

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



**“OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS Y ORGANOLÉPTICOS EN EL
OLLUCO (*Ullucus tuberosus* Caldas) MÍNIMAMENTE
PROCESADO”**

Tesis para optar el Título de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentado por:

Bach. Alejandro Isaac PACHECO FIGUEROA

AYACUCHO – PERÚ

2014

DEDICATORIA

A DIOS fuente de vida y sabiduría

*A mis queridos Padres Juan y Lourdes
por su paciencia y sacrificio día a día
durante mi formación académica, sin el
cual no hubiese sido posible culminar mis
objetivos.*

AGRADECIMIENTOS

- *A mi alma mater Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a mis docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, de manera especial a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agroindustrial por su empeño y esfuerzo que me brindaron durante mis estudios.*

- *Al Ing° Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA asesor de la tesis por su apoyo invaluable para la culminación de este trabajo.*

- *Un agradecimiento especial a los Docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agroindustrial por sus enseñanzas y consejos durante mi formación académica en las aulas de la Universidad*

- *A mis hermanos, amigos y a todos quienes contribuyeron de una u otra forma en mi formación profesional.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.	
I		
INTRODUCCION	1	
II		
REVISION DE LITERATURA		
2.1	EL OLLUCO (<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas)	4
2.1.1	Aspectos generales	4
2.1.2	Características morfológicas	6
2.1.3	Taxonomía	9
2.1.4	Variedades del olluco	10
2.1.5	Manejo postcosecha	10
2.1.6	Usos tradicionales	11
2.1.7	Almacenamiento	11
2.1.8	Factores de pérdidas durante el almacenamiento	12
2.1.9	Composición química	15
2.1.10	El almidón en los tubérculos	16
2.1.11	Importancia del almidón en los tubérculos	22
2.1.12	Composición del almidón en los tubérculos	23
2.2	PROCESAMIENTO MÍNIMO DE VEGETALES	25
2.2.1	Aspectos generales	25
2.2.2	Factores que afectan la calidad de los productos mínimamente procesados	26
2.2.3	Condiciones óptimas de las etapas del proceso	28
2.2.4	Características funcionales de otros agentes químicos en la desinfección de frutas y hortalizas	30

2.3	RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	
2.3.1	Aspectos generales	31
2.3.2	Historia de los recubrimientos	32
2.3.3	Importancia y funciones	33
2.3.4	Principales propiedades	38
2.3.5	Ventajas y desventajas del uso de recubrimientos comestibles	42
2.4	MUCILAGOS	43
2.5	DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION	44
2.5.1	Concepto de diseño de investigación	44
2.5.2	Objetivos del diseño de investigación	47
2.5.3	El control de la varianza	50
2.5.4	Criterios para seleccionar el diseño	52
2.5.5	Clases de diseños	54
2.6	PROCESAMIENTO DE DATOS: PAQUETES ESTADÍSTICOS	58
2.6.1	Definición de paquetes estadísticos	59
2.6.2	Paquetes estadísticos más difundidos	59
III	MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1	MATERIALES	61
3.1.1	Materia prima y otros	61
3.1.2	Reactivos	61
3.1.3	Materiales de laboratorio y otros	62
3.2	EQUIPOS E INSTRUMENTOS	62
3.3	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	63

3.3.1	Análisis fisicoquímico de la materia prima	63
3.4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE OLLUCO MINIMAMENTE PORCESADO	67
3.4.1	Recepción de materia prima	67
3.4.2	Selección y clasificación	67
3.4.3	Pre-enfriamiento	67
3.4.4	Lavado y desinfectado	67
3.4.5	Cortado en tiras y cubitos	68
3.4.6	Remojo	68
3.4.7	Sanitización	68
3.4.8	Inmersión en solución de almidón	68
3.4.9	Drenado y oreado	69
3.4.10	Envasado	69
3.4.11	Almacenamiento	69
3.5	METODOLOGÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	69
3.6	DISEÑO ESTADÍSTICO	71
3.6.1	Consideraciones del diseño	71
3.6.2	Diseño experimental	71
3.6.3	Definición de variables	72
3.7	METODOLOGÍA DE ESTUDIO	73
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL OLLUCO	75
4.2	RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN EL	

	LABORATORIO	75
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	77
4.3.1	Resumen del diseño estadístico	77
4.3.2	Análisis de la gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados para verificar la normalidad de los residuales, para la variable respuesta TEXTURA	78
4.3.3	Análisis de la gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error para la variable respuesta TEXTURA	79
4.3.4	Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus las corridas experimentales para la variable respuesta TEXTURA	82
4.3.5	Efecto de la concentración de almidón sobre la variable respuesta TEXTURA	83
4.3.6	Efecto del tipo de corte sobre la variable respuesta TEXTURA	85
4.3.7	Análisis de la gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados para verificar la normalidad de los residuales para la variable respuesta COLOR	87
4.3.8	Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus los valores predichos para verificar la constante del error para la variable respuesta COLOR	88
4.3.9	Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus las corridas experimentales para la variable respuesta COLOR	92
4.3.10	Efecto de la concentración de almidón (0,5%) sobre la variable respuesta COLOR	93

4.3.11	Efecto de la concentración de almidón (1,01%) sobre la variable respuesta COLOR	95
4.3.12	Efecto de la concentración de almidón (1,50%) sobre la variable respuesta COLOR	96
4.3.13	Análisis de la gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados para verificar la normalidad de los residuales para la variable respuesta PÉRDIDA DE PESO	99
4.3.14	Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus los valores predichos para verificar la constante del error para la variable respuesta PÉRDIDA DE PESO	100
4.3.15	Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus las corridas experimentales para la variable respuesta PÉRDIDA DE PESO	103
4.3.16	Efecto de la concentración de almidón de papa sobre la variable respuesta PÉRDIDA DE PESO	104
4.3.17	Efecto de la concentración de almidón de maíz sobre la variable respuesta PÉRDIDA DE PESO	105
4.3.18	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta pérdida de peso. Corte: cubos/ almidón: papa	107
4.3.19	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta pérdida de peso. Corte: tiras/ almidón: maíz	109
4.3.20	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta pérdida de peso. Corte: tiras/ almidón: papa	111
4.3.21	Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta pérdida de peso para los 14 tratamientos	114

4.3.22	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta textura Corte: cubos/ almidón: papa	116
4.3.23	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta textura Corte: tiras/ almidón: maíz	116
4.3.24	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta textura Corte: tiras/ almidón: papa	117
4.3.25	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta textura Corte: cubos/ almidón: maíz	118
4.3.26	Efecto de tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta textura para los 14 tratamientos experimentales	119
V	CONCLUSIONES	121
VI	RECOMENDACIONES	122
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
	ANEXOS	130

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	El olluco (<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas)	5
Figura 2.2	Variedades del olluco	6
Figura 2.3	Color de la pulpa del olluco	8
Figura 2.4	Formas diferentes del olluco	9
Figura 2.5	Funciones selectivas y activas de las películas y recubrimientos comestibles	35
Figura 3.1	Determinación de humedad	63
Figura 3.2	Determinación de cenizas totales	63
Figura 3.3	Determinación del pH	64
Figura 3.4	Determinación de sólidos solubles	64
Figura 3.5	Determinación de la firmeza o textura	65
Figura 3.6	Determinación de pérdida de peso	65
Figura 3.7	Diagrama de flujo para obtener olluco mínimamente procesado con recubrimientos comestibles	66
Figura 4.1	Gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados	78
Figura 4.2	Gráfica de residuales studentizados contra los valores Predichos para verificar la constante del error	79
Figura 4.3	Gráfica de residuales studentizados contra las corridas experimentales	82
Figura 4.4	Interacción para la relación entre textura y concentración de almidón según el tipo de almidón	83

Figura 4.5	Interacción para la relación entre textura y tipo de corte según el tipo de almidón	85
Figura 4.6	Gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados	87
Figura 4.7	Gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error	88
Figura 4.8	Gráfica de residuales studentizados contra las corridas experimentales	92
Figura 4.9	Interacción para la relación entre color y tipo de corte según el tipo de almidón, con concentración = 0,50 %	93
Figura 4.10	Interacción para la relación entre color y tipo de corte según el tipo de almidón, con concentración = 1.01 %	95
Figura 4.11	Interacción para la relación entre color y tipo de corte según el tipo de almidón, con concentración = 1.501 %	96
Figura 4.12	Gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados	99
Figura 4.13	Gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error	100
Figura 4.14	Gráfica de residuales studentizados contra las corridas experimentales	103
Figura 4.15	Interacción para la relación entre peso y concentración de almidón de papa según el tipo de corte.	104
Figura 4.16	Interacción para la relación entre peso y concentración de almidón de maíz según el tipo de corte.	106

Figura 4.17	Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: papa a los 4 días de almacenamiento	107
Figura 4.18	Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: papa a los 8 días de almacenamiento	108
Figura 4.19	Pérdida de peso vs tiempo, corte: tiras/ almidón: maíz a los 4 días de almacenamiento	109
Figura 4.20	Pérdida de peso vs tiempo, corte: tiras/ almidón: maíz a los 8 días de almacenamiento	110
Figura 4.21	Pérdida de peso vs tiempo, corte: tiras/ almidón: papa a los 4 días de almacenamiento	111
Figura 4.22	Pérdida de peso vs tiempo, corte: tiras/ almidón: papa a los 8 días de almacenamiento	112
Figura 4.23	Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: maíz a los 4 días de almacenamiento	113
Figura 4.24	Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: maíz a los 8 días de almacenamiento	114
Figura 4.25	Pérdida de peso vs tiempo, resultados de los 14 tratamientos experimentales, a los 8 días de almacenamiento	115
Figura 4.26	Pérdida de textura vs tiempo, corte: cubos/ almidón: papa a los 8 días de almacenamiento	116
Figura 4.27	Pérdida de textura vs tiempo, corte: tiras/ almidón: maíz a los 8 días de almacenamiento	117
Figura 4.28	Pérdida de textura vs tiempo, corte: tiras/ almidón: papa a los 8 días de almacenamiento	118

Figura 4.29	Pérdida de textura vs tiempo, corte: cubos/ almidón: maíz a los 8 días de almacenamiento	119
Figura 4.30	Pérdida de textura vs tiempo, resultados de los 14 Tratamientos experimentales, a los 8 días de almacenamiento	120

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 2.1	Composición química del olluco	15
Cuadro 2.2	Índice químico de aminoácidos del olluco	16
Cuadro 2.3	Características de algunos almidones comunes	24
Cuadro 2.4	Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60 y 70° C	25
Cuadro 2.5	Usos posibles de películas comestibles y recubrimientos	34
Cuadro 3.1	Definición de variables y niveles del diseño estadístico	72
Cuadro 3.2	Condiciones del experimento del diseño d-óptimo de Superficie de respuesta	73
Cuadro 4.1	Características fisicoquímicas iniciales del olluco	75
Cuadro 4.2	Resultados obtenidos con el diseño superficie de respuesta	76
Cuadro 4.3	Resumen del diseño d-óptimo de superficie respuesta - factores	77
Cuadro 4.4	Resumen del diseño d-óptimo de superficie respuesta - respuesta	77
Cuadro 4.5	Diagrama estadístico - variable respuesta: textura	81
Cuadro 4.6	Análisis de varianza para la variable respuesta textura	84
Cuadro 4.7	Diagnóstico estadístico – variable respuesta: color	91
Cuadro 4.8	Análisis de varianza para la variable respuesta color	94
Cuadro 4.9	Diagnóstico estadístico – variable respuesta: pérdida de peso	102
Cuadro 4.10	Análisis de varianza para la variable respuesta pérdida de peso	105

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	131

I. INTRODUCCION

En la actualidad, la forma como alimentarse se ha convertido en todo un reto para los profesionales inmersos en el campo de la agroindustria y agroalimentaria, buscando nuevos productos o alternativas para comer rico y sano. (Artés, 2011).

La alimentación es uno de los aspectos en los que más se evidencian los profundos cambios sociales que están teniendo lugar en los últimos años. El estilo de vida actual en el que disponemos de poco tiempo para realizar la compra y preparar los alimentos, junto con un mayor conocimiento del efecto de la alimentación en la salud, han provocado que la población aumente sus exigencias sobre la conservación de los productos alimentarios. Se demanda en primer lugar una mayor vida útil pero, lo que es más complejo, dicha demanda se refiere a productos cada vez más elaborados y con presentaciones de conveniencia. Además, se valora, especialmente, que los alimentos conserven, no sólo sus propiedades sensoriales y su seguridad microbiológica, sino que se preste cada vez más atención al mantenimiento del valor nutritivo. (Cano *et al.*, 2005)

Probablemente, el ejemplo más significativo sea el de los productos comercialmente llamados de IV gama, alimentos frescos listos para ser consumidos principalmente frutas y verduras, siendo así el sector de crecimiento más dinámico de toda la industria agroalimentaria en muchos países. El comprador de este tipo de productos no sólo compra un alimento sino un servicio, ya que resulta fácil y cómodo al momento de adquirirlos teniendo infinidad de presentaciones y al utilizarlo no demanda el tiempo de un producto convencional, ya sea fruta u hortaliza (lavado, pelado, cortado, etc.). (Artés, 2008)

Por procesamiento mínimo de alimentos se entiende, a la aplicación de una serie de tecnologías (barreras), que combinadas o no, deben mantener las características del alimento lo más cercanas posibles a las del producto fresco, además de mejorar su vida útil en términos sensoriales, microbiológicos y nutricionales. El estudio de nuevas tecnologías de conservación de alimentos, surge en el contexto de las sociedades de países industrializados, donde los consumidores valoran positivamente aquellas características de los alimentos que les confieren mayor valor añadido como son: una escasa manipulación en su preparación, el empleo de aditivos naturales o la ausencia de los mismos, conservación de las características sensoriales propias del alimento fresco de partida, la conservación de las propiedades nutricionales y las cualidades beneficiosas para la salud de los productos vegetales. Los alimentos de origen vegetal que presentan estas características se han denominado *alimentos mínimamente procesados*. (Cano *et al.*, 2005)

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Determinar los parámetros óptimos fisicoquímicos y organolépticos al utilizar suspensiones de almidón de papa y maíz en el olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) mínimamente procesado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Evaluar la pérdida de peso del olluco mínimamente procesado durante su almacenamiento a temperaturas de refrigeración.
- ❖ Evaluar el efecto del tipo de corte en la textura del olluco mínimamente procesado durante su almacenamiento a temperaturas de refrigeración.
- ❖ Determinar el período de vida útil del olluco mínimamente procesado

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. EL OLLUCO (*Ullucus tuberosus* Caldas)

2.1.1. Aspectos generales

En los Andes se producen nueve especies de tubérculos y raíces, incluyendo el olluco, todas ellos tienen un potencial para el desarrollo de la agricultura y la agroindustria, y mejorar el nivel nutricional de la población. Algunos de estos productos son altamente perecibles debido a su elevado contenido de agua, 80-90 % como es el caso del olluco (Hermann y Heller, 1997; Cortez, 1987).

Los tubérculos de olluco tienen una cáscara tan delgada que no necesita ser pelado para su consumo. La pulpa, usualmente de color amarillo, tiene una textura suave y sedosa con un sabor agradable. En los últimos años el olluco ha llegado a los supermercados de Lima, ya sea en forma semi-procesada, seleccionado y cortado en tiras y listo para la preparación del plato típico “olluquito con charqui”, o como tubérculos frescos. Según el National Research Council (1989), el olluco es uno de los pocos cultivos nativos cuya distribución en los Andes es mayor ahora que hace 100 años.

Según Hermann y Heller (1997) el olluco tiene 30 millones de consumidores en el área andina. La industrialización del olluco podría garantizar una mejor conservación y un mayor acceso a los mercados urbanos. Utilizando tecnologías simples como la deshidratación, el enlatado, el procesado mínimo, etc., pequeñas empresas agroindustriales podrían ofrecer sus productos a diferentes mercados.

El olluco es la planta más importante del género *Ullucus* y probablemente también de la familia *Basellaceae* a la que pertenece. La familia *Basellaceae* se caracteriza por estar constituida por plantas mucilaginosas suculentas, volubles o trepadoras. El olluco se cultiva por sus tubérculos comestibles en los Andes de Sudamérica desde Venezuela hasta el Noroeste de Argentina (Winters, 1963).

El olluco es una planta de consistencia viscosa. Su cáscara es delgada y suave. Los tubérculos pueden ser alargados llegando a medir de unos 2 a 15 cm, también pueden ser curvados. (Cadima *et al.*, 2003, Arbizú, 2004, Tapia *et al.*, 2004).

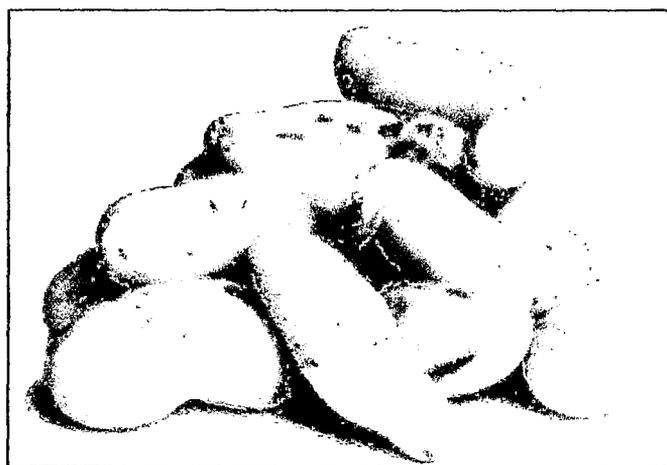


Figura 2.1: El olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas)

2.1.2. Características morfológicas

Las variedades cultivadas de olluco en los sistemas de cultivo en el Perú, pueden identificarse visualmente a través de ciertos caracteres de la planta y de los tubérculos. En los caracteres de los tubérculos se tienen en cuenta su forma, el color predominante de su superficie, y el color de la pulpa. Los tubérculos comestibles varían de esféricos a cilíndricos, del tamaño de una nuez, de cáscara delgada, pulpa amarilla, succulenta y mucilaginososa, con ojos o yemas poco profundas, de donde se deriva el nombre español de “papaliskas”. La coloración de los tubérculos es muy variada y atractiva.



Figura 2.2: Variedades del olluco

2.1.2.1 Color de la superficie

Esta característica presenta una gran variación que va desde el blanco-amarillento hasta el púrpura-rojizo pasando por una gran gama de colores intermedios como el verde-amarillento, amarillo, amarillo-oscuro, amarillo-grisáceo, amarillo-anaranjado, naranja-pálido, naranja, naranja-rojizo, rojo-claro o rosado, y rojo. El color de la superficie de los tubérculos es estable en cualquier medio ambiente,

constituyendo así un buen carácter taxonómico, en la identificación de cultivares. También ha sido utilizado por Sperling (1987), entre otros caracteres, para discriminar el olluco cultivado (*Ullucus tuberosus subsp. tuberosus*) del olluco silvestre (*Ullucus tuberosus subsp. aborigineus*).

Cerca del 75% de los cultivares de olluco presenta superficie de una sola coloración. El resto (25%), presenta una coloración secundaria, es decir, sobre un fondo amarillo, amarillo-oscuro, amarillo-grisáceo, o blanco-amarillento, presenta coloración púrpura-rojiza en forma de puntos, jaspes, bandas, manchas, o una combinación de ellas. Casi todos los cultivares comerciales que se ofertan en los mercados presentan estas características. Los otros se destinan al consumo local. (Arbizú, 2004).

2.1.2.2 Color de la pulpa

En un corte transversal del tubérculo de olluco se distinguen claramente la zona cortical y el cilindro central. La zona cortical presenta colores variados pero, el amarillo, verde-amarillento y blanco-amarillento son los más frecuentes en más de 85% de los cultivares. Le siguen sucesivamente los colores naranja, naranja-rojizo y rojo-claro o rosado con cerca de 12% de cultivares. En el cilindro central por otro lado predominan los colores verde-amarillento, blanco-amarillento y amarillo en cerca de 80% de cultivares. Cultivares con cilindro central naranja- amarillento y blanco, con alrededor de 10% cada uno, son menos frecuentes. (Arbizú, 2004)

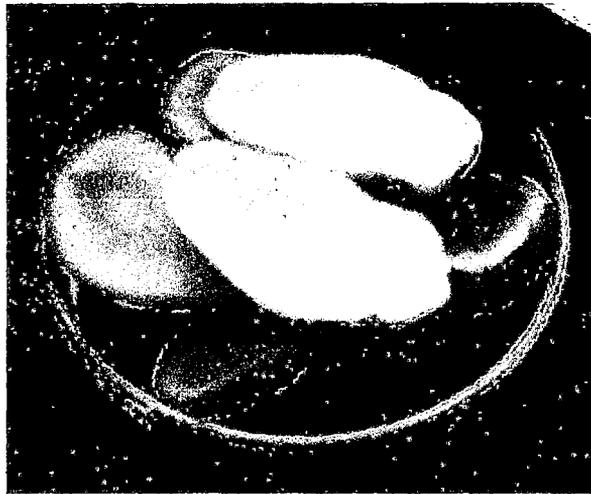


Figura 2.3: Color de la pulpa del olluco

2.1.2.3. Forma del olluco

Los tubérculos maduros del olluco también presentan variaciones. Más del 60% de los cultivares peruanos presentan tubérculos redondos, alrededor del 25% son semi-falcados, 10% cilíndricos más o menos alargados, y 2% presentan tubérculos retorcidos. Aunque la forma de los tubérculos puede ser influenciada en suelos compactos y por la edad de la planta, este carácter sin embargo, también constituye un factor importante para identificar cultivares.

Los cultivares más comerciales en el Perú presentan tubérculos cilíndricos más o menos alargados y semi-falcados; ellos se ofertan tanto en mercados urbanos como rurales. En muchas partes de la sierra central se prefieren localmente los ollucos redondos y retorcidos. (Arbizú, 2004)

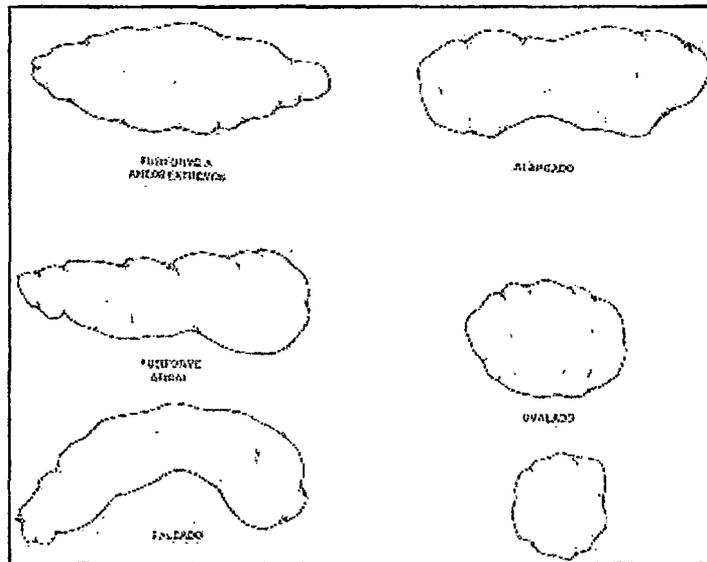


Figura 2.4: Formas diferentes del olluco

2.1.3. Taxonomía

Arbizú y Robles (1986), clasifican taxonómicamente al olluco de la siguiente manera.

División : Espermatofita.

Subdivisión : Angiospermas.

Clase : Dicotiledoneas.

Orden : Centrospermas.

Suborden : Portulacineas.

Familia : Basellaceae.

Género : Ullucus.

Especie : Tuberosus.

Sub especie : U. tuberosus aborígenes

U. tuberosus tuberosus

Nombre científico : *Ullucus tuberosus caldas*

Nombre común : Olluco, papa lisa

2.1.4. Variedades del olluco

Robles (1981), indica que en el Perú existen numerosas variedades de olluco y se han determinado entre 50 y 70 clones. Los agricultores reconocen algunas importantes, como:

- ❖ Chucchan lisa, de forma alargada y de calidad superior.
- ❖ Ckello chuccha, de tubérculos amarillos.
- ❖ Muru lisa, de tubérculos rosados y Crecimiento precoz.
- ❖ Yurac lisa, de tubérculo blanco.
- ❖ Bela api chuccha, de tubérculo amarillo – rojizo
- ❖ Puca lisa, de tubérculo rojizo.
- ❖ Kita lisa, atoc lisa y kipauullucu, que son variedades silvestres.

2.1.5. Manejo post-cosecha.

Los tubérculos cosechados de olluco pasan al proceso de acondicionamiento de los tubérculos o “curado”, que consiste en el almacenamiento bajo sombra de los tubérculos colocados en sacos con la finalidad que los dañados por plagas o enfermedades o causas mecánicas, muestre la intensidad del daño sufrido y pueda ser detectado fácilmente al momento de la selección. El tiempo recomendable de éste acondicionamiento es de 3-7 días.

Luego del acondicionamiento, el olluco es lavado y seleccionado por categorías: Categoría comercial (extra, primera y segunda), tercera y descarte. Se considera dentro de la categoría comercial a los tubérculos que están completamente sanos o con daños incipientes, con una longitud mínima de 5 cm y peso aproximado de 7 a 35 gramos. Los tubérculos extra miden entre 7-12 cm y pesan entre 25-35 g, los de primera de 5-7 cm y pesan entre 15-25 g, y los de segunda de 4-5 cm y

pesan entre 7-15 g. La categoría tercera está conformada por tubérculos de 2.5-4.0 cm y peso entre 4.5-7.0 g. Los tubérculos de la tercera categoría y los tubérculos verdeados en el campo por exposición a la luz directa o difusa son muchas veces utilizados como tubérculos-semilla.

La mayor parte de la producción es destinada al mercado de Lima y en menor cantidad a los mercados de Concepción y Huancayo. (López *et. al.*,2004)

2.1.6. Usos tradicionales

Los ollucos tienen una cáscara tan delgada que no necesitan ser pelados para su consumo. La pulpa tiene una textura suave y sedosa con un sabor agradable para quienes tienen costumbre de consumirlos. Sin embargo, para algunas personas que comen por primera vez este tubérculo, puede parecerles de sabor muy fuerte e incluso algunas manifestaron que tiene sabor a tierra, probablemente esto se deba por la presencia de mucílago en los tubérculos.

En Perú se prepara un plato típico llamado “olluquito con charqui” y también se elabora chuño de olluco. (Barrera *et al.*, 2004) reportaron que en el Ecuador se prepara la sopa de olluco, que consiste en un locro adicionado con papa, haba y repollo; también se consume en forma de ensaladas y en combinación simple con otros productos cocidos, como habas o papas.

2.1.7. Almacenamiento

El olluco es sembrado en los campos donde se sembró la papa el año anterior y no es raro ver que en determinada campaña la superficie cultivada de olluco es similar a la de la papa.

La época de siembra empieza en mayo, se acentúa en junio y julio y disminuye en agosto y setiembre. La época de cosecha empieza en marzo y abril, se acentúa entre mayo y julio y sólo algunos campos se cosechan entre agosto y setiembre. Este patrón de siembras y cosechas se presenta principalmente en toda la sierra del Perú con las mayores cosechas en los meses de mayo, junio y julio y como consecuencia se produce un exceso de olluco en los mercados lo que conlleva la baja del precio en estos meses. En la zona de producción de La Libertad, entre mayo y agosto, en los últimos nueve años, se ha observado que el precio en chacra fluctúa entre S/ 0.15 y S/ 0.30 por kg. Entre los meses de septiembre a diciembre hay escasez de olluco y una notoria subida de los precios los cuales fluctúan entre S/. 0.48 y S/. 1.34 por kg. Recién a partir del mes de enero hay una buena producción de olluco en las partes altas de los valles de la vertiente oriental de los Andes especialmente en Huánuco y Junín. Frente a este panorama se ha pensado que una buena parte de esta producción estacional del olluco en La Libertad se podría almacenar en almacenes rústicos en las casas de los agricultores, con una tecnología alternativa asequible a ellos. (Túpac, 2004)

2.1.8. Factores de pérdidas durante el almacenamiento

2.1.8.1. Factores físicos

Se incluyen las pérdidas debidas a lesiones mecánicas ocasionadas no solamente en la cosecha sino en todo el proceso desde el campo hasta el mismo almacén. Estas lesiones muchas veces pasan inadvertidas en el proceso de selección y constituyen una puerta de ingreso a las enfermedades así como también en una vía de pérdida de agua y por tanto de peso. (Túpac, 2004).

2.1.8.2. Factores fisiológicos

Debido a que los tubérculos de olluco son órganos vivientes, durante el almacenamiento se produce la pérdida de agua por deshidratación, evaporación, respiración, brotamiento y formación de cavidades dentro de los tubérculos. El monto de estas pérdidas dependerá del ambiente del almacén y será mayor en los tubérculos dañados y enfermos que en los tubérculos sanos. (Túpac, 2004).

➤ **Deshidratación:** Los tubérculos de olluco tienen entre 80-85% de agua al momento de la cosecha y son muy susceptibles de perder agua cuando son almacenados en ambientes con baja humedad relativa como en La Libertad en donde oscila entre 55-65%. Toda el agua que pierdan los tubérculos significará una disminución de las utilidades ya que estos son vendidos por peso. Esta cantidad de agua perdida aumenta considerablemente si los tubérculos son dejados o almacenados sin ser cubiertos y se hace más evidente en los tubérculos que no han completado su maduración en el campo y más aún en los dañados. (Túpac, 2004)

➤ **Respiración:** Los tubérculos de olluco siguen respirando durante el almacenamiento y por lo tanto puede ocurrir pérdida de materia seca. El efecto más importante de la respiración de los ollucos es el incremento de la temperatura que puede influenciar sobre la del entorno de los tubérculos. El calor producido no debe concentrarse en los tubérculos almacenados porque estimula la aparición y el desarrollo de enfermedades. Debido a este calor de respiración es importante tener en los almacenes falsos pisos y cubiertas sobre los tubérculos (capas de hojas de eucalipto) no muy gruesas para que el aire circulante remueva el calor acumulado. Cuando la cobertura de los tubérculos es muy gruesa el calor no se remueve fácilmente y se produce una

condensación que aumenta significativamente la humedad relativa entre los tubérculos y esto estimula al desarrollo de las enfermedades. El calor de respiración puede ser influenciado por la temperatura del medio y del almacén. Es importante por eso almacenar los ollucos en lugares fríos, sobre los 3500 m de altitud (Túpac, 2004).

