las terminales nerviosas mencionadas. El cerebro interpreta la señal correspondiente a cada sustancia como un olor. (Anzaldúa, 1994).

**Figura 2.- Estructuras olfativas**



La intensidad es una descripción cuantitativa que indica la fuerza de una nota de aroma, olor o sabor. Puede ser medida con el uso de escalas arbitrarias basadas en el umbral de reconocimiento. (Pedrero, 1989).

La persistencia es cuando la persona sigue percibiendo el olor después de haberse retirado la sustancia olorosa. Esto se debe a que las fosas nasales y la mucosa que recubre el interior de éstas quedan saturadas de la sustancia volátil.

El impacto es la fuerza a la cual se percibe el complejo total de un atributo como sabor, olor o aroma.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

\*Determinar la estabilidad del arroz pulido (*Oryza sativa*) por medio del estudio de la variedad Milagro Filipino.

### **PARTICULARES:**

\* Determinar el nivel de deterioro del arroz blanco pulido regular almacenado bajo distintas condiciones de temperatura y tiempo, por medio de la evaluación sensorial y pruebas fisicoquímicas.

\* Evaluar el efecto de un antioxidante (TBHQ) en arroz almacenado bajo las mismas condiciones.

\* Conocer si existe diferencia significativa entre los tratamientos impartidos al arroz pulido.

## **HIPÓTESIS**

Si las muestras de arroz reciben diferentes tratamientos y son almacenadas bajo distintas condiciones de temperatura y tiempo, entonces existirán diferencias significativas en cuanto a sus características sensoriales y fisicoquímicas.

## CAPÍTULO II

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

Este estudio se realizó con una muestra de un lote de arroz blanco pulido regular Milagro Filipino (Tipo Morelos A-70) de calidad "super extra" y recién pulido para determinar su estabilidad bajo diferentes condiciones de almacenamiento como son: tiempo, temperatura, oxigenación y antioxidante.

#### **II.1.-ANÁLISIS PROXIMAL DEL ARROZ PULIDO**

Se realizó el análisis proximal de la muestra de arroz pulido para determinar su composición química. Este consiste en determinar humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y por diferencia calcular los hidratos de carbono asimilables de la muestra.

Para obtener datos reales, reproducibles y representativos de un análisis se debe utilizar una muestra homogénea, por lo que se molieron 200 g de muestra del lote de arroz blanco pulido regular en molino hasta obtener una harina con la cual posteriormente se llevó a cabo el análisis proximal por triplicado.

Las determinaciones realizadas al arroz pulido fueron las siguientes:

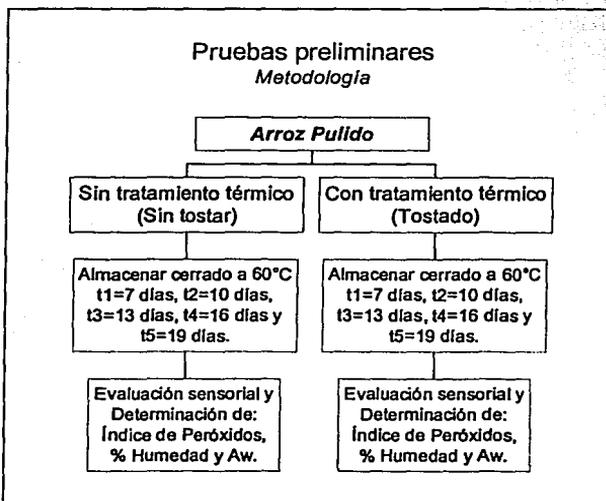
- **Humedad.**- Es muy importante conocer la humedad de la muestra para dar un valor real a la cantidad de sus otros componentes, además de que el contenido de humedad está relacionado con la edad y/o el estado de conservación de la muestra. Se determinó por el método de secado en estufa. (A.O.A.C. 14.004).
- **Cenizas totales.**- Las cenizas incluyen todos los compuestos inorgánicos fijos de la muestra. Se determinó por el método directo. (A.O.A.C. 14.006).
- **Proteína cruda.**- Las proteínas son oxidadas por el ácido sulfúrico; el nitrógeno que se encuentra en forma orgánica se fija como sulfato ácido de amonio. Al hacer reaccionar esta sal con una base fuerte se desprende amoníaco que se destila y se recibe en un volumen conocido de ácido valorado. Por titulación del ácido no neutralizado se calcula la cantidad de amoníaco desprendido y así, la cantidad de nitrógeno de la muestra. El porcentaje de nitrógeno se multiplica por el factor de la muestra y así obtenemos el porcentaje de proteína cruda. (A.O.A.C. 2.057). Suponiendo que las proteínas tienen un contenido invariable de 16% de nitrógeno el factor que resulta de  $100 / 16$  es 6.25. En este caso el factor del arroz es 5.95.
- **Grasa cruda o extracto etéreo.**- Se obtiene por extracción de los lípidos de la muestra con éter etílico. (A.O.A.C. 14.018)
- **Fibra cruda.**- Se obtiene por digestión ácida y alcalina de la muestra. (A.O.A.C. 7.070).

## II.2.- EVALUACIONES PRELIMINARES

### II.2.A. Diseño

Se realizaron pruebas preliminares con el fin de conocer el comportamiento general del arroz blanco pulido regular durante su almacenamiento. (Diagrama 1).

*Diagrama 1.- Metodología de Pruebas Preliminares*



Primeramente se tomó una muestra de 6 Kg. del lote del arroz pulido y se dividió en dos partes iguales. A la primera parte se le dio un tratamiento térmico (tostado), el cual consistió en expandir el arroz en charolas, las cuales se sometieron a 200° C por 5 minutos

en horno, lo cual reproduce condiciones industriales y se dejaron enfriar. A la segunda no se le dio tratamiento alguno.

Posteriormente, se colocaron porciones de 30 g del arroz pulido sin tratamiento en cada frasco de vidrio limpio (se usaron 60 frascos), se taparon y etiquetaron como "Arroz Cerrado". Lo mismo se realizó con el arroz pulido tostado al cual se le denominó "Arroz Cerrado Tostado". Ambos tratamientos se analizaron y almacenaron en estufa a 60° C, durante 5 intervalos distintos, es decir, se almacenaron 12 frascos de cada tratamiento por cada tiempo de almacenamiento (Tabla 4).

*Tabla 4.- Tiempos de almacenamiento del arroz a 60° C*

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>	<b>CANTIDAD DE MUESTRAS (30 g)</b>
<b>ARROZ CERRADO</b>	7	12
	10	12
	13	12
	16	12
	19	12
<b>ARROZ CERRADO TOSTADO</b>	7	12
	10	12
	13	12
	16	12
	19	12

De cada uno de los tratamientos, tostado y sin tostar, se realizaron las siguientes determinaciones al tiempo cero (patrones) y después de almacenado a los tiempos respectivos:

- Contenido de Humedad (%)
- Actividad Acuosa (Aw)
- Índice de Peróxidos
- Evaluación sensorial

El arroz pulido almacenado en estas pruebas preliminares fue utilizado para el entrenamiento de los jueces sensoriales, además se seleccionaron algunas de estas muestras como muestras de referencia para las pruebas de evaluación sensorial.

Las condiciones de tiempo y de temperatura a las que se sometería el arroz pulido al hacer el estudio fueron definidas con base en los resultados de estas pruebas preliminares.

### ***II.2.B.- Determinación de Contenido de Humedad, Aw e Índice de Peróxidos***

Las determinaciones que se realizaron para ambos tratamientos, tostado y sin tostar fueron:

1. **Contenido de Humedad** (A.O.A.C. 14.004).
2. **Actividad Acuosa (Aw)**.- Rotronic a 24.6° C.
3. **Índice de Peróxidos**.- Método oficial de la American Oil Chemists Society, (A.O.A.C. 28.022) determinado a la grasa extraída por el método del extracto etéreo ( A.O.A.C. 14.018).

## ***II.2.C.- Evaluación Sensorial***

Con las muestras obtenidas en el análisis se llevó a cabo un estudio en el que se realizó el entrenamiento de jueces sensoriales a modo de obtener datos confiables y reproducibles.

### **Jueces**

Se convocó a estudiantes de la Facultad de Química de esta Universidad que estuvieran dispuestos a participar como jueces sensoriales en pruebas olfativas. A cada uno de ellos se le entrevistó y se le pidió que llenara un cuestionario donde se le pedían sus datos generales como nombre, edad, sexo y semestre que estaban cursando. También se les solicitaron datos acerca de sus hábitos y estado de salud; se les preguntó si fumaban y con qué frecuencia, su horario de estudios, de alimentos y si padecían alergias, enfermedades que pudieran afectar sus sentidos o alguna intolerancia a algún alimento. Algo muy importante que se deseaba saber era si estaban dispuestos a participar en pruebas olfativas y si les disgustaba algún alimento como para no participar en pruebas olfativas. Con base en este cuestionario se hizo una selección de los participantes tomando como características deseadas en ellos los siguientes puntos:

- Gozar de buena salud, ya que si el juez padece cualquier enfermedad, alergia o pequeño malestar, se altera su capacidad perceptiva.
- No fumar habitualmente.

- Afinidad con el material objeto de la prueba de modo que evalúe las muestras con cuidado y objetividad.

- Interés en participar en la prueba.

- No estar familiarizado con la problemática ya que sus juicios estarían condicionados.

Se reunió a la población seleccionada (24 jueces) para explicar brevemente los fines específicos que se perseguían al realizar las pruebas sensoriales, demostrar la forma en que deberían actuar en las evaluaciones y destacar la importancia de la participación de un juez y, a la vez, la seriedad y concentración requeridas para el buen desarrollo del estudio.

A los participantes se les aplicó la prueba con muestras semejantes a las que se emplearían en la evaluación definitiva y pruebas triangulares en las que se les daban dos muestras iguales y una diferente y había que seleccionar la diferente, esto como métodos de entrenamiento y selección, ya que a la vez se observó el comportamiento de los jueces ante las muestras, los resultados obtenidos y así se pudo determinar qué individuos identificaban diferencias mínimas, es decir, conocer los umbrales de reconocimiento para saber la sensibilidad de los jueces; si eran constantes en su juicio (reproducibilidad) y si demostraban facilidad para asociar su percepción de sustancias o compuestos con nombres o vocablos de ingredientes o productos. De esta manera se seleccionaron como jueces a los participantes con mayor porcentaje de respuestas correctas y se eliminaron los individuos que acertaron a menos del 60% de las respuestas.

De los jueces se seleccionaron 12 para formar el panel completo de entrenamiento, los demás formaron parte del grupo de reserva, para que en caso de que uno de los jueces estuviera incapacitado para realizar la evaluación se contara con jueces sustitutos capacitados.

### **Condiciones del área de evaluación**

El individuo por naturaleza integra la información de su medio circundante para apreciar su realidad. Por lo mismo, para que el juez no desvíe su atención de las muestras, es necesario controlar todo tipo de variables que puedan influir o sesgar su sensibilidad y así llevar a cabo una evaluación sensorial confiable.

Las condiciones del área física donde se lleva a cabo la evaluación sensorial son de suma importancia para mantener bien dispuesta y a toda su capacidad la sensibilidad del juez. Las medidas que se tomaron para estas evaluaciones fueron las siguientes:

- a) El área de preparación de las muestras estuvo independiente del área de evaluación, de modo que los jueces no tuvieran más información de la necesaria para realizar la evaluación y así reducir cualquier influencia que ocasionara sesgo.
- b) Se procuró un ambiente confortable, privado, limpio, bien iluminado, evitando ruidos, olores, interrupciones y distracciones en el área de evaluación para lograr constancia y concentración en las evaluaciones.

c) Las paredes y superficies para efectuar las prueba fueron de color neutro, a modo de no influenciar al juez.

d) Durante las evaluaciones se mantuvo independecia entre los jueces con el uso de mamparas, a modo de que sus juicios fueran individuales y no se vieran influidos por comentarios, gestos o reacciones de los demás.

### **Condiciones y horarios de evaluación**

Para llevar a cabo las evaluaciones se les solicitó a los jueces:

No usar perfumes, lociones y cosméticos al evaluar las muestras, ya que ello puede alterar la percepción, así como, no fumar, mascar chicle o tomar alimentos o bebidas con sabor por lo menos una hora antes de las evaluaciones. Tampoco se les permitió participar en una evaluación si se encontraban enfermos.

Las evaluaciones se realizaron entre las 10 y 13 hrs. y de 15-17 hrs., es decir, una hora después de haber ingerido alimentos o antes de que apareciera la sensación de hambre. Esto debido a que las evaluaciones implicaron varias sesiones. El horario se adaptó a las costumbres y actividades de cada juez, cuidando que éstas se realizaran en el mismo horario.

## **Métodos sensoriales**

Para el estudio se utilizó la Prueba de Intervalos (Category Scaling Test) de escala estructurada, la cual es una prueba cuantitativa, de gradiente (Scaling), con el objetivo de calificar, de acuerdo con una escala predeterminada, la percepción de la intensidad de una característica sensorial específica, en este caso el olor rancio. La escala de intervalos permite comprender la cantidad o la intensidad de la diferencia entre varias muestras. Se utilizó una escala estructurada donde se definió cada punto, en la que 1 equivale a no rancio y 10 a extremadamente rancio.

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron muestras de referencia tomadas de las pruebas preliminares, permitiendo así tener la escala referida a una muestra física y no a una idea o apreciación personal subjetiva. Las referencias que se usaron fueron de los extremos y un término medio de la escala antes mencionada, para ubicar al juez dentro de ella.

## **Procedimiento de Percepción de Olores (Olfacción)**

Para lograr que la evaluación fuera más efectiva se hicieron inhalaciones cortas y repetidas, ya que las largas y profundas podían causar fatiga debido a la sobreestimulación.

Cada panelista olió el mismo número de veces, es decir, tres series de tres inhalaciones cortas, descansando entre cada serie.

Como el arroz es un alimento sólido, la muestra se debía agitar antes de oler con el fin de exponer la mayor parte de superficie.

### **Manejo y presentación de muestras**

Todas las muestras se prepararon de la misma forma, según el tratamiento correspondiente, a modo de mantener la uniformidad y así evitar incluir otras variables.

La cantidad de muestra que se dio a cada juez fue de 30 g, suficiente para que percibiera libremente el olor.

Los recipientes fueron de plástico y vidrio, materiales inertes que no imparten olores extraños a la muestra o al juez y su manejo se realizó sobre charolas lisas, sin dibujos, para evitar distracción. Algunas pruebas se realizaron en recipientes de plástico negro a modo de enmascarar el color de algunas muestras de arroz más amarillentas que podrían inducir al juez a calificar más alto el olor rancio.

Cada muestra se codificó con una clave de tres dígitos tomados al azar de una tabla de números aleatorios (Ver Anexo III) y cada clave fue diferente para cada muestra del estudio, de manera que la respuesta del juez no se viera sesgada o influida por dicho código o por relacionarlo con un estímulo en especial.

Con el mismo objeto de evitar influencias en los jueces, las muestras de arroz siempre se presentaron a temperatura ambiente.

