

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO Y VALOR BIOLÓGICO DE

CUSHURO (*Nostoc sphaericum*)”

TESIS

PRESENTADO POR

EDISON CHILI RODRIGUEZ

ISMAEL TERRAZAS VIZA

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO PERU

2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO Y VALOR BIOLÓGICO DE
CUSHURO (*Nostoc sphaericum*)”

TESIS PRESENTADO POR:

EDISON CHILI RODRIGUEZ
ISMAEL TERRAZAS VIZA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

Ing. M.Sc. PABLO PARI HUARCAYA

PRIMER MIEMBRO

:

Ing. M.Sc. JOSE DAVID VELEZVIA DIAZ

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. JHONY MAYTA HANCCO

DIRECTOR DE TESIS

:

Ing. M.Sc. ALEJANDRO COLOMA PAXI

ASESOR DE TESIS

:

Ing. M.Sc. THOMAS ANCCO VIZCARRA

Área: Ingeniería y tecnología**Tema: Propiedades físicas y estructurales**

DEDICATORIA

A mi madre Luisa quien con gran actitud y ejemplo me enseñó a luchar por alcanzar mis metas y siempre seguir para adelante y a mis hermanos Nora, Leticia, Beatriz, Yonilda, Sonia, David y Aldo; quienes con mucho amor y paciencia me enseñaron a ser constante, es a ustedes a quienes debo y agradezco cada uno de mis logros, con todo mi amor y admiración.

Edison

A mi padre Pedro Pablo quien con ejemplo me enseñó a luchar por alcanzar mis metas y siempre seguir para adelante y en especial a mi madre Gregoria quien con mucho cariño y sabiduría me enseñó a ser constante, es a ella mi eterna gratitud y agradecimiento, a mis hermanas Basilia, Lucia, Virginia Maria y luz Marina; quienes con amor y perseverancia fueron también un gran ejemplo en mi vida.

Ismaél

AGRADECIMIENTO

En la conclusión de este trabajo de tesis, ha habido instituciones y personas que merecen las gracias porque sin su valiosa aportación no hubiera sido posible este trabajo.

A la Universidad Nacional del Altiplano, en particular a la plana de docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por sus valiosas enseñanzas impartidas durante nuestra formación profesional.

Al Ing. M.Sc. Alejandro Coloma Paxi por la dirección de este trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. Thomas Ancco Vizcarra por el apoyo que nos brindó para la ejecución y asesoramiento del trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. José David Velezvia Diaz por el apoyo que nos brindó en facilitarnos información para el trabajo de investigación.

Agradecemos a nuestros amigos y compañeros de la universidad como Alicia, Roxana Sara, Yarida, Judith, Barbara, Amadeo, Franck, German, Ronal, Jhony Adalid, Wilian, Piter; porque siempre nos dieron la mano en cada momento, nos alentaron de forma incondicional para la realización de este trabajo de investigación.

! GRACIAS A TODOS ELLOS ;

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| ÍNDICE GENERAL | |
| ÍNDICE DE CUADROS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | |
| ÍNDICE DE ANEXOS | |
| RESUMEN | |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEORICO | 3 |
| 2.1. ASPECTOS GENERALES DE CUSHURO (<i>Nostoc sphaericum</i>) | 3 |
| 2.1.1. Botánica | 3 |
| 2.1.1.1. Definición | 3 |
| 2.1.1.2. Hábitat | 3 |
| 2.1.1.3. Reproducción | 3 |
| 2.1.1.4. Taxonomía | 4 |
| 2.1.1.5. Variedades | 4 |
| 2.1.2. Composición bromatológica del cushuro | 4 |
| 2.1.3. Conservación, potencialidades, distribución y valor nutraceutico del cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i> Vauch.) en el altiplano peruano | 5 |
| 2.1.4. Producción de algas | 7 |
| 2.2. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE SECADO Y DESHIDRATACIÓN | 9 |
| 2.2.1. Claves de desecación | 10 |
| 2.2.2. Deshidratación en alimentos | 10 |

| | Pág. |
|---|-----------|
| 2.2.3. Técnicas de deshidratación | 11 |
| 2.2.3.1. Deshidratación por el sol | 11 |
| 2.2.3.2. Deshidratación por desecadores mecánicos | 12 |
| 2.2.3.3. Liofilización | 12 |
| 2.2.3.4. Concentrados | 13 |
| 2.2.4. Características de secado | 13 |
| 2.2.4.1. Parámetros del producto | 13 |
| 2.2.4.1.1. Humedad inicial | 13 |
| 2.2.4.1.2. Humedad de equilibrio | 14 |
| 2.2.4.1.3. Humedad libre | 14 |
| 2.2.4.1.4. Humedad crítica | 15 |
| 2.2.4.2. Proceso de secado | 15 |
| 2.2.4.2.1. Periodo de velocidad de secado constante | 18 |
| 2.2.4.2.2. Periodo de velocidad decreciente | 20 |
| 2.2.4.2.3. Coeficiente de difusión | 21 |
| 2.3. MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL AJUSTE DE LOS DATOS DE SECADO | 24 |
| 2.3.1. Cinética de secado | 24 |
| 2.4. ENSAYOS DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA EN RATAS | 27 |
| 2.4.1. Métodos basados en cambios de peso corporal | 27 |
| 2.4.2. Métodos basados en la retención de nitrógeno | 28 |
| III. MATERIALES Y METODOS | 31 |
| 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN | 31 |
| 3.2. MATERIALES | 32 |

| | Pág. |
|--|------|
| 3.4.2. Selección | 41 |
| 3.4.3. Lavado | 41 |
| 3.4.4. Pesado | 41 |
| 3.4.5. Secado | 41 |
| 3.4.6. Envasado | 42 |
| 3.4.7. Almacenamiento | 42 |
| 3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DEL AGUA | 43 |
| 3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA MODELACIÓN MATEMÁTICA | 44 |
| 3.7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA | 45 |
| 3.7.1. Evaluación biológica | 45 |
| 3.7.1.1. Relación de Eficiencia Proteica (PER) | 46 |
| 3.7.1.2. Razón Proteica Neta | 47 |
| 3.7.1.3. Utilización de la Proteína Neta (NPU) | 47 |
| 3.7.1.4. Digestibilidad Verdadera y Valor Biológico | 48 |
| 3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL | 49 |
| 3.8.1. Variables en estudio | 49 |
| 3.8.2. Factores de respuesta | 49 |
| 3.8.3. Diseño del experimento para el tiempo de secado y difusividad | 49 |
| 3.9. TRATAMIENTO DE DATOS | 50 |
| 3.9.1. Análisis estadístico | 50 |
| 3.9.2. Modelo matemático | 50 |