- **Brotamiento:** Los tubérculos de olluco cuando son cosechados entre abril y junio están en periodo de reposo, es decir sin brotes. Cuando termina el periodo de reposo, los tubérculos empiezan a brotar. Los ollucos brotados aumentan sus pérdidas por respiración y evaporación. Los ollucos cosechados en mayo y almacenados en la primera semana de junio empiezan a brotar la primera quincena de agosto (en promedio a los dos meses y medio) y una vez que empiezan a brotar el crecimiento de los brotes es muy vigoroso pudiendo los brotes llegar a medir entre 30 a 40 cm en noviembre. Además, muchos de los tubérculos brotados presentan cavidades que disminuyen su calidad y precio de venta. (Túpac, 2004).
- **Formación de cavidades:** Los tubérculos de olluco que han estado almacenados por largos periodos comienzan a formar cavidades en su interior las que se van expandiendo progresivamente; el brotamiento favorece la formación de estas cavidades. Cuando los agricultores venden sus ollucos almacenados en octubre y noviembre, el parámetro principal que los mayoristas usan para fijar los precios de compra es la presencia de cavidades u “olluco hueco” y el precio disminuye significativamente comparado con los ollucos sin cavidades. (Túpac, 2004)

2.1.9. Composición química

El olluco, como todos los tubérculos, posee un alto contenido de humedad. Si calculamos el contenido de los compuestos en base seca, encontramos que el olluco es una fuente importante de calorías por su alto porcentaje de carbohidratos. En el cuadro 2.1 se muestra la composición química del olluco.

Cuadro 2.1: Composición química del olluco en g/ 100g de parte comestible.

(En base seca)

Componentes	Cantidad
Humedad (%)	83,4
Cenizas (g)	5,93
Proteínas (%)	10,01
Fibra (%)	2,63
Extracto etéreo (%)	1,24
Carbohidrato total (%)	8,12
Ca (%)	0,02
P (%)	0,263
Mg (%)	0,107
Na (%)	0,03
K (%)	2,48
Cu (ppm)	10,71
Fe (ppm)	59,42
Mn (ppm)	9,19
Zn (ppm)	23,94
Almidón (%)	70,50
Azúcar total (%)	6,63
Energía (Kcal/100 g)	412,0
Vitamina C (mg/100 g mf)	26,03

Fuente: Espín *et al* (2004)

Lescano, (1994) menciona también que el olluco contiene importantes cantidades de proteínas (10.8–15.7%), que a su vez son fuente de seis aminoácidos de los ocho aminoácidos esenciales en la dieta humana (lisina, triptófano, valina, isoleucina, leucina y treonina).

Cuadro 2.2: Índice químico de aminoácidos del olluco

Aminoácidos	Contenido de proteína (mg/g)	Patrón de Proteína FAO/OMS	% del Patrón
Isoleucina	41	52	79
Leucina	49	70	70
Lisina	48	55	87
Metionina +	31	35	89
Fenilalanina +	60	60	100
Treonina	27	40	68
Triptófano	9	10	90
Valina	35	50	70

En base al patrón de aminoácidos FAO-OMS-UNU, 1985, (Muestra entera)

Fuente: King y Gershoff, 1987

2.1.10. El almidón en los tubérculos

Los tubérculos andinos son fuentes importantes de energía, debido a su contenido de almidón, éste es un polímero de glucosa y constituye una fuente energética natural privilegiada para la alimentación de los seres vivos y principalmente del hombre.

El almidón es después de la celulosa, la principal sustancia glucídica sintetizada por los vegetales superiores a partir de la energía solar. Debido a que los gránulos de almidón ejercen una presión osmótica muy baja, las plantas pueden almacenar grandes cantidades de D-glucosa en una forma muy accesible, sin romper el balance de agua de sus tejidos. Los diferentes tipos de almidones se diferencian entre sí, por el tamaño de los gránulos, su apariencia microscópica, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos por una mayor cantidad de amilosa y otros de amilopectina; los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos, y los segundos en el campo alimenticio (Inatsu *et al.*, 1983).

El almidón es materia prima para la fabricación de numerosos productos como dextrosa, alcohol, sorbitol, glucósidos metílico, etílico y ácido láctico, por lo mismo puede proporcionar a nuestra economía, una fuente de abastecimiento casi ilimitado en la elaboración de sustancias orgánicas, en la industria alimenticia, textil, en la industria del papel y en la de los polímeros (Gujaska *et al.*, 1994).

El almidón influye definitivamente en las propiedades organolépticas de muchos alimentos y esto está supeditado a las interacciones de este polímero con los otros componentes que se encuentran presentes. La facilidad del almidón para interaccionar, no solo está determinada por la fuente botánica de la que procede, sino también de la relación de este compuesto con respecto a cada sustancia que lo rodee. Las modificaciones que sufre un almidón en su temperatura y velocidad de gelatinización cuando está presente en un alimento, son reflejo de la influencia de los diferentes constituyentes del medio en que se encuentra.

Los tubérculos andinos como el olluco, son actualmente cultivos de los pequeños agricultores, que se cultivan en pequeñas parcelas, sin un aprovechamiento óptimo como recurso alimentario. En el sector industrial tienen la imagen de productos para los pobres, su procesamiento es limitado, sin ningún uso industrial alternativo que contribuya a diversificar su utilización, a pesar de la demanda potencial de las empresas alimenticias por harina y almidón. El desconocimiento de las propiedades básicas del almidón y su ventaja comparativa para ciertos usos, ha limitado su expansión comercial, siendo necesario estudiar los contenidos, rendimientos y calidad de los almidones de estas especies vegetales, como posibles fuentes amiláceas que sustituyan parcial o totalmente a las materias primas tradicionales (maíz y trigo). El desarrollo agroindustrial y la comercialización de los tubérculos andinos, ofrecen perspectivas de gran valor en la economía nacional. (Espín, 2004)

2.1.10.1. El almidón como recubrimiento comestible

El almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos (French, 1984).

Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la proporción de estos dentro del gránulo; la proporción relativa de amilosa y amilopectina depende de la fuente de procedencia del almidón. Los almidones se utilizan porque regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes y gelificantes. (Cousidine, 1982).

En la mayoría de los cereales, el almidón contiene aproximadamente 75% de amilopectina y 25% de amilosa. (Serna, 1996).

Debido a su abundancia y bajo costo de producción, existe un gran interés en la utilización de almidón como componente de películas comestibles y recubrimientos biodegradables.

Las películas elaboradas a partir de este carbohidrato son claras, flexibles, transparentes y presentan excelentes barreras al oxígeno.

Sin embargo, sus propiedades de barrera contra la humedad, no son tan buenas. (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

Además, sus propiedades mecánicas son generalmente inferiores a las de películas sintéticas.

En películas a base de almidón, la matriz o red es normalmente formada durante el secado de una dispersión gelatinizada debido a los puentes de hidrógeno que se establecen entre los grupos hidroxilo (Tapia-Blácido *et al.*, 2005).

Almidones de diferentes fuentes, tales como papa, maíz, trigo, arroz y yucas, tanto naturales como modificadas, han sido utilizados en la manufactura de películas comestibles. (Parra *et al.*, 2004) obtuvieron películas de almidón de yuca con buenas propiedades de flexibilidad y permeabilidad al vapor de agua.

Por su parte, Tapia-Blácido *et al.* (2005) elaboraron biopelículas con harina de amaranto, las cuales presentaron buena flexibilidad y poca resistencia a la tensión. Sin embargo, sus permeabilidades al agua y al oxígeno fueron menores que aquellas presentadas en películas de otros polisacáridos y proteínas.

Según García *et al.*, (1998), la amilosa es la responsable de la capacidad

formadora de película que tienen los almidones. La preponderancia de la amilosa (>70%) en almidones de amilomaíz otorga mayor fuerza y más flexibilidad a películas elaboradas con este tipo de materiales. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente conlleva a películas con pobres propiedades mecánicas, es decir, la fuerza de tensión y elongación son bajas. (Tharanathan, 2003).

García *et al.*, (2000) elaboraron películas con dos tipos de almidón: almidón tradicional de maíz y almidón con alto contenido de amilosa (amilomaíz). Mediante técnicas como difracción de rayos X y calorimetría, determinaron que la cristalinidad de las películas estuvo asociada con el contenido de amilosa, debido a que las películas a base de almidón tradicional presentaron zonas amorfas más amplias, con relación a aquellas hechas con amilomaíz. Lo anterior se tradujo en permeabilidades a gases más bajas, para películas con un alto contenido de amilosa.

2.1.10.2. Gelatinización del almidón

El almidón es único entre los carbohidratos que ocurren en la naturaleza en forma de gránulos constituidos por regiones amorfas y semi-cristalinas. Es reconocida la gran importancia que tiene la organización física de estos gránulos en su funcionalidad y por tanto en el comportamiento de los productos alimenticios con formulaciones ricas en almidón. (Sullivan *et al.* 1992)

Por su tamaño y complejidad, el gránulo de almidón crudo no es digerible por el organismo humano debido a su estructura semi-cristalina, por lo cual se deben utilizar procesos calor-humedad para transformarlo. La gelatinización es quizá

la transición más importante del almidón. Es una transición de orden–desorden que sufren los polímeros de almidón sometidos a procesos de calentamiento lo cual tiene gran impacto en el procesamiento, calidad y estabilidad de los productos basados en almidón. (Singh y Singh 2007; Biliaderis,1992).

Durante la gelatinización ocurren cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y rompimiento del gránulo con una consecuente pérdida de cristalinidad. Los cambios que ocurren en la transición están influenciados por factores intrínsecos como tipo de almidón, tamaño de los gránulos, etc, y por factores extrínsecos, como la velocidad de calentamiento, el contenido de humedad, el daño mecánico de los gránulos, la historia térmica de la muestra y las condiciones de extracción del almidón, entre otras. Para la transición se requiere un porcentaje de agua mayor al 30% y una temperatura entre 60 y 75 °C, valor que depende de la fuente de origen del almidón. Durante el proceso, las moléculas de almidón vibran rompiendo los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas de los gránulos, lo que provoca el hinchamiento por una absorción progresiva e irreversible de agua que finalmente se liga a la estructura. (Parker y Ring, 2001)

Una vez la parte amorfa del gránulo se ha hidratado completamente, la parte cristalina inicia un proceso similar, disminuyendo el número y tamaño de las regiones ordenadas. Se estima que un gránulo gelatinizado ha perdido tanto orden de corto alcance (a nivel molecular) como de largo alcance (cristalinidad). La evaluación de los cambios en la microestructura de los almidones durante la gelatinización se realiza mediante distintas técnicas que tratan de estimar el

orden interno de los gránulos. Entre las técnicas más usadas está la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC, por sus siglas en inglés), que determina la temperatura y el rango en el cual suceden los cambios de estado y el flujo de calor involucrado. (BeMiller y Whistler, 2009)

2.1.11. Importancia del almidón en los tubérculos

En Perú y Bolivia el olluco ocupa una menor importancia que la papa y la oca, pero en Ecuador el cultivo del olluco es el segundo tubérculo en importancia, después de la papa. (Tapia *et al.*, 1996). En el Perú, la sierra central es la principal zona productora, pues participa con el 35% de la producción nacional y registra un promedio de rendimiento de 4-5 T/ ha. (López, 2004).

Los tubérculos andinos son fuente importante de energía debido al contenido de almidón. Los diferentes tipos de almidones se diferencian entre sí por el tamaño de los gránulos, su apariencia, sus características físicas y su constitución química. Pues existen almidones que están constituidos por una mayor cantidad de amilasa y otros de amilopectina.

Los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos y los segundos en el campo alimenticio. (Inatsu *et al.*, 1983 cit. en Espín *et al.* 2004).

El almidón es materia prima para la fabricación de numerosos productos como dextrosa, alcohol, sorbitol, glucósidos metílico, etílico y ácido láctico. Por ello pueden ser fuente de abastecimiento en la elaboración de sustancias orgánicas, en la industria alimenticia, textil, en la industria del papel y en la de los polímeros (Gujska *et al.*, 1994 cit. por Espín *et al.*, 2004).

Dadas estas posibilidades de aplicaciones de los almidones, es importante conocer y estudiar los contenidos, rendimiento y calidad de los almidones de los

tubérculos andinos, como posibles fuentes amiláceas que sustituyan parcial o totalmente a las materias primas tradicionales.

El desarrollo agroindustrial y la comercialización de los tubérculos andinos ofrece perspectivas de gran valor en la economía de los países andinos.

2.1.12. Composición del almidón en los tubérculos

Como hidrato de carbono de reserva, el almidón se encuentra en especial abundancia en determinados tejidos vegetales, como los tubérculos y en el endospermo de las semillas. Sus propiedades funcionales son de importancia en muchos alimentos. El almidón se encuentra en las células vegetales bajo la forma de partículas insolubles, o gránulos. El almidón consta de dos tipos de polímeros de la glucosa, químicamente el almidón es un glucano, o mejor dicho una mezcla de glucanos, pues el gránulo de almidón es un sistema heterogéneo que consiste principalmente en dos compuestos distintos: La amilosa, que es esencialmente un polímero lineal; la amilopectina, que es un polímero muy ramificado, se presentan juntos en los gránulos, pero la amilosa puede separarse de las diluciones de almidón, porque es mucho menos soluble en los disolventes orgánicos, como el butanol (Coultate,1998).

La proporción relativa de amilosa y amilopectina varía de un almidón a otro. En general, los almidones contienen más amilopectina que amilosa, la mayor parte de los almidones contienen entre 20 y 25% de amilosa. La relación entre amilosa y amilopectina está gobernada por factores genéticos, y puede ser influida por técnicas de reproducción de vegetales. Así, mientras que en el almidón del maíz ordinario esta relación es de aproximadamente 1:3, las variedades de maíz ceroso producen un almidón casi libre de amilosa (Coultate, 2004).

La amilosa está formada por largas cadenas de restos de alfa-D-glucopiranosilo unidos, como la maltosa, por enlaces 1-4. No se sabe con seguridad la longitud de las cadenas, pero se cree que contienen muchos miles de unidades de glucosa, de manera que su peso molecular promedio típico es de alrededor de 2×10^6 . Cada vez parece más claro que las cadenas de amilosa contienen algunas ramificaciones del tipo característico de la amilopectina. La amilopectina es una molécula mucho más grande, que consta de alrededor de 106 unidades de glucosa por molécula. Como en la amilosa, las uniones entre las moléculas de glucosa son enlaces glicosídicos alfa 1-4, pero alrededor del 4-5% de las unidades de glucosa están implicadas también en enlaces alfa 1-6, generando puntos de ramificación. Las ramificaciones tienen una longitud de cadena promedio de 20-25 unidades. (Coultate, 1998).

Cuadro 2.3: Características de algunos almidones comunes

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Tamaño (micras)
Maíz	73	23	5-25
Maíz amiláceo	20-45	55-80	5-25
Papa	78	22	5-100
arroz	83	17	2-55
yuca	82	18	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	5-25
Sorgo	99-100	0-1	5-45
Trigo	76	24	11-41
Oca *	71	29	20-29
Mashua *	73	27	5-10

Fuente: Badui (1999)

Cuadro 2.4: Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60 °C y 90 °C

TIPO	% HINCHAMIENTO		% SOLUBILIDAD	
	60°C	90°C	60°C	90°C
MAIZ	2,46	9,23	0,31	1,65
TRIGO	2,03	8,36	2,27	3,41
HABA	3,41	7,90	2,94	4,18
CAMOTE*	2,30	26,10	0,38	3,20
PAPA*	8,18	58,09	2,37	25,61
BANANA**	2,51	31,60	0,77	18,77

Fuente: Gonzáles (2002)

*Tarazona (1995) **Cheng *et al* (1982) Valores reportados para 65 °C y 95 °C

2.2. PROCESAMIENTO MÍNIMO DE VEGETALES

2.2.1. Aspectos generales

Los productos mínimamente procesados son llamados comercialmente de la cuarta gama de la alimentación, cuyo mínimo procesamiento permite mantener sus propiedades y características naturales y tornarlas fáciles de utilizar por el consumidor, ya sea para consumo directo crudo o que necesiten ser cocidos previo al consumo. A diferencia de las otras gamas de alimentos (Naturales, congelados y enlatados) los alimentos de cuarta gama o mínimamente procesados se consumen frescos, pero han sido cortados, pelados o rayados antes de ser envasados y llegan al consumidor con las mismas características como que sí acabaran de ser cosechados. Se mantienen así al menos durante un rango de cinco a diez días, dependiendo del alimento, siempre y cuando se conserven

refrigerados. (Mosquera, 2010)

Según Willey, (1997) el procesamiento mínimo son aquellas frutas u hortalizas naturales, frescas, saludables, limpias, desinfectadas, peladas, enteras y/o cortados en diferentes formas y empacadas. Los productos mínimamente procesados frescos cortados son por definición productos muy perecederos, e incluso más que los productos crudos no procesados de los que provienen.

La rotura del tejido originado por el corte supone un incremento de la intensidad respiratoria y transpiración además de favorecer determinadas reacciones enzimáticas (polifenoloxidasa, peroxidasa, pectinasas, ascorbato oxidasa, etc.) que conducen a un rápido deterioro del producto, con posible pérdida de alguna de sus características sensoriales, nutricionales y propiedades beneficiosas para la salud. Además, el corte aumenta la superficie del tejido susceptible a alteraciones microbianas, por lo que la seguridad de las frutas u hortalizas mínimamente procesadas cortadas en fresco es una de las principales preocupaciones de investigadores y productores. (Cano *et al.*, 2005).

2.2.2. Factores que afectan la calidad de los productos mínimamente procesados

- **Materia prima:** Independientemente del tipo de materia prima que se quiera transformar, ésta debe ser manipulada con especial cuidado con el propósito de causar el menor daño posible a los tejidos, evitando desórdenes fisiológicos del vegetal, así como la proliferación microbiana que repercuten directamente en la pérdida de calidad del producto. La materia prima a procesar suele ser recibida en la industria directamente del campo, donde se ha efectuado una selección previa, en camiones sin ningún tipo de

refrigeración cuando la distancia es corta, o en camiones frigoríficos cuando existe una distancia mayor hasta llegar al lugar de recepción-almacenamiento. Una vez que los productos hortofrutícolas han llegado a los centros de acopio de materia prima, se pre-refrigeran hasta 1-2 °C (por aire, agua, hielo o vacío, según proceda) y se introducen en una cámara frigorífica, según las exigencias de temperatura (generalmente entre 0 y 5 °C), humedad relativa y sensibilidad al etileno. (Artés, 2003).

- **Normas de calidad en el proceso productivo:** Las distintas operaciones llevadas a cabo en el procesado condicionan de forma significativa la calidad de los vegetales frescos cortados.

Cada etapa del proceso de elaboración juega un papel significativo en los mecanismos de alteración del producto. Inicialmente hay que tener en cuenta que existe una evidente diferencia entre un producto vegetal entero y uno cortado, principalmente en términos fisiológicos y de requerimientos en el momento de su manipulación. Los vegetales frescos cortados se deterioran mucho más rápidamente que los productos intactos como resultado directo de las heridas asociadas al procesamiento, el cual conduce a un número de cambios físicos y fisiológicos que afectan la calidad del alimento. (Saltveit, 1997).

Los síntomas de deterioro de productos frescos cortados incluyen cambios en la textura (flácido debido a pérdida de agua en los tejidos); en el color, especialmente atribuido a pardeamiento oxidativo en las superficies cortadas, y riesgos de contaminaciones microbiológicas. Todos estos cambios van en detrimento de la vida útil de estos productos.

2.2.3. Condiciones óptimas de las etapas del proceso

Las etapas del proceso de producción que van a incidir directamente en la calidad de los vegetales mínimamente procesados son:

- **El lavado y desinfección del producto**, para poder mantener condiciones higiénicas adecuadas durante el procesamiento debe partirse de una materia prima con las mejores características sanitarias. El lavado y desinfección de los frutos enteros antes del procesado es imprescindible para la separación de restos provenientes del entorno de cultivo (hojas, tierra, suciedad, etc.), la eliminación de plagas o restos de pesticidas, o cualquier otro material extraño, incluyendo microorganismos propios del ambiente, disminuyendo así la carga microbiana inicial de muchos productos. Dicho proceso de higienización se lleva a cabo normalmente por inmersión del producto vegetal entero en soluciones acuosas cloradas. Diferentes autores han señalado que una concentración de 200 ppm de cloro, o inferior, es un tratamiento eficiente de limpieza y desinfección de frutas enteras (Dong *et al.*, 2000; Gorny, *et al.*, 2000). Se ha visto que el cloro reduce el recuento de microorganismos aerobios en algunas verduras de hoja como las lechugas, pero no necesariamente en otros vegetales parecidos como el repollo. (Garg, N *et al.*, 1990).
- **El cortado y pelado**, Entre las operaciones unitarias, el cortado y pelado constituyen etapas críticas que tienen una influencia determinante en la calidad del producto final y que por lo tanto deben llevarse a cabo produciendo el mínimo daño posible al tejido, ya que la rotura de éste por el corte supone un incremento de la respiración y transpiración que conducen a un rápido deterioro del producto, con la consecuente pérdida de

sus características sensoriales y nutricionales originales. Bolin *et al.*, (1977), señalaron que, en lechugas, es más perjudicial para la vida útil de ésta el picado que el simple cortado y que las cuchillas para el troceado deberían estar lo más afiladas posibles. Además, el contenido de ácido ascórbico (AA) en lechuga troceada fresca cortada dependió del método de cortado utilizado en el procesado mínimo. Así, la retención de este compuesto fue mayor mediante cortado manual que automático. También el corte aumenta la superficie de tejido susceptible de alteraciones microbianas. En productos como la lechuga fresca cortada con un pH de 5.8-6, la alta humedad y la gran cantidad de superficies cortadas proporcionan las condiciones ideales para el crecimiento de microorganismos. (Ahvenaine1996; Beshrsing *et al.*, 2000).

- **Tipo y condiciones de envasado**, La principal manifestación fisiológica que experimentan las frutas y hortalizas debido a las lesiones tisulares y celulares producidas durante su procesado es un incremento en la velocidad respiratoria. Este incremento en el metabolismo se traduce en un rápido consumo de oxígeno en el envase y en una acelerada producción de etileno; ésta es estimulada por el estrés al que se someten los tejidos vegetales, siendo su velocidad de producción proporcional al área superficial dañada y a la intensidad de ese estrés (Watada *et al.*, 1996).
- **Temperatura durante el proceso de elaboración y comercialización**, Uno de los factores más importantes a ser controlado durante el proceso de elaboración de los productos frescos cortados es la temperatura. La cadena de frío debe empezar tan pronto como sea posible tras la recolección y mantenerse hasta que el producto sea consumido por el comprador. La

temperatura recomendada para la distribución y comercialización de los productos frescos cortados oscila entre 0 y 1° C, siendo posteriormente almacenados entre 1 y 4°C hasta el momento de ser consumidos, en vitrinas acondicionadas para la venta de productos frescos. Es importante señalar que un control adecuado de la temperatura resulta indispensable para la optimización del material plástico empleado en el envasado, ya que de ello depende la difusión de los gases a través de las distintas películas plásticas utilizadas. Las temperaturas por encima de las recomendadas causan un aumento de la senescencia del producto envasado, además de producir cambios en la atmósfera inicialmente modificada, trayendo como consecuencia la formación de olores y sabores extraños (Kato-Noguchi y Watada, 1997).

Las temperaturas bajas minimizan las diferencias de respiración entre un producto cortado y uno entero, retardando además el crecimiento microbiano. (Cantwell y Suslow, 2002).

2.2.4. Características funcionales de otros agentes químicos en la desinfección de frutas y hortalizas

Actualmente se estudia el efecto de otros agentes químicos en la desinfección de frutas y hortalizas enteras, tales como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Este compuesto es un agente oxidativo fuerte y poderoso en la esterilización de superficies. Se ha demostrado experimentalmente que reduce la población microbiana en la superficie de productos como el melón fresco cortado. (Sapers y Simmons, 1998). Además, otros métodos alternativos como la aplicación de luz ultravioleta o la utilización de ozono, han tenido un fuerte auge debido a su

capacidad para la destrucción de microorganismo y la seguridad de no dejar residuos en el producto. No obstante, desde un punto de vista microbiológico, el lavado de la zanahoria entera usando ozono no es un tratamiento tan efectivo como la utilización de agua clorada. (Klaiber *et al.*, 2004).

2.3. RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

2.3.1. Aspectos generales

Actualmente se dispone de muchas tecnologías que se han desarrollado para extender la vida útil en fresco de los productos hortofrutícolas después de su cosecha. Uno de los métodos con potencial para conservar la vida post-cosecha de frutas y hortalizas destinadas al consumo en fresco lo constituye el uso de películas o recubrimientos comestibles, éstos se formulan con materiales naturales comestibles que funcionan como una barrera para el intercambio de gases y vapor de agua, para este propósito se aplican sobre la superficie del alimento como es el caso en el recubrimiento de frutas y hortalizas frescas, en donde la función primordial es la de restringir la pérdida de humedad de la fruta hacia el ambiente y reducir la absorción de oxígeno por la fruta para disminuir la tasa de la actividad respiratoria (Kester y Fennema, 1986; Debeaufort, *et al.*, 1998).

En películas a base de almidón, la matriz o red se forma durante el secado de una dispersión gelatinizada mediante los puentes de hidrógeno que se establecen entre los grupos hidroxilo. La amilosa es la responsable de la capacidad formadora de películas, un porcentaje mayor de este componente proporciona mayor fuerza y más flexibilidad a las películas, las estructuras ramificadas de amilopectina generalmente conlleva a películas con pobres propiedades mecánicas.

(Tharanathan, 2003).

Debido a su abundancia y bajo costo de producción, existe un gran interés en la utilización del almidón como componente en la elaboración de películas comestibles.

2.3.2. Historia de los recubrimientos

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Existen reportes que datan de los siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua. Durante el siglo XVI se practicaba en Inglaterra el “enmantecado”, esto es, el recubrimiento con grasa de productos alimentarios para prevenir también la pérdida de humedad de éstos. En el siglo XIX se emplearon películas a base de gelatina para la preservación de carnes y otros alimentos, alrededor de los años 30s ya se encontraban comercialmente disponibles ceras parafínicas que se derretían con calor para el recubrimiento de cítricos. En los comienzos de los años 50s se desarrollaron emulsiones aceite-agua con cera de carnauba para el recubrimiento de frutas frescas y hortalizas. (Kaplan, 1986; Kester y Fennema 1986). De mediados de los 50s a mediados de los 80s se realizó bastante trabajo orientado al uso de películas y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados, el cual se ha reportado tanto en la literatura científica como de patente.

Se ha reportado que las ceras fueron las primeras cubiertas comestibles empleadas en frutas y en el año 1930 se disponía comercialmente de ceras de

parafina derretidas en caliente para su aplicación como recubrimiento de manzanas y peras.

En años recientes, se ha reportado que es posible conseguir efectos similares de barrera al vapor de agua y gases en productos tropicales utilizando diferentes mezclas de aceites, ceras y celulosa. (Nisperos-Carriedo *et al.*, 1990, Baldwin *et al.*, 1995 a, b).

2.3.3. Importancia y funciones

Las películas o recubrimientos comestibles pueden cumplir muchos de los requisitos involucrados en la comercialización de alimentos entre los que destacan el valor nutricional, la sanidad, alta calidad, estabilidad y economía, al realizar una o más de las funciones indicadas en el cuadro 2.5

Pueden emplearse como barrera a gases y vapor de agua, para este propósito se aplican sobre la superficie del alimento como es el caso en el recubrimiento de frutas y hortalizas frescas, en donde la función primordial es la de restringir la pérdida de humedad de la fruta hacia el ambiente y reducir la absorción de oxígeno por la fruta para disminuir la tasa de la actividad respiratoria (Figura 05) (Kester y Fennema 1986, 1989; Hagenmaier y Baker, 1996; Debeaufort *et al.*, 1998).

Cuadro 2.5: Usos posibles de películas comestibles y recubrimientos

FUNCIÓN / APLICACIÓN	TIPO ADECUADO DE PELÍCULA
Retardar migración de humedad	Lípido, compuesto*
Retardar migración de gas	Hidrocoloide, lípido, o compuesto
Retardar migración de aceite y grasa	Hidrocoloide
Retardar migración de soluto	Hidrocoloide, lípido, o compuesto
Mejorar la integridad estructural o propiedades de manejo.	Hidrocoloide, lípido, o compuesto
Retener compuestos volátiles del sabor	Hidrocoloide, lípido, o compuesto
Vehículo de aditivos alimentarios	Hidrocoloide, lípido, o compuesto

*Una película compuesta consiste de una combinación de componentes lipídicos e hidrocoloides para formar una bicapa o conglomerado.

Fuente: Greener, D y Fennema, O (1994).

Una de las ventajas de esta tecnología es el hecho de que estos materiales pueden servir como vehículos de otros ingredientes con un propósito específico diferente, sí por ejemplo, se han incorporado en las formulaciones agentes antimicrobianos, saborizantes, antioxidantes y pigmentos.

Adicionalmente, las películas y recubrimientos representan una alternativa a los materiales comerciales de empaque que se emplean en los productos alimentarios, pues desde el punto de vista de protección del ambiente, se conciben como menos costosos que los plásticos por lo que su uso con este propósito reduciría significativamente la basura del envasado asociada con los alimentos frescos y procesados.