## Cuestionario / Hoja de respuestas

La hoja de respuestas es el conducto por medio del cual el juez recibe instrucciones de lo que debe ejecutar y apreciar, para identificarlo y finalmente expresa sus impresiones sensoriales. Es muy importante el contenido de esta hoja ya que de ella depende la obtención de la información que se requiere. (Cuadro 5)

### *Cuadro 5.- Cuestionario / Hoja de respuestas*

CUESTIONARIO: ESCALA DE INTENSIDAD									
NOMBRE _____		FECHA _____				SERIE _____			
INSTRUCCIONES: Con la escala de intensidad que se te presenta y siguiendo el orden de las muestras presentadas, registra tu percepción de intensidad de olor rancio de esta serie de muestras.									
ESCALA DE INTENSIDAD:	NINGUNA 1	LIGERO 2 3 4			MODERADO 5 6 7			FUERTE 8 9 10	
NÚMERO DE MUESTRA					CALIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD				
_____					_____				
_____					_____				
_____					_____				

Toda la información obtenida de cada juez se fue anotando en una hoja de vaciado de datos de manera que estuviera debidamente ordenada y fuera manejable para darle adecuado seguimiento para su posterior análisis estadístico.

### **II.3.-ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DEL ARROZ PULIDO**

Como se había indicado anteriormente, la evaluación preliminar fue un ensayo del estudio, la cual se llevó a cabo con muestras de arroz pulido sin tratamiento y de arroz pulido tostado almacenadas cerradas en estufa a una sola temperatura (60° C) por 19 días y tomando muestras a intervalos regulares, con el fin de conocer el comportamiento del arroz pulido sometido a condiciones extremas por un periodo corto (vida de anaquel acelerada), determinar las referencias y hacer uso de las muestras almacenadas para entrenar a los jueces que participaron en el presente estudio.

Las referencias o patrones se mantuvieron a bajas temperaturas para conservarlas al nivel de olor rancio requerido y evitar sesgar los resultados de las pruebas sensoriales.

En este estudio se utilizaron los mismos métodos de la evaluación preliminar, con la variante de que en éste se realizó un diseño 5 x 5, es decir, se analizaron muestras de arroz con 5 diferentes tratamientos, almacenadas a 5 temperaturas diferentes y durante 5 intervalos de tiempo.

### II.3.A. DISEÑO 5 x 5

Se tomaron 40 Kg. de la muestra de arroz blanco pulido regular y se dividió en dos partes, una de 24 Kg. y otra de 16 Kg. La muestra de 24 Kg. se tostó según la metodología descrita en la evaluación preliminar, se dejó enfriar y se denominó "Arroz tostado". Posteriormente se dividió el "Arroz Tostado" en tres partes iguales (8 Kg. cada una); a una de ellas se le agregó 0.05% de TBHQ (Terbutilhidroquinona) en solución, se homogeneizó y se etiquetó como "Arroz tostado con TBHQ" y las dos partes restantes se etiquetaron como "Arroz Tostado". A la muestra de 16 Kg no se le dio ningún tratamiento, por lo que se etiquetó como "Arroz sin tostar".

Después de preparar y etiquetar las muestras se tenían los siguientes lotes:

- Sin Tostar.
- Tostado.
- Tostado + Antioxidante (TBHQ).

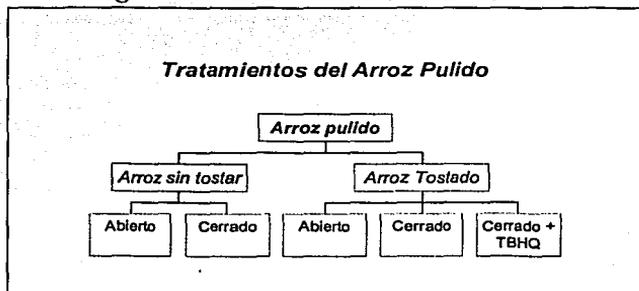
De cada uno de los lotes anteriores, se tomaron muestras y se mantuvieron a temperatura de congelación durante el tiempo de las pruebas para funcionar como referencias o patrones de tiempo = 0 de cada tratamiento.

Para conocer el efecto del oxígeno en el deterioro del arroz pulido, procedimos a almacenar las muestras de los lotes tanto abiertas como cerradas, de manera que se

almacenaron para su posterior análisis, los siguientes cinco tratamientos del arroz pulido (Diagrama 2):

- Abierto sin tostar (A)
- Abierto tostado (AT)
- Cerrado sin tostar (C)
- Cerrado tostado (CT)
- Cerrado tostado con antioxidante (CTA)

**Diagrama 2.- Tratamientos del Arroz Pulido**



Posteriormente se colocaron 30 g del arroz pulido de cada tratamiento en recipientes de vidrio limpios libres de olores, los tratamientos “cerrados” se taparon, mientras que los “abiertos” no, para permitir la oxigenación del arroz. Los recipientes de cada tratamiento se etiquetaron con el nombre distintivo de cada cual y se almacenaron en estufa a las cinco temperaturas siguientes:

- Temperatura ambiente
- 30° C
- 37° C
- 50° C
- 60° C

De cada tratamiento almacenado a dichas temperaturas se tomó una muestra cada día (un recipiente distinto del mismo lote), desde el día "cero" hasta el día ocho con el fin de conocer, analizar y dar seguimiento a los efectos sensoriales, físicos y químicos iniciales de cada tratamiento en el arroz pulido durante el almacenamiento.

A partir del décimo día se tomó la muestra cada 10 días durante 50 días, es decir, se tomó muestra de cada tratamiento / temperatura los días 10, 20, 30, 40 y 50 para analizar las condiciones de cada tratamiento dado al arroz pulido bajo diversas condiciones de almacenamiento. (Tabla 5).

Las evaluaciones que se realizaron a cada uno de los tratamientos almacenados bajo condiciones de temperatura de 30°C con el fin de conocer el comportamiento y la estabilidad del arroz a la temperatura promedio de almacenamiento común fueron:

- Contenido de Humedad
- Actividad acuosa (Aw)
- Contenido de Grasa cruda

- Índice de peróxidos
- Evaluación sensorial

**Tabla 5.- Tratamientos del Arroz Pulido para cada temperatura**

<b>NÚMERO DE TRATAMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>TIEMPO (DÍAS) DE ALMACENAMIENTO</b>
1	ABIERTO SIN TOSTAR	1-10 20 30 40 50
2	ABIERTO TOSTADO	1-10 20 30 40 50
3	CERRADO SIN TOSTAR	1-10 20 30 40 50
4	CERRADO TOSTADO	1-10 20 30 40 50
5	CERRADO TOSTADO CON TBHQ	1-10 20 30 40 50

Para las temperaturas ambiente y 50° C se realizaron las determinaciones de Contenido de Humedad y Actividad Acuosa, a modo de ver las diferencias de la calidad del grano almacenado a temperatura ambiente y una temperatura elevada (50° C) y su relación

con el contenido de agua de éste. Así también se realizaron evaluaciones sensoriales del grano, es decir, las evaluaciones olfativas de intensidad de rancidez anteriormente descritas en la evaluación preliminar y evaluaciones de preguntas abiertas tipo consumidor de apariencia y textura, antes y después de cocinar.

### **Contenido de Humedad, Actividad Acuosa, Grasa Cruda e Índice de Peróxidos**

De cada condición de tratamiento / tiempo almacenadas a 30° C se tomó una muestra que fue molida y dividida en dos partes. Una de estas partes se utilizó para realizar las determinaciones de Contenido de humedad y Actividad acuosa de las muestras. La otra, se utilizó para extraer su grasa con éter etílico y así llevar a cabo la determinación del Índice de peróxidos sobre la grasa extraída.

**Contenido de Humedad.-** Se determinó por el método de secado en estufa. (A.O.A.C. 14.004).

**Actividad acuosa (Aw)-** Esta se determinó con un Rotronic a 24.6° C.

**Grasa Cruda.-** Determinada por el método de extracción de grasa del extracto etéreo que se lleva a cabo con éter etílico (A.O.A.C. 14.018).

**Índice de Peróxidos.-** Realizado por el método oficial de la American Oil Chemists Society. (A.O.A.C. 28.022) con el aceite extraído de la harina de arroz pulido de las muestras almacenadas.

### **II.3.B.- Evaluación Sensorial- Termodegradación Sensorial (TDS)**

Los métodos y condiciones de las evaluaciones sensoriales para este estudio fueron los mismos aplicados y detallados en las pruebas preliminares.

Las evaluaciones se llevaron a cabo en un ambiente y condiciones adecuadas, manteniendo la disciplina de horario y condiciones de los jueces.

Se contó con doce jueces sensoriales que evaluaron las muestras mediante una prueba de intervalos de escala estructurada, con el objeto de calificar su percepción de la intensidad de rancidez relativa mediante la olfacción. Para este fin se utilizó un cuestionario que tenía espacios para identificar la serie a evaluar, los datos del juez, los códigos y la escala de intensidad de las muestras a evaluar. La escala fue de 10 puntos, donde 1, el mínimo, era equivalente a "no rancio" y 10, el máximo, era igual a "extremadamente rancio". (Cuadro 6)

Se dieron 3 muestras como referencias: una muestra del tiempo cero, es decir, con valor de 1 en la escala de rancidez, una muestra con valor de 6 (nivel medio) y otra con valor de 10, que significa "extremadamente rancio".

Algunas pruebas se realizaron en recipientes de plástico negro a modo de enmascarar el color de algunas muestras de arroz más amarillentas que podrían inducir al

juez a calificar más alto el olor a rancidez. Los recipientes se codificaron con claves diferentes para cada muestra y se manejaron sobre charolas lisas.

**Cuadro 6.-Cuestionario para las Evaluaciones Sensoriales Olfativas**

**CUESTIONARIO: ESCALA DE INTENSIDAD**

NOMBRE \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_ SERIE \_\_\_\_\_

INSTRUCCIONES: Con la escala de intensidad que se te presenta y siguiendo el orden de las muestras presentadas, registra tu percepción de intensidad de olor rancio de esta serie de muestras.

ESCALA DE INTENSIDAD:            NINGUNA            LIGERO            MODERADO            FUERTE  
   1                            2 3 4                            5 6 7                            8 9 10

NÚMERO DE MUESTRA

CALIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Las muestras y referencias de arroz siempre se presentaron a temperatura ambiente para evitar influenciar al juez.

Antes de evaluar las muestras los jueces olieron las referencias, a modo de situarse en la escala y evitar así la apreciación subjetiva. Las referencias también se pudieron

inhalar aún cuando se estuviera evaluando una muestra a manera de comparación. Las muestras presentadas se evaluaron de izquierda a derecha.

El procedimiento de evaluación de muestras y referencias mediante la olfacción fue el siguiente:

#### **Muestras “cerradas”**

- Abrir el recipiente.
- Hacer tres inhalaciones cortas de la muestra al momento de abrir y luego descansar.
- Agitar la muestra y hacer otra serie de tres inhalaciones cortas y seguidas. Descansar.
- Agitar la muestra y hacer otra serie de tres inhalaciones cortas y seguidas. Descansar.

#### **Muestras “abiertas”**

Se agita la muestra y se hacen tres series de tres inhalaciones cortas y seguidas, descansando entre cada serie.

Al nivel de rancidez relativa percibida en este estudio sensorial se le llamará Termodegradación Sensorial Relativa (TDS).

Al finalizar el estudio sensorial olfativo se llevaron a cabo las evaluaciones de preguntas abiertas tipo consumidor de apariencia y textura, antes y después de cocinar, con la ayuda del mismo panel de jueces semientrenados.

Se cocinaron las muestras sin almacenar y almacenadas a temperatura ambiente, 30°C y 50° C y se presentaron a los jueces con un cuestionario de preguntas abiertas (Cuadro 7).

*Cuadro 7.- Cuestionario de Apariencia y Textura*

**QUESTIONARIO DE APARIENCIA Y TEXTURA DEL ARROZ**

NOMBRE \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_ SERIE \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:** Por favor, evalúa las muestras siguiendo el orden de presentación (de izquierda a derecha) y contesta las preguntas según tu percepción.

1.- ¿Encuentras diferencia de textura y apariencia entre las muestras?

SÍ

NO

¿Por qué?

2.- ¿Qué características o atributos identificas en las muestras?

Muestra 375 \_\_\_\_\_

Muestra 846 \_\_\_\_\_

¡Gracias por tu participación!

### II.3.C. TERMOGENERACIÓN DE RANCIDEZ. VALORES D Y Z

De acuerdo a lo anteriormente dicho, el arroz después de su proceso de pulido es almacenado durante periodos variables bajo determinadas condiciones de temperatura, humedad y oxigenación, y en algunos casos ha presentado cierto deterioro que se manifiesta en forma de olores indeseables percibidos principalmente al abrir los empaques de este producto, notándose como olor rancio.

Tomando en cuenta que la rancidez es el mecanismo de deterioro de las grasas, que se caracteriza por la formación de compuestos volátiles de bajo peso molecular, responsables de olores y sabores indeseables, y considerando que el arroz pulido a pesar de ser un producto bajo en grasa presenta una cierta cantidad de ácidos grasos insaturados, de naturaleza inestable que al someterse a luz, calor o radiaciones a los que puede estar expuesto antes, durante o después de su proceso de pulido, puede generar radicales libres, los que a su vez combinados con el oxígeno proveniente del medio ambiente puede generar peróxidos que al romperse pueden generar aldehídos y cetonas, compuestos responsables de estos olores tan característicos de la rancidez.

La cinética es el estudio de la velocidad a la que tienen lugar las reacciones químicas. Uno de los objetivos principales de estudiar la velocidad de las reacciones es conocer un mecanismo de reacción, es decir, una descripción detallada de los diversos pasos de un proceso de reacción y la secuencia en que tienen lugar. La velocidad de una reacción y la forma en que cambia esta velocidad en respuesta a diferentes condiciones,

están íntimamente ligadas a la ruta seguida por la reacción y es, por consiguiente, indicativa de su mecanismo de reacción.

La termogeneración de rancidez es el resultado de una serie de reacciones químicas que se originan principalmente por el sometimiento del arroz pulido a determinadas condiciones de temperatura y oxigenación. Esta termogeneración de rancidez es una reacción de primer orden o unimolecular, por lo que postula la interacción de la concentración de rancidez ( $C / C_0$ ) respecto al tiempo de reacción, donde la pendiente de cada temperatura representa la constante  $K$  de formación de rancidez a esa temperatura. De este modo podemos cuantificar  $K$  a una temperatura constante, es decir, podemos saber qué concentración de rancidez se genera a esa temperatura tomando en cuenta el tiempo de reacción.

Las constantes de primer orden ( $K$ ) están relacionadas directamente con la ecuación de Arrhenius, con la cual se puede predecir la energía de activación ( $E_a$ ) necesaria para la formación de rancidez, considerando que la temperatura está expresada en grados Celsius o Centígrados y  $A$  es un factor de frecuencia.

$$K = A e^{-E_a/RT}$$

Por todo esto, se utilizaron los valores determinados por cada uno de los jueces sensoriales con respecto a su percepción del olor rancio de las muestras que les fueron presentadas.