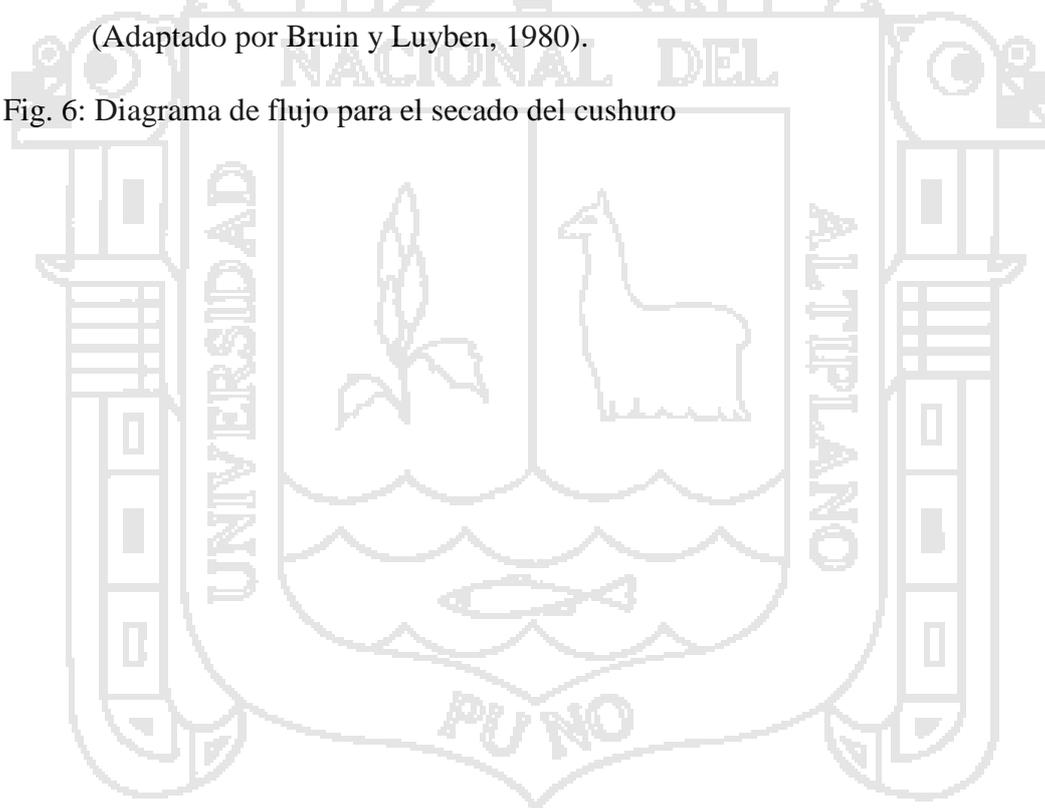
| | Pág. |
|--|------|
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 51 |
| 4.1. CARACTERÍSTICAS DEL CUSHURO (<i>Nostoc sphaericum</i>) | 51 |
| 4.1.1. Composición Físico-Químico del cushuro | 51 |
| 4.1.2. Análisis microbiológico | 52 |
| 4.2. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO Y CURVAS DE SECADO | 53 |
| 4.2.1. Evaluación de las curvas de secado | 53 |
| 4.3. COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EFECTIVA DEL AGUA | 61 |
| 4.4. PARÁMETROS Y AJUSTES DE LAS CURVAS DE SECADO CON EL MODELO DE PAGE | 63 |
| 4.5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA | 64 |
| 4.5.1. Índice de Eficiencia Proteica (PER) | 64 |
| 4.5.2. Razón Proteica Neta | 65 |
| 4.5.3. Utilización Proteínica Neta | 68 |
| 4.5.4. Digestibilidad Verdadera y Valor Biológico | 69 |
| V. CONCLUSIONES | 71 |
| VI. RECOMENDACIONES | 72 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA | 73 |
| VIII. ANEXOS | 82 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 1: Análisis Químico Bromatológico (seco) | 5 |
| Cuadro 2: Exportación algas frescas o secas 1997-2001 | 8 |
| Cuadro 3: Difusividad efectiva de algunos productos alimentarios. | 23 |
| Cuadro 4: Ensayos con rata para determinar calidad proteica | 30 |
| Cuadro 5: Registro de datos durante el proceso de secado del alga (Temperatura y Velocidad de aire) entre el tiempo (min) y su respectivo peso (g) | 42 |
| Cuadro 6: Composición de la dieta basal | 45 |
| Cuadro 7: Composición de la dieta en 100g de alimento | 46 |
| Cuadro 8: Resultados de parámetros de control. | 50 |
| Cuadro 9: Análisis Físico Químico del Cushuro (Nostoc Sphaericum) | 51 |
| Cuadro 10: Análisis microbiológico del Cushuro (Nostoc Sphaericum) | 52 |
| Cuadro 11: Análisis de Varianza para Tiempo de Secado | 60 |
| Cuadro 12: Valores de las difusividades efectiva del agua presente en el Cushuro a diferentes tratamientos de temperaturas y velocidad de aire de secado | 62 |
| Cuadro 13: Análisis de Varianza para la Difusividad | 62 |
| Cuadro 14: Parámetros y ajustes con el modelo de Page. | 64 |
| Cuadro 15: Resultados del PER y PER Corregido de la Harina de Cushuro | 65 |
| Cuadro 16: Razón Proteínica Neta | 67 |
| Cuadro 17: Promedio de Consumo de alimento y Ganancia de Peso de las Ratas de los Grupos Experimental, Control y Aprovechada. | 69 |
| Cuadro 18: Parámetros medidos en cada grupo de animales del ensayo del NPU. | 69 |
| Cuadro 19: Digestibilidad Verdadera y Valor Biológico Verdadero (DV y VB) | 70 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Fig. 1: Evolución de las exportaciones de algas | 9 |
| Fig. 2: Curvas típicas de secado contenido de humedad en función del tiempo: | 16 |
| Fig. 3: Curvas típicas de velocidad de secado: a) periodo de velocidad decreciente controlado por la difusión, b) Periodo de velocidad decreciente. | 17 |
| Fig. 4: Transferencia de calor y materia durante el secado (adaptado de Geankoplis, 1998). | 19 |
| Fig. 5: Mecanismo de difusión superficial en el transporte de vapor de agua (Adaptado por Bruin y Luyben, 1980). | 21 |
| Fig. 6: Diagrama de flujo para el secado del cushuro | 40 |



ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | Pág. |
|---|------|
| Gráfico 1: Contenido de humedad en función al tiempo de secado | 53 |
| Gráfico 2: Curva de velocidad de secado | 54 |
| Gráfico 3: Contenido de humedad en función al tiempo de secado | 55 |
| Gráfico 4: Curva de velocidad de secado | 56 |
| Gráfico 5: Contenido de humedad | 57 |
| Gráfico 6: Curva de velocidad de secado | 58 |
| Gráfico 7: Curva de contenido de humedad para las tres temperaturas con velocidad (1 y 1.5m/s) | 59 |
| Gráfico 8: Evolución de Peso de las Ratas del Grupo Experimental | 64 |
| Gráfico 9: Evolución de Peso de las Ratas del Grupo Experimental | 66 |
| Gráfico 10: Evolución de Peso de las Ratas del Grupo Aproveiteico | 67 |
| Gráfico 11: Evolución de Peso Promedio de las Ratas del Grupo Experimental, Control y Aproveiteico | 68 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|------|
| Anexo 1: Resultados de pérdida de humedad ($T= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1\text{ m/s}$) | 82 |
| Anexo 2: Secciones para velocidad constante y decreciente | |
| ($T= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1\text{ m/s}$) | 83 |
| Anexo 3: Resultados de pérdida de humedad ($T= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$) | 84 |
| Anexo 4: Secciones para velocidad constante y decreciente | |
| ($T= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$) | 85 |
| Anexo 5: Resultados de pérdida de humedad ($T= 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1\text{ m/s}$) | 86 |
| Anexo 6: Secciones para velocidad constante y decreciente | |
| ($T= 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1\text{ m/s}$) | 87 |
| Anexo 7: Resultados de pérdida de humedad ($T= 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$) | 88 |
| Anexo 8: Secciones para velocidad constante y decreciente | |
| ($T= 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$) | 88 |
| Anexo 9: Resultados de pérdida de humedad ($T= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1\text{ m/s}$) | 90 |
| Anexo 10: Secciones para velocidad constante y decreciente | |
| ($T= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1\text{ m/s}$) | 91 |
| Anexo 11: Resultados de pérdida de humedad ($T= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$) | 92 |
| Anexo 12: Secciones para velocidad constante y decreciente | |
| ($T= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$) | 92 |
| Anexo 13: Tratamiento para el analisis estadistico | 94 |
| Anexo 14: Secciones para las curvas del coeficiente de difusion efectiva del | |
| agua en el periodo de velocidad decreciente de secado | 95 |
| Anexo 15: Resultados del coeficiente de difusion efectiva del agua. | 98 |

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo 16: Secciones para las curvas del ajuste aplicado al modelo de Page a las diferentes muestras | 100 |
| Anexo 17: Resultados de los parámetros del modelo de Page a las diferentes muestras | 106 |
| Anexo 18: Datos de Índice Eficiencia Proteica (PER) del grupo experimental | 108 |
| Anexo 19: Resolución para el cálculo del PER | 118 |
| Anexo 20: Datos de Razón Proteica Neta (NPR) del grupo experimental | 119 |
| Anexo 21: Resolución para el cálculo del NPR | 122 |
| Anexo 22: Datos de Utilización Proteica Neta (NPU) | 123 |
| Anexo 23: Resolución para el cálculo del NPU | 124 |
| Anexo 24: Datos de Digestibilidad Verdadera y Valor Biológico | 125 |
| Anexo 25: Resolución para determinar la DV y VB | 128 |
| Anexo 26: Secado de Cushuro (<i>Nostoc sphaericum</i>) | 129 |
| Anexo 27: Evaluación biológica | 131 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado, “Evaluación de la Cinética de Secado y Valor Biológico de Cushuro (*Nostoc sphaericum*)”, tuvo por objetivos determinar la curva de velocidad de secado sometidas a las temperaturas (30°C, 45°C y 60°C) con velocidad de aire 1m/s y 1,5m/s, difusividad efectiva del agua, parámetros del modelo empírico de Page en las curvas de secado y realizar la Evaluación Biológica (PER, NPU, NPR, DV y VB) del Cushuro seco. El trabajo se realizó de junio a septiembre del 2009, en los laboratorios de Pastas y Harinas y Poscosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano. Los experimentos de secado se realizó en un secador automatizado de lecho fijo con circulación de aire forzado, y se determinaron las curvas de secado, la difusividad se determinó mediante la segunda Ley de Fick para esfera, y los datos experimentales se ajustaron al modelo empírico de Page, y para la evaluación biológica se utilizaron animales de experimentación (25 ratas cepa Hotlzman machos y hembras), donde los periodo de experimentación para cada parámetros fueron: 28 días PER, 14 días NPR, 10 días NPU, DV y VB.

En las curvas de velocidades de secado obtenidas, se observó que la humedad disminuye hasta llegar a 0.001 kg agua/kg s.s. de humedad, sometidas a temperaturas de 30°C el tiempo de secado fue 8 horas, para 45°C el tiempo de secado fue 5 horas y para 60°C el tiempo de secado fue de 4 horas con velocidades de aire de 1 y 1,5 m/s respectivamente, donde la velocidad de aire tiene poca influencia sobre la cinética de secado, mientras que la temperatura con respecto al tiempo de secado guarda una relación inversa. Los valores de difusividades obtenidos varían desde $1,38 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, cuando el proceso de secado se realizó a temperatura de 60°C con velocidad de aire de 1

m/s, hasta $2,14 \times 10^{-6}$ cuando el proceso de secado se realizó a temperatura de 30°C con velocidad de aire de 1 m/s; los parámetros de secado obtenidos por ajuste al modelo de Page fueron para k_1 0.0205 el mínimo para una temperatura de 60°C y velocidad de aire de 1 m/s en el periodo de velocidad decreciente y el máximo fue de 0.1973 a una temperatura de 45°C y velocidad de aire 1.5 m/s en el periodo de velocidad constante, para la evaluación biológica se hallaron los siguientes valores para los diferentes parámetros de la calidad proteica los cuales fueron el PER 1.11, el NPR 1.82, el NPU 28,66 %, el DV 49,53% y VB 77,79%.



I. INTRODUCCION

Puno es una región que cuenta con un rico potencial hidrobiológico, en las cuales existen diversas especies, tal es el caso del alga Cushuro del género (*Nostoc sphaericum*), lo cual presenta el aspecto de masas gelatinosas globulosas de color verde azulado a amarillo violáceo y macroscópicas, pues alcanzan de 1 a 5 cm. El Cushuro contiene un 30.54% de proteína por lo que es un alimento bastante nutritivo y pueda ser una alternativa para combatir la desnutrición infantil, así mismo el medio rural alto andino podría ser autor de su propio destino si aprovechara mejor sus recursos alimentarios naturales y autóctonos.

El Cushuro contiene un alto contenido de humedad 98.61% aproximadamente, esto hace que no es posible conservarlo por mucho tiempo, sin embargo existen métodos de conservación como es la disminución del contenido de humedad tal es el caso del secado, como un método de preservación industrial usado para disminuir la actividad de agua de los alimentos, por lo que se minimizan las reacciones bioquímicas de degradación en el almacenamiento. No obstante, la cinética de secado nos muestra la variación de la humedad del material (intensidad de evaporación) con el tiempo. Las curvas de cinética de secado dan idea del tiempo necesario de secado, del consumo de energía, del mecanismo de transferencia de agua, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables de proceso tales como: la temperatura, humedad de entrada del producto, humedad relativa, velocidad del aire, etc.