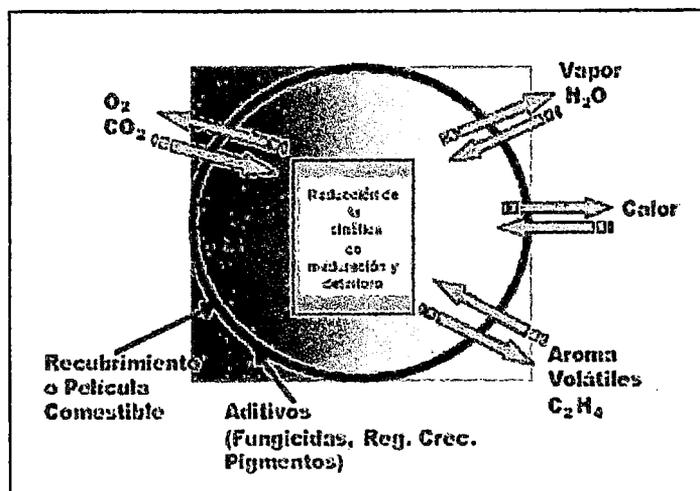


Figura 2.5: Funciones selectivas y activas de las películas y recubrimientos comestibles

Aunque el empleo de recubrimientos comestibles en la preservación de alimentos no es una técnica novedosa, sí lo es su uso en la conservación de la calidad de frutas y hortalizas frescas cortadas.

La aplicación más importante de los recubrimientos comestibles hasta ahora, y particularmente desde 1930, concierne al uso de una emulsión hecha con cera y aceites en agua que se esparce sobre las frutas para mejorar su apariencia (brillo, color, suavidad), servir de vehículo de fungicidas, proporcionar un mejor control de su maduración y retardar la pérdida de agua. (Debeaufort *et al.*, 1998).

Pero no es sino hasta la década de los 70 cuando se desarrolló una de las primeras aplicaciones de Recubrimientos Comestibles en productos frescos cortados. Bryan (1972), fue el primero en patentar un método para recubrir trozos de pomelo con una cobertura constituida por pectina de bajo grado de metoxilación dispersada en zumo de pomelo. Aunque esta patente constituye uno de los primeros ejemplos del uso de recubrimientos en frutas cortadas, su

verdadero desarrollo y aplicación en este tipo de producto es mucho más reciente.

McHugh *et al.* (1996) desarrollaron coberturas comestibles novedosas a partir de purés de frutas como manzana, pera, melocotón y albaricoques. Una de las aplicaciones comerciales más exitosas la constituye la familia de productos a base de sales de calcio, vitaminas, minerales y carboximetilcelulosa. Nature Seal (2006) patentado conjuntamente por la empresa Mantrose-Haeuser Co., Inc. (Westpat, Conneticut) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que ofrece una serie de presentaciones comerciales para la extensión de vida útil de un gran número de Frutas y Hortalizas, retardando significativamente las reacciones de oscurecimiento y facilitando el servicio en restaurantes, menús institucionales y programas escolares (Nature Seal, 2006).

Recientemente, Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) señalaron que los recubrimientos comestibles deben cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas frescas cortadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptable, ser estable tanto desde el punto de vista fisicoquímico como microbiológico, además de poseer un costo razonable.

Es claro que las películas y recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas frescas proporcionan el mismo efecto de una atmósfera modificada, por lo que en muchos casos no son exitosas, y de hecho la calidad del producto vegetal se puede empeorar; de aquí que, el éxito de los recubrimientos comestibles para

productos frescos, dependerá del adecuado control que ejerzan en la composición gaseosa interna. (Park, 1999).

En el caso particular de frutas y hortalizas para consumo en fresco, los recubrimientos comestibles proporcionan una cubierta protectora adicional cuyo impacto tecnológico es equivalente al de una atmósfera modificada, por lo tanto representan una alternativa a este tipo de almacenamiento ya que es posible reducir la cinética de los cambios de calidad y pérdidas en cantidad a través de la modificación y control de la atmósfera interna en estos productos vegetales. (Park, 1999).

Sin embargo, aunque estas cubiertas pueden incrementar el periodo de vida útil y mejorar el aspecto del producto, el cual resulta con más brillo y por ello más atractivo para algunos consumidores, también tienen sus limitantes pues entre las principales desventajas que se han reportado de las formulaciones actuales, se encuentra el hecho de que pueden generar el desarrollo de sabores y olores desagradables como resultado de la inducción de anaerobiosis, o que la cubierta se vuelve quebradiza proporcionando un aspecto desagradable a la superficie del producto. (Nussinovitch y Lurie, 1995).

De aquí se desprende que la conservación de un fruto sano y fresco, cubierto con una formulación cerosa, dependerá, en gran medida, del tipo y proporción de los materiales empleados en la formulación, así como de la técnica de preparación, que en el caso de la técnica de emulsificación es importante caracterizar las propiedades de estabilidad de la emulsión de la que se obtendrá la película o recubrimiento ya que esto permitirá, por un lado, evaluar sus bondades como recubrimiento (grosor, homogeneidad del recubrimiento, rendimiento, etc.), y por otro, es determinante de las propiedades funcionales de la película cubriente

formada (permeabilidad al vapor de H₂O, O₂, CO₂, y C₂H₄, brillo, aspecto, etc.). (Baldwin *et al.*, 1997).

2.3.4. Principales propiedades

De acuerdo a Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) los recubrimiento comestibles (RC) aplicados en frutas cortadas producen una atmósfera modificada en la fruta, reducen el deterioro, retrasan la maduración de frutas climatéricas, reducen la pérdida de agua, retardan los cambios de color, mejoran la apariencia, disminuyen la pérdida de aromas, reducen el intercambio de humedad entre trozos de frutas, transportan compuestos antioxidantes y estabilizantes de la textura, imparten color y sabor, y pudieran servir como transporte de otras sustancias. Entre las principales propiedades de los RC pueden destacar las siguientes:

2.3.4.1. Propiedades de barrera

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de los recubrimientos comestibles es la resistencia a la migración de humedad. Kester y Fennema,(1986).

La deshidratación superficial constituye uno de los principales problemas en el mantenimiento de la calidad de los productos cortados. La pérdida de agua de frutas y vegetales frescos cortados se traduce en una pérdida de peso y de turgencia del producto con la consecuente disminución de la calidad durante su comercialización. (Avena-Bustillos *et al.*, 1994).

La naturaleza del recubrimiento comestible empleado desempeña aquí un papel muy importante: a mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor

permeabilidad al vapor de agua.

Los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales, tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelano, carragenato, etc.), así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica. Yang y Paulson, (2000).

Para mejorar las propiedades de barrera al vapor de agua de este tipo de recubrimientos se pueden incorporar lípidos, que emulsificados en la solución formadora de coberturas o formando una doble capa sobre el producto, pueden ayudar a prevenir reacciones degradativas del tejido como consecuencia de la pérdida de humedad, así como las reacciones respiratorias en los tejidos vegetales (García *et al.*, 2000; Yang y Paulson, 2000).

De esta manera se pueden formular coberturas comestibles combinando las ventajas de los componentes hidocoloides y de los componentes lipídicos, éstos últimos como barrera al vapor de agua y los primeros como barrera selectiva al oxígeno y al dióxido de carbono, además de proveer una matriz de soporte estructural. (Kester y Fennema, 1986; Baldwin *et al.*, 1996).

Por otro lado, la habilidad de los Recubrimientos Comestibles para modificar el transporte de gases es importante para productos como frutas y vegetales frescos, los cuales son caracterizados por tener un metabolismo activo. Los recubrimientos comestibles aplicados a productos que respiran deben permitir una correcta modificación del entorno gaseoso dentro del envase. Gorris y Peppelenbos, (1992).

Su uso sobre frutas permite la producción de una atmósfera modificada mediante un aislamiento del producto del ambiente que lo rodea. No obstante, aunque lo

que se espera es una reducción de la transferencia de gases entre la fruta y el ambiente, recubrimientos extremadamente impermeables pueden inducir a la creación de condiciones de anaerobiosis que tienen como consecuencia una pérdida de los compuestos aromáticos típicos de la fruta y la presencia de aromas indeseables. Mattheis y Fellman (2000).

2.3.4.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los recubrimientos comestibles dependen en gran medida del tipo de material empleado en su elaboración y especialmente de su grado de cohesión, es decir, la habilidad del polímero para formar puentes moleculares numerosos y estables entre cadenas poliméricas, los cuales impiden su separación. Guilbert y Biquet, (1996).

Las propiedades de las coberturas dependen en gran medida de la composición y estructura de los ingredientes. Por lo tanto, la elección de las sustancias a emplear y/o aditivos activos a añadir están totalmente relacionadas con la función para la cual se desea utilizar la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el método de aplicación. Debeaufort *et al.*, (1998).

El recubrimiento de frutas cortadas suele hacerse por inmersión en una solución formadora de cobertura o por rociado de la misma sobre los trozos de fruta, generalmente precedidos por un rápido escurrido-secado de la solución sobrante y posterior almacenamiento refrigerado.

Según Olivas y Barbosa-Cánovas (2005) cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión de los recubrimientos comestibles

gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta.

Transporte de aditivos

Un uso potencial de los Recubrimientos Comestibles en frutas cortadas lo constituye la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento. Por ejemplo, el enriquecimiento de los recubrimientos comestibles con aditivos funcionales permite mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento. (Guilbert y Biquet, 1996).

El pardeamiento enzimático constituye una de las principales causas de deterioro en frutas cortadas pudiendo ser evitado mediante la incorporación de antioxidantes en la formulación de las coberturas. Entre los antioxidantes normalmente usados en productos frescos para evitar el oscurecimiento superficial se encuentran, el ácido ascórbico y sus sales, 4-hexylresorcinol y algunos aminoácidos que contienen azufre como la cisteína y el glutatión, entre otros. Dichos compuestos pueden usarse solos o en combinación con otros aditivos, tales como antimicrobianos y agentes reafirmantes de la textura, con el fin de aumentar la vida útil de frutas cortadas. Pizzocaro *et al.*, (1993).

Los Recubrimientos Comestibles además, pueden emplearse para transportar ingredientes activos, pudiendo ser excelentes vehículos para mejorar el valor nutricional de los alimentos (Rojas-Grau *et al.*, 2006).

2.3.5. Ventajas y desventajas del uso de recubrimientos comestibles

Dentro de las principales ventajas del uso de Recubrimientos Comestibles en frutas frescas cortadas se encuentran una mejor retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor, una reducción de la pérdida de agua, una disminución de los desórdenes metabólicos durante el período de conservación, una forma de soporte de otros compuestos, una indiscutible reducción en el uso de envases sintéticos y un mantenimiento de la calidad durante el almacenamiento.

Sin embargo, su utilización también presenta inconvenientes. Una de las principales desventajas del uso de los recubrimientos comestibles es su grosor, ya que este puede restringir el intercambio gaseoso durante la respiración de los tejidos, pudiendo causar acumulación de altos niveles de etanol y por ende el desarrollo de malos sabores. Howard y Dewi, (1995).

Por otro lado, recubrimientos con escasas propiedades de barrera al vapor de agua pueden causar pérdida de peso y de humedad del alimento sobre el que están aplicados, aunque puede prevenirse la condensación de vapor de agua, que puede dar origen al crecimiento microbiano en frutas y hortalizas envasadas. (Ben-Yehoshua, 1985).

Los recubrimientos comestibles con buenas propiedades de barrera a los gases pueden dar origen a la respiración anaeróbica e interferir con el proceso normal de maduración (Meheriuk y Lau, 1998). Las coberturas deben permitir el paso de cierta cantidad de oxígeno a través del recubrimiento con el fin de evitar condiciones anaeróbicas y sus negativas consecuencias. (Rojas, M. 2006).

2.4. MUCÍLAGOS

Los mucílagos son polisacáridos heterogéneos, formados por diferentes azúcares y en general ácidos urónicos. Se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas: geles en agua. Los mucílagos son constituyentes normales de las plantas y su uso en el recubrimiento de frutas cortadas no ha sido muy estudiado. Investigaciones recientes han demostrado que el gel proveniente de la planta de sábila (*Aloe vera*) puede prolongar la conservación de productos frescos. De la planta de sábila se puede extraer un gel cristalino (mucílago) el cual está libre de aromas y sabores. Ni *et al.*, (2004).

En olluco un factor importante que limita su consumo en ciertos sectores, pero que a la vez tiene ventajas para la salud es el contenido de mucílago. Se puede extraer por centrifugación, después de rebanado, macerado y tamizado. El rendimiento de mucílago en ollucos de Ecuador fue de 6% en relación a olluco fresco. Los mucílagos son polisacáridos coloidales hidrofílicos, solubles en agua e insolubles en alcohol. Forman geles, emulsiones y espumas. Estas propiedades son de aplicación en alimentos, farmacia y medicina. Al ser ingeridos son prácticamente no digeribles y por tanto fisiológicamente inertes e inocuos en humanos. Tienen aplicaciones en problemas gástricos, como laxante intestinal (similar a la sábila y la linaza), cuya función es incrementar el volumen de las heces y reducir el estreñimiento. También se usan en el tratamiento de heridas. Sin embargo, los mucílagos solubles a pH básico pueden afectar la absorción de nutrientes a nivel intestinal y estomacal. También pueden tener aplicaciones en la suspensión de medicamentos insolubles, para impedir la precipitación de metales pesados en sus soluciones (formación de suspensiones coloidales), en la preparación de jaleas y emulsiones. (Espín *et al.* 2004).

2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño constituye un aspecto fundamental y necesario de todo proceso científico. Cuando el investigador se plantea realizar un estudio, suele tratar de desarrollar algún tipo de comparación. El diseño de investigación supone, especificar la naturaleza de las comparaciones que habrían de efectuarse, constituyendo además el plan del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de su investigación. El diseño de investigación desglosa las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable. La importancia de utilizar un adecuado diseño experimental en la investigación científica ha sido señalada por numerosos investigadores. Sin embargo, estos investigadores aún no han logrado ponerse de acuerdo a la hora de elaborar una definición adecuada de diseño experimental.

2.5.1. Concepto de diseño de investigación

Numerosos investigadores han propuesto diferentes definiciones para el concepto de diseño de experimentos. Dentro de ellas, destacamos las siguientes:

Según Finney (1960) afirma que el diseño de un experimento está constituido por: a) la serie de tratamientos seleccionados para hacer comparaciones; b) la especificación de las unidades a las cuales se aplicaran los tratamientos; c) las reglas por las cuales se asignarán los tratamientos a las unidades experimentales, y d) la especificación de las medidas que van a tomarse de cada unidad (variable dependiente).

Plutchnik (1968) lo define en términos de: a) las formas de disponer las

condiciones experimentales indicadas por la pregunta de investigación, y b) los métodos de control para minimizar o reducir el error al establecer relaciones causales entre las variables implicadas.

Para Kirk (1972) un diseño experimental es un plan de acuerdo con el cual se asigna a los sujetos, a los diferentes grupos o condiciones experimentales.

Hay cinco actividades interrelacionadas que lo caracterizan: a) la formulación de hipótesis estadísticas, b) el establecimiento de reglas de decisión para poner a prueba dichas hipótesis, c) la recogida de los datos de acuerdo con un plan que permita evaluar las hipótesis, d) el análisis de los datos, y e) la toma de decisiones respecto a las hipótesis y a la formulación de inferencias inductivas respecto de las hipótesis científicas o de investigación.

Kerlinger (1979) define el diseño de investigación como "el plan, la estructura y la estrategia de investigación concebidos para obtener respuestas a preguntas de investigación y controlar la varianza". Para este autor, el plan es el esbozo general del proyecto de investigación, e incluye todo el proceso que va desde la formulación de las hipótesis hasta el análisis de los datos. La estructura es, para Kerlinger, más específica que el plan, constituyendo el esquema y el paradigma de lo que se hará con las variables. Por último, estrategia se refiere a los métodos de recogida y análisis de datos.

McGuigan (1976), aparte de tratar diversos tipos de diseños experimentales, considera aspectos como: a) el planteamiento del problema, b) la formulación de la hipótesis, c) la manipulación de la variable independiente, d) la medida de la variable dependiente, e) el procedimiento, f) tipos de análisis de los datos y g) anticipación de resultados posibles.

Castro (1980), partidario de reducir el peso de la estadística en el diseño, lo

concibe como una organización lógica de las condiciones experimentales lo suficientemente sensible como para contestar a las preguntas de investigación.

Campbell y Stanley (1991) consideran que lo decisivo de un diseño es su capacidad para controlar las distintas fuentes de invalidez interna y externa, e indican, junto a los factores que controla cada diseño, el tipo de pruebas estadísticas adecuadas para el análisis de los datos.

Doménech & Massons (1980) afirma que "bajo este nombre se designan las técnicas de realización de experiencias que permiten estudiar la influencia de uno o varios factores o variables".

Para Arnau (1981), "en su sentido más general el diseño experimental incluye a los procedimientos requeridos en una investigación experimental que van desde la formulación de la hipótesis hasta la obtención de las conclusiones".

Tales procedimientos se refieren a la formulación de la hipótesis, selección de las variables independientes y de las variables dependientes, control de las variables experimentales, manipulación de las variables independientes y registro de la variable dependiente, análisis de la varianza producida en la variable dependiente e inferencia de las relaciones entre las variables en estudio.

En resumen, la mayor parte de los autores coinciden en afirmar que el núcleo de un diseño consiste en la organización de las condiciones experimentales, en las reglas para la afirmación de unidades experimentales (sujetos o grupos) a tratamientos o viceversa, y a sus relaciones con la pregunta de investigación o hipótesis alternativa. La mayoría considera propio del diseño experimental la especificación de la o las variables dependientes, la manipulación de las variables independientes, el control de las variables experimentales, el procedimiento experimental, el uso de técnicas estadísticas y la recogida y análisis de datos, entre

otros.

Con independencia de la mayor o menor extensión que se dé a este concepto, todos los autores coinciden en considerar fundamental el grado de control experimental que el diseño ejerce sobre las variables que determinan el comportamiento de la variable dependiente (las variables independientes y las variables intervinientes). Es decir, el control experimental se refiere a los siguientes aspectos: a) la manipulación de la variable independiente, b) la minimización o el mantenimiento constante de la influencia de las variables independientes no experimentales, c) la asignación al azar de los sujetos a grupos y de éstos a tratamientos.

A partir de las definiciones de los distintos autores, Jiménez Fernández et al., (2000) define el diseño como un esquema o estructura lógica de acción que permite mantener constante el influjo de las variables experimentales pertinentes y controlar así la influencia de la o las variables independientes sobre la o las variables dependientes.

2.5.2. Objetivos del diseño de investigación

Los objetivos del diseño son numerosos.

Para Kerlinger (1975), todos esos objetivos se pueden resumir en dos objetivos generales: a) dar respuestas a preguntas de investigación, y b) controlar la varianza.

Arnau (1981), sin embargo, afirma que el objetivo principal del diseño es el control de la varianza secundaria. Si la varianza secundaria no se controla adecuadamente, corremos el peligro de experimentar un incremento notable de la varianza de error, pudiendo llegar a contaminar la acción de los tratamientos.

Responder a las preguntas de investigación

El dar una respuesta adecuada a las preguntas que se plantea el investigador es el objetivo primario y fundamental de todo diseño de investigación.

Desafortunadamente, muchos investigadores dedican mucho tiempo a la realización empírica de sus experimentos, pero apenas ponen atención en el diseño de su estudio y en una adecuada elaboración de las preguntas de investigación.

La evidencia empírica que proporcionan los estudios que se proyectan y realizan, debe tener por finalidad ayudar a resolver un problema conocido que se ha especificado en una hipótesis.

Es evidente que un problema de investigación admite varias hipótesis, y que algunas de ellas pueden ponerse a prueba empíricamente con más facilidad que otras.

Teóricamente, al menos, hay tantos tipos de diseños como posibilidades de poner a prueba una hipótesis. Es decir, los diseños se elaboran para dar respuestas válidas a los enunciados de las hipótesis. Se puede hacer una observación e inferir a partir de ella que existe la supuesta relación expresada en la hipótesis. También se pueden hacer múltiples investigaciones e inferir a partir de ellas que existe la relación hipotética. El resultado depende de cómo se hicieron las observaciones y la inferencia. De ahí la importancia del diseño pues cuando una investigación se diseña y ejecuta con cuidado aumenta la confianza en los resultados y se infiere con mayor solidez. Es una cuestión de calidad tanto como de cantidad.

El diseño es en este sentido un instrumento valioso en manos del investigador que goza además de otra característica: la flexibilidad. Si uno de sus objetivos es

responder a preguntas de investigación no existe un diseño ideal para todo problema sino un diseño óptimo para cada situación. Se han creado y se seguirán creando en función de las necesidades del investigador. Campbell y Stanley los sitúan dentro de una concepción evolutiva de la ciencia y ven en el diseño de experimentos no una panacea sino el único camino hacia el progreso acumulativo.

Kerlinger se pregunta: ¿cómo logra el diseño aumentar la confianza en los resultados y en la inferencia? En rigor, el diseño no dice qué hay que hacer, sino que "sugiere" las direcciones de la observación y el análisis. Según el enunciado de la hipótesis, se ve si un diseño puede ponerla a prueba o no. Si puede probarla, sugiere si se necesita uno, dos o más grupos; el número de sujetos por grupo si se desea utilizar determinada prueba estadística; el tipo de observaciones que para ella hay que obtener; si es posible o no el obtenerlas; caso de ser posible, si debido a sus características se reducirá el tamaño de la muestra; qué variables extrañas puede controlar y cuáles no; qué variables son activas y cuáles atributivas y, en último término, permite esbozar posibles conclusiones extraídas del análisis de los datos. Es decir, proporciona un marco de referencia para poner a prueba de un modo adecuado la relación causal entre variables que se postula en la hipótesis.

Ahora se puede comprender por qué diseñar bien una investigación significa tanto huir de la improvisación. Es conocer con precisión el problema y, en función de múltiples factores científicos, técnicos y materiales, resumirlo en una hipótesis y elegir el diseño adecuado. No es sólo diseñar experimentos sino seleccionar y

hasta inventar los diseños que mejor se adaptan a cada situación aunque no sean auténticos experimentos. Es también abandonar la práctica de recoger cantidad de datos y plantearse a posteriori qué hipótesis pueden probar o descubrir que no pueden poner a prueba, al menos de la manera más concluyente posible, la hipótesis formulada.

2.5.3. El control de la varianza

El otro gran objetivo que Kerlinger asigna al diseño es el control de la varianza. En cierto sentido, el diseño no es sino un conjunto de instrucciones al investigador para que recoja y analice sus datos de manera que controle la situación experimental lo más posible. El principio estadístico en el que se basa este control lo sintetiza así: maximizar la varianza sistemática, controlar la varianza sistemática y minimizar la varianza de error (principio maxmincon de Kerlinger).

- a. Maximizar la varianza sistemática o experimental. La varianza se refiere casi siempre a la varianza de la variable dependiente. Al hablar de varianza experimental quiere decir que la varianza de la variable dependiente es influida por la variable independiente de la hipótesis de investigación.
- b. Controlar la varianza sistemática es sinónimo de control de variables extrañas, ajenas a los objetivos del estudio y que pueden actuar como variables independientes, es decir, ser explicaciones rivales de los resultados. En la medida en que la posible influencia de dichas variables extrañas se anula, aísla o minimiza, en esa misma medida controlamos la varianza experimental.
- c. Y por último, este objetivo persigue minimizar la varianza de error. O lo que es igual, la parte de la varianza que no interesa controlar en una investigación o

que no es posible controlar – puede tratarse de una investigación básica donde lo más importante es probar si existe o no relación o de un estudio de campo en el que los medios no permiten aumentar el tamaño de las muestras o utilizar un diseño más complejo-. Esta varianza de error se debe a varios factores. Uno de variabilidad de las medidas debida a fluctuaciones aleatorias. Estos errores azarosos tienen como característica el que se compensan a sí mismos en el infinito pues a veces son positivos, a veces son negativos, compensándose al final ambas situaciones. A veces la varianza de error está asociada con diferencias individuales que no pueden ser identificadas o controladas. Si pudieran serlo, la varianza que producen pasaría a ser varianza sistemática debida a diferencias entre los sujetos. Otra fuente de varianza de error es la asociada con los llamados errores de medida, es decir, variación de las respuestas de una prueba a otra, estados emocionales transitorios, ligeros lapsus de memoria, desatenciones breves, etc. Por ello al decir minimizar la varianza de error, quiere decir fundamentalmente la reducción de los errores de medición mediante: a) el control de las condiciones experimentales, b) aumento de la fidelidad de la medida de la variable dependiente.

Es por ello por lo que se insiste en cuidar las circunstancias experimentales que condicionan la validez de un diseño. Cuantas más incontroladas sean, más posibilidades de actuación se dan a los determinantes de la varianza de error. Es evidente que este control experimental es más difícil en la investigación de campo que en la de laboratorio pero aun en aquella puede aumentarse dando instrucciones específicas y excluyendo factores ajenos al objeto de la investigación.

En cuanto a la fidelidad de las medidas, es obvio que la falta de precisión de un

instrumento condiciona los resultados que con él se obtienen. Si las variaciones que se observan en los resultados son totalmente al azar no permiten identificar y extraer varianzas sistemáticas pues hoy nos daría puntuaciones muy buenas, mañana muy malas, etc. Si la varianza de error es muy grande, es difícil que pueda descubrirse una relación pequeña aunque exista.

2.5.4. Criterios para seleccionar el diseño

La selección de un adecuado diseño constituye un punto fundamental de toda investigación. Sin embargo, seleccionar un diseño que nos permita dar una respuesta adecuada a las preguntas de investigación no es tarea sencilla. A la hora de decidir, el investigador debe tener en cuenta varios factores que exponemos a continuación:

Poner a prueba las hipótesis

Para poder poner a prueba o validar las hipótesis de investigación, el investigador debe preguntarse acerca de la idoneidad de los distintos tipos de diseño y de si éstos son válidos para responder a las preguntas de investigación o, en otros términos, si se puede poner a prueba la hipótesis de modo adecuado.

Una debilidad corriente de los diseños que se proponen a veces es la falta de congruencia entre la hipótesis y el diseño. Por ejemplo, querer probar una hipótesis que requiere tres o más grupos utilizando un diseño de dos grupos o querer probar una hipótesis de interacción con un diseño de dos grupos.

Otro error común que refleja falta de coherencia entre el problema y la hipótesis de investigación por un lado, y el diseño de investigación por otro, es emparejar sujetos por variables irrelevantes a los fines de la investigación y querer usar un

diseño de dos grupos relacionados, experimental-control, que presupone la igualdad inicial de estos. Si las variables de emparejamiento no están estrechamente relacionadas con la variable dependiente, el emparejamiento es irrelevante y no logra lo que se propone. Variables de emparejamiento muy usadas, como sexo o la edad, si no correlacionan fuertemente con la variable dependiente en una investigación concreta, no consiguen el deseado control de variables extrañas rivales de la o las variables independientes y el diseño queda desvirtuado.

Control de variables independientes

Se refiere al control tanto de las variables experimentales que se miden o manipulan como al de las variables extrañas. En cada investigación hay determinadas variables extrañas que pueden influir en los cambios observados en la variable dependiente y que sólo en la medida en que son controladas, dejan de ser explicaciones plausibles de los resultados y permiten que estos sean explicados por las variables independientes experimentales. Otra forma de ejercer el control es manipulando o midiendo el investigador las variables experimentales, pues es precisamente esta acción sobre ellas lo que diferencia al experimento de otros tipos de investigación.

La técnica más eficaz de control de variables extrañas es la distribución al azar. La razón de ello es que se supone que si los grupos se han elegido así, deben ser estadísticamente iguales antes de introducir la o las variables independientes. Por ello, se recomienda usar la asignación al azar siempre que sea posible y aplicarla no sólo a la selección de las muestras sino al asignar estas a grupos, tratamientos, investigadores, etc.

Generalización

Este criterio es sinónimo de validez externa. Es responder al interrogante, ¿en qué medida se pueden generalizar los resultados de un estudio a otros sujetos, grupos y condiciones experimentales?

Este criterio es de gran interés en la investigación aplicada, pues se persigue generalizar los resultados a poblaciones lo más extensas posible. Empalma con el problema de la representatividad de la muestra, pero los conceptos de población y muestra se aplican no sólo a las personas, sino también a las situaciones experimentales.

Con propiedad, los resultados sólo pueden generalizarse a aquellas muestras, personas, grupos o situaciones que sean muy similares a las empleadas en la investigación y ello siempre que se hayan ejercido los controles adecuados.

En realidad, los dos últimos criterios están muy relacionados. En la medida en que aumenta el control de variables experimentales, en esa medida aumenta la generalidad de los resultados. Pero pueden existir experimentos que demuestren claramente relaciones específicas entre la variable independiente y la variable dependiente, validez interna, y sin embargo, carecer de validez externa o representatividad. Por ello, al seleccionar el diseño hemos de preguntarnos si lo que nos interesa es sobre todo confirmar la relación postulada en la hipótesis o si además de ello interesa generalizar ese resultado, en cuyo caso hay que pedir al diseño validez interna y externa (como veremos más adelante).

2.5.5. Clases de diseños

Son varios los criterios que pueden emplearse en su clasificación. Los más

empleados son: la línea de investigación, el grado de control, la técnica de control empleada y el número de variables independientes, o una combinación de los anteriores.

Según la línea de investigación

Según la línea de investigación que se esté utilizando, existen dos tipos de diseños: diseños estadísticos y diseños no estadísticos (Castro, 1980; Arnau, 1981).

Los primeros, que aparecen por la década de los veinte, siguen la tradición hipotético-deductiva y se les conoce también con el nombre de diseños de grupos, por trabajar con grupos de sujetos. Recurren normalmente a la aleatorización como técnica de control y emplean técnicas estadísticas en el contraste de hipótesis. Hoy se habla de ellos como de diseños clásicos o de tradición fisheriana.

Los diseños no estadísticos son aquellos que siguen la línea inductiva, gozando de cierta tradición en las investigaciones clásicas de un solo sujeto de Wundt, Ebbinghaus, Watson, Thorndike, y otros autores.

Esta línea de investigación fue revitalizada por Skinner allá por los años treinta, siendo bastante empleada en la investigación de laboratorio dos décadas después. Estos diseños utilizan un solo sujeto o una muestra muy reducida y, como técnicas de control, emplean la eliminación y la constancia.

Normalmente, no recurren a pruebas de análisis estadístico.

Según el grado de control

Una segunda clasificación del diseño puede ser en pre-experimentales, cuasi-

experimentales y experimentales propiamente dichos (Campbell y Stanley, 1991).