Estos datos de generación de rancidez se promediaron para tener una tendencia de los jueces, se graficaron sacando el logaritmo de la media de percepción de rancidez y de este modo se graficó el logaritmo de rancidez relativa de cada uno de los tratamientos contra el tiempo de almacenamiento con respecto a una temperatura determinada. Como fueron 5 diferentes temperaturas a las que fue sometido el arroz pulido en este estudio, se realizaron cinco gráficas, una por cada temperatura de almacenamiento (ambiente, 30° C, 37° C, 50° C y 60° C) en las cuales se presentaron los cinco diferentes tratamientos (Abierto sin tostar, Abierto Tostado, Cerrado sin tostar, Cerrado Tostado y Cerrado Tostado con Antioxidante).

Los datos obtenidos fueron tratados con regresión lineal para obtener constantes de primer orden y los valores de incremento decimal de rancidez, es decir, los valores D y Z, los cuales establecen y describen la curva de tiempo de generación de rancidez y son una medida cuantitativa de la resistencia al calor de los granos de arroz sobre un rango de temperaturas.

*Valor D*- Es el tiempo necesario para generar el olor rancio debido al deterioro de lípidos a una temperatura determinada.

*Valor Z*- Es el intervalo de temperatura que se requiere para aumentar o reducir 10 veces el tiempo de generación de rancidez relativa, es decir, para que la curva de termogeneración atravesase un ciclo logarítmico. Es una medida del efecto de la temperatura

en la velocidad de reacción que al incrementarse indica una menor dependencia. Este valor se comporta similarmente al valor de termo-destrucción de microorganismos, pero en este caso se utiliza como inverso ya que se trata de la formación de un compuesto.

De este modo se pudo determinar cuál fue el deterioro de la calidad del producto con respecto al tiempo y a la temperatura.

Estos datos, junto con los datos fisicoquímicos obtenidos en el análisis proximal y en el estudio, se analizarán para obtener valiosa información acerca de la estabilidad del arroz pulido.

#### **II.3.D. ESTADÍSTICA- ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)**

Las pruebas de gradiente generan datos cuantitativos que se deben evaluar estadísticamente, y el método con el que se analizaron todos los datos fue el Análisis de Varianza.

El Análisis de Varianza (ANOVA) es una técnica estadística que se basa en el principio de *t* de Student, y permite estudiar si existe diferencia significativa entre la media de las calificaciones asignadas a más de dos muestras. Esta técnica de análisis puede desarrollarse para explicar, en diversos niveles, el comportamiento de los datos propios de un experimento.

En este caso el objetivo de este estudio estadístico es conocer si hay diferencia significativa entre tratamientos, si la hay entre los jueces, así como si la hay entre las muestras. Por lo que planteamos las hipótesis (Nula y alternativa):

Ho= No hay diferencia entre los tratamientos dados/ jueces.

Ha= Existe diferencia entre los tratamientos dados /jueces.

El nivel de significancia estadística, es decir, el nivel de error tolerable usado fue de 5%.

Una vez que se determinó que existe diferencia entre los tratamientos, es necesario evaluar entre sí cuáles son diferentes mediante la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), calculando un factor equivalente a la distancia mínima permisible que una muestra puede alejarse de otra, con la siguiente fórmula:

$$DMS = t \sqrt{\frac{2cme}{n}}$$

donde :

t= Valor t de Student al 5% para dos colas, a los grados de libertad del error

Cme= Valor del Cuadrado Medio del error

n= Total de juicios efectuados por muestra

## **CAPÍTULO III**

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo fueron integrados los resultados de los análisis fisicoquímicos, sensoriales y estadísticos descritos en el capítulo anterior.

#### *III.1. Análisis proximal*

El promedio de las determinaciones por triplicado de las condiciones iniciales del grano de arroz blanco pulido regular variedad Milagro Filipino recién pulido usado para realizar la evaluación preliminar y el estudio 5x5 son las siguientes:

**Tabla 6.- Tabla de composición del arroz pulido**

(g / 100 g base húmeda)

<b><i>Determinación</i></b>	<b><i>%</i></b>
Contenido de Humedad (%)	11.2±
Cenizas totales	0.5±
Proteína cruda	6.5±
Grasa cruda	0.45±
Fibra cruda	0.28±
Hidratos de Carbono	81.07±

#### *III.2. Evaluación preliminar*

Con el fin de evaluar el comportamiento del arroz blanco pulido regular durante su proceso de almacenamiento a diferentes condiciones y de este modo determinar su

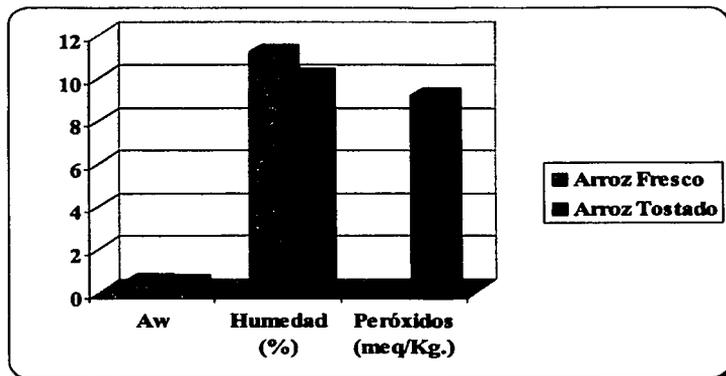
estabilidad, se llevaron a cabo determinaciones de Índice de Peróxidos, Contenido de Humedad y Actividad acuosa del arroz a tiempo cero, es decir, los patrones a utilizar. De estas determinaciones se obtuvieron la Tabla 7 y la Gráfica 1:

**Tabla 7.- Análisis Fisicoquímicos de patrones del Arroz Pulido (tiempo= 0)**

Tratamiento	Actividad Acuosa (Aw)	Contenido de Humedad (%)	Índice de Peróxidos (meq / Kg.)
Arroz Fresco	0.53	11.2	0
Arroz Tostado	0.45	10.1	9.2

La gráfica comparativa entre estos dos tratamientos es la siguiente:

**Gráfica 1.- Análisis Fisicoquímicos de los Patrones de Arroz a tiempo cero**



Con el fin de conocer el comportamiento del arroz blanco pulido regular tostado y sin tostar durante su almacenamiento a 60° C durante 19 días, se realizaron las pruebas sensoriales de percepción de rancidez así como también las determinaciones de Índice de Peróxidos, Contenido de Humedad y Actividad Acuosa.

La evaluación sensorial se llevó a cabo con 12 jueces semientrenados. Los 12 resultados arrojados de cada tratamiento fueron promediados con el fin de tener un resultado más representativo, obteniendo así la siguiente tabla:

**Tabla 8.- Media de la Rancidez Relativa Percibida ( 60° C )**

Tiempo (Días)	Tratamiento	
	Cerrado	Cerrado Tostado
0	1	1
7	3.6	5.2
10	4.9	6.7
13	5.7	7.6
16	7.1	8.4
19	8.5	10

La tabla de tratamientos anterior, trata de evaluar la magnitud del efecto del tiempo en la estabilidad del arroz, la cual se complementará con el estudio sensorial de percepción de rancidez relativa.

Se aprecia que cuanto más tiempo se somete el arroz a cualquiera de los dos tratamientos, mayor es la percepción de rancidez relativa, siendo más acentuada en el Arroz Cerrado Tostado.

En este caso las condiciones de tiempo y temperatura a la que se sometió el arroz fueron extremas, por lo que la generación de rancidez fue muy rápida y fácilmente perceptible.

La tabla obtenida de las determinaciones fisicoquímicas realizadas fue la siguiente:

*Tabla 9.- Análisis Fisicoquímicos de muestras de Arroz Pulido a 60° C*

<b>Tratamiento</b>	<b>Tiempo (días)</b>	<b>Índice de Peróxidos</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>	<b>Actividad Acuosa</b>
<b>Arroz Cerrado</b>	7	7.6	9.9	0.43
	10	8.8	9.0	0.39
	13	10.5	8.3	0.37
	16	12.7	7.4	0.36
	19	14.8	6.7	0.35
<b>Arroz Cerrado Tostado</b>	7	10.4	9.0	0.36
	10	13	8.3	0.33
	13	16.4	7.6	0.32
	16	18.4	6.8	0.29
	19	19.7	5.8	0.27

Es notorio que al almacenar el arroz a 60° C el índice de peróxidos en el arroz cerrado y cerrado tostado aumenta conforme aumenta el tiempo de almacenamiento,

observando que el arroz tostado tiene un mayor contenido de peróxidos que el que no lo está, debido al tratamiento térmico del tostado.

También se observa que el contenido de humedad disminuye notoriamente entre más tiempo se someta el arroz a la temperatura, esto es porque parte del agua del grano necesaria para mantener su consistencia y características se ha evaporado. La pérdida de humedad en el grano favorece la generación de peróxidos, ya que el agua ligada protege la consistencia y estructura del grano, y viéndose disminuida deja de ser una barrera a las reacciones fisicoquímicas. En el caso de la actividad acuosa, es decir, el agua disponible, ésta también disminuye pero ligeramente, lo que puede deberse a las condiciones ambientales de humedad.

Estos resultados sensoriales y fisicoquímicos demuestran que los tratamientos térmicos provocan el deterioro del arroz y que este deterioro se incrementa con el tiempo de exposición.

Las determinaciones fisicoquímicas preliminares (gráfica 1) hacen ver que existe una gran diferencia en las condiciones del arroz sin tostar y tostado, lo cual demuestra que el arroz tostado se deteriora más fácilmente debido a que el tratamiento térmico impartido al inicio para darle la característica de tostado, hace que los ácidos grasos insaturados de la grasa cruda del arroz pulido generen mayor cantidad de peróxidos, los cuales al romperse generan compuestos carbonílicos volátiles (aldehídos y cetonas) que imparten los olores característicos de la rancidez.

### ***III.3. Estudio***

Se realizó un estudio similar al llevado a cabo en las pruebas preliminares, pero almacenando cinco diferentes tratamientos de arroz pulido a cinco diferentes temperaturas, con el fin de profundizar más en el conocimiento de la estabilidad del arroz pulido mediante su comportamiento bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

#### ***III.3.A. Tablas de Termogeneración de Rancidez***

La termogeneración de rancidez es el resultado de una serie de reacciones químicas que se iniciaron principalmente al someter el arroz pulido a determinadas condiciones de temperatura, tiempo y oxigenación. Es una reacción de primer orden o unimolecular, ya que se está generando una concentración de rancidez con respecto al tiempo de reacción en ciertas condiciones de temperatura. En el estudio, la pendiente de los tratamientos representa la constante  $K$  de formación de rancidez a esa temperatura de almacenamiento, de este modo podemos cuantificar  $K$  (formación de rancidez) a una temperatura constante, de acuerdo al tiempo de reacción.

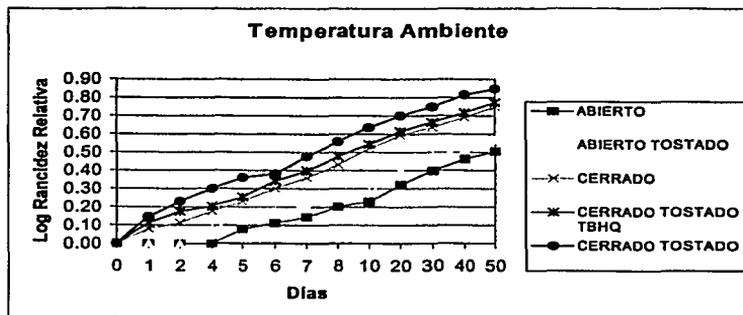
Promediando los valores determinados por cada uno de los jueces sensoriales con respecto a su percepción de generación de rancidez de las muestras almacenadas a diferentes temperaturas y tiempos, se logró tener la tendencia de los jueces. Posteriormente se graficó el logaritmo de la media, es decir, el logaritmo de rancidez relativa de cada uno de los tratamientos a los que fue sometido el arroz contra el tiempo de almacenamiento con respecto a una temperatura determinada.

Los datos obtenidos se trataron con regresión lineal para obtener constantes de primer orden, los valores D y Z.

El valor D obtenido, representa el tiempo necesario para generar olor rancio debido al deterioro de lípidos a una temperatura determinada y el valor Z es el intervalo de temperatura que se requiere para aumentar o reducir 10 veces el tiempo de generación de rancidez relativa, es decir, representa el efecto de la temperatura en la velocidad de reacción que al incrementarse indica menor dependencia.

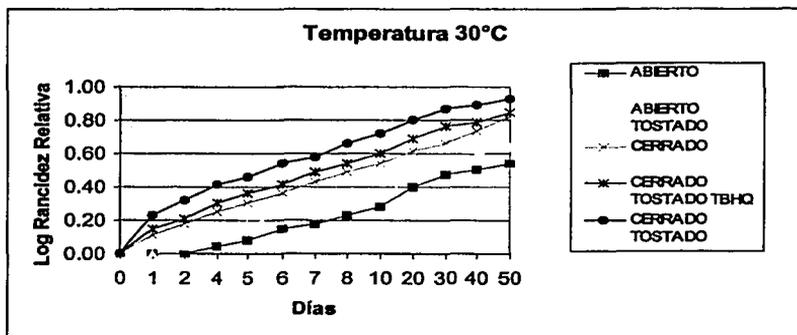
Las gráficas de termogeneración de rancidez obtenidas de las pruebas olfativas de percepción de rancidez para cada una de las temperaturas a las que fue sometido el arroz pulido son las siguientes:

**Gráfica 2.- Valores D- Temperatura Ambiente**



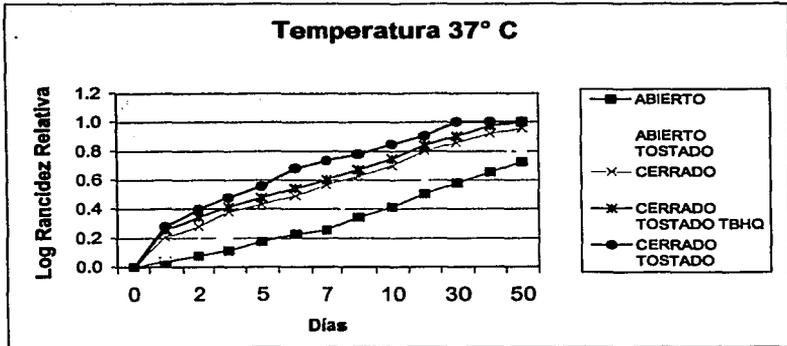
A temperatura ambiente se observa que la percepción de rancidez es mayor en el Cerrado Tostado, que la diferencia entre el Cerrado y Cerrado Tostado con TBHQ es mínima, así como entre los tratamientos abiertos. El valor D del Cerrado Tostado es mayor que los demás, lo que indica que el Tratamiento Cerrado Tostado a temperatura ambiente requiere menos tiempo para generar rancidez que los demás tratamientos, aunque es perceptible, no es un efecto acentuado.

**Gráfica 3.- Valores D - 30°C**



A esta temperatura se aprecia que la tendencia continúa siendo la misma que a temperatura ambiente, sólo que el efecto de generación de rancidez es más marcado y se diferencian más los tratamientos. El tratamiento Cerrado Tostado sigue necesitando menos tiempo para generar rancidez que los demás tratamientos, es decir, la reacción es más rápida.