Para controlar y optimizar el proceso de secado se hace necesaria la utilización de ecuaciones matemáticas para la simulación de la cinética de transferencia de materia

(agua) ocurrida durante esta operación unitaria en función de las condiciones de secado utilizadas. El modelo utilizado es empírico, pero de igual forma deriva del modelo difusional de la segunda Ley de Fick para diferentes geometrías. El modelo difusional de Fick considera que el transporte de agua desde el interior del sólido hacia la superficie del mismo tiene lugar principalmente por difusión, calculándose de este modo un coeficiente de difusión efectivo.

Además el valor biológico en los alimentos es muy importante para evaluar su calidad proteica y de esa manera comprobar que los alimentos sean de alto valor nutritivo, y sea recomendable para consumo humano

Por estas razones los objetivos del presente trabajo planteados fueron:

- Determinar la curva de velocidad de secado sometidas a las temperaturas (30 °C, 45 °C y 60°C) con velocidad de aire 1m/s y 1,5 m/s en el secado de Cushuro en un secador automatizado de lecho fijo con circulación de aire forzado.
- Determinar la difusividad efectiva del agua sometidas a las temperaturas (30 °C, 45 °C y 60°C) con velocidad de aire 1m/s y 1,5 m/s en el secado de Cushuro.
- Determinar los parámetros del modelo empírico de Page en las curvas de secado.
- Evaluar la Calidad Biológica (PER, NPU, NPR, DV y VB) de Cushuro seco.

II. MARCO TEORICO

2.1. ASPECTOS GENERALES DE CUSHURO (*Nostoc sphaericum*)

2.1.1. Botánica

2.1.1.1. Definición

Es un alga del género (*Nostoc sphaericum*), presenta células vegetativas esféricas cilíndricas, discoidales dispuestas en filamentos sencillos, flexibles, arrosariados; muestran el aspecto de masas gelatinosas globulosas de color verde azulado a amarillo violáceo y macroscópicas, pues alcanzan de 1 a 5 cm. En la región alto andina peruana se le conoce con el nombre de “cushuro”, “murmunta”, “llullucha”, “crespito” etc. (Gonzáles, 2006).

2.1.1.2. Hábitat

El Cushuro (*Nostoc sphaericum*) es cosmopolita, que vive sobre diversos ambientes acuáticos, sobre rocas húmedas, suelos húmedos, se encuentra en lugares altos por encima de 3 000 msnm, donde existen lagunas de aguas cristalinas y puras, ricas en nitrógeno que favorece el crecimiento del alga, crece especialmente en época de lluvias, forman colonias gelatinosas esféricas que flotan libremente por el borde de superficies de lagos, lagunas y ambientes muy húmedos alto andino como en los departamentos de: Ancash, Junín, Cajamarca, Huanuco, Cusco y Puno (Gonzáles, 2006).

2.1.1.3. Reproducción

La reproducción se realiza por hormosporas llamadas akinetos y/o heterocistos. (Gonzáles, 2006).

2.1.1.4. Taxonomía

- ❖ División : Cyanophyita.
- ❖ Clase : Nostocphyceae.
- ❖ Orden : Hormogonales.
- ❖ Sub orden : Heterocytineae.
- ❖ Familia : Nostocaceae.
- ❖ Género : Nostoc Sphaericum.
- ❖ Nombres comunes: Cushuro, Llayta, Llullucha y Murmunta.

2.1.1.5. Variedades

- ❖ *Nostoc sphaericum*.
- ❖ *Nostoc commune*.
- ❖ *Nostoc pruniforme*.
- ❖ *Nostoc parmelioides*.
- ❖ *Nostoc verrucosum*.

Fuente. Aldave, (1989)

2.1.2. Composición bromatológica del cushuro

El Cuadro 1 presenta la composición bromatológica del cushuro.

Cuadro 1: Análisis Químico Bromatológico (seco)

| Composición Química Nutricional | Promedio % |
|---------------------------------|------------|
| Proteína | 30-35 |
| Carbohidratos | 50 |
| Lípidos | 17 |
| Polisacáridos: | |
| Acido galacturónico y | |
| Acido glucónico | 30 |
| Ramosa | 25 |
| Galactosa y glucosa | 35 |

Fuente: González (2006).

La especie de Cushuro, revelan 30 - 35% de proteínas, además lípidos, fósforo y calcio, está compuesto por masa fresca: más del 95 por ciento de agua. Este producto, por las cualidades nutritivas mencionadas, puede ser un excelente componente alimenticio y de bajo costo adquisitivo. González (2006).

Asi mismo la Llullucha seca tiene más proteínas asimilables que la carne, vitaminas y varios minerales tales como: Proteínas (35%), carbohidratos (45%), lipidos (7%), vitaminas A, B12 y minerales calcio, magnesio, etc. Aldave, (1989).

2.1.3. Conservación, potencialidades, distribución y valor nutraceutico del cushuro (*Nostoc Sphaericum Vauch.*) en el Altiplano peruano

El cushuro también conocido en la región del Altiplano como Llayta (*Nostoc Sphaericum Vauch.*), se encuentra ampliamente distribuida mostrando enorme

variabilidad y adaptación, entre 3,850 a 4,500 msnm, conservada *in situ* por agricultores desde tiempos inmemorables, se utiliza en la alimentación andina durante la época de lluvias (Enero – Marzo) principalmente en semana santa, siendo colectada por los agricultores para ser consumida en diversos platos típicos, como el puré de tarwi (*Lupinus Mutabilis Sweet.*).

Se determinaron la conservación *in situ*, usos ancestrales, actuales, propiedades nutraceuticas e importancia en las comunidades alto andinas del Altiplano evaluándose 6 comunidades en Pomata (Lampa Grande, Lampa Chico, Huacani) y Yunguyo (Villurcuni, Copaphuju, Machacmarca) Puno, Perú; visitando las pequeñas lagunas, manantiales, arroyos, bofedadales y depositos de agua dulce y clara, durante los meses de enero a abril. Se encontró cuatro especies: *Nostoc Sphaericum* Vauch. Con 45.73% de proteína, *Nostoc Verrucosum* Vauch., *Nostoc Commune* Vauch. Con 21.57% y *Nostoc Parmeloides* Kutz. Demostrando que la Llayta, llamada también LLullucha o Murmunta, es fuente proteica y vitaminica importante y está incluida en la dieta del poblador alto andino. Esta microalga Verde – Azulada de agua dulce, se encuentra en el Altiplano peruano formando colonias unidas por una sustancia mucilaginosa, de forma variada principalmente esferoidal, presenta colores que van del negro verdoso, azul verdoso, pardo rojizo al pardo amarillento; su diámetro oscila entre 0.3 a 5.0 cm., encontrando zonas de mayor concentración y en algunos casos aisladas, incluso se han encontrado en rocas y en suelos húmedos. Los agricultores altiplánicos la conservan *in situ*, mediante recolecciones sistemáticas controladas y adecuadamente cuidadas durante su periodo de crecimiento y en algunos casos se efectúan siembras. Tiene diferentes usos tanto frescas como deshidratadas: alimenticias (refrescos, sopas, platos de fondo y postres), medicinales, cosméticos y para el ganado en años de abundancia. La Llayta es almacenada al estado deshidratado para épocas de estiaje y escasez de alimento fresco.