En ella, se atiende a la capacidad de los distintos diseños para controlar las variables experimentales que pueden interferir con la variable independiente o tratamiento experimental y contaminar los resultados observados en el experimento. Cuando el nivel de control es muy alto, hablamos de diseños experimentales propiamente dichos. Cuando es muy bajo, estamos ante un diseño pre-experimental o piloto o ante un diseño cuasi-experimental o de campo. Estos últimos diseños consisten en la observación directa de los fenómenos en su medio ambiente natural, sin apenas influir sobre las distintas variables del estudio. Como se verá más adelante, este tipo de estudios tienen ventajas e inconvenientes, pero son muy poco utilizados en el campo de las Ciencias de la Salud.

Todos ellos se inscriben en la tradición estadístico-fisheriana y son, por tanto, diseños de grupo. Utilizan técnicas de control como la aleatorización y el emparejamiento al formar los grupos. La generalización de sus conclusiones está relacionada con el grado de control.

Según la técnica de control

Este criterio de clasificación (McGuigan, 1976, Arnau, 1981) se fija en la técnica de control específica que se utiliza en los distintos diseños. Así, cuando se emplea la aleatorización, tenemos los diseños de grupos al azar, que pueden ser de dos o más grupos. En ellos se emplea la selección al azar tanto al elegir los sujetos como al asignarlos a grupos y tratamientos experimentales.

Cuando la técnica de control es la constancia de las condiciones experimentales, se habla de diseños de grupos apareados o de diseños de bloques. En los

diseños de grupos apareados se emplea alguna medida inicial de los grupos, denominada variable de apareamiento para lograr la equivalencia inicial de éstos antes de introducir los tratamientos experimentales. Para la asignación de las condiciones experimentales se recurre normalmente al azar.

En los diseños de bloques, la muestra total se divide en grupos o bloques atendiendo a alguna característica llamada variable de bloqueo. A su vez, cada bloque se subdivide en tantos grupos como condiciones experimentales existan, y se asignan a éstas aleatoriamente. Tanto la variable de apareamiento como la de bloqueo deben estar estrechamente relacionadas con la variable dependiente. Finalmente, cuando el sujeto es su propio control, tenemos el diseño intrasujetos. En él, cada sujeto es sometido a todos los valores de la variable independiente o condiciones experimentales, midiéndose la variable dependiente bajo cada una de las condiciones. La comparación de estas medidas permite determinar los efectos de los distintos valores de la variable independiente.

Según el número de variables independientes

De acuerdo con el número de variables independientes que intervienen se habla de diseños univariados y diseños multivariados (Escotet, 1980; Arnau, 1981).

Los diseños univariados utilizan una sola variable independiente, que puede variar de dos maneras: diseños bicondicionales o de dos grupos, o de varias, diseños multicondicionales. En estos últimos son necesarios tantos grupos como valores tome la variable independiente. Los diseños univariados son los más utilizados en el campo de las Ciencias de la Salud y, concretamente, de la Histología. Presentan la ventaja de su sencillez y el fácil control de todos los factores que afectan al experimento, aunque adolecen de cierta artificialidad, puesto que la realidad nunca es sencilla ni simple.

Los diseños multivariantes emplean dos o más variables independientes y se les conoce con el nombre de diseños factoriales, los cuales admiten a su vez nuevas clasificaciones si nos fijamos en la técnica de control utilizada. Estos diseños permiten obtener información sincrónica sobre varias variables experimentales, pero tienen el problema de su gran complejidad y la necesidad de utilizar muestras de gran tamaño.

2.6 PROCESAMIENTO DE DATOS: PAQUETES ESTADÍSTICOS

Una de las aplicaciones del procesamiento de datos que más ha evolucionado ha sido el desarrollo de paquetes estadísticos. Conceptualmente un paquete estadístico es un programa informático específicamente diseñado para el procesamiento de datos con el objetivo de resolver problemas de estadística descriptiva o inferencial. El entorno legislativo que marca la normativa de las investigaciones indica que en el protocolo del estudio se debe identificar el sistema informático que se va a utilizar y éste debe ser un sistema trazable, seguro y fiable que asegure la confidencialidad de los datos, que permita identificar los usuarios que acceden al mismo y las modificaciones que se producen en su contenido a través del tiempo.

Con el desarrollo de la microinformática la utilización de los paquetes estadísticos ha pasado de los centros de investigación, empresas o instituciones públicas hasta poder instalarse en cualquier ordenador. Hoy por hoy, cualquier ordenador personal puede tener instalado alguno o varios paquetes estadísticos. Conocer brevemente la utilidad y características de los diferentes paquetes estadísticos más utilizados en la investigación científica nos ayudará a elegir el más idóneo para la realización de nuestro trabajo.

2.6.1. Definición de paquetes estadísticos

Un paquete estadístico es un programa informático de cálculo de análisis estadístico que incluye frecuentemente la confección de gráficos para tener una interpretación más visual de los resultados. Generalmente suelen tener una ventana de visualización de los datos en formato de panel de celdas (filas y columnas) y una ventana de los resultados obtenidos y otra ventana de programación propia de cada software.

Su utilización se dirige preferentemente a la realización de complejos y costosos cálculos que implica el desarrollo de la estadística actual. De esta forma, procesos de análisis matemático que antes eran interminables y que podían ocupar períodos de tiempo extensos se resuelven ahora en períodos relativamente cortos. En la actualidad existen muchos y variados paquetes estadísticos en el mercado, desde los más simples, que sólo incluyen la estadística descriptiva, hasta los más complejos que realizan todo tipo de cálculos, incluso algunos de ellos se han especializado en concreto para el desarrollo de las técnicas estadísticas más avanzadas. Para manejarlos se puede hacer en modo de comando, es decir, a través de órdenes escritas, o por menús, facilitando más su manejo.

2.6.2. Paquetes estadísticos más difundidos

A continuación se citan los paquetes estadísticos más difundidos:

- ❖ SAS, Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., Cary, NC) Paquete estadístico que ofrece numerosas posibilidades en cuanto a análisis estadístico y gestión de bases de datos. Requiere de conocimientos bastante elevados en programación. Elevado coste asociado a su licencia.

- ❖ SPSS, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Inc., Chicago)
Programa que permite realizar fácilmente análisis estadísticos desde los más simples hasta un nivel elevado de sofisticación, con fácil programación mediante menús y cuadros de diálogo. Buena importación y exportación de ficheros. Dispone de manuales y ayudas. Es uno de los paquetes más populares en todos los sectores gracias a su facilidad de manejo.
- ❖ Minitab Statistical Software (State College, Pa) Programa de fácil manejo para la realización de análisis estadísticos con buenos gráficos. Permite uso interactivo y es popular entre estudiantes y usuarios no especializados aunque no contempla tantos métodos estadísticos como SPSS, SAS, incluye regresión múltiple. No es adecuado para conjuntos de datos pequeños.
- ❖ StatGraphics es un programa creado para facilitar el análisis estadístico de los datos. Es por esta razón que dispone de algunas ventajas comparativas sobre otros programas informáticos. Entre estas ventajas destaca la facilidad y la rapidez mediante la cual se consiguen ejecutar las distintas técnicas estadísticas, sin omitir que incluye un amplio conjunto de estrategias analíticas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Biotecnología Agroindustrial y Planta Piloto de Jugos y Frutas de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materia prima y otros

El olluco (*Ullucus tuberosus Caldas*) proveniente de las zonas altoandinas de Ayacucho, adquiridas en el Mercado Nery García Zárate.

Almidón de maíz y de papa

3.1.2 Reactivos

- Ácido ascórbico QP
- Ácido bórico al 4%
- Hidróxido de sodio QP
- 2-6 Diclorofenolindofenol QP
- Fenolftaleína al 1%

- Ácido cítrico
- Agua destilada

3.1.3 Materiales de laboratorio y otros

- Placa petri (10 cm de diámetro por 1,5 cm de altura).
- Fiolas de 25 mL, 50 mL, 100 mL y 1 L.
- Matraces erlenmeyer de 100, 250, 500 y 1000 mL.
- Vasos de precipitación.
- Buretas
- Pipetas de 1, 5 y 10 mL.
- Probetas de 50, 100 y 250 mL.
- Pinzas, espátulas, papel filtro, cuchillos
- Tubos de ensayo de con gradilla.

3.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

Los equipos e instrumentos utilizados para los diferentes análisis son:

- Balanza analítica Marca AND HR 200
- Estufa Marca HOT AIR OVEN modelo YCO-010.
- Horno de Calcinación (Mufla), marca RELES modelo ML/U5L
- Potenciómetro digital, marca HANNA INSTRUMENTS USA.
- Refractómetro ABBE
- Penetrómetro Marca Vetoycla STGO
- Refrigeradora
- Cocina Eléctrica

3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.3.1. Análisis fisicoquímico de la materia prima

La materia prima fue sometida a los siguientes análisis:

3.3.1.1 Determinación de la humedad

Se determinó el % de Humedad de la materia prima, mediante el método de desecación por estufa.

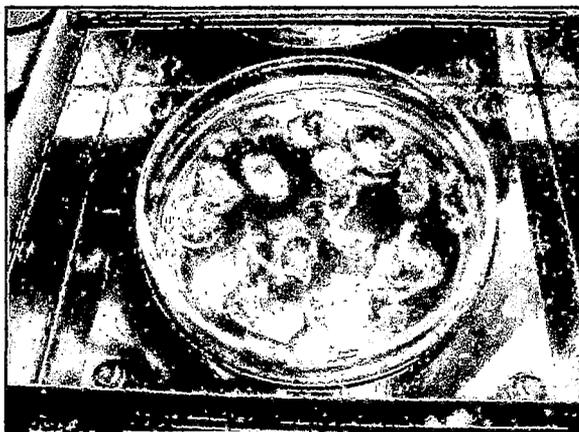


Figura 3.1: Determinación de humedad

3.3.1.2 Determinación de ceniza total

Se determinó el % de cenizas, mediante la incineración de la materia prima.

Queda el residuo inorgánico después del quemado.

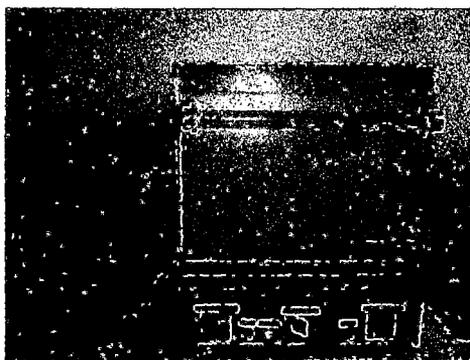


Figura 3.2: Determinación de ceniza total

3.3.1.3 Determinación del pH:

Se determinó el pH por el método potenciométrico, con un potenciómetro digital a 25°C, por inmersión del electrodo en el jugo del olluco, previa calibración con solución buffer de pH 4 y 7.

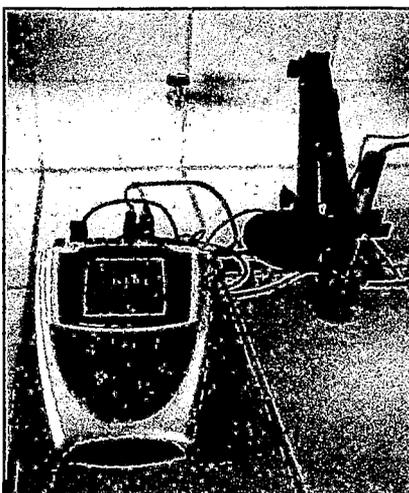


Figura 3.3: Determinación del pH

3.3.1.4. Determinación de sólidos solubles

Se determinó el contenido de sólidos solubles por refractometría, haciendo la lectura de los °Brix directamente del equipo.

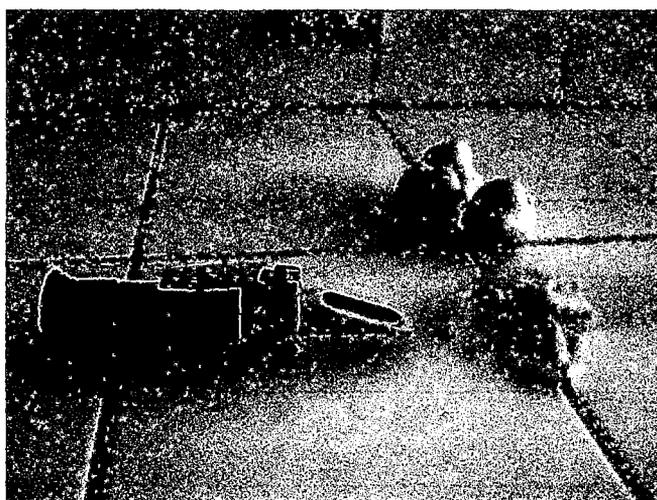


Figura 3.4: Determinación de sólidos solubles

3.3.1.5 Determinación de la Firmeza o textura

Se determinó la consistencia de la pulpa del olluco utilizando un penetrómetro

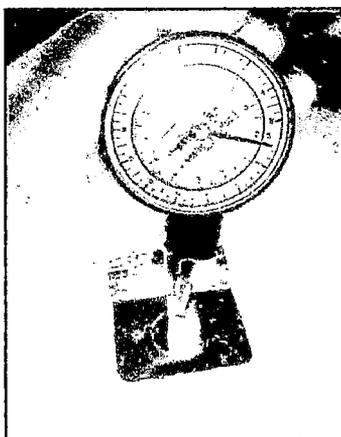


Figura 3.5: Determinación de la firmeza o textura

3.3.1.6 Determinación de pérdida de peso

La pérdida de peso se determinó por gravimetría, tomando el peso inicial y peso final del producto envasado.



Figura 3.6: Determinación de la pérdida de peso

En la figura 12 se muestra el diagrama de flujo para obtener olluco mínimamente procesado con recubiertas comestibles de almidón de maíz y de papa

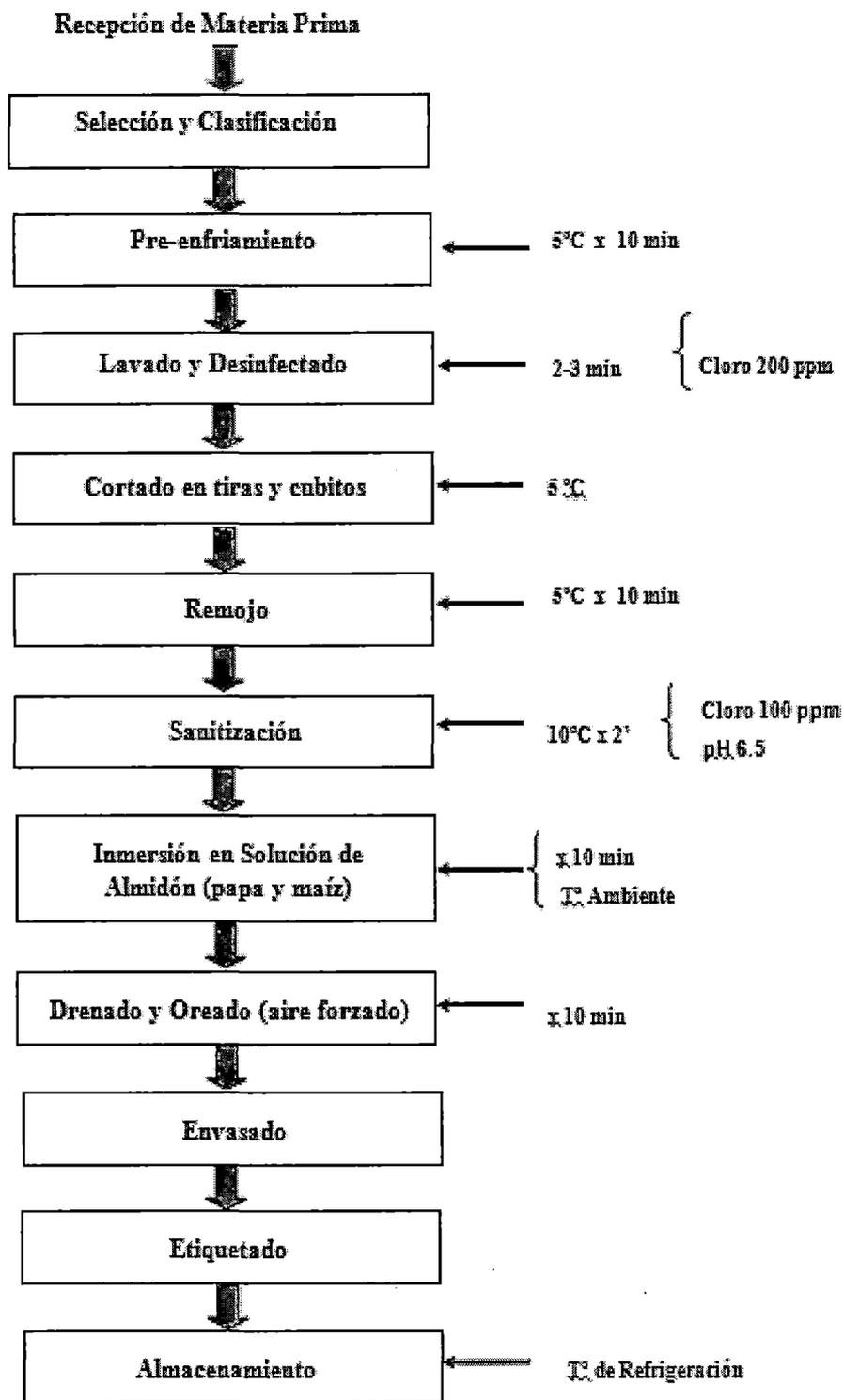


Figura 3.7: Diagrama de flujo para obtener olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) mínimamente procesado con recubrimientos comestibles

3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE OLLUCO MÍNIMAMENTE PROCESADO

3.4.1. Recepción de materia prima: El olluco procedente de las zonas altoandinas de Ayacucho, adquirida en el Mercado Nery García Zárate, fue recepcionada y colocada en las mesas de trabajo.

3.4.2. Selección y clasificación: En esta etapas se removieron todas aquellas unidades que no fueron aptas para el consumo en fresco, ya sea por poseer daños mecánicos, enfermedades, defectos de diverso tipo, etc. Se clasificaron los ollucos de óptima calidad, ya sea por su tamaño, forma, color, textura u otros.

3.4.3. Pre-enfriamiento: En esta etapa la materia prima fue colocada en un recipiente con agua fría a 5 °C, por ser un producto perecedero, se busca bajar el calor del producto, para que pueda conservarse por más tiempo durante el almacenamiento.

3.4.4. Lavado y desinfectado: La materia prima fue sumergida por 2-3 minutos en un recipiente que contenía agua con cloro con una concentración de 200 ppm, con la finalidad de eliminar todo tipo de agentes extraños, tales como polvo, insectos, piedras, palos, etc y el desinfectado tuvo como principal función, eliminar la población de microorganismos, con el uso de cloro, los que afectarían la inocuidad y calidad del producto final.

3.4.5. Cortado en tiras y cubitos: en esta etapa se utilizó cuchillos de acero inoxidable, para cortar al olluco en tiras y en cubos, ya que el plato “*olluquito con charqui*” tiene ese corte característico en tiras, y para ser utilizado como sustituto de la papa se cortó en cubos para la preparación de guisos.

3.4.6. Remojo: En esta etapa sometemos a los ollucos cortados a un remojo por 5 minutos a una temperatura de 5 °C, para la eliminación del *mucílago*, característica típica del olluco, que le da un sabor que no agrada a los consumidores, el mismo que puede ser un factor negativo para incrementar la demanda y su consumo.

3.4.7. Sanitización: Se utilizó una solución de cloro 100 ppm, por ser el sanitizante más ampliamente utilizado en la agroindustria. La finalidad de la sanitización es la de reducir las poblaciones microbianas en el agua empleada durante las operaciones de limpieza.

3.4.8. Inmersión en solución de almidón: Se preparó una suspensión gelatinizada de almidón de papa y luego de almidón de maíz, a una temperatura de 70°C con agitación constante hasta el punto de gelificación, posteriormente se dejará enfriar a temperatura ambiente y luego se procederá a sumergir los ollucos cortados en éstas suspensiones de almidón por 1 minuto:

- Papa: concentraciones de 0.5% a 1.5%
- Maíz: concentraciones de 0.5% a 1.5%

3.4.9. Drenado y oreado (aire forzado): En esta etapa se eliminó el exceso de la suspensión de almidón del producto con la ayuda de una malla o colador, luego se extendió sobre una superficie con papel absorbente y con ventilación forzada por 15 - 30 min

3.4.10. Envasado: se utilizaron envases transparentes PET (Poliestireno) de forma circular con tapa hermética de 200 gramos de capacidad.

3.4.11. Almacenamiento: Se acondicionó los envases que contenían los ollucos, en una refrigeradora a 5 °C. Durante el almacenamiento se evaluaron la textura, la pérdida de peso, el color, etc.

3.5. METODOLOGÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

La metodología que se utilizó en esta investigación consiste en la utilización del diseño multifactorial, herramienta estadística la que determina la influencia que pueden tener los factores (variables independientes) sobre las respuestas, llamadas variables dependientes. Ello permite confeccionar un diseño estadístico multifactorial que puede estimar la combinación inicial apropiada de los factores escogidos en el proceso de elaboración de olluco mínimamente procesado con recubrimientos de almidón de papa y de maíz. Este diseño conforma una ecuación matemática que determinaría la influencia que pueden tener los factores (variables independientes) sobre la respuesta o variable dependiente. Esta metodología conlleva a la obtención de una ecuación matemática que proporciona la formación de una superficie de respuesta. Ahora bien, la metodología de superficie de respuesta, es un grupo de técnicas

matemáticas y estadísticas útiles para el modelado y análisis en aplicaciones donde la respuesta de interés está influenciada por varias variables y donde el objetivo generalmente es el de optimizar (maximizar o minimizar) esa respuesta (Chacin, 2000).

Para la optimización se aplican técnicas de diseño de experimentos a fin de determinar la combinación óptima y conjunta de los parámetros críticos del proceso de elaboración que dan un valor de respuesta óptima.

El diseño de experimentos es una de las técnicas más utilizadas en ingeniería para actividades de diseño o desarrollo de nuevos productos o de mejora de procesos de producción. En otras palabras el diseño experimental es una aproximación científica que permite al experimentador hacer cambios intencionados a los factores del proceso o del sistema para identificar y observar las razones en que los cambios influyen en la respuesta. Entre las ventajas del diseño de experimentos está que facilitan las predicciones estadísticas con base científica, ayudan a justificar de forma fehaciente la toma de decisiones y también proporcionan una máxima información sobre el proceso con un mínimo de experiencias. García- Montoya, E *et al.* (2009).

3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO

3.6.1. Consideraciones del Diseño

Existen otros factores no reseñados en el estudio que podrían influir y podrían ser objeto de investigación, son los llamados factores ambientales: T° del ambiente, humedad, técnicas operativas del personal, etc. Para su control se

intenta que sean constantes o como mínimo se verifican antes de empezar el experimento, para comprobar que no están en los extremos críticos.

La variabilidad debido a las materias primas, queda eliminada ya que son utilizadas las mismas materias primas (mismo número de lote) en todos los experimentos. La variabilidad debida a los equipos no existe ya que siempre fueron los mismos utilizados para todos los tratamientos.

3.6.2. Diseño experimental

Se utilizó el programa estadístico Design Expert v7.0 en el cual se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para establecer si existía diferencia significativa entre las medias.

El diseño estadístico se empleó para evaluar el efecto que causa la concentración de almidón, el tipo de corte y el tipo de almidón sobre la textura, el color y la pérdida de peso en la vida útil del olluco mínimamente procesado con recubrimiento comestible de almidón de papa y de maíz a diferentes concentraciones, suspensiones que fueron trabajadas de manera independiente mas no mezcladas. El producto fue almacenado a temperatura de refrigeración a 5°C.

3.6.3. Definición de Variables

Para el diseño del experimento se definieron las siguientes variables:

- ❖ **Variables Independientes:** Concentración de almidón, tipo de corte y tipo de almidón

- ❖ **Variables Respuestas:** Textura, color y pérdida de peso.

Cuadro 3.1: Definición de variables y niveles del diseño estadístico

VARIABLES	NIVEL BAJO (-)	NIVEL ALTO (+)
X1: Concentración de Almidón (%)	0.5	1.5
X2: Tipo de Corte	Cubos	Tiras
X3: Tipo de Almidón	Almidón de maíz	Almidón de papa

Fuente: Programa estadístico Design Expert v7.0

3.7. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Cuadro 3.2: Condiciones del experimento del diseño d-óptimo de superficie
 respuesta

Std	Run	Block	Factor 1 A: Concent. (%)	Factor 2 B: Tipo de Corte	Factor 3 C: Tipo de Almidón	Respuesta 1: Textura (Kg/cm ²)	Respuesta 2: Color (Cie Lab)	Respuesta 3: Pérdida de Peso (g)
11	1	Block 1	0,63	Cubos	Papa			
10	2	Block 1	1,50	Tiras	Maíz			
8	3	Block 1	0,58	Tiras	Papa			
9	4	Block 1	0,50	Cubos	Maíz			
1	5	Block 1	1,09	Cubos	Maíz			
5	6	Block 1	0,94	Cubos	Maíz			
14	7	Block 1	0,63	Cubos	Papa			
4	8	Block 1	0,99	Tiras	Papa			
2	9	Block 1	1,18	Tiras	Maíz			
7	10	Block 1	1,50	Cubos	Papa			
13	11	Block 1	1,50	Tiras	Maíz			
3	12	Block 1	1,43	Cubos	Papa			
12	13	Block 1	0,58	Tiras	Papa			
6	14	Block 1	0,70	Tiras	Maíz			

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante las etapas del procesamiento mínimo pueden tener lugar a cambios físicos, fisiológicos, bioquímicos y ataques microbiológicos que aceleran la pérdida de la calidad del producto fresco cortado respecto de la materia prima de origen. Durante el almacenamiento de los ollucos control se observó una buena apariencia general hasta el sexto día de almacenamiento, presentando características sensoriales aceptables, con resequedad en la superficie propia de la pérdida de agua debido al almacenamiento en refrigeración. Posteriormente, perdieron su calidad comercial, debido principalmente a la creciente incidencia de hongos. En los ollucos tratados la vida post-cosecha se extendió dos días ya que mantuvieron una muy buena apariencia general hasta el día 8. Por ser una investigación que no reporta antecedentes en lo que respecta a recubrimiento de almidón aplicado en ollucos mínimamente procesados, los datos aquí reportados generarán una tendencia para continuar con las investigaciones en este producto

poco conocido y consumido para realzar sus características nutricionales y su composición química.

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL OLLUCO (*Ullucus tuberosus* Caldas)

La materia prima utilizada fue la variedad Ckello chuccha, de tubérculos amarillos.

Se realizó la evaluación fisicoquímica a la materia prima.

Cuadro 4.1: Características fisicoquímicas iniciales del olluco.

Características	Muestras iniciales					Promedio
	1	2	3	4	5	
pH	6,57	6,20	5,89	6,50	5,75	6,18
Humedad (%)	91,64	90,50	91,70	90,80	91,6	91,25
°Brix	4	5	3,5	4	5	4,3
Peso (gramos)	18	20	21	17	22	19,6
Textura (Kg/cm ²)	1,3	1,8	1,5	1,0	1,4	1,4

4.2 RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

En el cuadro 4.2 se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de textura, con Penetrómetro; color, con Colorímetro y pérdida de peso con Balanza. Estos resultados se adecuaron en función al diseño estadístico empleado en el estudio.