**Gráfica 4.- Valores D - 37°C**



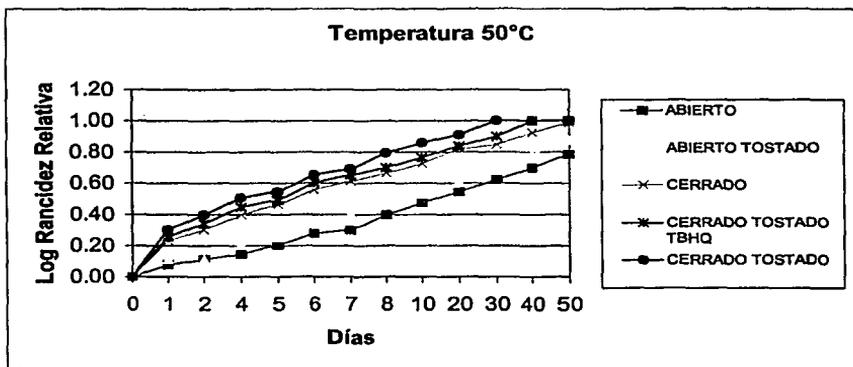
A 37° C se observan pocos cambios en la tendencia, empieza a diferenciarse más el Abierto Tostado del Abierto sin tostar. En todos los tratamientos aumenta el log de D, disminuye su pendiente, lo cual significa que se necesita menos tiempo para generar rancidez que a temperatura ambiente o 30° C. El tratamiento Cerrado Tostado ha llegado al límite máximo de rancidez (10= extremadamente rancio) desde los 30 días.

Los tratamientos Cerrado Tostado con TBHQ y Cerrado sin Tostar se comportan muy similarmente.

En el caso del almacenamiento a 50° C, se observa que a los 10 días todos los tratamientos sobrepasan el nivel medio y la generación de rancidez se acelera, aunque la tendencia general de cada tratamiento se mantiene, excepto en el Cerrado Tostado con TBHQ el cual llegó a sus límites máximos aceleradamente, cambiando su tendencia. Esto se debe a que a esta temperatura la TBHQ ya no es efectiva, se deteriora y ya no protege de

la formación de peróxidos. Además, se observó el desarrollo de color rosáceo en el grano de arroz almacenado por más de 30 días, por lo que no es recomendable almacenar el producto a esta temperatura usando TBHQ. La textura y consistencia del grano de arroz se ve muy afectada por la pérdida de humedad.

**Gráfica 5.- Valores D.- 50°C**

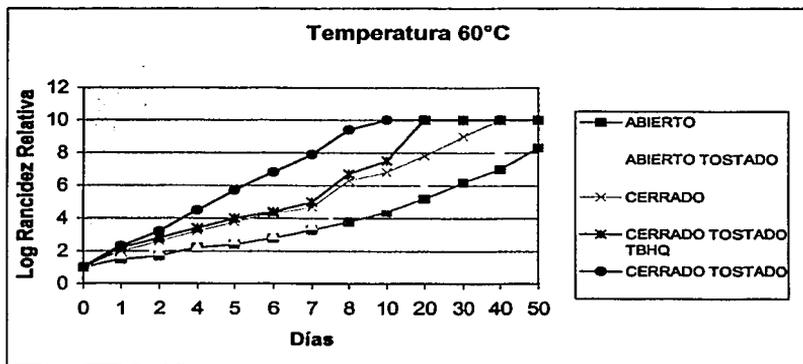


A 60° C, todos los tratamientos excepto el Abierto sin Tostar llegaron a sus niveles máximos. El Cerrado Tostado desde los 8 días llegó a niveles muy altos de generación de rancidez, es decir, se generó en menos tiempo debido a la elevada temperatura y al tratamiento térmico impartido al arroz desde el inicio del estudio.

Cabe mencionar que en la evaluación de los tratamientos almacenados cerrados, se presenta mayor impacto de rancidez debido a los volátiles concentrados, pero esto se estabiliza en las inhalaciones siguientes.

A esta temperatura no es recomendable almacenar el arroz debido a que la generación de rancidez es muy rápida y la adición de un antioxidante no es muy útil debido a que no es efectivo a temperaturas elevadas. Además, la textura y consistencia del grano se ven muy deteriorados por la pérdida de humedad y la exposición a temperaturas tan elevadas, ya que al momento de prepararlo se apelmaza y muestra una consistencia gomosa, adhesiva y cambia su forma completamente.

**Gráfica 6.- Valores D.- 60°C**



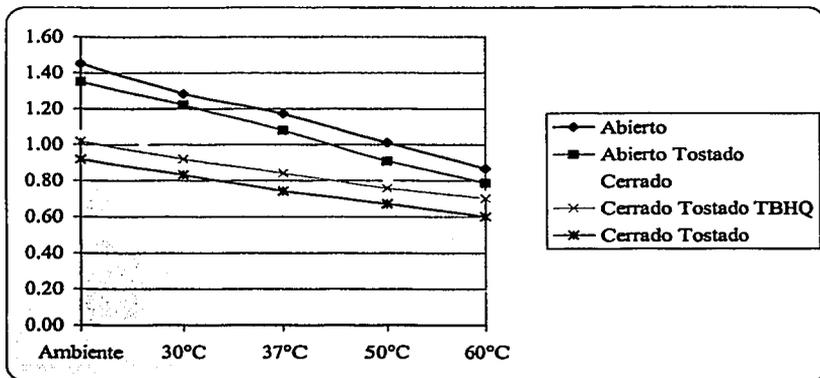
Para determinar el valor Z, se promediaron los valores de cada tratamiento por cada temperatura y se grafico el logaritmo de éstos contra las temperaturas a las que fueron

sometidos para evaluar la dependencia de la temperatura en la velocidad de reacción de generación de rancidez para cada tratamiento. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 10.- Valores Z**

Tratamientos	Log Dm Tratamientos				
	Ambiente	30°C	37°C	50°C	60°C
Abierto	1.45	1.28	1.17	1.01	0.87
Abierto Tostado	1.35	1.22	1.08	0.91	0.79
Cerrado	1.06	0.96	0.89	0.80	0.72
Cerrado Tostado TBHQ	1.02	0.92	0.84	0.76	0.70
Cerrado Tostado	0.92	0.83	0.74	0.67	0.60

**Gráfica 7.- Valores Z**



En la gráfica de Z se observa claramente que el tratamiento que tiene menor dependencia a la temperatura es el Abierto sin Tostar, mientras que el más dependiente y por lo tanto, al que hace más efecto la temperatura para la generación de rancidez es el Cerrado Tostado. Esta gráfica muestra el deterioro de la calidad del producto con respecto al tiempo y a la temperatura.

### III.3.B. Tablas y gráficas de Determinaciones Fisicoquímicas del Estudio

**Tabla 11.- Determinaciones de Actividad Acuosa y Contenido de Humedad**  
**Temperatura Ambiente**

Tiempo	Tratamiento – Aw				
	Abierto	Abierto Tostado	Cerrado	Cerrado Tostado	Cerrado Tostado TBHQ
10 días	0.439	0.432	0.475	0.323	0.348
20 días	0.437	0.415	0.441	0.283	0.32
30 días	0.428	0.418	0.447	0.314	0.309
40 días	0.424	0.404	0.451	0.289	0.308
50 días	0.445	0.404	0.46	0.303	0.323

Tiempo	Tratamiento – % Humedad				
	Abierto	Abierto Tostado	Cerrado	Cerrado Tostado	Cerrado Tostado TBHQ
10 días	10.9	9.7	11.1	9.9	10.0
20 días	10.6	9.6	10.9	9.2	9.3
30 días	10.3	9.0	10.6	8.4	8.4
40 días	10.2	8.8	10.4	7.9	8.0
50 días	10.0	8.6	10.0	7.1	7.2

**Tabla 12.- Determinaciones de Actividad Acuosa y Contenido de Humedad**

**50°C**

<b>Tiempo</b>	<b>Tratamiento Aw</b>	
	<b>Cerrado Tostado</b>	<b>Cerrado Tostado TBHQ</b>
10días	0.378	0.328
20días	0.334	0.275
30días	0.31	0.276
40días	0.305	0.318
50días	0.346	0.307

<b>Tiempo</b>	<b>Tratamiento- Contenido de Humedad (%)</b>	
	<b>Cerrado Tostado</b>	<b>Cerrado Tostado TBHQ</b>
10días	9.1	9.5
20días	8	8.3
30días	7.3	7.4
40días	6.2	6.6
50días	5.1	5.8

**Tabla 13.- Determinaciones de Índice de Peróxidos**

<b>Tratamiento</b>	<b>Tiempo de Almacenamiento</b>	
	<b>10 días</b>	<b>50 días</b>
Abierto	10.1	1.7
Abierto Tostado	17.1	2.3
Cerrado	7.4	1.7
Cerrado Tostado TBHQ	9.3	1.9
Cerrado Tostado	16.3	2.1

En cuanto al estudio realizado mediante el uso de un cuestionario con preguntas abiertas con respecto a la apariencia y textura del arroz pulido después de cocinarse, obtuvimos que el arroz que no ha sido tratado térmicamente tiene mejor consistencia, apariencia y textura. Se observó que a medida que el arroz es sometido a un proceso térmico o a su almacenamiento bajo condiciones de temperaturas altas (mayores a 30° C), éste pierde su textura y firmeza obteniendo así un grano reseco fácil de sufrir fisuras que al ser cocinado es gomoso, pegajoso, adhesivo, apelmazado y floreado.

Es de importancia mencionar que la rancidez se genera más rápidamente entre más lípidos existan en el grano de arroz, por lo que si el pulido del arroz no fue realizado correctamente puede presentarse un deterioro más rápido de ese lote debido a restos de germen o capa aleurónica en el grano de arroz. En el caso del grano largo, se debe tener cuidado de pulirlo adecuadamente ya que es más difícil éste proceso en un grano alargado y delgado, que en uno más ancho.

En ocasiones, algunos proveedores con tal de evitar pérdidas, mezclan diferentes tipos o lotes de arroz y provocan deterioro en granos que no tenían por qué deteriorarse.

### ***III.3.C. Estadística. Diferencia entre tratamientos***

El tratamiento estadístico que se les dio a los datos fue por medio del Análisis de Varianza (ANOVA) al que se sometieron todos los tratamientos de tiempo y temperatura para saber si existía diferencia significativa entre ellos.

Se comprobó la hipótesis alternativa ya que los tratamientos a los que fue sometido el arroz pulido fueron diferentes, considerando un nivel de significancia de 5%, excepto en el caso del Arroz Cerrado y Arroz Cerrado Tostado con TBHQ. Esto nos indica que la

TBHQ cumplió con su objetivo de limitar el deterioro de los ácidos grasos insaturados del arroz, aún cuando se aplicó en arroz tostado.

g.l. Tratamientos= 4

g.l. Error= 44

F°= 3.78

Si  $F^{\circ} < F$  calculado sí hay diferencia significativa

F°	Tratamiento Temperatura Ambiente	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia Significativa
3.78	A	<	5.24	Sí
3.78	AT	<	4.68	Sí
3.78	C	<	3.96	Sí
3.78	CTA	<	4.21	Sí
3.78	CT	<	4.86	Sí

Se comprobó que:

Ho≠ No hay diferencia significativa entre tratamientos

Ha= Existe diferencia entre tratamientos

En el caso de los jueces se comprobó la hipótesis nula, ya que no hubo diferencia significativa entre las determinaciones de los jueces de cada tratamiento, lo cual hace notar la efectividad del panel semientrenado y también del proceso de entrenamiento de los jueces.

El nivel de significancia para este estudio estadístico fue del 5%.

g.l jueces=11

g.l. error= 44

F°= 2.68

F°	Tratamiento	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia Significativa
2.68	A	>	1.25	No
2.68	AT	>	1.98	No
2.68	C	>	1.89	No
2.68	CT	>	2.42	No
2.68	CT	>	1.17	No

Se comprueba que:

$H_0$ = No hay diferencia significativa entre jueces

$H_a$ ≠ Existe diferencia entre jueces

Posteriormente se realizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher para los tratamientos a modo de saber cuáles eran los tratamientos diferentes entre sí. Se utilizó una significancia de 5%.

$$DMS = t \sqrt{\frac{2cme}{n}}$$

<b>Tratamiento</b>	<b>Tratamientos diferentes</b>
Abierto	Todos
Abierto Tostado	Todos
Cerrado	Todos, excepto Cerrado Tostado TBHQ
Cerrado Tostado	Todos
Cerrado Tostado TBHQ	Todos, excepto Cerrado

### ***III.4. Análisis y Discusión de Resultados***

Como se observa en las gráficas de Termogeneración de Rancidez, la temperatura es un factor muy importante para iniciar una reacción de oxidación del arroz, a pesar de su bajo contenido de grasas. Este deterioro se hizo presente desde que se trató térmicamente el arroz al que llamamos tostado, el cual mostró un nivel de Índice de Peróxidos alto (9.2 meq/Kg.). La determinación de Índice de Peróxidos es muy útil para identificar cuando se está iniciando un proceso de deterioro por oxidación en lípidos. En la tabla 13, el Índice de Peróxidos fue muy bajo en condiciones extremas debido a la acción de la TBHQ.

En el caso de la Actividad Acuosa no hubo gran variación de ésta aún en condiciones extremas ya que se mantuvo un equilibrio del agua libre del arroz con la humedad del medio ambiente, disminuyó mínimamente durante el almacenamiento pero se recuperó rápidamente. Esto fue muy útil para el almacenamiento del arroz ya que si la Actividad Acuosa es considerable (más de 0.5), limita las reacciones de oxidación, es decir,

en cierta forma protege al grano de arroz del deterioro por lípidos. Bajos niveles de Aw pueden causar problemas de rancidez.

El Contenido de Humedad sí varió notoriamente, su decremento fue inversamente proporcional al tiempo y temperatura de almacenamiento, por lo que después de éste la calidad del grano se vio afectada. Hay que considerar que el agua ligada del grano de arroz es parte de él y sin ella las condiciones sensoriales y químicas del grano cambian. El deterioro de arroz es menor mientras exista una cantidad de humedad adecuada.

Durante el almacenamiento, si los granos están expuestos a secado por temperatura, es decir, un ambiente de desorción de humedad, la humedad interna de ellos bajará y provocará su resequedad. Esta resequedad produce deterioro en la consistencia y textura del grano, perdiendo su firmeza, provocando su fisura y desmoronamiento en caso de sequedad extrema, ya que en estas condiciones es muy improbable recuperar humedad, y si lo hace, no será al mismo nivel que tenía (histéresis).

Durante el proceso de cocción del arroz, esta resequedad provoca cambios en las moléculas de almidón, lo cual se manifiesta en sesiones de evaluación sensorial (como la realizada para el estudio 5x5) con atributos de textura y consistencia: aglomerado, gomoso, adhesivo, pegajoso, adhesivo, floreado y esponjoso, entre otros.