2.1.4. Producción de algas

Hay al menos una empresa dedicada a la exportación de algas marinas desde hace varios años. La industria de la carragenina utiliza *Gigartina chamissoi* (*Gigartina chondrocantus*), que también se emplea en el Japón como parte de una ensalada a base de algas marinas. En la actualidad se exportan 2,000 toneladas anuales; se podría llegar a 5,000 toneladas, pero habitualmente no se puede obtener esta cantidad de fuentes naturales. La demanda es relativamente escasa y el cultivo, si fuera posible, solo estaría justificado en caso de que el Japón aumentara sus compras. (COMEXPERU, 2007)

Gracilariopsis se exportó en el pasado a productores de agar, pero la calidad de éste es baja (gel poco concentrado) y, conforme aumenta el cultivo de Gracilaria de alta calidad en Chile, resulta cada vez más difícil encontrar mercados para esta alga marina. *Lessonia nigrescens* y *L. trabeculata* están presentes en praderas naturales en el sur del Perú, pero la biomasa sufre los efectos más intensos de El Niño. En años normales se exportan unas 3,000 toneladas. *Macrocystis pyrifera* es también muy abundante, pero sólo se exporta en pequeñas cantidades. Estas tres especies son algas:

- Pardas y no son fáciles de cultivar.
- Los taxonomistas han hallado especies de *Gelidium*, *Ahnfeltia* y *Durvillaea*, pero las cantidades a las que es fácil acceder no resultan comercialmente viables.
- Las exportaciones de algas se incrementaron a partir del año 1997 (Cuadro 2).

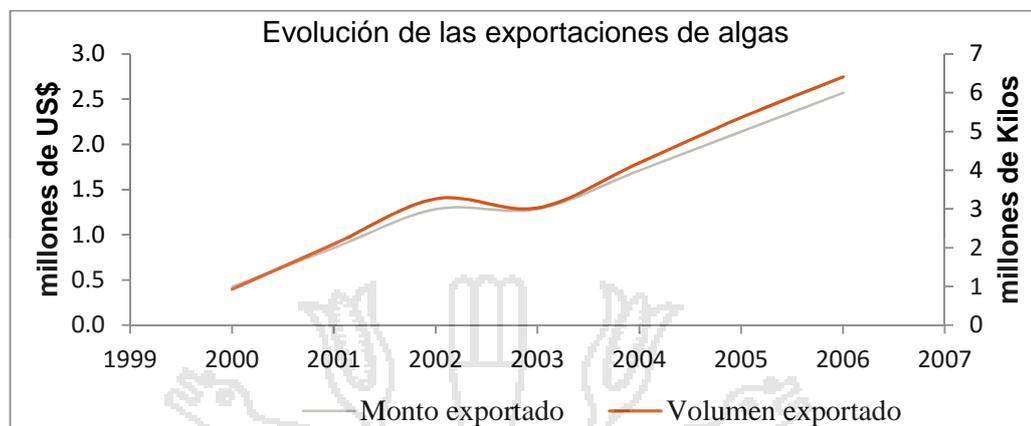
Cuadro 2: Exportación algas frescas o secas 1997-2001

| AÑOS | KILOS | VALOR USD |
|------|-----------|-----------|
| 1997 | 2.386.879 | 1,205.823 |
| 1998 | 3.778.470 | 1,375.993 |
| 1999 | 3.347.047 | 1,118.569 |
| 2000 | 1.042.739 | 389.442 |
| 2001 | 2.194.205 | 911.923 |

Fuente: COMEXPERU, 2007.

Las algas marinas, también conocidas como "las verduras del mar", son abundantes, saludables y tienen un alto valor nutritivo. A diferencia de lo que sucede en los países asiáticos, estas no son un insumo básico de la cocina peruana, pero nos sorprendería saber que consumimos algas desde hace mucho tiempo, ya que diariamente las utilizamos en shampoo, pasta dentífrica, dietas adelgazantes, cosméticos, alimentos para animales, sopas de preparación instantánea y medicinas.

Los destinos de las exportaciones peruanas de algas en el 2006 se concentraron en China (45% del total), Chile (13%), Francia (11%) y Corea del Sur (8%). Asimismo, las principales empresas peruanas exportadoras de algas en lo que va del año son Algas Multiexport del Perú S.A.C., Globe Seaweed Internacional S.A.C. y Algas Arequipa E.I.R.L., con una representación del 29%, 27% y 13%, respectivamente. En cuanto al comercio mundial, según cifras de Trade Map, en el 2005 se expórtaron algas por un valor de US\$ 429 millones, siendo China el principal exportador (25% del total), seguido por Corea del Sur (20%) (COMEXPERU, 2007)

Fig. 1: Evolución de las exportaciones de algas

Fuente: COMEXPERU, 2007

2.2. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE SECADO Y DESHIDRATACIÓN

La disminución de la humedad de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación. Al reducir el contenido de agua de un alimento hasta un nivel muy bajo se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se reduce apreciablemente las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Además el efecto conservante, mediante la deshidratación se reduce el peso y volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje. Además la deshidratación de un alimento produce a menudo otro más apto para el consumo (Singh y Heldman, 1998).

El efecto conservador del secado constituye uno de los descubrimientos más antiguos de la humanidad y su eficiencia descansa sobre el hecho de que los microorganismos no pueden crecer ni provocar alteraciones en los alimentos cuya actividad de agua se ha reducido por debajo de 0,6, el secado como sistema de conservación se ha empleado hace mucho tiempo. Se menciona que la hortaliza y legumbres se secaron al sol en las épocas primitivas (Cabe y Smith, 1975).

2.2.1. Claves de la desecación

La desecación consiste en la reducción del agua libre de un producto. Para conseguir esto se puede seguir dos métodos (Singh y Heldman, 1998).

-Calentamiento del alimento con flujo de aire.

-Adición de solutos que absorben el agua (salazones, azucaradas).

2.2.2. Deshidratación en alimentos

La deshidratación de alimentos consiste en la eliminación casi completa del agua que estas contienen, bajo condiciones de control que producirán solo un mínimo de cambios o ningún cambio en las propiedades del alimento. La humedad final de estos alimentos deshidratados como granos de cereales y frutas es del 1 al 5 %, según el producto (Potter, 1973).

Los alimentos deshidratados son más concentrados que cualquier otra forma de productos alimenticios preservados. Es más ventajoso en costos de producción equipo limitado condiciones de almacenamientos costos de distribución y transporte, son mínimas comparadas con otros tratamientos. El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos. Todos los granos de cereal son conservados por secado y el proceso es tan eficiente que difícilmente requiere ayuda del esfuerzo humano (Hough y Marini, 1993).

La eliminación de agua de los alimentos se consigue mayoritariamente utilizando aire seco (excepto para algunas operaciones tales como liofilización y deshidratación osmótica) que elimina el agua de la superficie del producto y la lleva hacia fuera (Barbosa y Vega, 2000).