Cuadro 4.2: Resultados obtenidos con el diseño superficie de respuesta

Std	Run	Block	Factor 1 A: Conc. (%)	Factor 2 B: Tipo de Corte	Factor 3 C: Tipo de Almidón	Respuesta 1: Textura (Kg/ cm ²)	Respuesta 2: Color (CieLab)	Respuesta 3: Pérdida de Peso (g)
11	1	Block 1	0,63	Cubos	Papa	1,73	55,0198	1,06
10	2	Block 1	1,50	Tiras	Maíz	1,21	53,3564	0,82
8	3	Block 1	0,58	Tiras	Papa	1,26	59,5046	1,47
9	4	Block 1	0,50	Cubos	Maíz	1,71	61,8453	1,46
1	5	Block 1	1,09	Cubos	Maíz	1,62	56,6215	1,58
5	6	Block 1	0,94	Cubos	Maíz	1,86	56,0297	1,39
14	7	Block 1	0,63	Cubos	Papa	1,7	55,0198	1,03
4	8	Block 1	0,99	Tiras	Papa	1,3	59,5046	1,4
2	9	Block 1	1,18	Tiras	Maíz	1,2	48,9778	1,73
7	10	Block 1	1,50	Cubos	Papa	1,3	52,5654	1,34
13	11	Block 1	1,50	Tiras	Maíz	1,2	53,3564	1,29
3	12	Block 1	1,43	Cubos	Papa	1,6	51,5252	1,33
12	13	Block 1	0,58	Tiras	Papa	1,3	59,5046	1,5
6	14	Block 1	0,70	Tiras	Maíz	1,2	48,9778	1,7

Fuente: Programa Estadístico Design Expert v7.0

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.3.1. Resumen del diseño estadístico

- **Tipo de estudio** : Superficie de respuesta
- **Diseño Inicial** : D-optimal
- **Modelo del diseño** : Cuadrático
- **Runs**: 14

Cuadro 4.3: Resumen del diseño d-óptimo de superficie respuesta - factores

Factor	Nombre	Tipo	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded	Signif.	Desv. Stándar
A	Concentración de almidón (%)	Numérico	0.50	1.50	-1.000	1.000	0.910	0.362
B	Tipo de corte	Categorico	Cubos	Tiras			Levels:	2
C	Tipo de almidón	Categorico	Maíz	Papa			Levels:	2

Cuadro 4.4: Resumen del diseño d-óptimo de superficie respuesta - respuesta

Resp.	Nombre	Unidad	Análisis	Mín	Máx	Signif.	Desv. Stándar	Modelo
Y1	Textura	Kg/ cm ²	Polinomial	1.20	1.86	1.44	0.24	2FI
Y2	Color	CieLab	Polinomial	48.98	61.85	55.13	3.85	Cuadrático
Y3	Pérdida	g	Polinomial	0.82	1.73	1.36	0.25	2FI

4.3.2. Análisis de la gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados para verificar la normalidad de los residuales, para la variable respuesta TEXTURA

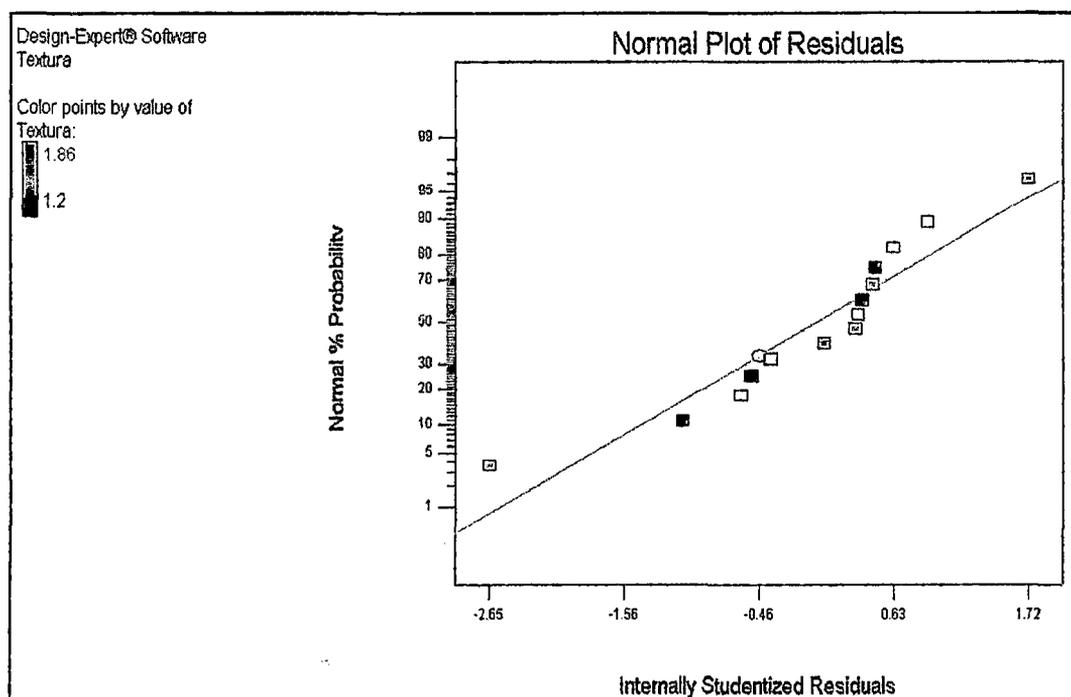


Figura 4.1: Gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados

Observando la figura 4.1 podemos diferenciar los puntos que representan a los 14 tratamientos para la variable respuesta **textura**. Lo que se busca es que los puntos estén lo más próximo a la línea de la normal. Los tratamientos que más se alejan son: Run 3, 4, 5, 9, 10 y 11 ya que los errores no se distribuyen normalmente, observando que el valor studentizado es negativo dado que el valor actual es (observado durante la ejecución del tratamiento en laboratorio) $<$ que el valor predicho (obtenido a partir de la fórmula de optimización)

4.3.3. Análisis de la gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error para la variable respuesta TEXTURA

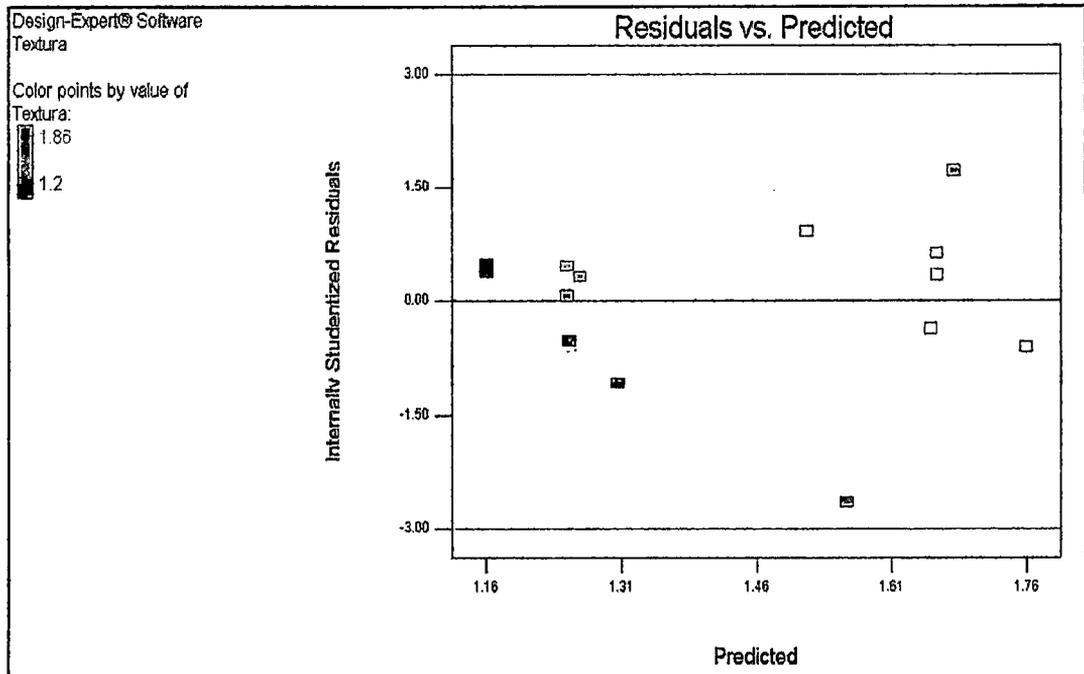


Figura 4.2: Gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error

En la figura 4.2 se representa el Residual estandarizado (Internally Studentized Residuals) frente al valor predicho (Predicted), el cual se obtiene a partir de la fórmula de optimización

Ecuación final en términos de los valores codificados

$$\text{Textura} = +1.42 - 0.071 *A - 0.23 *B - 0.044*C + 0.011 *A*B - 0.063 *A*C + 0.032 *B*C$$

Ecuación final en términos de los valores actuales

Tipo de corte = Cubos

Tipo de Almidón = Maíz

$$\text{Textura} = +1.76112 - 0.036847 * \text{Concentración de Almidón}$$

Tipo de Corte = Tiras

Tipo de Almidón = Maíz

$$\text{Textura} = +1.19444 + 6.87733\text{E-}003 * \text{Concentración de Almidón}$$

Tipo de Corte = Cubos

Tipo de Almidón = Papa

$$\text{Textura} = +1.86290 - 0.29082 * \text{Concentración de Almidón}$$

Tipo de Corte = Tiras

Tipo de Almidón = Papa

$$\text{Textura} = +1.42334 - 0.24709 * \text{Concentración de Almidón}$$

Observamos además que los valores se alejan al valor 0 (cero) en el eje de las Y, precisamente porque los valores predichos y actuales no son iguales generando un valor positivo o negativo, si sólo si, los valores residuales fueran iguales a cero todos los puntos aparecerían sobre la línea de predicción.

Así también podemos identificar a las corridas (run) que presentan un valor residual por encima (1, 2, 6, 7, 12 y 13 valor actual > valor predicho) o debajo (3, 4, 5 y 10 valor actual < valor predicho) del valor, sólo las run 8, 9, 11 y 14 (valor actual \approx valor predicho) se aproximan al valor.

Estos valores se pueden observar en el cuadro 4.5.

Cuadro 4.5: Diagnóstico estadístico - variable respuesta: textura

Diagnostics Case Statistics									
Standard	Actual	Predicted			Internally	Externally	Influence on		
Order	Value	Value	Residual	Leverage	Studentized Residual	Studentized Residual	Fitted Value DFFITS	Cook's Distance	Run Order
1	1.62	1.72	-0.10	0.643	-1.386	-1.507	* -2.02	0.495	5
2	1.20	1.20	-1.269E-003	0.317	-0.013	-0.012	-0.008	0.000	9
3	1.60	1.45	0.15	0.683	2.213	3.740	* 5.49	* 1.51	12
4	1.30	1.30	2.034E-004	0.359	0.002	0.002	0.001	0.000	8
5	1.86	1.73	0.13	0.385	1.398	1.524	1.207	0.175	6
6	1.20	1.20	7.794E-004	0.725	0.012	0.011	0.018	0.000	14
7	1.30	1.52	-0.22	0.344	-2.224	-3.804	* -2.75	0.371	10
8	1.26	1.28	-0.020	0.340	-0.203	-0.188	-0.135	0.003	3
9	1.71	1.74	-0.033	0.950	-1.194	-1.239	* -5.38	* 3.84	4
10	1.21	1.20	5.245E-003	0.475	0.059	0.055	0.052	0.000	2
11	1.73	1.68	0.049	0.482	0.557	0.527	0.509	0.041	1
12	1.30	1.28	0.020	0.340	0.201	0.186	0.134	0.003	13
13	1.20	1.20	-4.755E-003	0.475	-0.054	-0.050	-0.047	0.000	11
14	1.70	1.68	0.019	0.482	0.215	0.200	0.193	0.006	7

* Exceeds limits

Diagnostics Tool

Diagnostics | Influence

Ext. Student e_i

Leverage

DFFITS

DFBETAS

Cook's D

Report

Clear Points

4.3.4. Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus las corridas experimentales para la variable respuesta TEXTURA

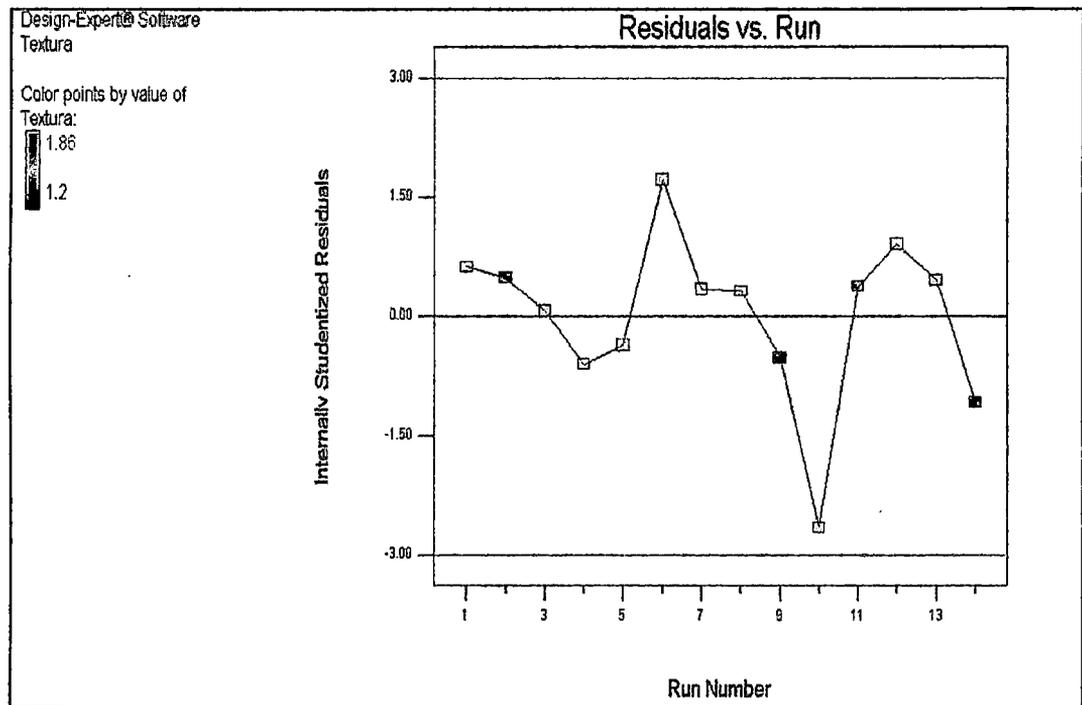


Figura 4.3: Gráfica de residuales studentizados contra las corridas experimentales

En la figura 4.3 observamos el valor residual que es la diferencia entre el valor obtenido de cada tratamiento en el laboratorio y el valor obtenido a partir de la fórmula de optimización, haciendo una comparación entre las 14 corridas (run), observamos que hay variaciones entre sus valores actuales y predichos, porque de lo contrario se aproximarían a la línea horizontal. Así también podemos identificar a las corridas (run) que presentan un valor residual por encima (1, 2, 6, 7, 12 y 13 valor actual > valor predicho) o debajo (3, 4, 5 y 10 valor actual < valor predicho) del valor, sólo las run 8, 9, 11 y 14 (valor actual \approx valor predicho) se aproximan al valor.

4.3.5. Efecto de la concentración de almidón sobre la variable respuesta

TEXTURA.

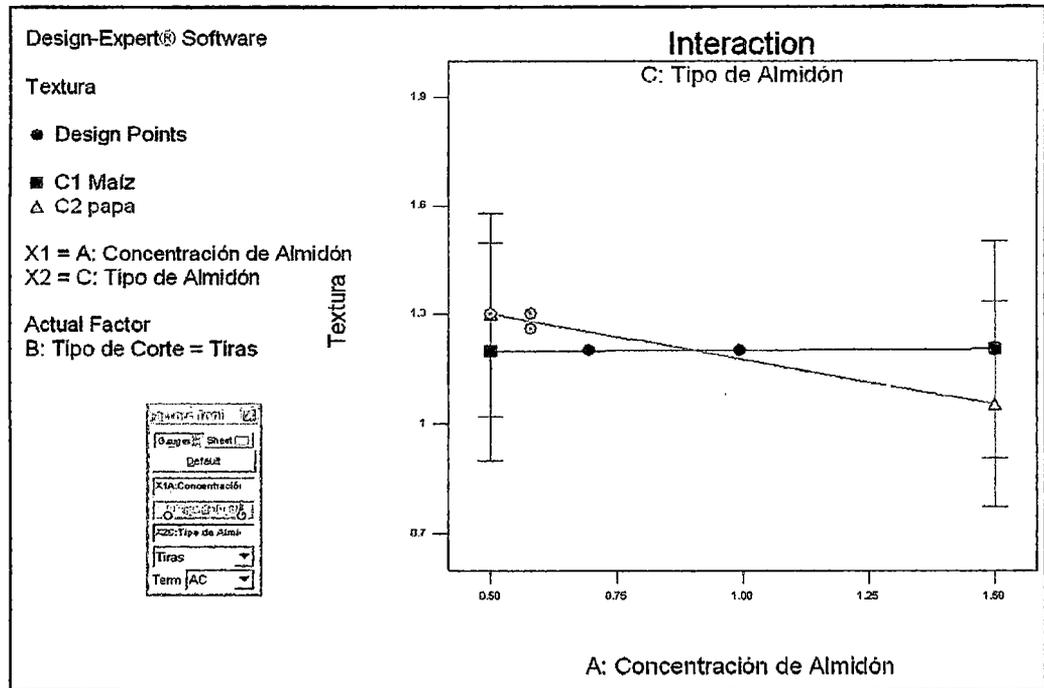


Figura 4.4: Interacción para la relación entre textura y concentración de almidón según el tipo de almidón

Observando la Figura 4.4 de interacción para los factores de estudio A: concentración de almidón, B: Tipo de Corte = Tiras y C: Tipo de Almidón = Maíz (C1) y papa (C2), donde previo análisis al estudio ANOVA se verifica que la interacción entre los factores AC son los más significativos y ello se demuestra en el Cuadro 13, donde si se mantiene el factor A en su nivel inferior (0.5%) se llega a obtener una pérdida de peso 1.2 gr de agua para una concentración de almidón de maíz (C1), y de 1.3 gr de agua para una concentración de almidón de papa (C2), representando un diferencial de 0,1 gramo de agua perdida más para una concentración de almidón de papa.

Para Nevins, 1997; el ablandamiento o pérdida de firmeza de los frutos es atribuido a la degradación de los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, debido a la acción de enzimas específicas tales como la pectinesterasa y la poligalacturonasa

Estas modificaciones a nivel celular traen como consecuencia la pérdida de agua por parte de los tejidos vegetales, lo que se ha determinado también, como un factor importante en los cambios texturales sufridos por diversos productos (Del Valle *et al.*, 2005).

Se ha observado que ambientes con concentraciones bajas en O₂ y altas en CO₂, reducen la actividad enzimática causante de la degradación de las paredes celulares, permitiendo así la retención de la firmeza de frutas y vegetales durante su vida postcosecha (Del Valle y Palma, 1997).

Cuadro 4.6: Análisis de varianza para la variable respuesta textura

ANOVA for Response Surface 2FI Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0.67	6	0.11	7.52	0.0088	significant
A-Concentració	0.020	1	0.020	1.33	0.2868	
B-Tipo de Corte	0.24	1	0.24	16.16	0.0051	
C-Tipo de Almic	7.388E-003	1	7.388E-003	0.50	0.5038	
AB	2.658E-004	1	2.658E-004	0.018	0.8974	
AC	9.051E-003	1	9.051E-003	0.61	0.4610	
BC	5.955E-003	1	5.955E-003	0.40	0.5471	
Residual	0.10	7	0.015			
Lack of Fit	0.10	4	0.026	59.35	0.0035	significant
Pure Error	1.300E-003	3	4.333E-004			
Cor Total	0.78	13				

4.3.6. Efecto del tipo de corte sobre la variable respuesta TEXTURA.

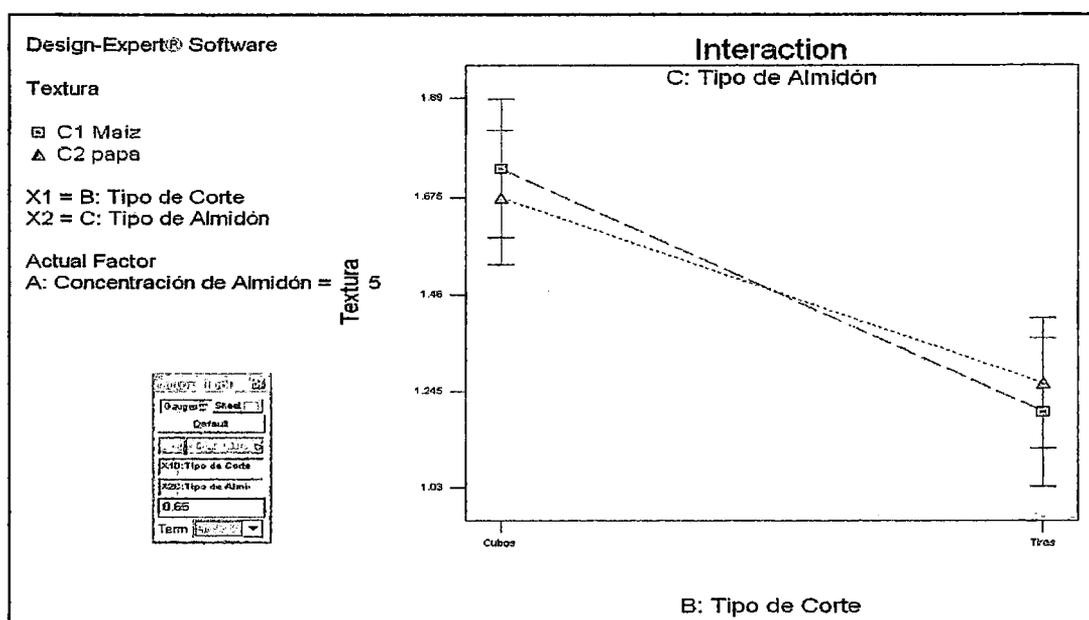


Figura 4.5: Interacción para la relación entre textura y tipo de corte según el tipo de almidón

Observando la figura 4.5 de interacción para los factores de estudio A: Concentración de almidón = 0.65, B: tipo de corte y C: tipo de almidón = maíz (C1) y papa (C2), donde previo análisis al estudio ANOVA se verifica que la interacción entre los factores BC son los más significativos y ello se demuestra en el cuadro 4.6, donde si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo cubos se llega a obtener una pérdida de textura de 1,67 (Kg/cm²) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 1,74 (Kg/cm²) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial de 0,07 (Kg/cm²) de pérdida más para una concentración de almidón de papa.

Para el caso donde, si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo tiras se

llega a obtener una pérdida de Textura de 1,26 (Kg/cm²) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 1,2 (Kg/cm²) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial de 0,06 (Kg/cm²) de pérdida más para para una concentración de almidón de papa.

Según Bolin y Huxsoll (1989), los productos mínimamente procesados pierden firmeza en un corto tiempo durante el almacenamiento a bajas temperaturas.

Este comportamiento se atribuye a los cambios acelerados inducidos por el daño causado a las células del tejido durante el cortado o pelado, entre los que se encuentran la liberación de enzimas pectinolíticas y proteolíticas desde las células dañadas al interior de los tejidos, la transformación de protopectina a pectina soluble en agua, disminución en la cristalinidad de celulosa, difusión de azúcares a los espacios intercelulares, adelgazamiento de las paredes celulares, y al movimiento de iones de la pared celular (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003)

Las alteraciones microbiológicas son uno de los problemas más importantes en el desarrollo de estos alimentos. El corte de los productos facilita la disponibilidad de nutrientes celulares liberados que pueden ser utilizados por la microflora contaminante. En el tejido vegetal cortado y en el que se daña mecánicamente puede disminuir la resistencia a la infección o invasión de microorganismos patógenos que originan podredumbres y pueden causar toxiinfecciones (Rolle y Chism, 1987)

De esto se deduce que el proceso de higienización de los productos vegetales de

la IV Gama, destinados a su consumo directo, deben seguir unos requerimientos muy estrictos durante la higienización de los productos, empleando diversos lavados con agua pre enfriada con un contenido en cloro en distintas concentraciones.

4.3.7. Análisis de la gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados para verificar la normalidad de los residuales para la variable respuesta COLOR

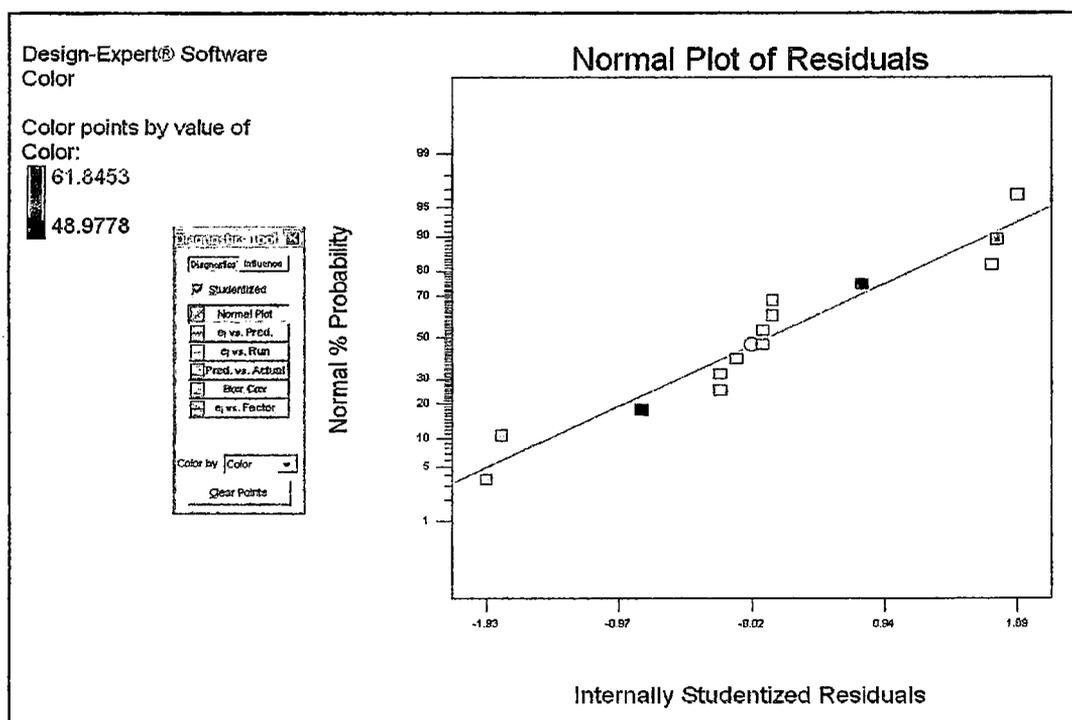


Figura 4.6: Gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados

Observando la figura 4.6 podemos diferenciar los puntos que representan a los 14 tratamientos para la variable respuesta color. Lo que se busca es que los puntos estén lo más próximo a la línea de la normal. Los tratamientos que más

se alejan son: Run1, 6, 7, 8, 9 y 12 ya que los errores no se distribuyen normalmente, observando que el valor studentizado es negativo dado que el valor actual es (observado durante la ejecución del tratamiento en laboratorio) < que el valor predicho (obtenido a partir de la fórmula de optimización).

4.3.8. Análisis de la gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error, para la variable respuesta COLOR

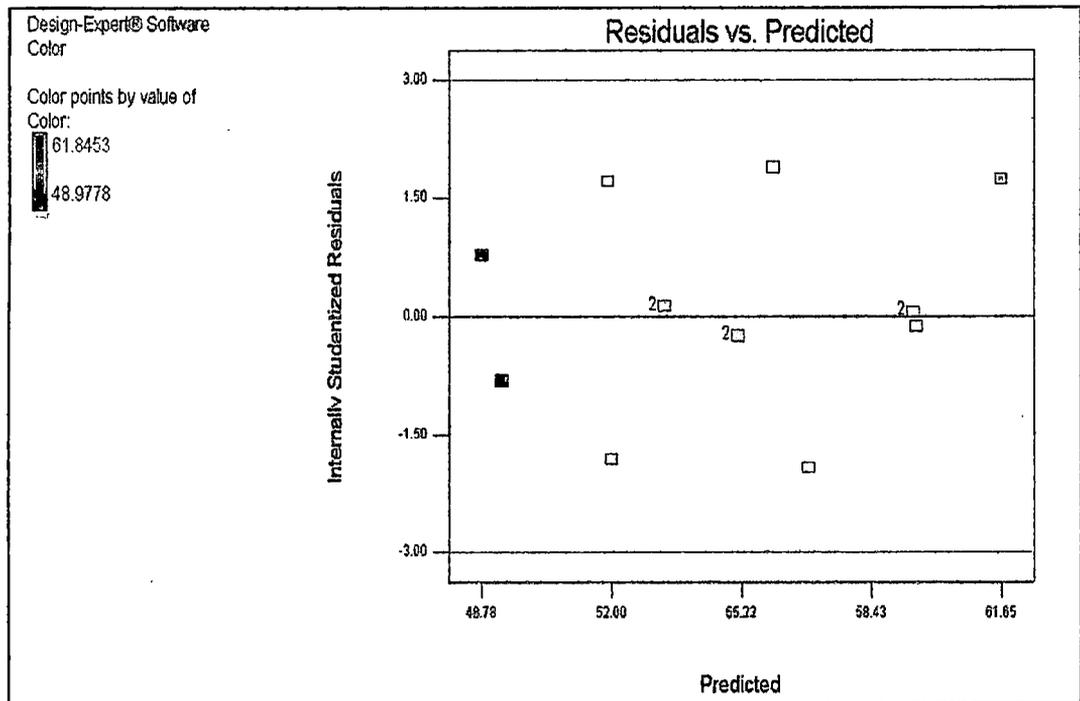


Figura 4.7: Gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error

En la figura 4.7 se representa el residual estandarizado (Internally Studentized Residuals) frente al valor predicho (Predicted), el cual se obtiene a partir de la fórmula de optimización.

Ecuación Final en Términos de los Valores codificados

$$\text{Color} = +54,73 - 0,052 *A + 0,28 *B + 1,83 *C + 2,63 *A*B + \\ 0,53 *A*C + 3,87*B*C + 1,95 *A^2$$

Ecuación Final en Términos de los Valores Actuales

Tipo de corte = cubos

Tipo de Almidón = maíz

$$\text{Color} = +70,70693 - 22,02151 * \text{Concentración de Almidón} + \\ 7,80392 * \text{Concentración de Almidón}^2$$

Tipo de Corte = Tiras

Tipo de Almidón = Maíz

$$\text{Color} = +53.01694 - 11.51496 * \text{Concentración de Almidón} + \\ 7.80392 * \text{Concentración de Almidón}^2$$

Tipo de Corte = cubos

Tipo de Almidón = papa

$$\text{Color} = +64,51567 - 19,90848 * \text{Concentración de Almidón} + \\ 7,80392 * \text{concentración de almidón}^2$$

Tipo de Corte = Tiras

Tipo de Almidón = Papa

$$\text{Color} = +62.30644 - 9.40192 * \text{Concentración de Almidón} + 7.80392 * \text{Concentración de Almidón}^2$$

Observamos además que los valores se alejan al valor 0 (cero) en el eje de las Y, precisamente porque los valores predichos y actuales no son iguales generando un valor positivo o negativo, si sólo si, los valores residuales fueran iguales a cero todos los puntos aparecerían sobre la línea de predicción.

Así también podemos identificar a las corridas (run) que presentan un valor residual por encima (4, 5, 10 y 14 valor actual > valor predicho) o debajo (1, 6, 7, 9 y 12 valor actual < valor predicho) del valor, sólo las run2, 3, 8, 11 y 13 (valor actual \approx valor predicho) se aproximan al valor.

Los valores se pueden observar en el cuadro 4.7.