Las gráficas de tiempo contra rancidez relativa muestran que la rancidez se genera en función del tiempo y la temperatura de almacenamiento, de modo que, a mayor temperatura y tiempo de almacenamiento, mayor será el deterioro en el arroz pulido.

El arroz fue almacenado con diferentes tratamientos bajo distintas condiciones de tiempo y temperatura con el fin de conocer qué tratamiento es más susceptible a sufrir deterioro y cuál es el comportamiento de cada uno de ellos. Así se logró ver que el tratamiento más susceptible es el cerrado tostado, mientras que el arroz con el mismo tratamiento pero con antioxidante sufrió 50% menos deterioro que el que no lo contenía. Esto se debe a que se trata de una rancidez oxidativa y que la TBHQ reaccionó con los radicales que se generaron en dicha oxidación, los estabilizó y produjo radicales de la TBHQ que son menos activos.

También se observa que si el arroz está tostado es más rápido su deterioro que si no lo está, ya que los ácidos grasos de la grasa cruda contenida en el arroz pulido con el tratamiento térmico inician la reacción de oxidación al ser en su mayoría ácidos grasos insaturados (son más inestables que los ácidos grasos saturados), formando radicales libres que reaccionan con el oxígeno del medio ambiente y de este modo forman peróxidos que al romperse forman aldehídos y cetonas.

Otro punto importante es que la rancidez fue detectada por los jueces en mayor medida en el arroz almacenado cerrado que en el abierto, debido a que en el primero se conservan los compuestos carbonílicos volátiles que le confieren el olor rancio.

Por otra parte, se notó al realizar el análisis sensorial, que el arroz almacenado con antioxidante a temperaturas mayores de 50° C adquiere una coloración rosa pálido, pero sin

perder totalmente su efecto con los radicales de la oxidación, por lo que se sugiere que se almacene el arroz con TBHQ a no más de 37° C para efectos de calidad.

El análisis estadístico consistió en hacer análisis de varianza de las determinaciones sensoriales a cada temperatura y tiempo de almacenamiento, obteniendo como resultado la diferencia significativa entre tratamientos a un nivel de 5%. Desde el punto de vista de los jueces, sus determinaciones no presentaron diferencia significativa lo cual muestra la efectividad y reproducibilidad de sus determinaciones.

## **CAPÍTULO IV**

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

En general, se cumplen las hipótesis planteadas al inicio del estudio, ya que el análisis sensorial mostró diferencia significativa entre tratamientos y la información de los jueces fue homogénea.

Mediante el análisis sensorial se comprobó la degradación de lípidos, aún cuando el arroz pulido contiene una mínima cantidad de éstos (sólo 0.4%), sin embargo la importancia de su degradación repercute en un olor rancio, el cual puede ser evaluado y detectado a partir de un mes y en algunos casos antes, obviamente con el rechazo en la aceptación y calidad del producto. También se observa a lo largo del estudio, la generación continua de rancidez mediante la intensidad de los olores en las pruebas olfativas.

Se comprobó la acción antioxidante de la terbutilhidroquinona (TBHQ), brindando protección ante la rancidez; sin embargo, a temperaturas de 50° C puede desarrollar coloración, por lo que se recomienda almacenar a 37° C máximo y de preferencia abierto o en contenedores que permitan la libre oxigenación como lo son costales de yute o de rafia.

Es evidente que el arroz pulido presenta mayores defectos si es almacenado cerrado y no abierto o a granel. Esto se debe a que los compuestos carbonílicos formados por el rompimiento de los peróxidos originados por la oxidación de los ácidos grasos insaturados, y por ende inestables, son compuestos volátiles que imparten el olor rancio característico.

Así pues, al estar cerrado el empaque, estos compuestos volátiles se acumulan liberándose al momento de abrir las bolsas o contenedores que no permiten la volatilización de compuestos de bajo peso molecular.

El tratamiento que protege más, es decir, el que generó menos indicadores de rancidez es el Abierto sin tostar, seguido por el Abierto Tostado y el Cerrado sin tostar. A estos se les puede adicionar TBHQ para su mayor protección, obteniendo así mejores resultados y mejor calidad de almacenamiento.

También se demostró que el arroz se deteriora con mayor rapidez a mayor temperatura y / o tiempo de almacenamiento y con tratamiento térmico (tostado), que sin tostar.

La degradación de lípidos en el arroz pulido se puede ver acelerada en caso de que el arroz no haya sido pulido adecuadamente y haya quedado parte del germen o de la capa aleurónica en el grano, ya que éstos contienen nutrimentos, entre ellos lípidos. Por esto, es muy importante controlar la calidad del arroz que abastecen los proveedores, ya que pueden ofrecer arroz con un proceso de pulido de baja calidad o quizá ofrecer mezclas de arroz para ocultar la baja calidad de algún lote, las cuales pueden presentar este mismo problema, principalmente lotes de arroces largos, que son los que presentan más dificultad para lograr homogeneidad en el proceso de pulido por su estructura delgada y larga.

La evaluación sensorial es una excelente herramienta de trabajo, útil e importante para la industria de los alimentos, ya que se basa en las percepciones. Tomando en cuenta la importancia que da el consumidor a sus percepciones con respecto al producto que

consume y que de esto depende la decisión de compra y la imagen del producto, se puede definir y usar como una prueba de calidad.

Finalmente, estos datos sirven de base para entender la problemática del comportamiento de un arroz que es industrializado o que se almacena antes de su consumo (cerrado o abierto), cuidando de que no se formen olores o sabores indeseables al paladar del consumidor, y al mismo tiempo, mantener su estabilidad culinaria para aprovechar condiciones que permitan una disponibilidad industrial, sin que se deterioren sus características sensoriales cuando a éste se le tuesta o se le almacena pulido en condiciones cerradas.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- A.O.A.C. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Virginia, E.U.A. 14th. Edition. 1984. Pp. 152-261.
- 2.- Anónimo. La Producción de Arroz en México. Revista Claridades Agropecuarias. Un horizonte Acerca del mercado agropecuario. Sección de nuestra cosecha. Revista 5. [www.infoaserca.gob.mx](http://www.infoaserca.gob.mx). 2002. Pp. 1-9.
- 3.- Anzaldúa-Morales, A. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1994. Pp. 2-125.
- 4.- Baduí D., S. Diccionario de Tecnología de los Alimentos. Ed. Alhambra Mexicana. México. 1988. Pp. 253.
- 5.- Baduí D., S. Química de los Alimentos. Alhambra Mexicana. México. 2a. Ed. 1990. Pp. 648.
- 6.- Bienvenido, J., Rice. Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. 2nd. Edition. U.S.A. 1985. Pp. 427.
- 7.- Bienvenido, J.; Pérez, C. and Minsam, K. Grain Quality Characteristics of Export Rices in Selected Markets. Cereal Chemistry. 1990. 67 (2): 192-197.
- 8.- Brooker, D.; Bakker-Arkema, F. and Hall, C. Drying and Storage of Grains and Seeds. AVI. New York. 1992. Pp. 309-326.
- 9.- Calixto, N. El arroz. Su cultivo en México. Colección Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía No. 21. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 1990. Pp. 14-22.

- 10.- Carbajal, J.M. Tesis Evaluación de la Calidad del Arroz Palay Variedad Navolato-71 Durante su Almacenamiento en Cuatro Instalaciones Industriales. FES-Cuautitlán. 1984. Pp. 22-34.
- 11.- Díaz, R. Evaluación Experimental del Secado y Almacenamiento del Arroz Palay en el Estado de Morelos. FES-Cuautitlán. 1980. Pp. 5-10.
- 12.- Gardner, H.W. Lipid Enzymes: Lipases, Lipoxigenases and Hydroperoxidases. Autoxidation in Food and Biological Systems. Ed. M.G. Simic y M.Karel, Plenum. Press, New York. 1980. Pp.265.
- 13.- Hosseney, R. C. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1991. Pp. 157-174.
- 14.- INEGI. Arroz. Abastos y Comercialización de Productos Básicos. México. 1999. Pp. 1-8.
- 15.- INEGI. Boletín de Información Oportuna del Sector Alimenticio. Núm. 37. Programa Nacional del Arroz. Gobierno de la República. 2001. Pp. 12-25.
- 16.- Inglett, G. and Munck, L. Cereals for Food and Beverages. Recent Progress in Cereal Chemistry and Technology. Academic Press, Inc. E.U.A. 1980. Pp. 409-428.
- 17.- Lavric, M.; Aguerre, R. y Suarez, C. Influencia de las Condiciones de Secado en la Calidad Comercial del Arroz. La Alimentación Latinoamericana. Departamento de Industrias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Ciudad Universitaria. Buenos Aires. Argentina. 1999. Pp.51-63.
- 18.- Lorenz, K. and Kulp, K. Handbook of Cereal Science and Technology. Marcel Dekker. Inc. New York. 1991. Pp. 301-540.

- 19.- Mickelsen, O. Wheat and other Cereal Grains. Kirk-Othmer. 3rd. Edition. 1986. Vol. 24. Pp.522-549.
- 20.- Mistry, B.S. y Min, D.B. Isolation of Sn-alfa-monolinolein from Soybean Oil and Its Effect on Oil Oxidative Stability. Journal of Food Science. 1987. 52:786.
- 21.- Montgomery, D.C. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 1991. Pp.589.
- 22.- Morgante, A. ; Fassati ,G. ; Ciusa, W. ; Curti, E. Improvement of Quality of Polished Rice. Tecnica-Molitoria. 1984. 35 (10), 18 ref. Pp. 715-724.
- 23.- NOM-F-120. Arroz Pulido para Uso Doméstico. 1966.
- 24.- NOM-FF-35. Arroz Pulido. 1982.
- 25.- O'Mahony, M. Sensory Evaluation of Food. Statistical Methods and Procedures. Marcel Dekker, Inc. New York. USA. 1986. Pp. 487.
- 26.- Pearson, D. Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1981. Pp.137-142.
- 27.- Pedrero, D.L ; Pangborn, R.M. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos. Ed. Alhambra Mexicana. México. 1989. Pp.249.
- 28.- Pomeranz, Y. Modern Cereal Science and Technology. VCH Publishers. New York, USA. 1987. Pp. 382-384.
- 29.- Potter, N. La Ciencia de los Alimentos. Ed. Harla. México. 1973. Pp. 509-519.

- 30.- Primo, Y ; Carrasco, T. Química Agrícola. Vol.III. Alimentos. España. 1973. Pp. 60-72.
- 31.- SARH. Arroz. Programa Agrícola. Delegación en el Estado de Tabasco. México. 1999. Pp. 1-15.
- 32.- USDA. Rice Council for Market Development. Arroz de los Estados Unidos de América. Una guía a la Industria Arrocería de los EUA. Texas. USA. 1995. Pp. 1-27
- 33.- USDA. Composition of Foods. Agricultural Handbook No. 8. Agricultural Research Service. USA. 1963.
- 34.- Valle V., P. Y Merson, R. L. Procesamiento Térmico de Alimentos Enlatados. Universidad Autónoma de Chapingo, Industrias Agrícolas. Chapingo, Edo. de México. 1983. Pp. 2-55.
- 35.- Valpiana, T. El Arroz. Ed. Océano Ibis. España. 1998. Pp. 7-12.
- 36.- Voet, D. and Voet, J. Bioquímica. Ed. Omega. Barcelona. España. 1990. Pp. 357-367.
- 37.- Warner, K.; Frankel, E.N; Snyder, J.M. y Porter, W.L. Storage Stability of Soybean Oil-based Salad Dressings: Effects of an Antioxidants and Hydrogenation. Journal of Food Science. 1986. 51. Pp. 702-703.
- 38.- [www.epitelio.org/EFTA/2000/arroz.html](http://www.epitelio.org/EFTA/2000/arroz.html), 2000
- 39.- [www.ift.org](http://www.ift.org), 2002
- 40.- [www.infoaserca.gob.mx](http://www.infoaserca.gob.mx), 2001
- 41.- [www.aca.com.uy/alimentacion/arroz.htm](http://www.aca.com.uy/alimentacion/arroz.htm), 2002
- 42.- [www.ania.pl/faomundo.htm](http://www.ania.pl/faomundo.htm), 2002
- 43.- [www.inegi.gob.mx/economia/espanol/biosa/bio\\_04.html](http://www.inegi.gob.mx/economia/espanol/biosa/bio_04.html), 2002

## APÉNDICE I

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Absorción.-** Penetración y retención de un líquido o un gas en un sólido.

**Aceite de arroz.-** Un extracto del salvado de arroz, que es un aceite de cocina muy fino sin colesterol. El aceite de arroz refinado en menor grado se utiliza como acondicionador de artículos de cuero.

**Ácido graso.-** Grupo de ácidos monocarboxílicos de serie alifática, se encuentran, generalmente esterificados, formando los glicéridos de las grasas.

**Ácidos grasos esenciales.-** Ácido linoleico y linolénico, son esenciales o indispensables ya que el hombre no los sintetiza y requieren estar presentes en la dieta diaria en una proporción de 1 al 2% de los lípidos totales consumidos.

**Adsorción.-** Fenómeno de naturaleza física o química por el que las moléculas de un fluido, al incidir sobre una superficie sólida, quedan retenidas un determinado tiempo, lo que ocasiona un aumento de su concentración relativa. La retención producida por fuerzas de enlace químico recibe el nombre de adsorción química o quimisorción.

**Aldehído.-** Nombre de varios compuestos alifáticos y aromáticos que tienen grupo funcional (-CHO).

**Aleurona.-** Gránulos de proteína que se encuentran en los tejidos de las semillas maduras.

**Alimento.-** Material de origen biológico necesario para el funcionamiento de los organismos vivos, compuesto de cantidades variables de agua, proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas, minerales y otros compuestos, incluyendo los que imparten aroma, sabor y color.

**Amilopectina.-** Homopolisacárido ramificado componente del almidón, formado por una cadena lineal de moléculas de D-glucosa (semejante a la amilosa) a la cual se le unen ramas o cadenas laterales, también de D-glucosas, a través de enlaces  $\alpha$  (1,6), generalmente se encuentra en una proporción de 70 a 80% en la mayoría de los almidones. Su peso molecular puede ser mayor de 10 millones de daltones, con el yodo toma un color violeta, sus soluciones acuosas retrogradan poco y son viscosas pero no gelifican.

**Amilosa.-** Homopolisacárido lineal componente del almidón, formado por la unión de moléculas D-glucosa a través de enlaces  $\alpha$  (1,4), generalmente se encuentra en una proporción de 20 a 30% en la mayoría de los almidones. Su peso molecular puede llegar hasta 2 millones de daltones, con el yodo toma color azul, sus soluciones acuosas gelifican y retrogradan al enfriarse.

**Aminoácido.-** Cada uno de los compuestos orgánicos caracterizados por la presencia común de, por lo menos, un grupo carboxilo y un grupo amino. Los de mayor importancia en las proteínas son los  $\alpha$ -aminoácidos, cuya fórmula general es  $R-CH-(NH_2)COOH$ , donde R es un radical monovalente alifático o aromático. Pueden o no participar en la estructura de las proteínas; en el primer caso sólo existen 20, todos con la estructura de L-aminoácido necesaria para que se puedan aprovechar biológicamente.