El proceso de secado de alimentos no sólo afecta al contenido en agua del alimento sino también a otras características físicas y químicas. Entre las características utilizadas para describir los alimentos secos cabe citar la actividad de agua, isoterma de adsorción deterioro microbiano, reacciones enzimáticas y no enzimáticas, fenómenos físicos y estructurales y destrucción de nutrientes aroma y gusto (Barbosa y Vega, 2000).

2.2.3. Técnicas de deshidratación

Todas las técnicas de deshidratación están basadas en el comportamiento físico-químico del agua. El agua líquida se evapora a cualquier temperatura, proceso que se puede acelerar si se eleva su temperatura o bien se hace pasar por ella, aire seco y caliente.

También el agua sólida (hielo) sublima a baja temperatura y baja presión ($T = 0.009 \text{ } ^\circ\text{C}$ y $P = 611 \text{ Pa}$) que la atmosférica. Por último, como el agua en los tejidos animales o vegetales se encuentra en forma de solución ésta puede eliminarse por un proceso de ósmosis seguida de la evaporación de agua líquida que sale de los tejidos para ello los alimentos son tratados con solutos como el cloruro de sodio, azúcar (Hope y Vitale, 1982).

2.2.3.1. Deshidratación por el sol

El método tradicional de secado al sol consiste en distribuir el producto en una capa fina sobre una superficie uniforme. El producto se remueve o voltea periódicamente durante el secado. La temperatura del producto durante el secado al sol oscila entre 5 y 15°C por encima de la temperatura ambiente y un tiempo de secado

puede alcanzar tres a cuatro semanas, por ejemplo para uvas y albaricoques. Las características del producto: color, forma y las condiciones de humedades iniciales y finales deseadas influyen sobre la temperatura del producto y tiempo de secado (Casp y Abril, 1999).

2.2.3.2. Deshidratación por desecadores mecánicos

El desecador más simple es el horno, que lleva a cabo la deshidratación del alimento aprovechando las corrientes naturales que se producen al calentar el aire. Los alimentos líquidos como la leche, jugos y sopas se pueden evaporar al vacío empleando temperaturas relativamente bajas. También se pueden deshidratar por aspersión, pulverizando el líquido sobre una corriente de aire seco caliente, la eliminación de agua por vía mecánica sólo permite la separación de una parte del agua libre de los productos tratados (Casp y Abril, 1999).

2.2.3.3. Liofilización

La liofilización es otra técnica de deshidratación de alimentos y otros productos biológicos (plasma sanguínea, piel y otros), que consiste en someter los alimentos en un ambiente de baja presión a muy bajas temperaturas ($T = 0.009\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P = 611\text{ Pa}$) para provocar la sublimación del hielo. Llamada anteriormente crió-desección, la liofilización, cuyo nombre procede de la industria farmacéutica, es un proceso de secado cuyo principio consiste en sublimar el hielo de un producto congelado, el agua del producto pasa directamente del estado sólido al estado de vapor sin pasar por el estado líquido; la liofilización presenta una serie de ventajas presentes frente a otras técnicas de secado en particular la estructura original del alimento se mantiene mejor y la retención de aromas y nutrientes es excelente, la textura es aceptable, especialmente

con vegetales, los productos liofilizados presenta una mayor calidad que los mismos productos deshidratados por otros métodos, pueden ser almacenados a temperatura ambiente durante varios periodos y su rehidratación es fácil. Sin embargo, una de las mayores desventajas de la liofilización son los costos energéticos y los largos periodos de secado (Liapis y Marchello, 1984) citado por (Casp y Abril, 1999). La liofilización es un proceso caro tanto en términos de inversión como en costos de operación también en tiempo de proceso (Casp y Abril, 1999).

2.2.3.4. Concentrados

La concentración de líquidos es una operación muy importante de los procesos de la industria alimentaria. La concentración se diferencia de la deshidratación en el contenido final de agua y en las características de los productos obtenidos. Generalmente, los alimentos que se concentran permanecen en estado líquido mientras que el secado produce alimentos sólidos o semisólidos.

Con un contenido de agua significativamente bajo. Los alimentos se concentran para proporcionarle un aumento de la vida útil o incrementar su valor. Además la concentración permite una reducción de los costos de transporte cuando el producto final se obtiene por restitución del agua hasta su nivel (Casp y Abril, 1999).

2.2.4. Características de secado

2.2.4.1. Parámetros del producto

2.2.4.1.1. Humedad inicial

El contenido de humedad, es decir la cantidad de agua evaporable existente en un producto se expresa con relación a su masa total o a su masa seca (esto es, la masa que se obtiene descontando la masa de agua evaporable que contiene). En los cálculos

de secado, se emplea una como otra definición, para expresar el contenido de humedad (Perry y Chilton, 1981).

2.2.4.1.2. Humedad de equilibrio

Una variable importante en el secado de materiales es la humedad del aire en contacto con un sólido de determinada humedad. Supóngase que un sólido húmedo se pone en contacto con una corriente de aire con humedad H y temperatura constantes. Se usa un gran exceso de aire, por lo que las condiciones permanecen invariables. Después de haber expuesto el sólido un tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, llega un momento en que dicho sólido tiene un contenido de humedad definido. Este valor se conoce como contenido de humedad de equilibrio del material en las condiciones especificadas de humedad y temperatura del aire. En general, el contenido de humedad se expresa en base seca como kilogramo de agua por kilogramo de sólido sin humedad (completamente seco). Para algunos sólidos, el valor del contenido de humedad de equilibrio depende de la dirección en la que se alcance el equilibrio. Los valores de contenido de humedad de equilibrio varían de acuerdo con que una muestra húmeda se seque por desorción o bien una muestra seca adsorba humedad por adsorción. En los cálculos de secado, se usa el valor de equilibrio por desorción, puesto que tiene mayor valor y tiene un interés particular (Geankoplis, 1998)

2.2.4.1.3. Humedad libre

La humedad libre es la humedad contenida por una sustancia en exceso de la humedad en el equilibrio. Sólo puede evaporarse la humedad libre; el contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración del vapor en el gas. (Treybal, 1988)

El contenido de humedad libre de una muestra es la humedad por encima del contenido de humedad de equilibrio. Esta humedad libre se puede eliminar por secado con las condiciones dadas de porcentajes de humedad relativa (Geankoplis, 1998)

2.2.4.1.4. Humedad crítica

Es el contenido de humedad que tiene el producto a secarse en el momento que hay una transición de velocidad e secado, es decir, del momento de secado a velocidad constante pasa a velocidad decreciente. El punto en el cual termina la intensidad constante y empieza a disminuir la intensidad de la desecación se llama contenido crítico de humedad (Perry y Chilton, 1981).

2.2.4.2. Proceso de secado

En los procesos de secado los datos suelen expresarse como la variación que experimenta el peso del producto que se está secando con el tiempo. Aunque a veces, los datos de secado pueden expresarse en términos de velocidad de secado.