Cuadro 4.7: Diagnóstico estadístico – variable respuesta: color

Diagnostics Case Statistics									
Standard	Actual	Predicted		Internally	Externally	Influence on			
Order	Value	Value	Residual	Leverage	Studentized Residual	Studentized Residual	Fitted Value	Cook's Distance	Run Order
1	56.62	55.98	0.64	0.654	1.891	2.715	* 3.73	0.846	5
2	48.98	49.28	-0.30	0.589	-0.814	-0.788	-0.943	0.119	9
3	51.53	52.00	-0.47	0.797	-1.820	-2.481	* -4.91	* 1.62	12
4	59.50	59.56	-0.052	0.524	-0.131	-0.119	-0.125	0.002	8
5	56.03	56.87	-0.84	0.430	-1.929	-2.856	* -2.48	0.351	6
6	48.98	48.78	0.19	0.808	0.771	0.742	1.523	0.313	14
7	52.57	51.89	0.68	0.529	1.708	2.175	* 2.30	0.409	10
8	59.50	59.48	0.026	0.381	0.057	0.052	0.041	0.000	3
9	61.85	61.65	0.20	0.961	1.744	2.266	* 11.25	* 9.37	4
10	53.36	53.30	0.053	0.488	0.129	0.118	0.115	0.002	2
11	55.02	55.12	-0.10	0.485	-0.245	-0.225	-0.218	0.007	1
12	59.50	59.48	0.026	0.381	0.057	0.052	0.041	0.000	13
13	53.36	53.30	0.053	0.488	0.129	0.118	0.115	0.002	11
14	55.02	55.12	-0.10	0.485	-0.245	-0.225	-0.218	0.007	7

* Exceeds limits

Diagnostics Tool

Diagnostics Influence

Ext. Student e_i

Leverage

DFFITS

DFBETAS

Cook's D

Report

4.3.9. Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus las corridas experimentales para la variable respuesta COLOR

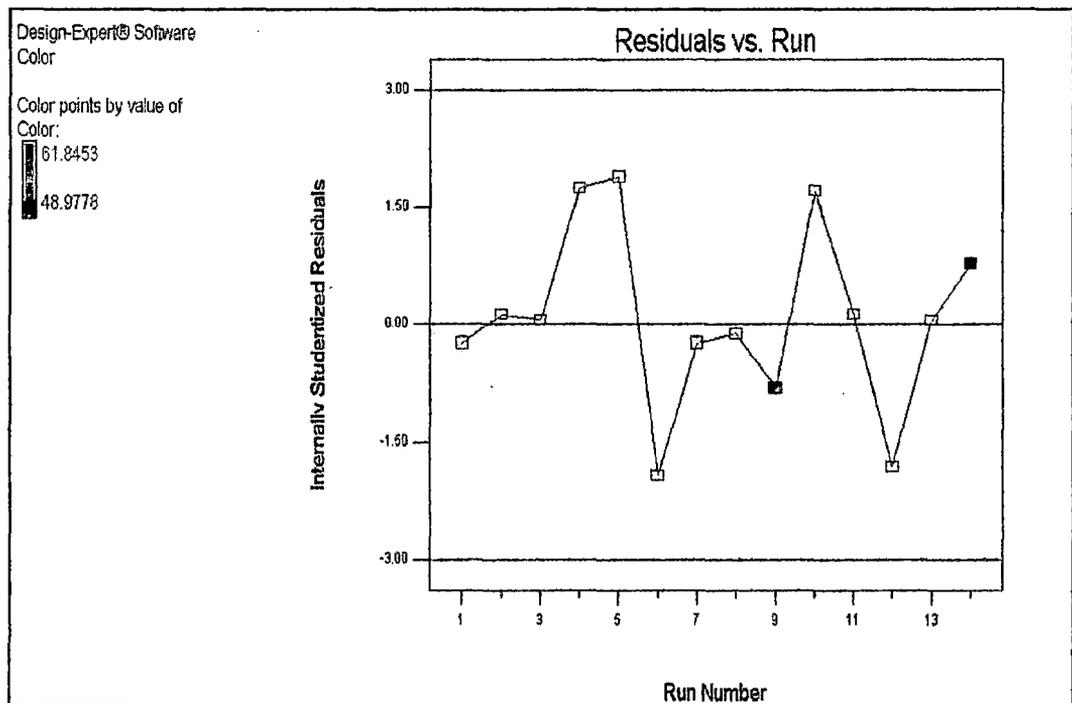


Figura 4.8: Gráfica de residuales studentizados contra las corridas experimentales

En la figura 4.8 observamos el valor residual que es la diferencia entre el valor obtenido de cada tratamiento en el laboratorio y el valor obtenido a partir de la fórmula de optimización, haciendo una comparación entre las 14 corridas (run), observamos que hay variaciones entre sus valores actuales y predichos, porque de lo contrario se aproximarían a la línea horizontal

Así también podemos identificar a las corridas (run) que presentan un valor residual por encima (2, 4, 5, 10, 11 y 14 valor actual > valor predicho) o debajo (1, 6, 7, 8, 9 y 12 valor actual < valor predicho) del valor, sólo las run 3 y 13 (valor actual \approx valor predicho) se aproximan al valor.

4.3.10. Efecto de la concentración de almidón (0.50%) sobre la variable respuesta color

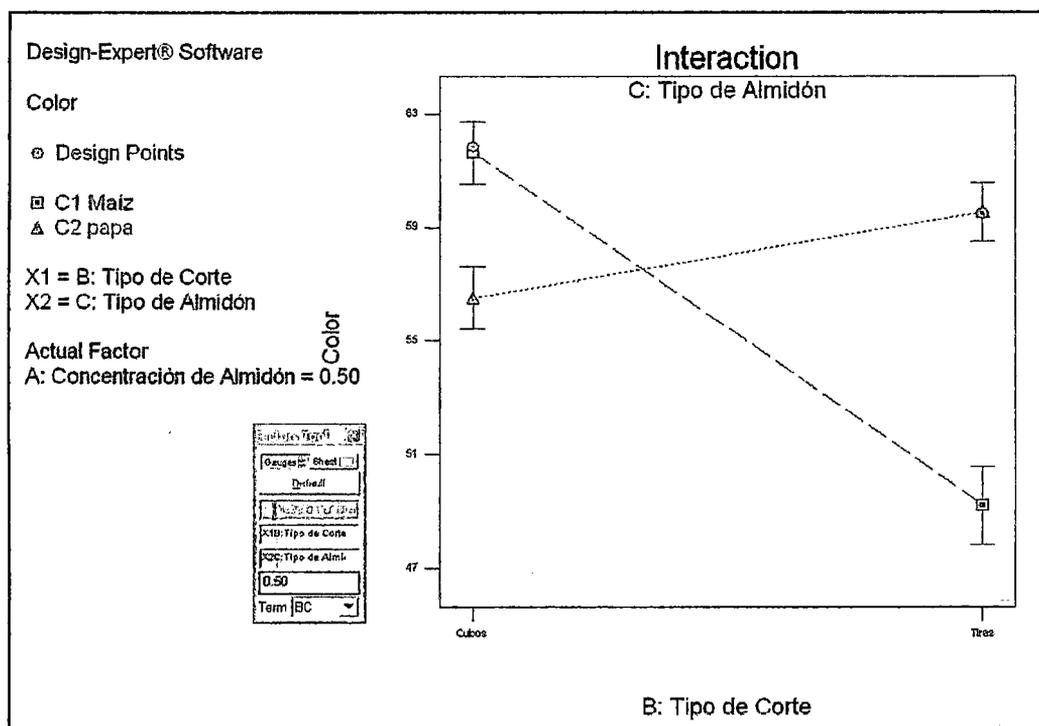


Figura 4.9: Interacción para la relación entre color y tipo de corte según el tipo de almidón, con concentración = 0.50 %

Observando la Figura 4.9 de interacción para los factores de estudio A: concentración de almidón = 0.50, B: tipo de corte y C: tipo de almidón = maíz (C1) y papa (C2), donde previo análisis al estudio ANOVA se verifica que la interacción entre los factores BC son los más significativos y ello se demuestra en la figura 34, donde si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo cubos se llega a obtener una pérdida de color de 56,51 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 61,65 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial de 5,14 Cielab de pérdida de luminosidad más para una concentración de almidón de maíz.

Para el caso donde, si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo tiras se llega a obtener una pérdida de color de 59,56 CieLab (Luminosidad) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 49,21 CieLab (Luminosidad) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial de 10,35 CieLab de pérdida de luminosidad más para para una concentración de almidón de papa.

Cuadro 4.8: Análisis de varianza para la variable respuesta color

ANOVA for Response Surface Quadratic Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	205.14	7	29.31	88.40	< 0.0001	significant
A-Concentració	8.263E-003	1	8.263E-003	0.025	0.8797	
B-Tipo de Corte	0.15	1	0.15	0.45	0.5265	
C-Tipo de Almic	5.51	1	5.51	16.61	0.0065	
AB	6.32	1	6.32	19.05	0.0047	
AC	0.41	1	0.41	1.24	0.3072	
BC	52.68	1	52.68	158.90	< 0.0001	
A ²	2.49	1	2.49	7.52	0.0336	
Residual	1.99	6	0.33			
Lack of Fit	1.99	3	0.66			
Pure Error	0.000	3	0.000			
Cor Total	207.13	13				

4.3.11. Efecto de la concentración de almidón (1.01%) sobre la variable respuesta color

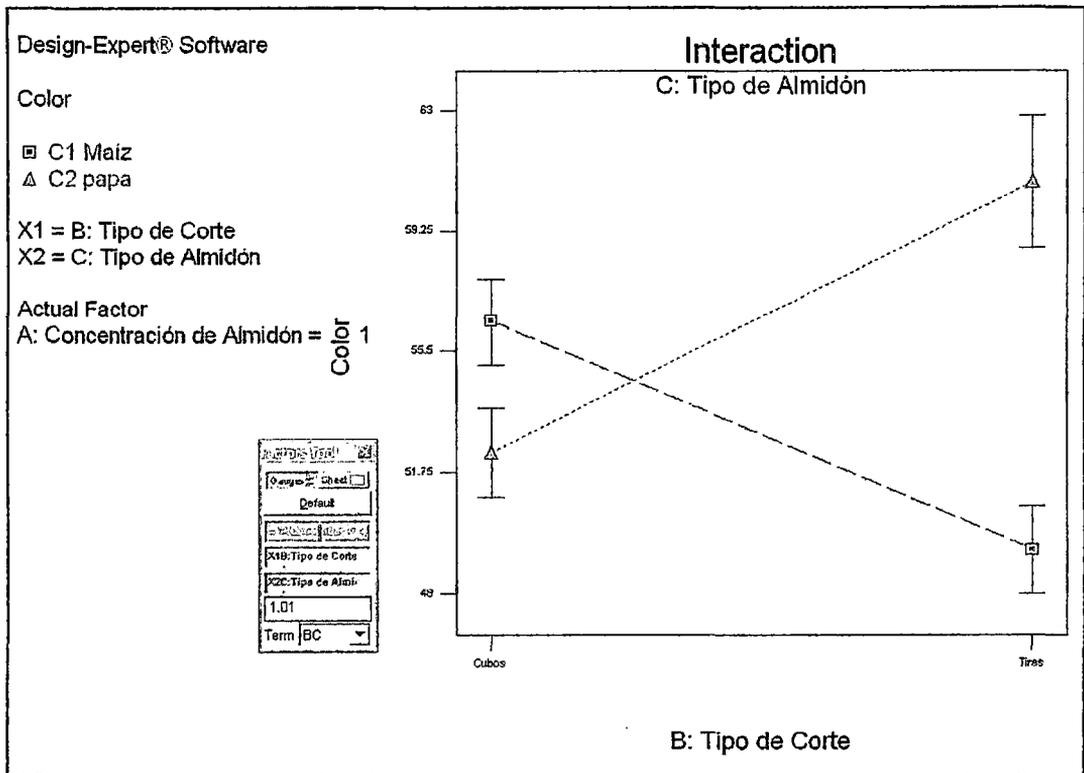


Figura 4.10: Interacción para la relación entre color y tipo de corte según el tipo de almidón, con concentración = 1.01 %

Observando la figura 4.10 de interacción para los factores de estudio A: concentración de almidón = 1.01 , B: tipo de corte y C: tipo de almidón = maíz (C1) y papa (C2), donde previo análisis al estudio ANOVA se verifica que la interacción entre los factores BC son los más significativos y ello se demuestra en el cuadro 15, donde si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo cubos se llega a obtener una pérdida de color de 52,35 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 56,40 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial

de 4,05 CieLab de pérdida de luminosidad más para para una concentración de almidón de maíz.

Para el caso donde, si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo tiras se llega a obtener una pérdida de color de 60,79 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 49,36 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial de 11,43 CieLab de pérdida de luminosidad más para una concentración de almidón de papa.

4.3.12. Efecto de la concentración de almidón (1.50%) sobre la variable respuesta color

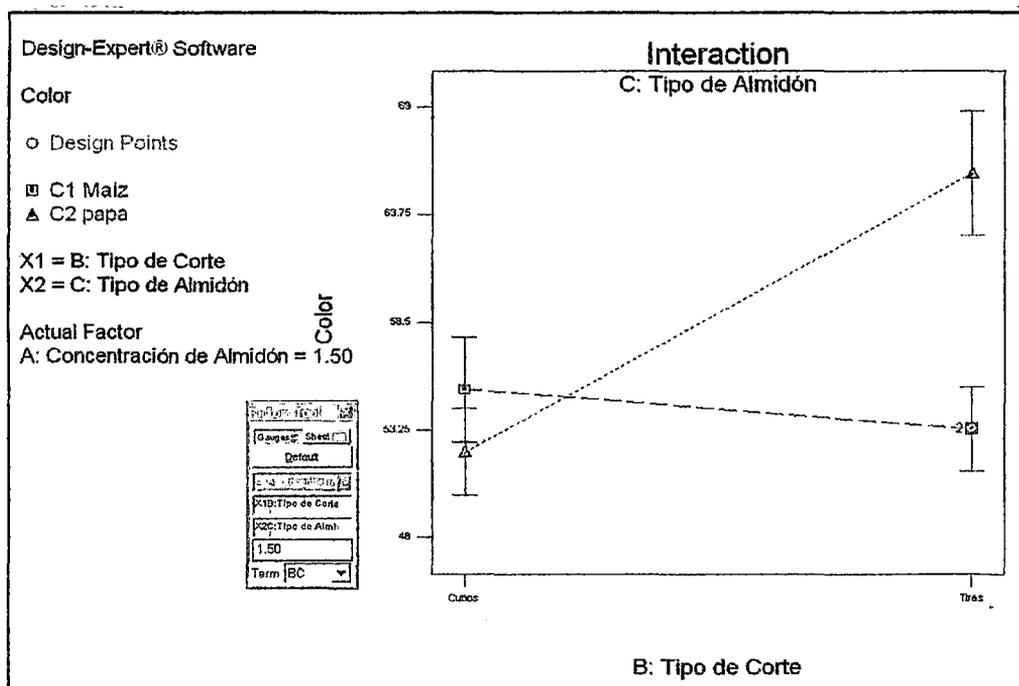


Figura 4.11: Interacción para la relación entre color y tipo de corte según el tipo de almidón, con concentración = 1.50 %

Observando la Figura 4.11 de interacción para los factores de estudio A: concentración de almidón = 1.50, B: tipo de corte y C: tipo de almidón = maíz (C1) y papa (C2), donde previo análisis al estudio ANOVA se verifica que la interacción entre los factores BC son los más significativos y ello se demuestra en el Cuadro 15, donde si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo cubos se llega a obtener una pérdida de color de 52,21 CieLab (Luminosidad) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 55,43 CieLab (Luminosidad) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial de 3,22 Cielab de pérdida de luminosidad más para una concentración de almidón de maíz.

Para el caso donde, si se mantiene el factor B para un tipo de corte tipo tiras se llega a obtener una pérdida de color de 65,76 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de papa (C2), y de 53,30 Cielab (Luminosidad) para una concentración de almidón de maíz (C1), representando un diferencial de 12,46 Cielab de pérdida de luminosidad más para una concentración de almidón de papa.

Cabe señalar también que el color de la pulpa también sufrió cambios durante el periodo de almacenamiento. Como es sabido, el pardeamiento o la aparición de manchas oscuras en el mesocarpio o pulpa de frutos, son los principales síntomas de daños por frío. Estos daños son producidos por efecto de las bajas temperaturas a determinados tiempos de almacenamiento. La sensibilidad a las bajas temperaturas es una propiedad común de los sistemas vivos (Cisneros y Colinas 1989).

Arismendi (2004) menciona que el mucílago de nopal es un polímero compuesto por polisacáridos semejante a las pectinas, propiedad que le da un potencial como materia prima para la elaboración de películas plásticas comestibles.

Del Valle *et al.*, (2005), comprobó la eficiencia de una película comestible de mucílago de nopal como recubrimiento en fresas, observándose el incremento de vida útil sin afectar el color y sabor del alimento.

En el caso del mucílago del olluco existe un gran potencial en el uso de los mucílagos que contiene gran cantidad de progesterona. (Jacobsen et al. 2003)

Se pudo observar que los frutos testigo comenzaron a presentar síntomas de daños por frío a los 6 días de almacenamiento, mientras que los frutos recubiertos estuvieron libres de daños por 2 días más. Por lo anterior, se puede deducir que el uso de recubrimientos a base de almidón ayudó a disminuir la sensibilidad de los ollucos a las bajas temperaturas. Al finalizar el experimento, el oscurecimiento de la pulpa era evidente tanto en los recubiertos como en aquellos que no lo fueron; no obstante, los ollucos sin recubrimientos mostraron además un estado avanzado de descomposición.

4.3.13. Análisis de la gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados para verificar la normalidad de los residuales, para la variable respuesta PÉRDIDA DE PESO

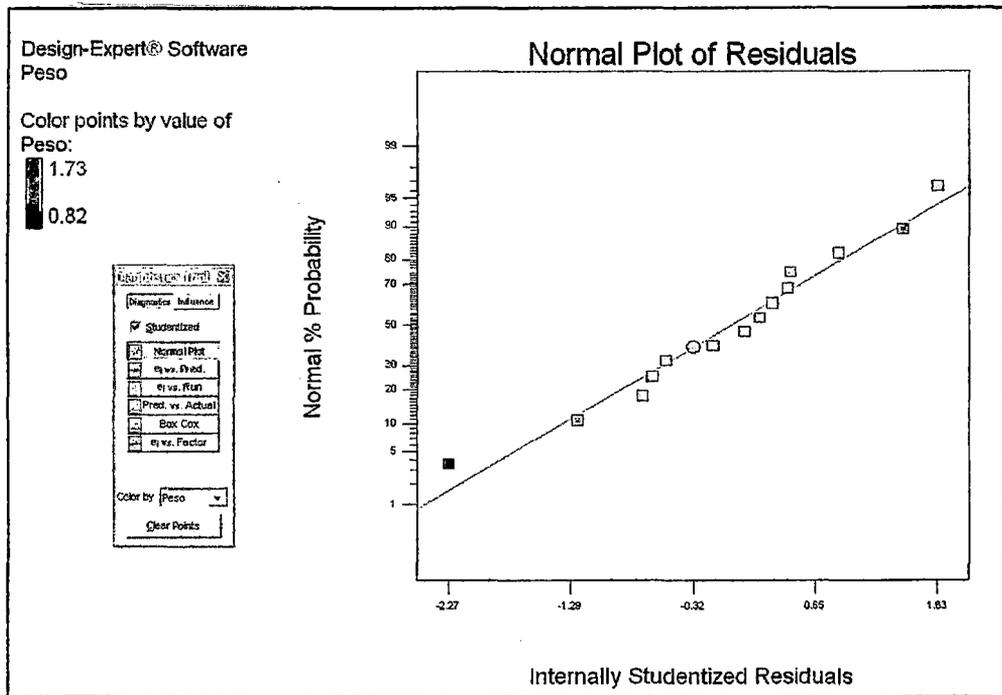


Figura 4.12: Gráfica de probabilidad normal de los residuales studentizados

Observando la figura 4.12 podemos diferenciar los puntos que representan a los 14 tratamientos para la variable respuesta pérdida de peso. Lo que se busca es que los puntos estén lo más próximo a la línea de la normal. Los tratamientos que más se alejan son: Run 2, 6, 8, 12 y 14 ya que los errores no se distribuyen normalmente, observando que el valor studentizado es negativo dado que el valor actual es (observado durante la ejecución del tratamiento en laboratorio) $<$ que el valor predicho (obtenido a partir de la fórmula de optimización).

4.3.14. Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus los valores predichos para verificar la constante del error, para la variable respuesta pérdida de peso.

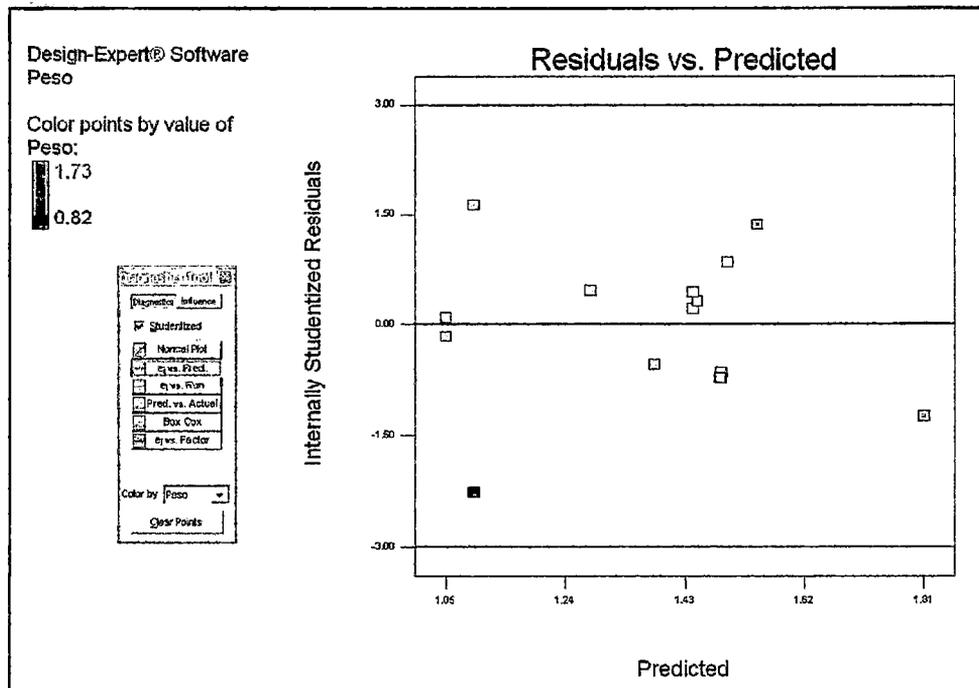


Figura 4.13: Gráfica de residuales studentizados contra los valores predichos para verificar la constante del error

En la figura 4.13 se representa el residual estandarizado (Internally Studentized Residuals) frente al valor predicho (Predicted), el cual se obtiene a partir de la fórmula de optimización

Ecuación Final en Términos de los Valores codificados

$$\text{Peso} = +1.36 - 0.12 *A + 0.013 *B - 0.15*C - 0.24 *A*B + 0.083 *A*C - 0.011*B*C$$

Ecuación Final en Términos de los Valores Actuales

Tipo de corte = cubos

Tipo de Almidón = maíz

$$\text{Peso} = +1.40753 + 0.081865 * \text{concentración de almidón}$$

Tipo de Corte = Tiras

Tipo de Almidón = Maíz

$$\text{Peso} = +2.42631 - 0.88840 * \text{concentración de almidón}$$

Tipo de Corte = cubos

Tipo de Almidón = papa

$$\text{Peso} = +0.79237 + 0.41240 * \text{concentración de almidón}$$

Tipo de Corte = tiras

Tipo de Almidón = papa

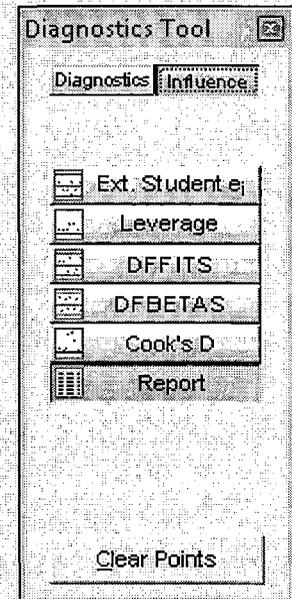
$$\text{Peso} = +1.76524 - 0.55786 * \text{concentración de almidón}$$

Observamos además que los valores se alejan al valor 0 (cero) en el eje de las Y, precisamente porque los valores predichos y actuales no son iguales generando un valor positivo o negativo, si sólo si, los valores residuales fueran iguales a cero todos los puntos aparecerían sobre la línea de Así también podemos identificar a las corridas (run) que presentan un valor residual por encima (1, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 13 valor actual > valor predicho) o debajo (2, 6, 7, 8, 12 y 14 valor actual < valor predicho) del valor, sólo las run 1 y 7 (valor actual \approx valor predicho) se aproximan al valor. Los valores se pueden observar en el cuadro 4.9.

Cuadro 4.9: Diagnóstico estadístico – variable respuesta: pérdida de peso

Diagnostics Case Statistics									
Standard	Actual	Predicted			Internally	Externally	Influence on		Run
Order	Value	Value	Residual	Leverage	Studentized	Studentized	Fitted Value	Cook's	Order
					Residual	Residual	DFBETAS	Distance	
1	1.58	1.50	0.083	0.643	0.837	0.817	1.097	0.181	5
2	1.73	1.54	0.19	0.317	1.351	1.454	0.991	0.121	9
3	1.33	1.38	-0.051	0.683	-0.542	-0.512	-0.752	0.090	12
4	1.40	1.49	-0.086	0.359	-0.647	-0.618	-0.462	0.033	8
5	1.39	1.48	-0.095	0.385	-0.726	-0.699	-0.554	0.047	6
6	1.70	1.81	-0.11	0.725	-1.243	-1.304	* -2.12	0.583	14
7	1.34	1.28	0.061	0.344	0.453	0.425	0.308	0.015	10
8	1.47	1.44	0.028	0.340	0.208	0.193	0.139	0.003	3
9	1.46	1.45	0.012	0.950	0.308	0.288	1.249	0.256	4
10	0.82	1.09	-0.27	0.475	-2.266	-4.066	* -3.86	0.663	2
11	1.06	1.05	9.874E-003	0.482	0.082	0.076	0.074	0.001	1
12	1.50	1.44	0.058	0.340	0.429	0.403	0.289	0.014	13
13	1.29	1.09	0.20	0.475	1.625	1.907	1.812	0.341	11
14	1.03	1.05	-0.020	0.482	-0.168	-0.156	-0.150	0.004	7

* Exceeds limits



4.3.15. Análisis de la gráfica de residuales studentizados versus las corridas experimentales, para la variable respuesta **PÉRDIDA DE PESO**

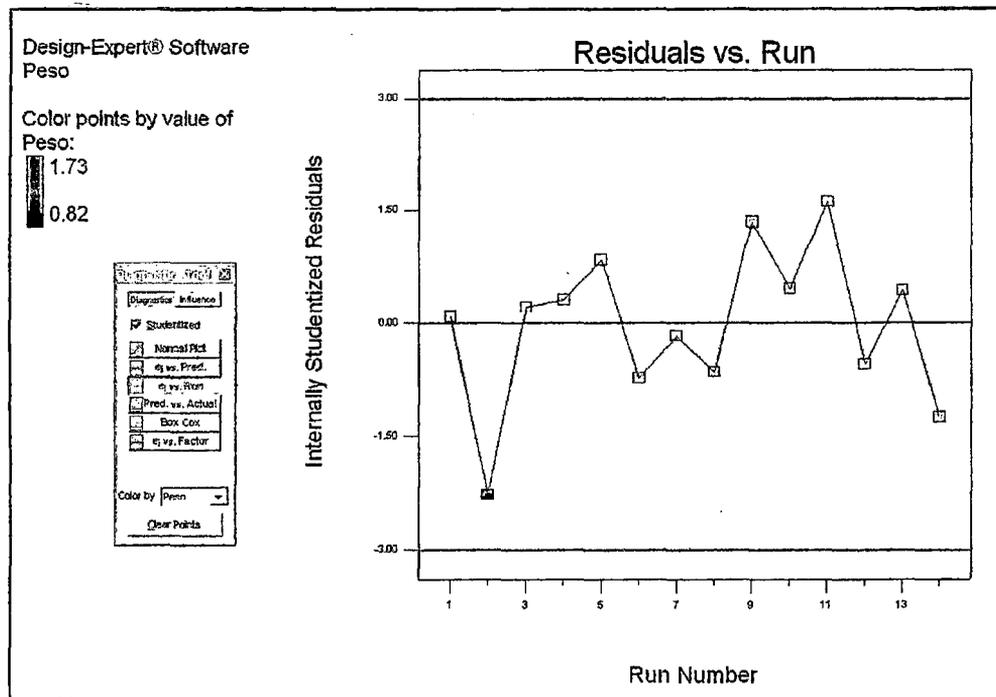


Figura 4.14: Gráfica de residuales studentizados contra las corridas experimentales

En la figura 4.14 observamos el valor residual que es la diferencia entre el valor obtenido de cada tratamiento en el laboratorio y el valor obtenido a partir de la fórmula de optimización, haciendo una comparación entre las 14 corridas (run), observamos que hay variaciones entre sus valores actuales y predichos, porque de lo contrario se aproximarían a la línea horizontal

Así también podemos identificar a las corridas (run) que presentan un valor residual por encima (5, 9, 10, 11 y 13 valor actual > valor predicho) o debajo

de peso 1,00 gr de agua para un corte tipo cubos (B1) y de 1,49 gr de agua para un tipo de corte tipo tiras (B2), representando un diferencial de 0,49 gramos de agua perdida más para un corte tipo tiras.

Cuadro 4.10: Análisis de varianza para la variable respuesta pérdida de peso

ANOVA for Response Surface 2FI Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0.65	6	0.11	3.88	0.0494	significant
A-Concentració	0.056	1	0.056	2.00	0.2000	
B-Tipo de Corte	7.446E-004	1	7.446E-004	0.027	0.8746	
C-Tipo de Almic	0.089	1	0.089	3.20	0.1166	
AB	0.13	1	0.13	4.71	0.0665	
AC	0.015	1	0.015	0.55	0.4816	
BC	7.766E-004	1	7.766E-004	0.028	0.8719	
Residual	0.19	7	0.028			
Lack of Fit	0.083	4	0.021	0.56	0.7114	not significant
Pure Error	0.11	3	0.037			
Cor Total	0.84	13				

4.3.17. Efecto de la concentración de almidón de maíz sobre la variable respuesta pérdida de peso

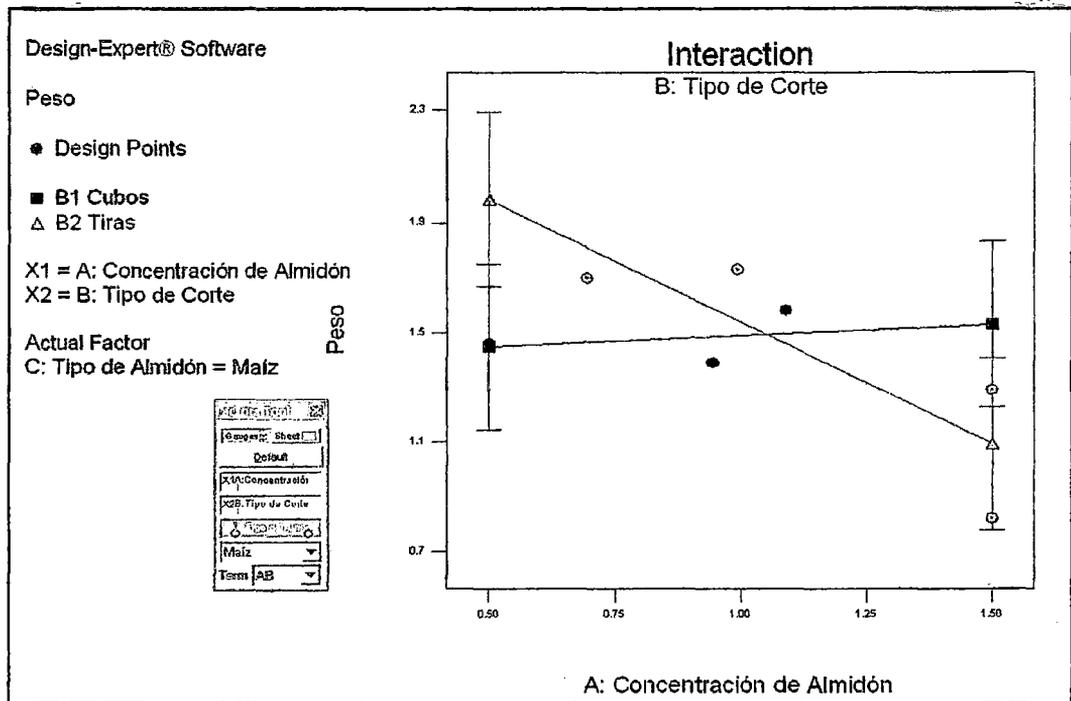


Figura 4.16: Interacción para la relación entre peso y concentración de almidón de maíz según el tipo de corte.