**Análisis de varianza.-** Procedimiento estadístico para separar las causas de variabilidad que afectan a una serie de datos.

**Antioxidante.-** Es la sustancia que inhibe la oxidación de lípidos por interrupción de la reacción en cadena, al ceder un protón a los peróxidos formados en la iniciación.

**Apariencia.-** Apreciación del aspecto general o de cada una de las propiedades de un alimento, como tamaño, forma, color, textura, presentación, etc.

**Aroma.-** Sustancia volátil percibida por el sentido del olfato y por la acción de inhalar al introducir un alimento a la boca. En este caso, el medio de transmisión de la sustancia no es el aire, sino la membrana mucosa del paladar.

**Arroz de grano corto o perla.-** El arroz que es de forma casi redonda. El arroz de grano corto tiende a pegarse cuando está cocinado.

**Arroz de grano entero.-** Los granos enteros del arroz pulido, sin rupturas o que mida por lo menos  $\frac{3}{4}$  del largo de un grano entero.

**Arroz de grano mediano.-** El arroz que es de forma rellena, pero no redondo.

**Arroz de grano largo.-** El arroz que es largo y de forma esbelta, hasta 4 o 5 veces más largo que ancho. Al cocerse, los granos tienden a separarse y son ligeros y sueltos.

**Arroz enriquecido.-** El arroz al que se ha reemplazado los elementos nutritivos perdidos en el proceso de pulido.

**Arroz integral.-** Granos de arroz enteros o rotos a los que se les ha quitado sólo la cáscara. El arroz integral o cargo se puede comer así o pulirlo a arroz blanco pulido regular. El arroz integral cocido tiene una textura ligeramente gomosa y gusto a nueces. El color café claro del arroz integral es causado por la presencia de las siete capas de salvado que son muy ricas en minerales y vitaminas, especialmente las del grupo del complejo B.

**Arroz palay , paddy o bruto.-** Arroz con cáscara, es decir, así como viene del arrozal. Se le debe quitar la cáscara que envuelve al grano antes de consumirlo.

**Arroz precocido.-** Es el arroz que ha sido deshidratado después de pulido. Esto reduce el tiempo de cocción requerido.

**Arroz semicocido o parbolizado.-** El arroz bruto remojado en agua tibia bajo presión, saturado con vapor y secado antes de molido. Este procedimiento gelatiniza el almidón del grano y asegura la separabilidad del grano. El arroz semicocido es favorecido por los consumidores y jefes de cocina que desean un arroz de granos sueltos y separados. Además, retiene más las sustancias nutritivas que el arroz blanco pulido regular, pero lleva unos minutos más de cocción.

**Arroz subpulido.-** El arroz que aún tiene algo de la capa de salvado después de pulido.

**Atributo.-** Vocablo que describe alguna característica sensorial propia de un objeto en análisis; el conjunto de atributos integra el perfil de dicho objeto.

**Calidad.-** Conjunto de propiedades y características que permiten apreciar la comparación de igual, mejor o peor entre las unidades de un producto y la referencia de su misma especie.

**Cáscara o cascarilla de arroz.-** La capa o cubierta exterior que cubre al grano de arroz y la cual no es digerible.

**Cereal.-** (de Ceres, diosa de las cosechas) Grupo de plantas gramíneas cuyas semillas son ampliamente consumidas, como trigo, arroz, maíz, cebada, sorgo, avena, mijo y centeno.

**Cerniduras de arroz.-** El segundo tamaño más grande de los fragmentos de arroz rotos.

**Cetona.-** Compuesto orgánico de fórmula general  $R-CO-R'$ , donde R y R' son radicales alcoholílo, arilo o derivados de ellos.

**Codificar.-** Asignar símbolos a las muestras que serán presentadas a los jueces, con el objeto de que éstos no puedan identificarlas. Generalmente se usan tres letras o números al azar.

**Consumidor.-** Individuo que emplea u obtiene algún producto.

**Desorción.-** Eliminación de las moléculas adsorbidas o absorbidas en un sólido.

**Embrión o germen.-** Parte constitutiva de los granos de cereales que se localiza en un extremo, formado por escutelo, coleoptilo, coleoriza, epiblasto, hipocotilo, radícula y plúmula; rico en proteínas de buena calidad y lípidos, casi no contiene almidón.

**Energía de activación.-** Energía requerida para activar una mol de una sustancia para llevar a cabo una reacción.

**Evaluación sensorial.-** Disciplina científica que permite evocar, medir, analizar e interpretar las características de un alimento percibidas por la vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído.

**Germinación.-** Capacidad de reproducción de una semilla que depende del agua disponible, la temperatura, la edad y otros factores biofísicos y genéticos.

**Granillo.-** Se considera granillo a las porciones cuyo tamaño sea hasta  $\frac{1}{4}$  del tamaño del grano.

**Granos rotos.-** Son los granos de arroz menores de  $\frac{3}{4}$  del grano entero. Para determinar este rango se utilizan cribas aprobadas internacionalmente.

**Gramíneas.-** Familia de plantas angiospermas monocotiledóneas que incluye a más de 3500 especies; tienen tallos cilíndricos, comúnmente huecos, interrumpidos de trecho en trecho por nudos llenos, hojas alternas que nacen de estos nudos y abrazan el tallo, flores muy sencillas, dispuestas en espigas o en panojas, y el grano seco cubierto por las escamas de la flor, por ejemplo, el trigo, el arroz, el bambú, la caña de azúcar, el maíz y la cebada.

**Histéresis.-** Retardo de una respuesta o del valor esperado de un fenómeno debido a una resistencia; por ejemplo, se aplica cuando se combinan los fenómenos de adsorción

y desorción ya que no se obtiene el mismo comportamiento durante los dos procesos opuestos.

**Lípido.-** Nombre genérico de un grupo muy amplio de sustancias solubles en éter, cloroformo y otros disolventes orgánicos y muy poco en agua; se incluyen grasas, aceites, ceras, fosfátidos, carotenoides, glucolípidos, lipoproteínas, esfingolípidos, vitaminas liposolubles, sulfolípidos, ácidos grasos, hidrocarburos y esteroides. Junto con el agua, las proteínas y los hidratos de carbono constituyen los principales componentes de los alimentos.

**Muestra.-** Parte representativa de un todo o del universo de donde proviene; su selección debe ponderarse estadísticamente y al azar. Se emplea para inferir acerca de dicho universo.

**Olfato.-** Uno de los sentidos cuyos receptores están formados por terminaciones de fibras nerviosas del primer nervio craneal o nervio olfativo, envueltas por una mucosa y localizadas en la parte superior de la cavidad nasal.

**Olor.-** Sustancia volátil percibida por el sentido del olfato y por la acción de inhalar; puede estar relacionado con lo agradable o con lo desagradable.

**Panel.-** Grupo de personas que participan en una evaluación sensorial.

**Pericarpio.-** Parte exterior del fruto de las plantas, que cubre las semillas y puede tener hasta tres capas.

**Peróxidos.-** Cada uno de los compuestos que contienen un grupo bivalente  $-O-O-$ . Por su facilidad de liberar oxígeno, son agentes oxidantes enérgicos, razón por la que se debe evitar el contacto con la piel y ojos. Algunos peróxidos se forman durante las reacciones de oxidación de las grasas insaturadas.

**Pulido de arroz.-** La aleurona o capas internas de las cutículas del grano de arroz, el pulido de arroz se produce durante las etapas finales del proceso de pulido.

**Salvado de arroz.-** El pericarpio o las capas de cutícula exteriores y el embrión directamente debajo de la cáscara. Estos se sacan durante el proceso de pulido. Rico en proteínas y vitaminas B naturales, el salvado a menudo es utilizado para alimento del ganado y en la fabricación de concentrados de vitaminas. También, el aceite de arroz se extrae del salvado de arroz.

**Sensibilidad.-** Grado de precisión de una prueba, análisis, instrumento, etc., para determinar una desviación con respecto a un valor hipotético. Refiérase a la agudeza o a la facilidad de respuesta ante un estímulo; se considera una habilidad perceptiva sobre la distinción de diferencias.

**Sinergia.-** Acción conjunta de varios factores que al sumarse producen un efecto superior al que originarían si actuaran separados.

**Rancidez.-** Mecanismo de deterioro de las grasas que se caracteriza por la formación de compuestos de bajo peso molecular, responsables de olores y sabores indeseables.

**Rancidez oxidativa o autoxidación.-** Principal reacción de deterioro de grasa insaturadas que se lleva a cabo por medio de radicales libres en tres pasos: iniciación, propagación y terminación.

**Rancio.-** Sabor y olor característicos de las grasas y los aceites después de haber sufrido reacciones de rancidez.

**Secuestradores.-** Sustancia que añadida a un sistema de iones metálicos, forman complejos o quelatos que impiden la manifestación de las propiedades químicas ordinarias de aquellos; en esta categoría de compuestos se encuentran fosfatos, acetatos, tiosulfatos, citratos, EDTA, gluconatos, tartratos, etc.; se añaden principalmente para eliminar la acción de iones como Fe, Cu, Mg y Ca, en grasas, agua, frutas, etc.

**Sesgar.-** Torcer o desviar los resultados o situación por alguna acción tomada.

**Trillar.-** Proceso de eliminación de cascarilla no digerible del arroz entero mediante fricción por medio de una descascarilladora.

**Umbral.-** Mínima cantidad apreciable de un estímulo físico o químico.

**Umbral Absoluto.-** Concentración mínima a la cual se percibe una sensación.

**Umbral de Reconocimiento.-** Concentración mínima a la cual se identifica un estímulo o una sensación.

**Umbral de Diferencia.-** Concentración a la cual puede ser detectada una diferencia.

**Umbral Terminal.-** Concentración a la cual es ya difícil encontrar diferencias.

**Referencias:**

- 1.- Badú D., S. Diccionario de Tecnología de los Alimentos. Ed. Alhambra Mexicana. México. 1988. Pp. 253.
- 2.- Pedrero, D.L; Pangborn, R.M. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos. Ed. Alhambra Mexicana. México. 1989. Pp.249.
- 3.- Diccionario Enciclopédico Espasa-Calpe. Ed. Espasa-Calpe. Octava Edición. Madrid. 1979. Págs. 892.

Critical Values of F<sup>2</sup>

a. 0.05 level in roman type, 0.01 level in boldface

		Degrees of freedom for greater mean square (numerator)																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	$\infty$				
1	1	161	200	216	223	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254	254			
		4,052	4,999	5,403	5,625	5,764	5,859	5,928	5,981	6,022	6,054	6,082	6,106	6,142	6,199	6,208	6,234	6,241	6,286	6,302	6,323	6,334	6,352	6,361	6,366	6,366			
2	1	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.36	19.37	19.38	19.39	19.40	19.41	19.42	19.43	19.44	19.45	19.46	19.47	19.47	19.48	19.49	19.49	19.50	19.50				
		96.49	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.44	99.45	99.46	99.47	99.48	99.48	99.49	99.49	99.49	99.49	99.50	99.50			
3	1	10.13	10.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.88	8.84	8.81	8.78	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	8.62	8.60	8.58	8.57	8.56	8.54	8.54	8.53				
		34.12	30.82	29.46	28.71	28.34	27.91	27.47	27.07	26.72	26.42	26.13	25.85	25.60	25.37	25.16	24.97	24.80	24.65	24.51	24.38	24.27	24.18	24.10	24.03	24.00			
4	1	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.93	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	5.74	5.71	5.70	5.68	5.66	5.65	5.64	5.63				
		21.26	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.54	14.45	14.37	14.34	14.24	14.15	14.02	13.93	13.83	13.74	13.69	13.61	13.57	13.52	13.48	13.46			
5	1	6.61	5.79	5.46	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.78	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.50	4.46	4.44	4.42	4.40	4.38	4.37	4.36				
		18.26	13.27	11.96	11.39	10.97	10.67	10.45	10.29	10.15	10.05	9.96	9.89	9.83	9.77	9.68	9.55	9.47	9.36	9.29	9.24	9.17	9.13	9.07	9.04	9.02			
6	1	5.99	5.14	4.81	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.84	3.81	3.77	3.73	3.72	3.71	3.69	3.68	3.67	3.67				
		13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.52	7.39	7.31	7.23	7.14	7.09	7.02	6.99	6.94	6.90	6.88	6.87			
7	1	5.59	4.74	4.43	4.17	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.63	3.60	3.57	3.52	3.49	3.44	3.41	3.38	3.34	3.32	3.29	3.28	3.25	3.24	3.23				
		12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	7.00	6.84	6.71	6.62	6.54	6.47	6.33	6.27	6.13	6.07	5.98	5.90	5.83	5.78	5.75	5.70	5.67	5.65	5.65			
8	1	5.12	4.46	4.07	3.81	3.63	3.50	3.40	3.34	3.31	3.28	3.23	3.20	3.15	3.12	3.08	3.05	3.03	3.00	2.98	2.96	2.94	2.93	2.91	2.91				
		11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.19	6.03	5.91	5.82	5.74	5.67	5.56	5.48	5.36	5.28	5.20	5.11	5.06	5.00	4.96	4.91	4.88	4.84	4.84			
9	1	5.12	4.46	4.07	3.81	3.63	3.50	3.40	3.34	3.31	3.28	3.23	3.20	3.15	3.12	3.08	3.05	3.03	3.00	2.98	2.96	2.94	2.93	2.91	2.91				
		10.56	8.02	6.96	6.42	6.06	5.80	5.62	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.00	4.92	4.80	4.73	4.64	4.56	4.51	4.45	4.41	4.36	4.33	4.34	4.34			
10	1	4.86	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.97	2.94	2.91	2.86	2.82	2.77	2.74	2.70	2.67	2.64	2.61	2.59	2.58	2.55	2.54				
		10.04	7.56	6.53	5.99	5.64	5.39	5.21	5.06	4.95	4.85	4.78	4.71	4.65	4.53	4.41	4.33	4.25	4.17	4.12	4.05	4.01	3.96	3.93	3.91	3.91			
11	1	4.74	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.74	2.70	2.65	2.61	2.57	2.53	2.50	2.47	2.45	2.42	2.41	2.40				
		9.45	7.01	6.24	5.67	5.32	5.07	4.88	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29	4.21	4.10	4.02	3.94	3.86	3.80	3.74	3.70	3.64	3.62	3.61	3.61			
12	1	4.75	3.98	3.49	3.26	3.11	3.00	2.92	2.85	2.80	2.76	2.72	2.69	2.64	2.60	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.36	2.35	2.32	2.31	2.30				
		9.11	6.81	5.95	5.41	5.06	4.82	4.65	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	3.98	3.84	3.78	3.70	3.60	3.54	3.49	3.46	3.41	3.38	3.36	3.36			
13	1	4.67	3.90	3.41	3.18	3.02	2.92	2.84	2.77	2.72	2.67	2.63	2.60	2.55	2.51	2.46	2.42	2.38	2.34	2.32	2.28	2.26	2.24	2.22	2.21				
		9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.46	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.85	3.78	3.67	3.59	3.51	3.42	3.37	3.30	3.27	3.21	3.18	3.16	3.16			

b. The values in the table are the critical values of F for the degrees of freedom listed over the columns (the degrees of freedom for the greater mean square or numerator of the F ratio) and the degrees of freedom listed for the rows (the degrees of freedom for the lesser mean square for the denominator of the F ratio). The critical value for the 0.05 level of significance is presented first (roman type) followed by the critical value at the 0.01 level (boldface). If the observed value is greater than or equal to the tabled value, reject  $H_0$ . The function,  $F = c$  with  $\exp(-c^2)$ , is computed in part from Fisher's table V (7). Additional entries are by interpolation, mostly graphical.