El contenido en humedad del producto se define como la relación de cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos y se expresa como:

$$X_t = (W_t - F_s) / F_s \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde: W_t es el peso total del material en un tiempo determinado, siendo F_s es el peso de los sólidos secos, X_t es la humedad expresada como peso de agua / peso de sólido seco. En los procesos de secado una variable muy importante es el denominado contenido de humedad libre X , el contenido de humedad libre se puede evaluar si se considera el contenido de humedad de equilibrio.

$$X = (X_t - X_{eq})$$

Ecu. 2

En la que X_{eq} es el contenido de humedad cuando se alcanza el equilibrio. Una típica curva de secado se obtiene al representar este contenido de humedad libre X frente al tiempo de secado t Figura 2.

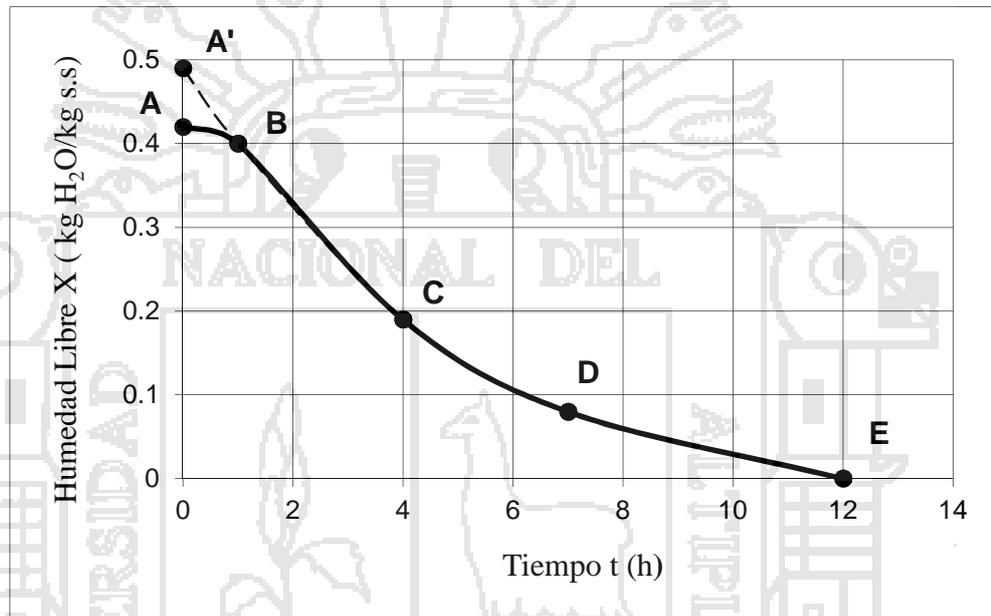


Fig. 2: Curvas típicas de secado contenido de humedad en función del tiempo:

La velocidad de secado R es proporcional al cambio del contenido de humedad en función del tiempo (t).

$$R \propto dX / dt$$

Ecu. 3

Considerando la curva de la Figura 2, los valores individuales de dX/dt en función del tiempo, se pueden obtener a partir de la tangente trazada en la curva de X frente al tiempo de secado t . Sustituyendo la condición de proporcionalidad en la

Ecuación 3 por F_s/A , la velocidad de secado se puede expresar como (Geankoplis, 1983).

$$R = -(F_s / A)(dX / dt) \tag{Ecu. 4}$$

Donde R es la velocidad de secado A es el área de la superficie de secado donde tiene lugar el secado. Al representar R frente a t se obtiene una curva similar a la Figura 3.

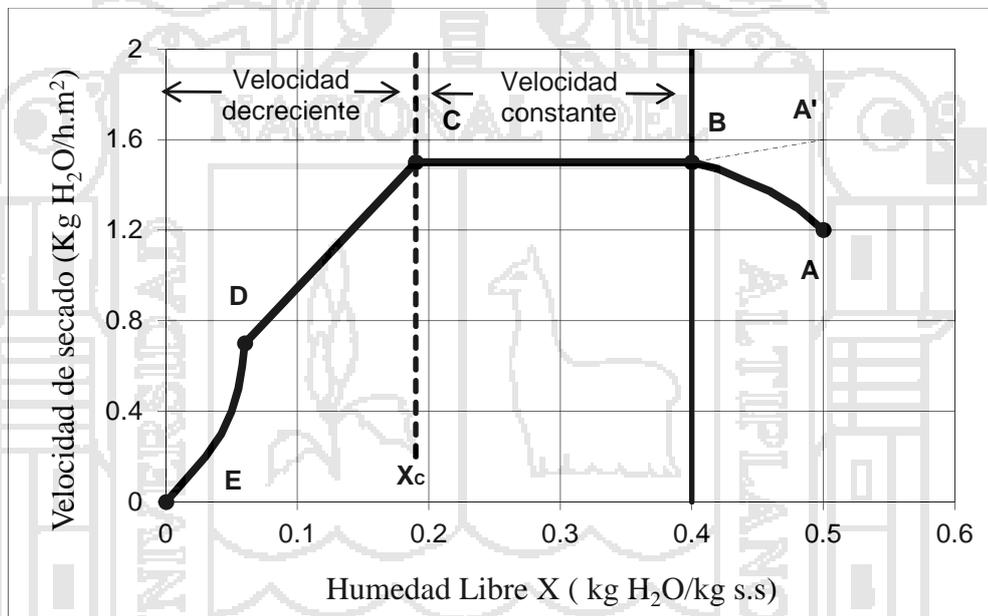


Fig. 3: Curvas típicas de velocidad de secado: a) periodo de velocidad decreciente controlado por la difusión, b) Periodo de velocidad constante.

El proceso de secado de un material puede describirse por una serie de etapas en las que la velocidad de secado juega un papel determinante. La Figura 3, muestra una típica curva de velocidad de secado, en las que los puntos A y A' representa el inicio de secado, para un material frío y caliente respectivamente. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie de producto. El tiempo

transcurrido para pasar de A o A' a B suele ser bajo y a menudo se desprecia en los calculo de secado.

El tramo de la curva B-C es conocido como periodo de velocidad constante de secado y está asociada a la eliminación del agua no ligada del producto, en el que el agua se comporta como si el sólido no estaría presente. El periodo de velocidad constante continúa, mientras que el agua evaporada de la superficie pueda ser compensada por la que se encuentra en el interior. La temperatura en la superficie corresponde al bulbo húmedo (Geankoplis, 1998).

2.2.4.2.1. Periodo de velocidad de secado constante

Durante el periodo de velocidad constante, los fenómenos de transporte que tiene lugar son las transferencias de materia de vapor de agua hacia el medio ambiente, desde la superficie del producto, a través de una película de aire que rodea el material y la transferencia de calor a través del sólido. Mientras dura el proceso de secado, la superficie del material, permanece saturada ya que la velocidad de movimiento del agua desde el interior del sólido es suficiente para compensar el agua evaporada en la superficie. Se supone que sólo existe transferencia de calor hacia la superficie del sólido por convección desde el aire caliente y transferencia de materia desde la superficie hacia el aire caliente (Figura 4), los balances de materia y calor se podría expresar de la siguiente manera (Geankoplis, 1998).