Observando la Figura 4.16 de interacción para los factores de estudio A: concentración de almidón, B: tipo de corte, y C: tipo de almidón= maíz, donde previo análisis al estudio ANOVA se verifica que la interacción entre los factores AB son los más significativos y ello se demuestra en el Cuadro 4.10, donde si se mantiene el factor A en su nivel inferior (0,5%) se llega a obtener una pérdida de peso 1,45 gramos de agua para un corte tipo cubos (B1) y de 1,98 gramos de agua para un tipo de corte tipo tiras (B2), representando un diferencial de 0,48 gramos de agua perdida más para un corte tipo de tiras.

La pérdida de peso en ollucos, como en la mayoría de los frutos y vegetales frescos, es consecuencia directa de la disminución en su contenido de humedad (Kader, 1986).

Las películas elaboradas a partir de este carbohidrato son claras, flexibles, transparentes y presentan excelentes barreras al oxígeno (Soliva y Martín, 2001). Sin embargo, sus propiedades de barrera contra la humedad, no son tan buenas (Krochta y De Mulder-Johnston, 1997).

En películas a base de almidón, la matriz o red es normalmente formada durante el secado de una dispersión gelatinizada debido a los puentes de hidrógeno que se establecen entre los grupos hidroxilo (Tapia-Blácido *et al.*, 2005).

Según Chitarra Chitarra y (2005), los biofilms o recubrimientos comestibles causan la reducción de la pérdida de agua y la síntesis etileno, disminuyendo la actividad respiratoria, y retraso de la senescencia.

4.3.18. Efecto del tiempo (días) en el olluco sobre la variable respuesta pérdida de peso. Corte: cubos/almidón: papa

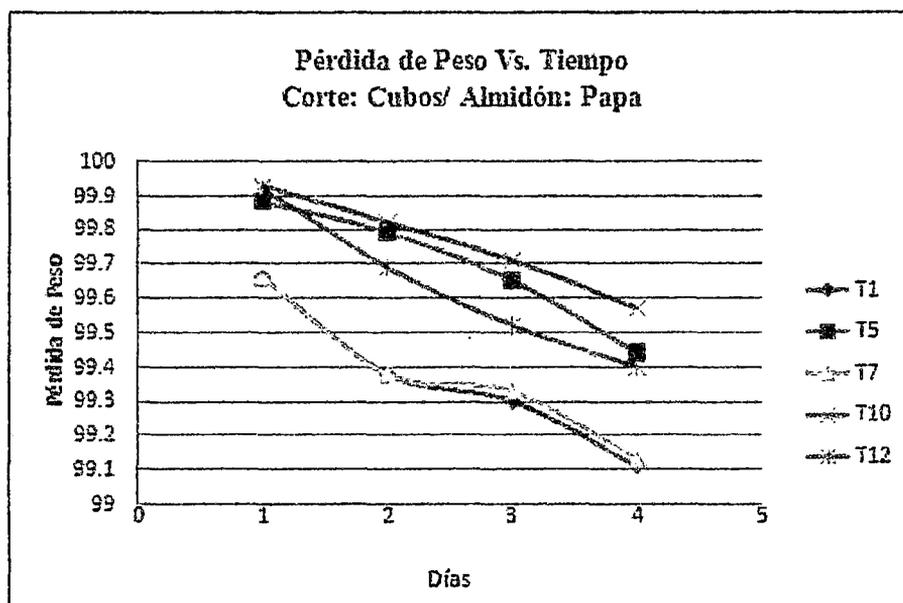


Figura 4.17: Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: papa a los 4 días de almacenamiento

Observando la figura 4.17 de pérdida de peso vs tiempo, podemos decir que para el tipo de corte tipo cubos y el tipo de almidón de papa, el tratamiento que obtuvo una menor pérdida de peso en gramos de agua fue el tratamiento 10 con una concentración 1,18% de almidón de papa y una pérdida de peso de 0,43 g de agua, en comparación con el tratamiento 1 con una concentración de 0,63% de almidón de papa y 0,89 g de pérdida de agua. Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 4 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

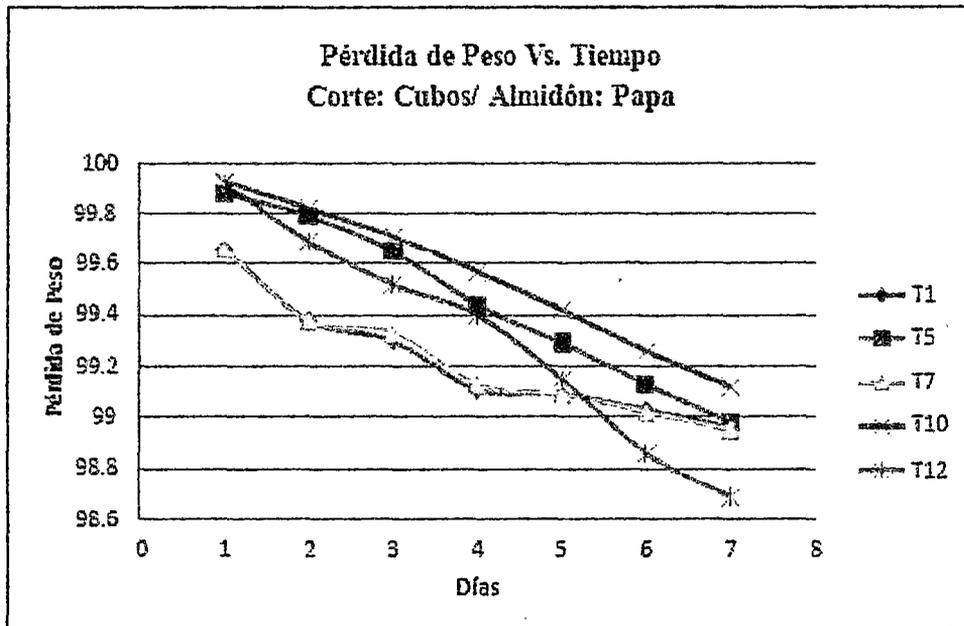


Figura 4.18: Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: papa a los 8 días de almacenamiento

Observando la Figura 4.18 de pérdida de peso vs tiempo, para el tipo de corte tipo cubos y el tipo de almidón de papa, el tratamiento 10 obtuvo 0,88 gramos de agua, con una concentración 1,18% de almidón de papa, en comparación con el tratamiento 12 con una concentración de 1,43% de

almidón de papa y 1,31 g de agua. Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 8 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

4.3.19 Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta pérdida de peso.

corte: tiras/ almidón: maíz

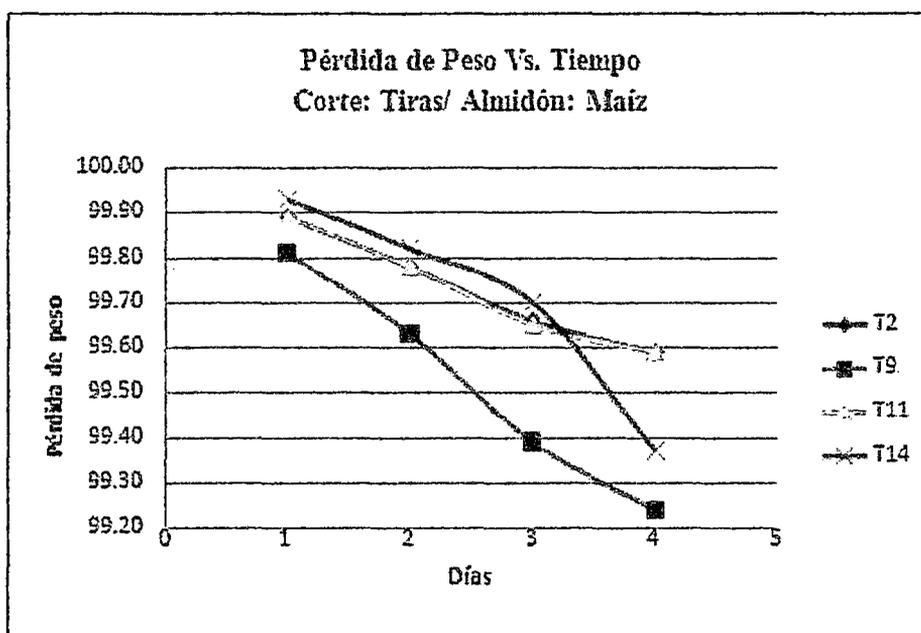


Figura 4.19: Pérdida de peso vs tiempo, corte: tiras/ almidón: maíz, a los 4 días de almacenamiento

Observando la Figura 4.19 de pérdida de peso vs tiempo, podemos decir que para el tipo de corte tipo tiras y el tipo de almidón de maíz, el tratamiento que obtuvo una menor pérdida de peso en gramos de agua fue el Tratamiento 11 con una concentración 1.5% de almidón de maíz y una pérdida de 0.41 g de agua, en comparación con el tratamiento 9 con una concentración de 0,99 % de almidón de maíz y 0,76 g de agua. Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los

4 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

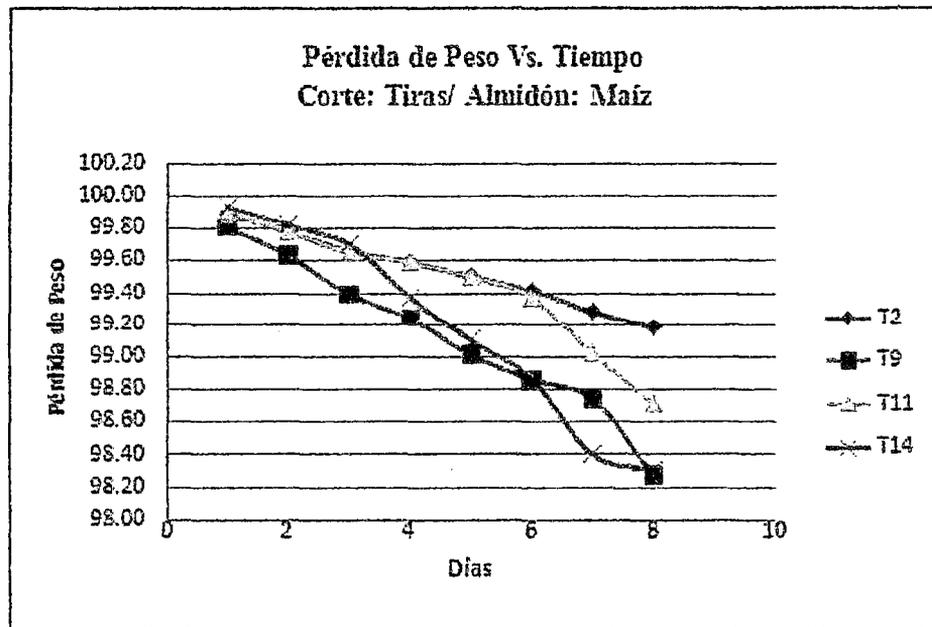


Figura 4.20: Pérdida de peso vs tiempo, corte: tiras/ almidón: maíz, a los 8 días de almacenamiento

Observando la Figura 4.20 de pérdida de peso vs tiempo, para el tipo de corte tipo tiras y el tipo de almidón de maíz, el tratamiento 2 obtuvo 0,82 gramos de agua, con una concentración 1,5% de almidón de maíz, en comparación con el Tratamiento 9 con una concentración de 0,99% de almidón de maíz y 1,73 g de agua. Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 8 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

4.3.20. Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta pérdida de peso.

Corte: tiras/ almidón: papa

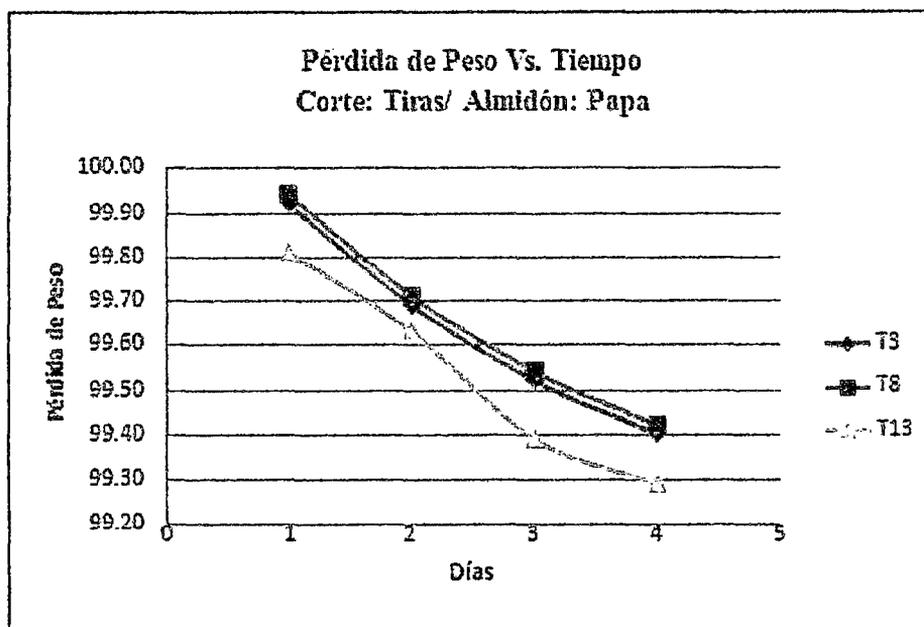


Figura 4.21: Pérdida de peso vs. tiempo, corte: tiras/ almidón: papa, a los 4 días de almacenamiento

Observando la figura 4.21 de pérdida de peso vs tiempo, podemos decir que para el tipo de corte tipo tiras y el tipo de almidón de papa, el tratamiento que obtuvo una menor pérdida de peso en gramos de agua fue el tratamiento 8 con una concentración 0,5% de almidón de papa y una pérdida de 0,58 g de agua, en comparación con el tratamiento 13 con una concentración de 0,58 % de almidón de papa y 0,71 g de agua. Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 4 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

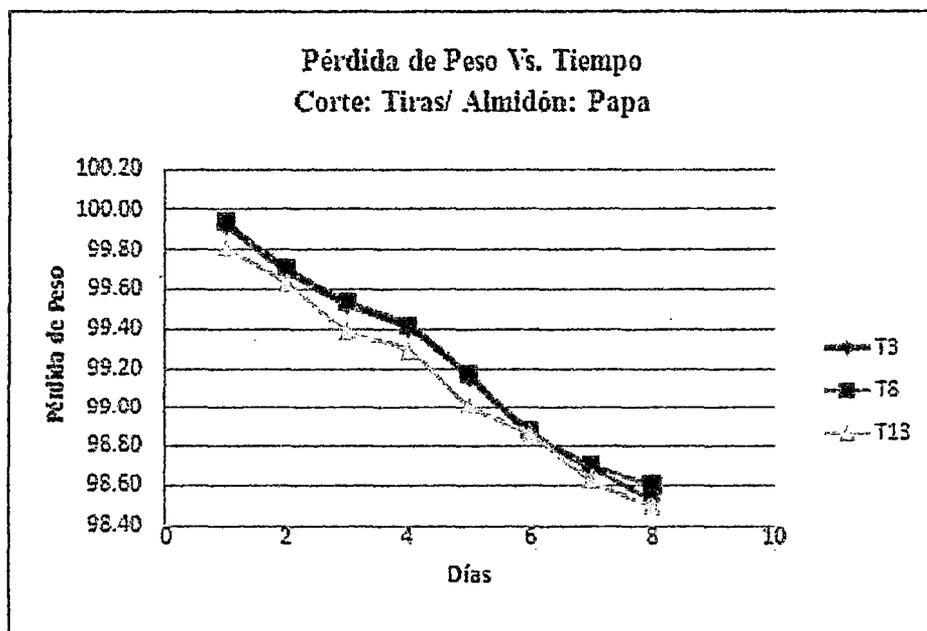


Figura 4.22: Pérdida de peso vs tiempo, corte: tiras/ almidón: papa, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.22 de pérdida de peso vs tiempo, para el tratamiento 13 obtuvo 1,5 gramos de agua, con una concentración 0,58% de almidón de papa, en comparación con el tratamiento 8 con una concentración de 0.5% de almidón de papa y 1,4 g de agua. Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 8 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

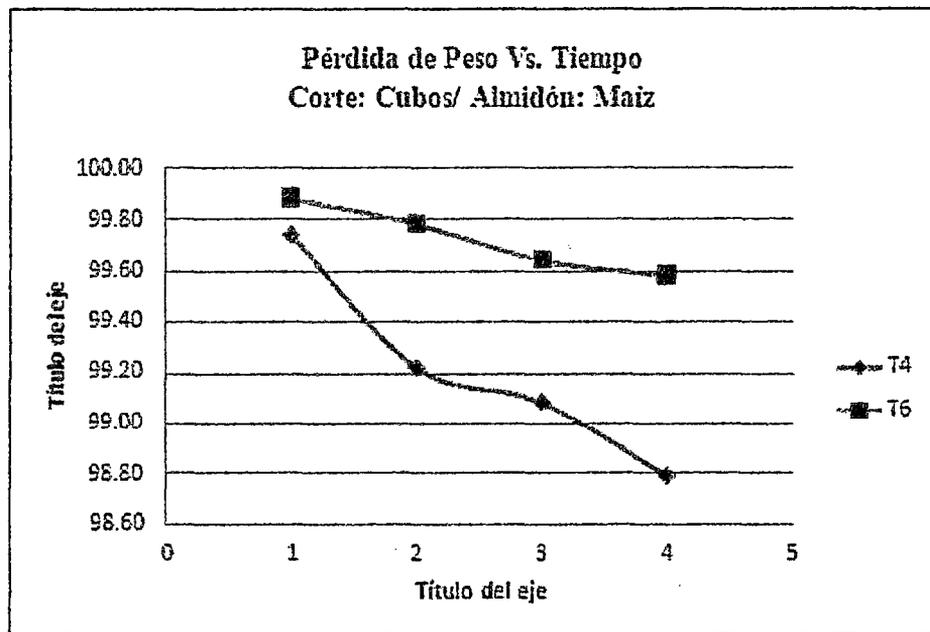


Figura 4.23: Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: maíz, a los 4 días de almacenamiento

Observando la figura 4.23 de pérdida de peso vs tiempo, podemos decir que para el tipo de corte tipo cubos y el tipo de almidón de maíz, el tratamiento que obtuvo una menor pérdida de peso en gramos de agua fue el tratamiento 6 con una concentración 0,94% de almidón de maíz y una pérdida de 1,21 g de agua, en comparación con el Tratamiento 4 con una concentración de 0,5 % de almidón de maíz y 0,42 g de agua. Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 4 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

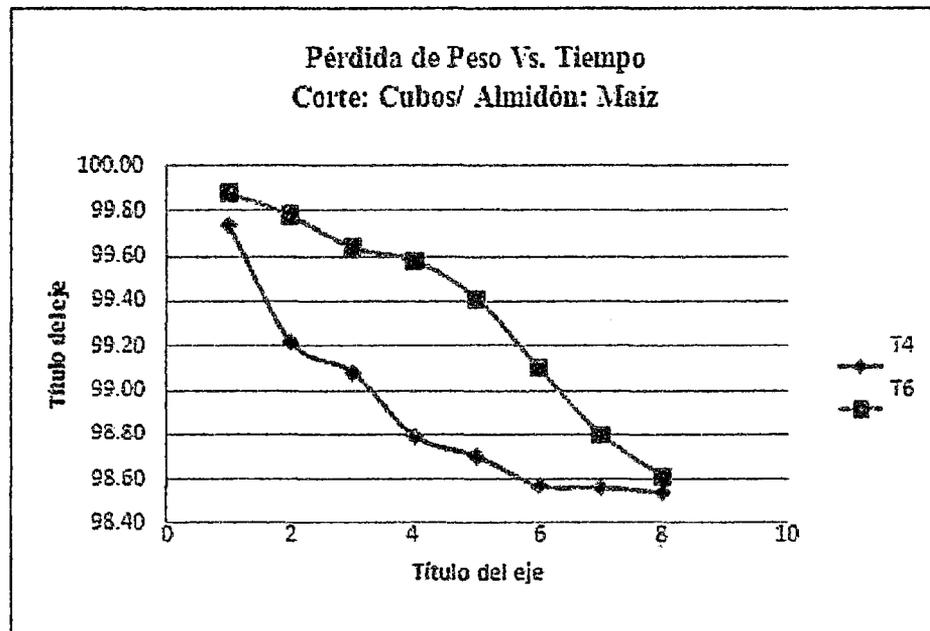


Figura 4.24: Pérdida de peso vs tiempo, corte: cubos/ almidón: maíz, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.24 de pérdida de peso vs tiempo, para el tratamiento 6 obtuvo 1,39 gramos de agua, con una concentración 0,94% de almidón de maíz, en comparación con el tratamiento 4 con una concentración de 0.5% de almidón de maíz y 1,46 g de agua. se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 8 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

4.3.21. Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta pérdida de peso, para los 14 tratamientos experimentales

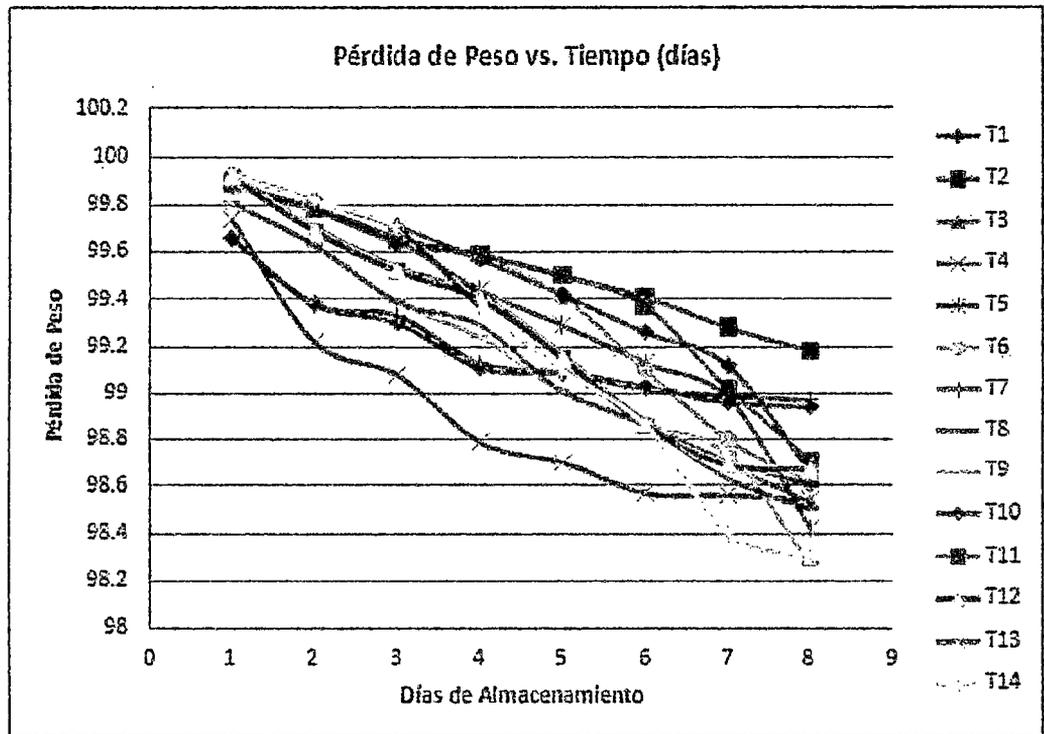


Figura 4.25: Pérdida de peso vs tiempo, resultados de los 14 tratamientos experimentales, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.25 de pérdida de peso vs tiempo, para los 14 tratamientos, de los cuales el tratamiento 2 con una concentración de 1.5 % de almidón de maíz y el tipo de corte tipo tiras, obtuvo la menor pérdida de peso de 0,82 g de agua perdida, en comparación con el tratamiento 9 con una concentración de 0,99 % de almidón de maíz y el tipo de corte tipo tiras, obtuvo la mayor pérdida de peso de 1.73 g agua perdida, para el caso del tratamiento 7 con una concentración de 0.63% de almidón de papa y el corte tipo cubos, obtuvo una menor pérdida de peso de 1.03 g de agua perdida y para el caso del tratamiento 5 con una concentración de 1.09% de almidón de maíz y el tipo de corte tipo cubos, obtuvo la mayor pérdida de peso de 1.46 g Se hizo esta evaluación con un peso inicial de 100 g y a los 8 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (5°C)

**4.3.22. Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta textura, corte:
cubos/ almidón: papa**

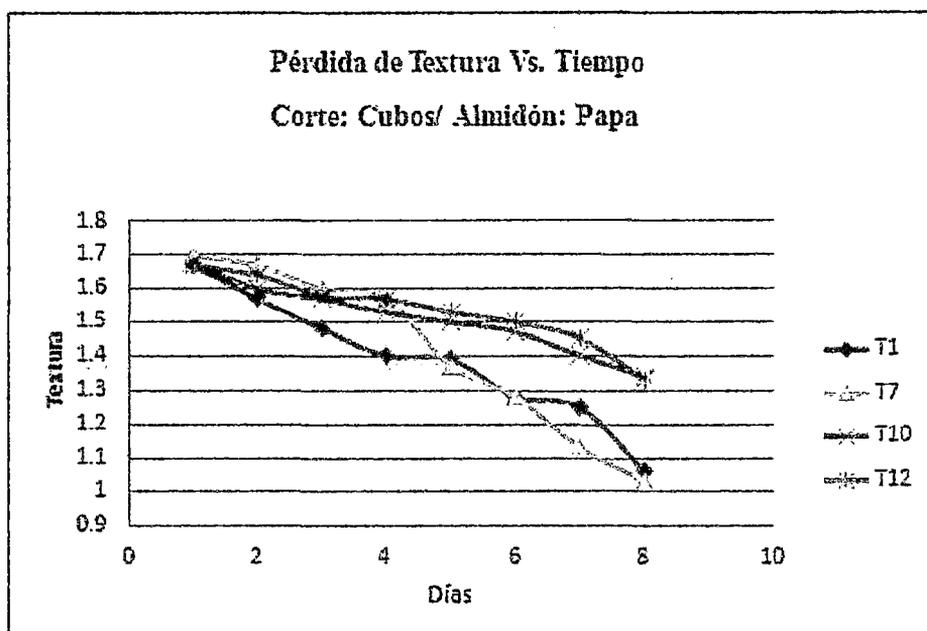


Figura 4.26: Pérdida de textura vs tiempo, corte: cubos/ almidón: papa, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.26 de pérdida de peso vs. tiempo, para el tratamiento 12 con una concentración 1,43% de almidón de papa y el tipo de corte cubos, reportando 1.6 kg/cm^2 a los 8 días de almacenamiento, en comparación con el tratamiento 7 con una concentración de 0.63% de almidón de papa, reportando $1,03 \text{ Kg/cm}^2$ a los 8 días de almacenamiento.

**4.3.23. Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta textura. Corte: tiras/
almidón: maíz**

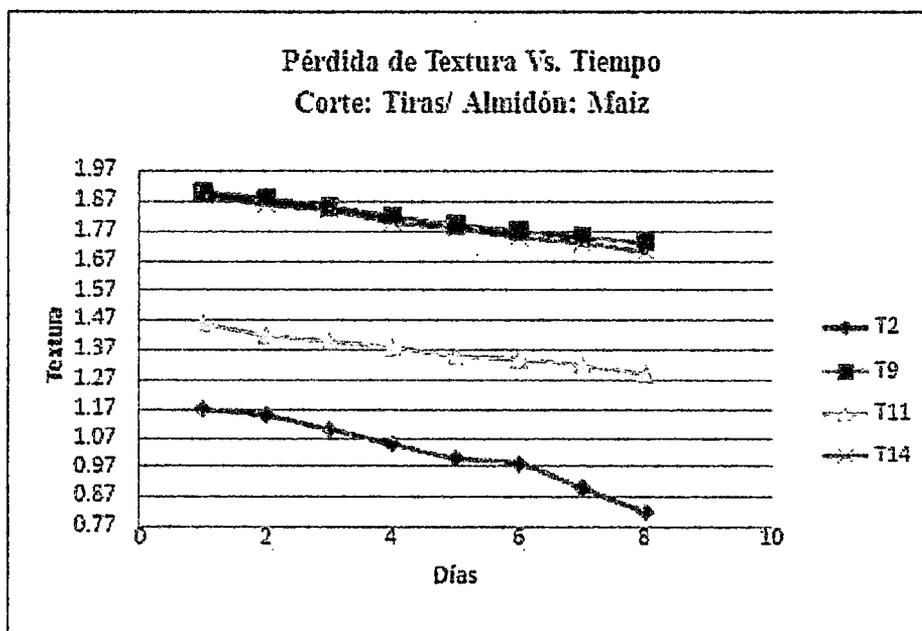


Figura 4.27: Pérdida de textura vs tiempo, corte: tiras/ almidón: maíz, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.27 de pérdida de peso vs tiempo, para el tratamiento 9 con una concentración 0,99% de almidón de maíz y el tipo de corte tiras, reportando $1,73 \text{ Kg/cm}^2$ a los 8 días de almacenamiento, en comparación con el tratamiento 2 con una concentración de 1.50% de almidón de maíz, reportando $0,82 \text{ Kg/cm}^2$ a los 8 días de almacenamiento.