Source: Reprinted by permission from *Statistical Methods*, Seventh Edition, by George W. Snedecor and William G. Cochran, copyright 1980 by the Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010.

(continued)

		Degrees of freedom for greater mean square (numerator)																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	$\infty$				
14	1	4.60	3.76	3.34	3.11	2.96	2.84	2.77	2.70	2.65	2.60	2.56	2.53	2.48	2.44	2.39	2.35	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.18	2.16	2.15				
		8.86	6.21	5.56	5.03	4.69	4.46	4.28	4.16	4.07	3.99	3.92	3.85	3.78	3.70	3.63	3.56	3.49	3.42	3.35	3.29	3.24	3.19	3.14	3.09	3.07			
15	1	4.54	3.68	3.24	3.06	2.92	2.79	2.70	2.64	2.59	2.55	2.51	2.48	2.43	2.39	2.34	2.31	2.27	2.23	2.21	2.18	2.15	2.12	2.10	2.08	2.07			
		8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.48	3.36	3.29	3.20	3.12	3.07	3.00	2.97	2.91	2.89	2.87	2.87			
16	1	4.49	3.63	3.14	2.91	2.83	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.37	2.33	2.28	2.24	2.20	2.16	2.13	2.10	2.07	2.04	2.02	2.01	2.01			
		8.53	6.33	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.76	3.69	3.61	3.55	3.45	3.37	3.25	3.18	3.10	3.01	2.94	2.90	2.86	2.80	2.77	2.75	2.75			
17	1	4.43	3.39	3.00	2.76	2.61	2.50	2.42	2.35	2.30	2.25	2.21	2.18	2.13	2.10	2.05	2.01	1.97	1.93	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79	1.78				
		8.40	6.01	5.24	4.67	4.34	4.10	3.93	3.78	3.68	3.59	3.52	3.45	3.33	3.27	3.16	3.08	3.00	2.91	2.84	2.80	2.76	2.70	2.67	2.65	2.65			
18	1	4.41	3.35	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.25	2.19	2.15	2.11	2.07	2.04	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92				
		8.31	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.85	3.71	3.60	3.51	3.44	3.37	3.27	3.19	3.07	3.00	2.91	2.83	2.78	2.70	2.66	2.60	2.57	2.57	2.57			
19	1	4.38	3.32	3.13	2.90	2.74	2.63	2.55	2.48	2.43	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21	2.15	2.11	2.07	2.02	2.00	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88				
		8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.19	3.12	3.00	2.92	2.84	2.72	2.70	2.63	2.60	2.54	2.51	2.51	2.51			
20	1	4.35	3.40	3.10	2.87	2.71	2.60	2.52	2.45	2.40	2.35	2.31	2.28	2.23	2.18	2.12	2.08	2.04	1.99	1.96	1.92	1.90	1.87	1.85	1.84				
		8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.45	3.37	3.30	3.23	3.13	3.05	2.94	2.86	2.77	2.69	2.63	2.56	2.53	2.47	2.44	2.42	2.42			
21	1	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.15	2.10	2.05	2.01	1.96	1.93	1.89	1.87	1.84	1.82	1.81				
		8.03	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.65	3.51	3.40	3.32	3.25	3.17	3.07	2.99	2.88	2.80	2.72	2.63	2.58	2.51	2.47	2.42	2.38	2.36	2.36			
22	1	4.30	3.46	3.05	2.82	2.66	2.55	2.47	2.40	2.35	2.30	2.26	2.23	2.18	2.13	2.07	2.03	1.98	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.80	1.78				
		7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	3.02	2.94	2.83	2.75	2.67	2.58	2.53	2.46	2.43	2.37	2.33	2.33	2.33			
23	1	4.28	3.42	3.01	2.80	2.64	2.53	2.45	2.38	2.32	2.28	2.24	2.20	2.14	2.10	2.04	2.00	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.76				
		7.88	5.64	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.97	2.89	2.78	2.70	2.62	2.53	2.48	2.41	2.37	2.32	2.28	2.28	2.28			
24	1	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.43	2.36	2.30	2.26	2.22	2.17	2.11	2.07	2.02	1.98	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77	1.74	1.73				
		7.81	5.57	4.71	4.21	3.90																							

(continued)

Degrees of freedom for greater mean square (numerator)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	$\infty$	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.30	2.25	2.20	2.16	2.13	2.08	2.03	1.97	1.93	1.88	1.84	1.80	1.76	1.74	1.71	1.68	1.67	1.67
	7.68	5.49	4.60	4.11	3.79	3.56	3.39	3.26	3.14	3.06	2.98	2.93	2.83	2.74	2.63	2.55	2.47	2.38	2.33	2.25	2.21	2.16	2.12	2.10	2.10
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.06	2.02	1.96	1.91	1.87	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.67	1.65	1.65
	7.64	5.45	4.57	4.07	3.76	3.53	3.36	3.23	3.11	3.03	2.95	2.90	2.80	2.71	2.60	2.52	2.44	2.35	2.30	2.22	2.18	2.13	2.09	2.08	2.08
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.05	2.00	1.94	1.90	1.85	1.80	1.77	1.73	1.71	1.68	1.65	1.64	1.64
	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.08	3.00	2.92	2.87	2.77	2.68	2.57	2.49	2.41	2.32	2.27	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.34	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.04	1.99	1.93	1.89	1.84	1.79	1.76	1.72	1.69	1.66	1.64	1.62	1.62
	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.06	2.98	2.90	2.84	2.74	2.66	2.55	2.47	2.38	2.29	2.24	2.16	2.13	2.07	2.03	2.01	2.01
32	4.15	3.30	2.90	2.67	2.51	2.40	2.32	2.25	2.19	2.14	2.10	2.07	2.02	1.97	1.91	1.86	1.82	1.76	1.74	1.69	1.67	1.64	1.61	1.59	1.59
	7.50	5.34	4.46	3.97	3.66	3.42	3.25	3.12	3.01	2.94	2.86	2.80	2.70	2.62	2.51	2.42	2.34	2.25	2.20	2.12	2.08	2.02	1.98	1.94	1.91
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.30	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.00	1.95	1.89	1.84	1.80	1.74	1.71	1.67	1.64	1.61	1.59	1.57	1.57
	7.44	5.29	4.42	3.93	3.61	3.38	3.21	3.08	2.97	2.89	2.82	2.76	2.66	2.58	2.47	2.38	2.30	2.21	2.15	2.08	2.04	1.98	1.94	1.91	1.91
36	4.11	3.26	2.86	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.10	2.06	2.03	1.98	1.93	1.87	1.82	1.78	1.72	1.69	1.65	1.62	1.59	1.56	1.55	1.55
	7.39	5.25	4.38	3.89	3.58	3.35	3.18	3.04	2.94	2.86	2.78	2.72	2.62	2.54	2.43	2.35	2.26	2.17	2.12	2.04	2.00	1.94	1.90	1.87	1.87
38	4.10	3.25	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.96	1.92	1.85	1.80	1.76	1.71	1.67	1.63	1.60	1.57	1.54	1.53	1.53
	7.35	5.21	4.34	3.86	3.54	3.32	3.15	3.01	2.91	2.82	2.75	2.69	2.59	2.51	2.40	2.32	2.22	2.14	2.08	2.00	1.97	1.90	1.86	1.84	1.84
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.07	2.04	2.00	1.95	1.90	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.55	1.53	1.51	1.51
	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.88	2.80	2.73	2.66	2.56	2.49	2.37	2.29	2.20	2.11	2.05	1.97	1.94	1.88	1.84	1.81	1.81
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.02	1.99	1.94	1.89	1.82	1.77	1.73	1.68	1.64	1.60	1.57	1.54	1.51	1.49	1.49
	7.27	5.15	4.29	3.80	3.49	3.26	3.10	2.96	2.86	2.77	2.70	2.64	2.54	2.46	2.35	2.26	2.17	2.08	2.02	1.94	1.91	1.85	1.80	1.78	1.78
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.92	1.88	1.81	1.76	1.72	1.66	1.62	1.58	1.56	1.52	1.50	1.48	1.48
	7.24	5.12	4.26	3.78	3.46	3.24	3.07	2.94	2.84	2.75	2.68	2.62	2.52	2.44	2.32	2.24	2.15	2.06	2.00	1.92	1.88	1.82	1.78	1.75	1.75
46	4.05	3.19	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.14	2.09	2.04	2.00	1.97	1.91	1.87	1.80	1.75	1.71	1.65	1.62	1.57	1.54	1.51	1.48	1.46	1.46
	7.21	5.10	4.24	3.76	3.44	3.22	3.05	2.92	2.82	2.73	2.66	2.60	2.50	2.42	2.30	2.22	2.13	2.04	1.98	1.90	1.86	1.80	1.76	1.72	1.72
48	4.04	3.18	2.80	2.56	2.41	2.30	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.90	1.86	1.79	1.74	1.70	1.64	1.61	1.56	1.53	1.50	1.47	1.45	1.45
	7.19	5.08	4.22	3.74	3.42	3.20	3.04	2.90	2.80	2.71	2.64	2.58	2.48	2.40	2.28	2.20	2.11	2.02	1.96	1.88	1.84	1.78	1.73	1.70	1.70

(continued)

Degrees of freedom for greater mean square (numerator)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	$\infty$	
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.90	1.85	1.78	1.74	1.69	1.63	1.60	1.55	1.52	1.48	1.46	1.44	1.44
	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.18	3.02	2.88	2.78	2.70	2.62	2.56	2.46	2.39	2.26	2.18	2.10	2.00	1.94	1.86	1.82	1.76	1.71	1.68	1.68
55	4.02	3.17	2.78	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.97	1.93	1.88	1.83	1.76	1.72	1.67	1.61	1.58	1.52	1.50	1.46	1.43	1.41	1.41
	7.12	5.01	4.16	3.68	3.37	3.15	2.98	2.85	2.75	2.66	2.59	2.53	2.43	2.35	2.23	2.15	2.06	1.96	1.90	1.82	1.78	1.71	1.66	1.64	1.64
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.86	1.81	1.75	1.70	1.65	1.59	1.56	1.50	1.48	1.44	1.41	1.39	1.39
	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.56	2.50	2.40	2.32	2.20	2.12	2.03	1.93	1.87	1.79	1.74	1.68	1.63	1.60	1.60
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.94	1.90	1.85	1.80	1.73	1.68	1.63	1.57	1.54	1.49	1.46	1.42	1.39	1.37	1.37
	7.04	4.95	4.10	3.62	3.31	3.09	2.93	2.79	2.70	2.61	2.54	2.47	2.37	2.30	2.18	2.09	2.00	1.90	1.84	1.76	1.71	1.64	1.60	1.58	1.58
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.84	1.79	1.72	1.67	1.62	1.56	1.53	1.47	1.45	1.40	1.37	1.35	1.35
	7.01	4.92	4.08	3.60	3.29	3.07	2.91	2.77	2.67	2.59	2.51	2.45	2.35	2.27	2.15	2.07	1.98	1.88	1.82	1.74	1.69	1.62	1.56	1.53	1.53
80	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.88	1.82	1.77	1.70	1.65	1.60	1.54	1.51	1.45	1.42	1.38	1.35	1.32	1.32
	6.96	4.88	4.04	3.56	3.25	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55	2.48	2.41	2.32	2.24	2.11	2.03	1.94	1.84	1.78	1.70	1.65	1.57	1.52	1.49	1.49
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.79	1.75	1.68	1.63	1.57	1.51	1.48	1.42	1.39	1.34	1.30	1.28	1.28
	6.90	4.82	3.98	3.51	3.20	2.99	2.82	2.69	2.59	2.51	2.43	2.36	2.28	2.19	2.06	1.98	1.89	1.79	1.73	1.64	1.59	1.51	1.46	1.43	1.43
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.27	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.77	1.72	1.65	1.60	1.55	1.49	1.45	1.39	1.36	1.31	1.27	1.25	1.25
	6.84	4.78	3.94	3.47	3.17	2.95	2.80	2.65	2.56	2.47	2.40	2.33	2.25	2.15	2.03	1.94	1.85	1.75	1.68	1.59	1.54	1.46	1.40	1.37	1.37
150	3.91	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.76	1.71	1.64	1.59	1.54	1.47	1.44	1.37	1.34	1.29	1.25	1.22	1.22
	6.81	4.75	3.91	3.44	3.14	2.92	2.76	2.62	2.53	2.44	2.37	2.30	2.22	2.12	2.00	1.91	1.83	1.72	1.66	1.56	1.51	1.43	1.37	1.33	1.33
200	3.89	3.04	2.65	2.41	2.26	2.14	2.05	1.98	1.92	1.87	1.83</														

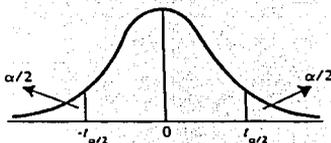
(continued)

b. 0.001 level

Deg of freedom for denom.	Degrees of freedom for numerator									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	405.84	500.00	540.379	562.900	576.405	585.927	598.744	610.667	623.497	636.649
2	99.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.5	99.5
3	167.0	148.5	141.1	137.1	134.6	132.8	130.6	128.3	125.9	123.5
4	74.14	61.25	56.18	53.44	51.71	50.53	49.00	47.41	45.77	44.05
5	47.18	37.12	33.20	31.09	29.75	28.84	27.64	26.42	25.14	23.78
6	35.51	27.00	23.70	21.92	20.81	20.03	19.03	17.99	16.89	15.75
7	29.25	21.69	18.77	17.19	16.21	15.52	14.63	13.71	12.73	11.69
8	25.42	18.49	15.83	14.39	13.49	12.86	12.04	11.19	10.30	9.34
9	22.86	16.39	13.90	12.56	11.71	11.13	10.37	9.57	8.72	7.81
10	21.04	14.92	12.55	11.28	10.48	9.92	9.20	8.45	7.64	6.76
11	19.69	13.81	11.56	10.35	9.58	9.05	8.35	7.61	6.85	6.00
12	18.64	12.97	10.80	9.63	8.89	8.38	7.71	7.00	6.25	5.42
13	17.81	12.31	10.21	9.07	8.35	7.86	7.21	6.52	5.78	4.97
14	17.14	11.78	9.73	8.62	7.92	7.43	6.80	6.13	5.41	4.60
15	16.59	11.34	9.34	8.25	7.57	7.09	6.47	5.81	5.10	4.31
16	16.12	10.97	9.00	7.94	7.27	6.81	6.19	5.55	4.85	4.06
17	15.72	10.66	8.73	7.68	7.02	6.56	5.96	5.32	4.63	3.85
18	15.38	10.39	8.49	7.46	6.81	6.35	5.76	5.13	4.45	3.67
19	15.08	10.16	8.28	7.26	6.62	6.18	5.59	4.97	4.29	3.52
20	14.82	9.95	8.10	7.10	6.46	6.02	5.44	4.82	4.15	3.38
21	14.59	9.77	7.94	6.95	6.32	5.88	5.31	4.70	4.03	3.26
22	14.38	9.61	7.80	6.81	6.19	5.76	5.19	4.58	3.92	3.15
23	14.19	9.47	7.67	6.69	6.08	5.65	5.09	4.48	3.82	3.05
24	14.03	9.34	7.55	6.59	5.98	5.55	4.99	4.39	3.74	2.97
25	13.88	9.22	7.45	6.49	5.88	5.46	4.91	4.31	3.66	2.89
26	13.74	9.12	7.36	6.41	5.80	5.38	4.83	4.24	3.59	2.82
27	13.61	9.02	7.27	6.33	5.73	5.31	4.76	4.17	3.52	2.75
28	13.50	8.93	7.19	6.25	5.66	5.24	4.69	4.11	3.46	2.70
29	13.39	8.85	7.12	6.19	5.59	5.18	4.64	4.05	3.41	2.64
30	13.29	8.77	7.05	6.12	5.53	5.12	4.58	4.00	3.36	2.59
40	12.61	8.25	6.60	5.70	5.13	4.73	4.21	3.64	3.01	2.33
60	11.97	7.76	6.17	5.31	4.76	4.37	3.87	3.31	2.69	1.99
120	11.38	7.33	5.79	4.95	4.42	4.04	3.55	3.02	2.40	1.54
∞	10.83	6.91	5.42	4.62	4.10	3.74	3.27	2.74	2.13	1.00

Source: Table V of Fisher and Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, published by Longman Group Ltd., London (previously published by Oliver and Boyd Ltd., Edinburgh) and by permission of the authors and publishers.