4.3.24. Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta textura. Corte: tiras/ almidón: papa

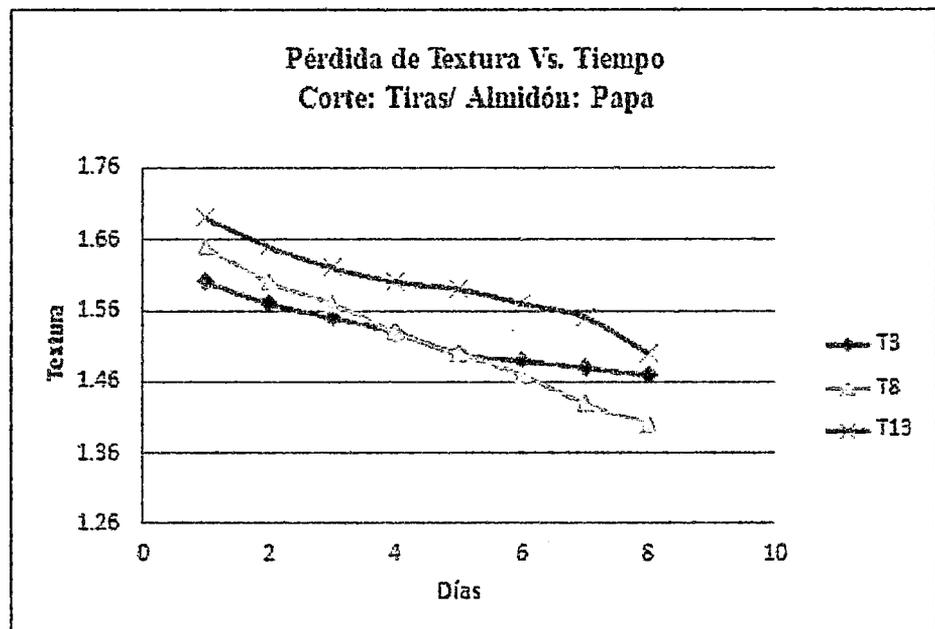


Figura 4.28: Pérdida de textura vs. tiempo, corte: tiras/ almidón: papa, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.28 de pérdida de peso vs tiempo, para el tratamiento 13 con una concentración 0,58% de almidón de papa y el tipo de corte tiras, reportando 1.5 Kg/cm^2 a los 8 días de almacenamiento, en comparación con el Tratamiento 8 con una concentración de 0,58% de almidón de papa, obtuvo 1.4 Kg/cm^2 a los 8 días de almacenamiento.

4.3.25. Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta textura. Corte: cubos/ almidón: maíz

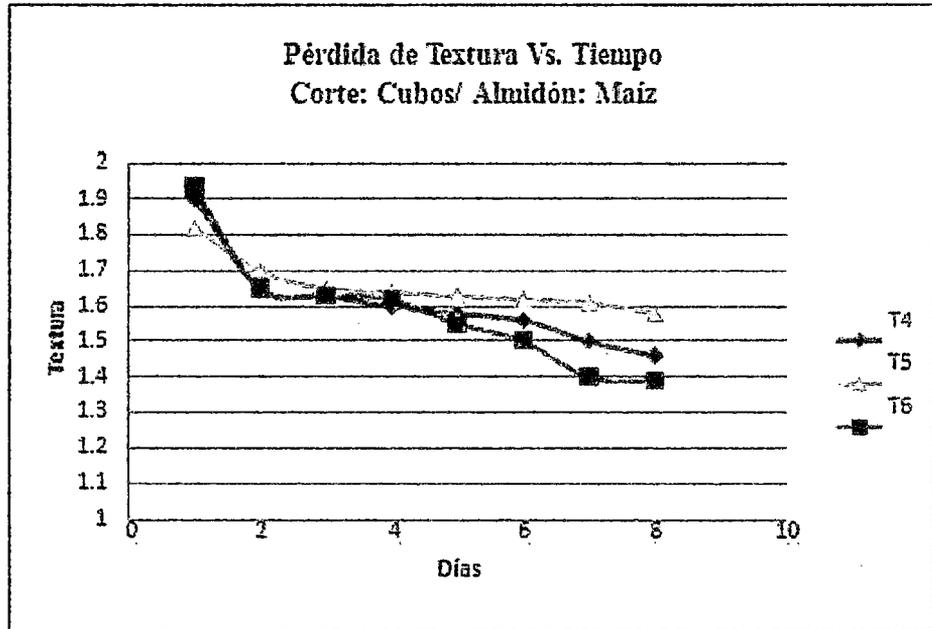


Figura 4.29: Pérdida de textura vs tiempo, corte: cubos/ almidón: maíz, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.29 de pérdida de peso vs tiempo, para el tratamiento 5 con una concentración 1,09% de almidón de maíz y el tipo de corte cubos, reportando 1,58 Kg/cm² a los 8 días de almacenamiento, en comparación con el Tratamiento 6 con una concentración de 0,94% de almidón de maíz, reportando 1,39 Kg/cm² a los 8 días de almacenamiento.

4.3.26. Efecto del tiempo (días) sobre la variable respuesta textura, para los 14 tratamientos experimentales.

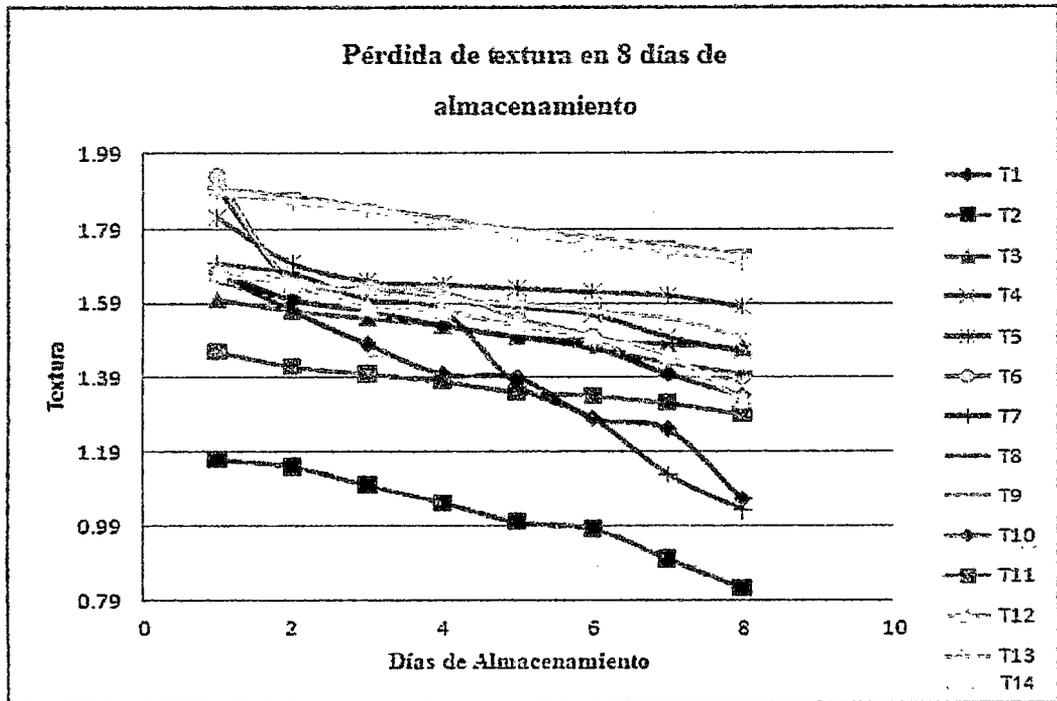


Figura 4.30: Pérdida de textura vs tiempo, resultados de los 14 tratamientos experimentales, a los 8 días de almacenamiento

Observando la figura 4.30 de pérdida de textura vs tiempo, para los 14 tratamientos, de los cuales el tratamiento 9 con una concentración de 0.99 % de almidón de maíz y el tipo de corte tipo tiras, obtuvo la menor pérdida de Textura, llegando a reportar 1,73 Kg/cm² a los 8 días de almacenamiento, en comparación con el Tratamiento 2 con una concentración de 1,5 % de almidón de maíz y el tipo de corte tipo tiras, obtuvo la mayor pérdida textura, llegando a reportar 0,82 Kg/cm² a los 8 días de almacenamiento. Para el caso del tratamiento 7 con una concentración de 0.63% de almidón de papa y el corte tipo cubos, obtuvo una mayor pérdida de textura, llegando a reportar 1.03 Kg/cm² a los 8 días de almacenamiento y para el caso del tratamiento 3 con una concentración de 0,58% de almidón de papa y el tipo de corte de tiras, obtuvo la menor pérdida de textura, reportando 1,47 Kg/cm² a los 8 días de almacenamiento.

V. CONCLUSIONES

- 5.1 Se determinó que el uso de suspensiones de almidón gelatinizado de papa y de maíz permitió prolongar las características fisicoquímicas y organolépticas del olluco mínimamente procesado por un período de 8 días, almacenados a temperaturas de refrigeración de 5°C, encontrándose que la concentración óptima de almidón es de 0.5% de almidón de maíz.
- 5.2 Se evaluó la pérdida de peso del olluco mínimamente procesado y se encontró que la pérdida de peso promedio fue de 1,45 gramos durante su almacenamiento.
- 5.3 Se evaluó el efecto del tipo de corte en la textura del olluco mínimamente procesado durante su almacenamiento y se determinó que el corte óptimo fue el de tipo cubos para alcanzar una textura de 1,74 kg/ cm². Se determinó que el periodo de vida útil del olluco mínimamente procesado con recubrimiento comestible de almidón de maíz fue de 8 días y con almidón de papa de 6 días, presentando mejor apariencia con el almidón de papa en cuanto a color durante el almacenamiento.
- 5.4 Respecto a las cascaras, es necesario que los ollucos sean previamente pelados para lograr mejor apariencia.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. Estudiar el efecto de la adición de algún plastificante o antimicrobiano en las películas a base de almidón de maíz y de almidón de papa para alargar la vida útil del olluco mínimamente procesado.
- 6.2. Evaluar el mucílago presente en el olluco para investigaciones futuras y así poder determinar la influencia en la película comestible aplicada al producto como barrera contra el oxígeno.
- 6.3 Evaluar la aplicabilidad de los recubrimientos de almidón de maíz y almidón de papa en otros tubérculos andinos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ahvenainen R. (1996). New approaches in improving the shelf-life of minimally processed fruit and vegetables.
2. Arbizú, C y Robles, E. (1986). La colección de los cultivos de raíces y tubérculos andinos de la Universidad de Huamanga. V Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos. Puno Perú.
3. Arbizú, C. 2004. Clasificación y morfología (Capítulo 2). En: G. López & M. Hermann (eds.). El Cultivo del Olluco en la Sierra Central del Perú. CIP, UNC, UNALM, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Lima. pp. 5-11
4. Arbizu, C.; M. Hermann. (1993). Algunos factores limitantes. Taller Internacional sobre el Agroecosistema Andino. Lima, Perú.
5. Arbizú, C.; M. Tapia. 1992. Tubérculos Andinos. En: J.E. Hernández y J. León (eds.). Cultivos Marginados: Otra perspectiva de 1492. FAO/ Jardín Botánico de Córdoba. España. p. 147–161.
6. Arizmendi C. D. (2004). Optimización de dos compuestos plastificantes (Glicerol y Polietilenglicol) en la elaboración de una película comestible obtenida a partir del mucílago de nopal de la especie *Opuntia tomentosa* “Salm-Dyck”
7. Arnau Grass, J. (1981). Diseños experimentales en psicología y educación. Trillas, México, vol. 3
8. Artés F, 2003. Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos frescos. In: Productos hortofrutícolas mínimamente procesados. Lobo G, González M. (Eds). Instituto Canario de Investigaciones Agrarias,

España.

9. Artés, F (2008) Panorámica actual de la postcosecha hortofrutícola y de los productos vegetales mínimamente procesados. II Curso internacional “Tecnología Postcosecha y Procesado Mínimo”. Cartagena, España.
10. Avena-Bustillos RJ, Krotcha J, Salveit ME, Rojas-Villegas R, Saucedo- Pérez JA (1994) Optimization of edible coating formulations on zucchini to reduce water loss.
11. Badui, S. 1999. Química de los Alimentos. Longman de México Editores. México. 648 p
12. Baldwin EA, Nispero-Carriedo MO, Chen X, Hagenmaier RD (1996) Improving storage life of cut apple and potato with edible coating.
13. Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M.O., Show, P.E. y Burns, J.K. 1995a. Effect of Coatings and Prolonged Storage Conditions on Fresh Orange Flavor Volatiles, Degrees Brix and Ascorbic Acid Levels.
14. Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O. y Baker, R.A. 1995b. Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables.
15. Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M.O., Show, P.E. y Burns, J.K. 1995a. Effect of Coatings and Prolonged Storage Conditions on Fresh Orange Flavor Volatiles, Degrees Brix and Ascorbic Acid Levels.
16. Barrera, V., P. Espinosa, C. Tapia, A. Monteros & F. Valverde. (2004). Caracterización de las raíces y los tubérculos andinos en la ecoregión andina del Ecuador (Capítulo1). En: V. Barrera, C. Tapia & A. Monteros (eds.). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias, CIP, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Quito –

Lima.

17. Bautista, S.; J. Valladolid. 1982. Calendario agrícola de los cultivos de papa, oca, ulluco y mashua en la comunidad alto-andina de Qasanqay. Congreso Internacional de Cultivos Andinos, III, La Paz, Bolivia.
18. BeMiller, James N. and Whistler, Roy L. (2009) Starch – Chemistry and Technology. Tercera Edición
19. Ben-Yehoshua S (1985) Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film- A new postharvest technique. Horticultural.
20. Behrsing J, S Winkler, P Franz, R Premier. (2000). Efficacy of chlorine for inactivation of *Escherichia coli* on vegetables.
21. Biliaderis, C. G. (1992) The structure and interactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology.
22. Bósquez, E. (2003). Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus latifolia* tanaka). Mexico, D.F. 133 pp.
23. Bryan D. S. 1972. Repared citrus fruit halves.
24. Cadima, X., García, W. & F. Patiño. (eds) 2003b. El isaño (*Tropaeolum tuberosum* R&P). Avances en la investigación de un cultivo subutilizado. Documento de trabajo No.24. Fundación PROINPA. Programa Colaborativo de Manejo, Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (PBRTAs). Proyecto Papa Andina. Cochabamba.
25. Campbell, D.T, Stanley J.C. (1991). Diseños experimentales y cuasi-experimentales en la investigación social. Amorrortu. Buenos Aires.

26. Cano M. P, Sánchez-Moreno CS, De Pascual-Teresa S, De Ancos B (2005) Procesado mínimo y valor nutricional. En: González-Aguilar GA, Gardea AA, Cuamea-Navarro F (eds) Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo. Sonora Mexico. 558 p.
27. Cantwell M, T Suslow. 2002. Postharvest handling systems: fresh-cut fruits and vegetables. In: Postharvest Technology of Horticultural Crops. Kader, A. (Eds.). University of California, Oakland.
28. Cárdenas, M. (1989). Manual de plantas económicas de Bolivia. Segunda Edición. Editorial Los Amigos del Libro, La Paz y Cochabamba. 333 p.
29. Castillo, R.; M. Tapia. (1998). Ulluco / Melloco (*Ullucus tuberosus* caldas). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador. 76 p.
30. Castro, L. (1980). Diseño experimental sin estadística. Trillas. México
31. Chacin, L. F. (2000), Diseño y análisis de experimentos para generar superficies de respuesta., Maracay: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.
32. Cortez, H. 1987. Avances de la investigación en tres tubérculos andinos: oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*), mashwa, isaño o aña (*Tropaeolum tuberosum*). En: Serie Informes Tecnicos. Avances en las investigaciones sobre Tubérculos Alimenticios de los Andes. Instituto de Investigacion Agraria y Agroindustrial. Agencia Canadiense para el desarrollo Internacional.
33. Coultate, T. (1998). Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos (2 ed.).

Zaragoza, España: Acribia.

34. Coultate, T. P (2004). Alimentos: Lo que conviene saber para una Alimentación Correcta 3º Edición. 368 p.
35. Cheng-Yi, L; Shun, M. 1982. Investigation of the Physical and Chemical Properties of banana Starches.
36. Debeaufort, F. Quezada-Gallo, J.A. y Voilley, A. 1998. Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings:
37. Del Valle, J. M., and Palma, M.T. (2002). Atmósferas controladas y modificadas. En temas en tecnología de alimentos. Vol 1. CYTED. México.
38. Doménech y Massons, J.M. 1980. Bioestadística. Métodos estadísticos para investigadores. erder, Barcelona.
39. Dong X, R Wrolstad, D Sugar. 2000. Extending shelf life of fresh-cut pears.
40. El Ghaouth A, Arul J, Grenier J, Asselin A. 1992. Antifungal activity of chitosan on two postharvest pathogens of strawberry fruits.
41. Espín S., Villacrés, E. & Brito, B. 2004. Caracterización físico-química nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. (Capítulo 4). En: V. Barrera, C. Tapia & A. Monteros (eds.). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). N°4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, COSUDE, Quito- Lima.
42. Finney, D.J. 1960. Experimental design and its statistical basis. The University

of Chicago Press, Chicago.

43. French D. (1984). Organization of starch granules. In: Starch: Chemistry and Technology. Whistler, R.L., BeMiller, J. N. and Paschall, E.F. (eds.). Academic Press., New York,
44. García MA, Martino MN, Zaritzky N (1998) Starch-based coatings: effect on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality.
45. García MA, Martino MN, Zaritzky NE (2000) Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings.
46. Garg N, JJ Churey, DF Splittstoesser. 1990. Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables.
47. Gonzáles, P, G. (2002) Extracción y caracterización del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza bancrofti*) y su resistencia a tratamientos tecnológicos UNALM. Tesis Magíster Scientiae. Lima.
48. Guilbert S, Biquet B (1996) Edible films and coatings. In: Food Packaging Technology. G Bureau, JL Multon (eds.). New York.
49. Gujska, E., D. Reinhard, K. Khan. (1994). Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches.
50. Garg N, JJ Churey, DF Splittstoesser. 1990. Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables.
51. Greener, D.I. y Fennema, O. (1994). Edible Films and Coatings: Characteristics, Formation, Definitions and Testing Methods. En: Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. J.M. Krochta, E.A. Baldwin y M. Nisperos-Carriedo (Eds.) Technomic, Lancaster, Pensilvania, EUA.
52. Gorris LGM, Peppelenbos HW. 1992. Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products.

53. Hermann, M y López, G. (2004) Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) N° 3. El cultivo del ullucu en la sierra central del Perú.
54. Hermann, M; J. Heller. (1997). Andean Roots and Tubers Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon. International Plant Genetic Resources institute.
55. Howard LR, Dewi T. 1995. Sensory, microbiological and chemical quality of minipeeled carrots as affected by edible coating treatment
56. Inatsu, O., I. Maeda, J. Nobuko & K. Takahashi. (1983). Some properties of Edible Canna Starch produced in Taiwan.
57. James N. BeMiller and Roy L. (2009). Whistler. Starch – Chemistry and Technology, third Edition, ISBN 9780127462752. Academic Press.
58. Jiménez Fernández C, López-Barajas Zayas E, Pérez Juste R. (2000). Pedagogía experimental II. Unidades Didácticas de la UNED. 4ª ed. UNED ediciones. Madrid.
59. Kader, A.; M, Cantwell, and F. Gordon Mitchell. (1986). Gas diffusion, water loss and quality of pears and stone fruits affected by Semperfresh™ coating. University of California, Davis, CA.
60. Kaplan, H.J. 1986. Washing, Waxing and Color Adding. En Fresh Citrus Fruits. W.F. Wardowski, S. Nagy y W. Grierson, eds.
61. Kato-Noguchi H, A Watada. 1997. Effects of low-oxygen atmosphere on ethanolic fermentation in fresh-cut carrots.
62. Kerlinger, F. N. 1979. Investigación del comportamiento. Técnicas y metodología. Nueva editorial interamericana, México, D. F.
63. Kester JJ, Fennema O (1986) Edible films and coatings

64. Kester, J.J., y Fennema, O.R. (1989). Resistance of Lipid Films to Water Transmission
65. King, S.; Gershoff, S (1987). Nutritional evaluation of three underexploited Andean tubers: *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae), *Ullucus tuberosus* (Basellaceae) and *Tropaeolum tuberosum* (Tropaeolaceae).
66. Kirk, R.G. 1972. Statistical issues: a reader for the behavioral sciences. Wadsworth Publishing Co
67. Klaiber RG, S Baur, L Magel, WP Hammes, R Carle. (2004). Quality of shredded, packaged carrots as affected by different washing treatments.
68. Krochta, J. M. and De Mulder- Johnston, C. (1997), Edible and Biodegradable polymer films: challenges and opportunities.
69. Lee JY, Park HJ, Lee CY, Choi WY (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents.
70. Lescano, J.L. (1994). Genética y mejoramiento de cultivos alto andinos. Programa interinstitucional de WaruWaru. Proyecto Especial Binacional. Convenio INADE/PELT COTESU. La Paz.
71. López, G. (2004). Tubérculos-semilla (Capítulo 7). pp. 83-104 En: G. López & M. Hermann (eds.). El Cultivo del Ulluco en la Sierra Central del Perú. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). N° 3. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional del Centro, Instituto Vida en los Andes, Universidad Nacional Agraria La Molina, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Lima.
72. Mattheis J, Fellman JK. 2000. Impacts of modified atmosphere packaging

and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities.

73. McHugh TH, Huxsoll CC, Krochta JM (1996) Permeabilities properties of fruit puree edible films.
74. McGuigan, F.J. 1976. Psicología experimental. Trillas, México.
75. Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny RC, Baldwin E (2005) Conservación mediante recubrimientos comestibles. En: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. G González- Aguilar, A Gardea, F Cuamea-Navarro (eds.). México.
76. Meheriuk M, Lau OL. 1998. Effect of two polymeric coating on fruits quality of „Barlett” and „d”Anjou pears.
77. Mosquera, A (2010) Tesis de Grado “Elaboración de Papa y Zanahoria Mínimamente Procesadas” – Guayaquil – Ecuador.
78. Nature Seal, (2006). <http://www.natureseal.com>.
79. Ni Y, Turner D, Yates KM, Tizard I. 2004. Isolation and characterization of structural components of Aloe Vera L. leaf pulp.
80. Nisperos-Carriedo, M.O., Shaw, P.E. y Baldwin, E.A. (1990). Changes in Volatile Flavor Components of Pineapple and Orange Juice as Influenced by the Application of Lipid and Composite Films.
81. Nussinovitch, A. y S. Lurie. 1995. Edible Coatings for Fruits and Vegetables.
82. Olivás GI, Barbosa-Cánovas GV (2005) Edible coating for fresh- cut fruits.
83. Park, H. J. 1999. Development of Advanced Edible Coatings for Fruits.
84. Parker, R. and Ring, S. G. (2001). Aspects of the physical chemistry of Starch. Journal of Cereal Science, ISSN 0733–5210, 34(1), 1–17
85. Pérez-Gago MB, Serra M, Del Río MA (2004). Efecto de recubrimientos

- comestibles a base de proteína de suero lácteo y antioxidantes en la vida útil de manzanas cortadas en fresco. Livro de Actas. IV Simposio Ibérico, I Nacional, VII Español de Maturação e Pós- Colheita. Frutos e hortícolas. Oeiras, 6-9 Outubro, Portugal, pp: 237-241.
86. Pizzocaro F, Toregiani D, Gilardi G. 1993. Inhibition of apple polyphenol oxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *J. Food Process Preserv.* 17: 21-30.
87. Plutchnik, K. 1968. Foundations of experimental research. Harper & Row, Publishers
88. Rea, J. (1977). Cultivo de ulluco – *Ullucus tuberosus* Loz. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Puno, Perú. 10 p.
89. Robles, E. (1981). Origen y evolución de la oca, olluco y mashua. Centro de informática para la investigación agrícola. Lima, Perú, Universidad Agraria la Molina.
90. Rojas Graü, María (2006). Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación. Lleida-España.
91. Saltveit M. 1997. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In: *Phytochemistry of fruits and vegetables*. Tomás-Barberán FA, R Robins (Eds.). Editorial Oxford University Press: London. pp. 205-220.
92. Singh Sandhu, Kawaljit and Singh, Narpinder. (2007). Some Properties of Corn Starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, ISSN 0308–8146, 101(4), 1499–1507.

93. Sothornvit R, Krochta JM (2000) Plasticizer effect on oxygen permeability of Blactoglobulin films. *J. Agric. Food Chem.* 48: 6298-6302.
94. Sullivan C. R., Corona A. and Rolling J. E. (1992). Chromatographic technologies for macromolecular starch characterization. In *Developments in Carbohydrate Chemistry*, ISBN 0-913250-76-7. American Association of Cereal Chemists (AACC), St. Paul, USA, 193-238
95. Tapia, C., J. Estrella, A. Monteros, F. Valverde, M. Nieto & J. Córdova. 2004. Manejo y conservación de RTAs *in situ* en fincas de agricultores y *ex situ* en el banco de germoplasma de INIAP (Capítulo 2). pp. 31-74
96. Tapia-Blácido, D.; Sobral, P. J. and Menegalli, F. C. (2005). Development and characterization of biofilms base don amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Food Engineering*, 67, 215-223.
97. Tarazona, G. 1995. Caracterización de seis Clones de Camotes. Tesis maestría UNALM Lima.
98. Tharanathan, R.N. 2003. Biodegradable films and composite coatings, past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 71-78.
99. Túpac, A. 2004. Almacenamiento (Capítulo 8). pp. 105-118 En: G. López & M. Hermann (eds.). *El Cultivo del Ulluco en la Sierra Central del Perú. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. N° 3. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional del Centro, Instituto Vida en los Andes, Universidad Nacional Agraria La Molina, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Lima.
100. Varoquaux P, R Wiley. 1994. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetable. In: *Minimally Processed*

- Refrigerated Fruits and Vegetables. Wiley RC (ed.), Editorial: Chappman and Hall: New York, pp. 226-268.
101. Watada A, N Ko, D Minott. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products.
102. Willey RC (1997) Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. pp. 15-60. España: Acribia.
103. Winters, H.F. 1963. Ceylon Spinach (*Basella rubra*)
104. Yaman, O. and L. Bayoindirli. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *Lebnsn.- Wiss.Und.Technol.*, 35: 46-150.
105. Yang L, Paulson AT (2000) Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films. *Food Res. Int.* 33: 563-570

ANEXOS

ANEXO 1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Objetivo:

Determinar el contenido de agua disponible presente en la materia prima y la bebida dietética, por el método de secado a la estufa.

Fundamento:

El método consiste en evaporar, mediante secado el agua contenida en la muestra, bajo condiciones normalizadas.

Equipos y materiales:

- Balanza analítica, con 0,001 g de precisión
- Desecador con Silicagel
- Estufa
- Placas petri

Procedimiento:

- Pesar 3-5 g de muestra en una placa petri limpia y seca.
- Colocar en la estufa por 24 h a 100 °C
- Enfriar en el desecador por 30 minutos y pesar

Cálculos:

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{(P1 - P2)}{m} \times 100$$

Dónde:

P1 : Masa del recipiente más la muestra húmeda, en g

P2 : Masa del recipiente más la muestra seca, en g

m : Masa de la muestra, en g

DETERMINACIÓN DE CENIZAS TOTALES

Objetivo:

Determinar el residuo inorgánico por el método de incineración directa

Fundamento:

El método se basa en obtener el residuo inorgánico mediante la calcinación a temperaturas entre 550-600°C de una determinada muestra.

La ceniza obtenida no tiene necesariamente la misma composición que la materia orgánica de la muestra original, ya que puede haber pérdidas por alguna volatilización o alguna interacción entre los componentes.

Equipos y materiales:

- Horno mufla
- Crisoles de porcelana
- Balanza analítica, con 0,001 g de precisión
- Cocina eléctrica
- Desecador con Silicagel
- Pinza para crisol

Procedimiento:

- Pesar la muestra previamente secado en la mufla y enfriado en el desecador
- Pesar en el crisol 1 g de muestra e incinerarla en la cocina eléctrica hasta total carbonización.
- Colocar las muestras en la mufla y calcinar a 550-600°C por 3 a 5 horas, hasta cenizas blancas o blanco grisáceo.
- Retirar el crisol de la mufla y colocarlo en el desecador, enfriar 30 minutos a temperatura ambiente y pesar el residuo.

Cálculos:

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{(P1 - P2)}{m} \times 100$$

Dónde:

P1 : Masa del crisol vacío, en g

P2 : Masa del crisol más ceniza, en g

m : Masa de la muestra, en g

DETERMINACIÓN DE pH**Objetivo**

Determinar el pH en las diferentes muestras agroindustriales

Fundamento

La potenciometría es la técnica que se basa en medir potenciales eléctricos de materiales o disoluciones para calcular la concentración del analito. El dispositivo fundamental para estas medidas potenciométricas es el electrodo que consiste en una varilla electro-conductora conectada a un potenciómetro (medidor del voltaje eléctrico). Los electrodos son generalmente del tamaño de un lápiz, aunque actualmente se han desarrollado microelectrodos tan pequeños que pueden ser introducidos en la vena para medir algunos parámetros de la sangre. El valor de pH se puede definir como el logaritmo común del número de litros de solución que contienen el equivalente de 1 gramo de ión hidrógeno.

Materiales:

- Potenciómetro
- Vaso de precipitado

- Solución buffer

Procedimiento:

- Calibrar el potenciómetro con los buffers correspondientes
- Se vierte la muestra en un vaso precipitado
- Leer el pH de la muestra a temperatura ambiente
- Tomar nota de los resultados