Valores críticos para *t* de Student\*



Nivel de significancia ( $\alpha$ ):

		Una cola								
		0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
		Dos colas								
g.l.		0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1		1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2		.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3		.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4		.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5		.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6		.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7		.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8		.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9		.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10		.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11		.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12		.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13		.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14		.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15		.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16		.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17		.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18		.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19		.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20		.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21		.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22		.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792

Continúa

\* Tabla generada utilizando un programa SAS escrito por R.W. Washam II, Armour Research Center, Scottsdale, Arizona.

TABLAS ESTADÍSTICAS

*Continuación*

Nivel de significancia ( $\alpha$ ):

Una Cola

	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
Dos Colas									
g.l.	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
$\infty$	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Números aleatorios

22 17 68 65 84	68 95 23 92 35	87 02 22 57 51	61 09 43 95 06	58 24 82 63 47
19 36 27 59 46	13 79 93 37 55	39 77 32 77 09	85 52 05 30 62	47 83 51 62 74
16 77 23 02 77	09 61 87 25 21	28 06 24 25 93	16 71 13 59 78	23 05 47 47 25
78 43 76 71 61	20 44 90 32 64	97 67 63 99 61	46 38 03 93 22	69 81 21 99 21
03 28 28 26 08	73 37 32 04 05	69 30 16 09 05	88 69 58 28 99	35 07 44 75 47
93 22 53 64 39	67 10 63 76 35	87 03 04 79 88	08 13 11 85 51	55 34 57 72 69
78 76 58 54 74	92 38 70 96 92	53 06 78 79 45	82 63 18 27 44	69 66 92 19 09
23 68 35 26 00	99 53 93 61 28	52 78 05 48 34	56 65 05 61 86	99 92 10 70 80
15 39 25 70 99	93 86 52 77 65	15 33 59 05 28	22 87 26 07 47	86 96 98 29 06
58 71 96 30 24	18 46 23 34 27	85 13 99 24 44	49 18 09 79 49	74 16 32 23 02
57 35 27 33 72	24 53 63 94 09	41 10 76 47 91	44 04 95 49 66	39 60 04 59 81
48 50 86 54 48	22 06 34 72 52	82 21 15 65 20	33 29 94 71 11	15 91 29 12 03
61 96 48 95 03	07 16 39 33 66	98 56 10 56 79	77 21 30 27 12	90 49 22 23 62
36 93 89 41 26	29 70 83 63 51	99 74 20 52 36	87 09 41 15 09	98 60 16 03 03
18 87 00 42 31	57 90 12 02 07	23 47 37 17 31	54 08 01 88 63	39 41 88 92 10
88 56 53 27 59	33 35 72 67 47	77 34 55 45 70	08 18 27 38 90	16 95 86 70 75
09 72 95 84 29	49 41 31 06 70	42 38 06 45 18	64 84 73 31 65	52 53 37 97 15
12 96 88 17 31	65 19 69 02 83	60 75 86 90 68	24 64 19 35 51	56 61 87 39 12
85 94 57 24 16	92 09 84 38 76	22 00 27 69 85	29 81 94 78 30	21 94 47 90 12
38 64 43 59 98	98 77 87 68 07	91 51 67 62 44	40 98 05 93 78	23 32 65 41 18
53 44 09 42 72	00 41 86 79 79	68 47 22 00 20	35 55 31 51 51	00 83 63 22 55
40 76 66 26 84	57 99 99 90 37	36 63 32 08 58	37 40 13 68 97	87 64 81 07 83
02 17 79 18 05	12 59 52 57 02	22 07 90 47 03	28 14 11 30 79	20 69 22 40 98
95 17 82 06 53	31 51 10 96 46	92 06 88 07 77	56 11 50 81 69	40 23 72 51 39
35 76 22 42 92	96 11 83 44 80	34 68 35 48 77	33 42 40 90 60	73 96 53 97 86
26 29 13 56 41	85 47 04 66 08	34 72 57 59 13	82 43 80 46 15	38 26 61 70 04
77 30 20 75 32	72 82 32 99 90	63 95 73 76 63	89 73 44 99 05	48 67 26 43 18
46 40 66 44 52	91 36 74 43 53	30 82 13 54 00	78 45 63 98 35	55 03 36 67 68
37 56 08 18 00	77 53 84 46 47	31 91 18 95 58	24 16 74 11 53	44 10 13 85 57
61 65 61 68 66	37 27 47 39 19	84 83 70 07 48	53 21 40 06 71	95 06 79 88 54
93 43 69 64 07	34 18 04 52 35	56 27 09 24 86	61 85 53 83 45	19 90 70 99 00
21 96 60 12 99	11 20 99 45 18	48 13 93 55 34	18 37 79 49 90	65 97 38 20 46
95 20 47 97 97	27 37 83 28 71	00 06 41 41 74	45 89 09 39 84	51 67 11 52 49
97 86 21 78 73	10 65 81 92 59	58 76 17 14 97	04 76 62 16 17	17 95 70 45 80
69 92 06 34 13	59 71 74 17 32	27 55 10 24 19	23 71 82 13 74	63 52 52 01 41
04 31 17 21 56	33 73 99 19 87	26 72 39 27 67	53 77 57 68 93	60 61 97 22 61
61 06 98 03 91	87 14 77 43 96	43 00 65 98 50	45 60 33 01 07	98 99 46 50 47
85 93 85 86 88	72 87 08 62 40	16 06 10 89 20	23 21 24 64 97	76 38 03 29 63
21 74 32 47 45	73 96 07 94 52	09 65 90 77 47	25 76 16 19 33	53 05 70 53 30
15 69 53 82 80	79 96 23 53 10	65 39 07 16 29	45 33 02 43 70	02 87 40 41 45

Continúa

TABLAS ESTADÍSTICAS

Continuación

02 89 08 04 49	20 21 14 68 86	87 63 93 95 17	11 29 01 95 80	35 14 97 35 33
87 18 15 89 79	85 43 01 72 73	08 61 74 51 69	89 74 39 82.15	94 51 33 41 67
98 83 71 94 22	59 97 50 99 52	08 52 85 08 40	87 80 61 65 31	91 51 80 32 44
10 08 58 21 66	72 68 49 29 31	89 85 84 46 06	59 73 19 85 23	65 09 29 75 63
47 90 56 10 08	88 02 84 27 83	42 29 72 23 19	66 56 45 65 79	20 71 53 20 25
22 85 61 68 90	49 64 92 85 44	16 40 12 89 88	50 14 49 81 06	01 82 77 45 12
67 80 43 79 33	12 83 11 41 16	25 58 19 68 70	77 02 54 00 52	53 43 37 15 26
27 62 50 96 72	79 44 61 40 15	14 53 40 65 39	27 31 58 50 28	11 39 03 34 25
33 78 80 87 15	38 30 06 38 21	14 47 47 07 26	54 96 87 53 32	40 36 40 96 76
13 13 92 66 99	47 24 49 57 74	32 25 43 62 17	10 97 11 69 84	99 63 22 32 98
10 27 53 96 23	71 50 54 36 23	54 31 04 82 98	04 14 12 15 09	26 78 25 47 47
28 41 50 61 88	64 85 27 20 18	83 36 36 05 56	39 71 65 09 62	94 76 62 11 89
34 21 42 57 02	59 19 18 97 48	80 30 03 30 98	95 24 67 70 07	84 97 50 87 46
61 81 77 23 23	82 82 11 54 08	53 28 70 58 96	44 07 39 55 43	42 34 43 39 28
61 15 18 13 54	16 86 20 26 88	90 74 80 55 09	14 53 90 51 17	52 01 03 01 59
91 76 21 64 64	44 91 13 32 92	75 31 62 66 54	84 80 32 75 77	56 08 25 70 20
00 97 79 08 06	37 30 28 59 85	53 56 68 53 40	01 74 39 59 73	30 19 99 85 48
36 46 18 34 94	75 20 80 27 77	78 91 69 16 00	08 43 18 73 68	67 69 61 34 25
88 98 99 60 50	65 95 79 42 94	93 62 40 89 96	43 56 47 71 66	46 76 29 67 02
04 37 59 87 21	05 02 03 24 17	47 97 81 56 51	92 34 86 01 82	55 51 33 12 91
63 62 06 34 41	94 21 78 55 09	72 76 45 16 94	29 95 81 83 83	79 88 01 97 30
78 47 23 53 90	34 41 92 45 71	09 23 70 70 07	12 38 92 79 43	14 85 11 47 23
87 68 62 15 43	53 14 36 59 25	54 47 33 70 15	59 24 48 40 35	50 03 42 99 36
47 60 92 10 77	88 59 53 11 52	66 25 69 07 04	48 68 64 71 06	61 65 70 22 12
56 88 87 59 41	65 28 04 67 53	95 79 88 37 31	50 41 06 94 76	81 83 17 16 33
02 57 45 86 67	73 43 07 34 48	44 26 87 93 29	77 09 61 67 84	06 69 44 77 74
31 54 14 13 17	48 62 11 90 60	68 12 93 64 28	46 24 79 16 76	14 60 25 51 01
28 50 16 43 36	28 97 85 58 99	67 22 52 76 23	24 70 36 54 54	59 28 61 71 96
63 29 62 66 50	02 63 45 52 38	67 63 47 54 75	83 24 78 43 20	92 63 13 47 48
45 65 58 26 51	76 96 59 38 72	86 57 45 71 46	44 67 76 14 55	44 88 01 82 72
39 65 36 63 70	77 45 85 50 51	74 13 39 35 22	30 53 36 02 95	49 34 88 73 61
73 71 98 16 04	29 18 94 51 23	76 51 94 84 86	79 93 96 38 63	08 58 25 58 94
72 20 56 20 11	72 65 71 08 86	79 57 95 13 91	97 48 72 66 48	09 71 17 24 89
75 17 26 99 76	89 37 20 70 01	77 31 61 95 46	26 97 05 73 51	53 33 18 72 87
37 48 60 82 29	81 30 15 39 14	48 38 75 93 29	06 87 37 78 48	45 56 00 84 47
68 08 02 80 72	83 71 46 30 49	89 17 95 88 29	02 39 56 03 46	97 74 06 56 17
14 23 98 61 67	70 52 85 01 50	01 84 02 78 43	10 62 98 19 41	18 83 99 47 99
40 08 06 21 44	25 27 99 41 28	07 41 08 34 66	19 42 74 39 91	41 96 53 78 72
78 37 06 08 43	63 61 62 42 29	39 68 95 10 96	09 24 23 00 62	56 12 80 73 16
37 21 34 17 66	68 96 83 23 56	32 84 60 15 31	44 73 67 34 77	91 15 79 74 58
14 29 09 34 04	87 83 07 55 07	76 58 30 83 64	87 29 25 58 84	86 50 60 00 25
59 43 28 06 36	49 52 83 51 14	47 56 91 29 34	05 87 31 06 95	12 45 57 09 09

Continúa

NÚMEROS ALEATORIOS

TABLA H. *Continuación*

10 43 67 29 70	80 62 80 03 42	10 80 21 38 84	90 56 35 03 09	43 12 74 49 14
44 38 88 39 54	86 97 37 44 22	00 95 01 31 76	17 16 29 56 63	38 78 94 49 81
90 69 59 19 51	85 39 52 85, 13	07 28 37 07 61	11 16 36 27 03	78 86 72 04 95
41 47 10 25 62	97 95 31 03 61	20 26 36 31 62	68 69 86 95 44	84 95 48 46 45
91 94 14 63 19	75 89 11 47 11	31 56 34 19 09	79 57 92 36 59	14 93 87 81 40
80 06 54 18 66	09 18 94 06 19	98 40 07 17 81	22 45 44 84 11	24 62 20 42 31
67 72 77 63 48	84 08 31 55 58	24 33 45 77 58	80 45 67 93 82	75 70 16 08 24
59 40 24 13 27	79 26 88 86 30	01 31 60 10 39	53 58 47 70 93	85 81 56 39 38
05 90 35 89 95	01 61 16 96 94	50 78 13 69 36	37 68 53 37 31	71 26 35 03 71
44 43 80 69 98	46 68 05 14 82	90 78 30 05 62	77 79 13 57 44	59 60 10 39 66
61 81 31 96 82	00 57 25 60 59	46 72 60 18 77	55 66 12 62 11	08 99 55 64 57
42 88 07 10 05	24 98 65 63 21	47 21 61 88 32	27 80 30 21 60	10 91 35 36 12
77 94 30 05 39	28 10 99 00 27	12 73 73 99 12	49 99 57 94 82	96 88 57 17 91
78 83 19 76 16	94 11 68 84 26	23 54 20 86 85	23 86 66 99 07	36 37 34 92 09
87 76 59 61 81	43 63 64 61 61	65 76 36 95 90	18 48 27 45 68	27 23 65 30 72
91 43 05 96 46	55 78 99 95 24	37 55 85 78 78	01 48 41 19 10	35 19 54 07 73
84 97 77 72 63	09 62 06 65 72	87 12 49 03 60	41 15 20 76 27	50 47 02 20 16
87 41 60 76 83	44 88 96 07 80	83 05 83 38 96	73 70 66 81 90	30 50 10 48 59

Fuente: Tabla XXXIII de Fisher y Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, publicada por Longman Group Ltd. Londres, 1974. (Publicada anteriormente por Oliver y Boyd Ltd., Edimburgo.) Con permiso de los editores y autores.