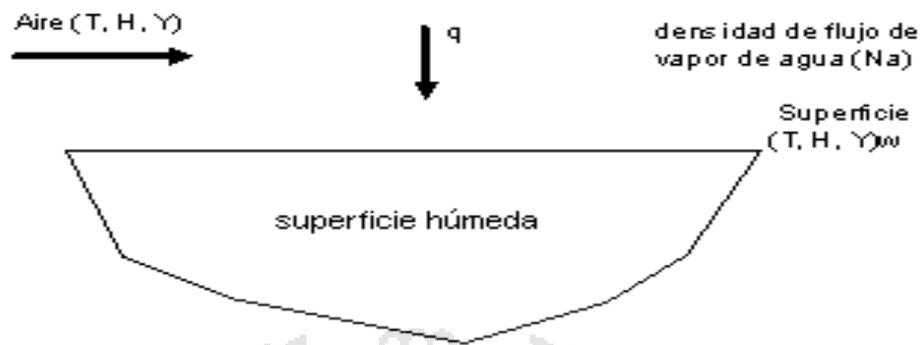


Fig. 4: Transferencia de calor y materia durante el secado (adaptado de Geankoplis, 1998).

$$q = hA(T - T_w) \tag{Ecu. 5}$$

$$N_a = K_y(Y_w - Y) \tag{Ecu. 6}$$

Donde:

q = Densidad de flujo de calor

h = Coeficiente de transmisión de calor

A = Área que se está secado

T_w = Temperatura de bulbo húmedo

T = Temperatura de secado

N_a = Densidad de flujo de vapor de agua

Y_w = Contenido de humedad del aire en la superficie del sólido

Y = Contenido de humedad del aire en el seno de la corriente de secado

K_Y = Coeficiente de transferencia de materia

La velocidad de secado en el periodo de velocidad constante se expresa como (Okos *et al.*, 1992).

$$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\rho_w} = \frac{q}{\rho_w} A \tag{Ecu. 7}$$

Donde:

R_C = Velocidad de secado en el periodo de velocidad constante

h = Coeficiente de transmisión de calor

T = Temperatura de secado

T_w = Temperatura de bulbo húmedo

w = Calor latente de vaporización a la temperatura T_w

A = Área que se está secando

q = Densidad de flujo de calor

2.2.4.2.2. Periodo de velocidad decreciente

Este periodo sigue al de velocidad de secado constante, la velocidad de secado R decrece cuando el contenido de humedad sobrepasa el contenido de humedad crítico X_C . Para resolver este tipo de problemas, la Ecuación 4, debe resolverse por integración y el término integral se calcula mediante una integración gráfica al representar $1/R$ frente a X (Barbosa y Vega, 2000).

El movimiento del agua en el sólido puede explicarse por distintos mecanismos, como son: difusión del líquido debido a gradientes de concentración, difusión del vapor debido a la presión parcial de vapor, movimiento del líquido por fuerzas capilares, movimiento del líquido por fuerzas de gravedad, y difusión superficial (Bruin y Luyben, 1980; Fortes y Okos, 1980) citado por (Casp y Abril, 1999). El movimiento del agua a través del alimento depende tanto de su estructura porosa como de las interacciones del agua con la matriz alimentaría.

2.2.4.2.3. Coeficiente de difusión

Muchos autores han propuesto que el principal mecanismo en el secado de sólidos es la difusión del agua (Fortes y Okos, 1980; Geankoplis, 1983). La difusión se da en sólidos de estructura fina y en los capilares, poros y pequeños huecos llenos de vapor. El vapor se difunde hacia fuera hasta que alcanza la superficie donde pasa a la corriente global de aire. Desgraciadamente, la teoría de la difusión no tiene en cuenta el encogimiento, casos de endurecimiento o isothermas de adsorción. El significado físico del coeficiente de difusión no se tiene en cuenta o es interpretado como un efecto simultáneo, siendo además dependiente de la concentración y la temperatura. La Ley de Fick aplicada a un sistema unidimensional como el mostrado en la Figura 5. Se puede expresar como:

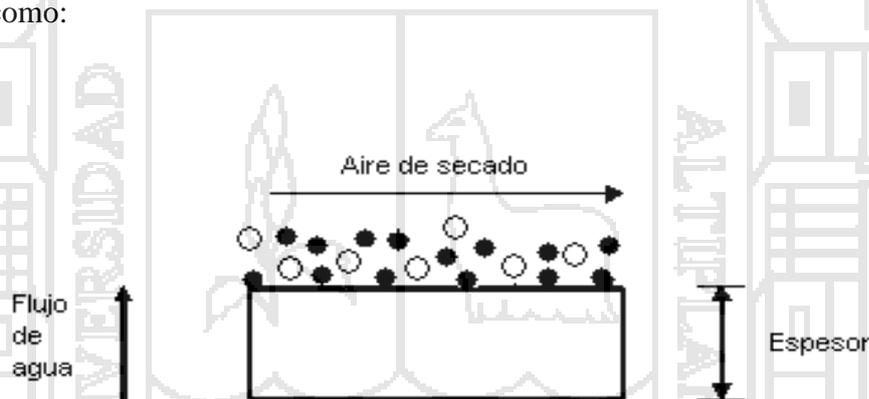


Fig. 5: Mecanismo de difusión superficial en el transporte de vapor de agua (Adaptado por Bruin y Luyben, 1980).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

Ecu. 8

Donde:

X = Contenido de humedad libre

t = Tiempo

x = Dimensión espacial

D_{ef} = Coeficiente de difusión

La solución de la ley de Fick modificada para esfera es como sigue:

$$\Gamma = \frac{X - X_s}{X_0 - X_s} = \frac{6}{f^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{\left(\frac{-n^2 D_{ef} t}{r^2}\right)} \quad \text{Ecu. 9}$$

Donde:

D_{ef} = Coeficiente de difusión

X = Contenido de humedad al tiempo t

X_0 = Contenido de humedad inicial

X_s = Contenido de humedad en la superficie

r = Radio de la esfera

n = Vector unitario

La dependencia del coeficiente de difusión D_{ef} , con la temperatura puede describirse por la ecuación de Arrhenius.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R_g T}\right) \quad \text{Ecu. 10}$$

Donde:

E_a = Energía de activación

T = Temperatura de referencia

R_g = Constante de gases

D_0 = Coeficiente de difusión de referencia

La energía de activación se puede determinar al representar $\ln D_{ef}$ frente a $1/T$. Okos *et al.* (1992) han dado una lista de valores de E_a encontrados en la literatura para un conjunto de productos alimentarios, presentados en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Difusividad efectiva de algunos productos alimentarios.

| Alimentos | T (°C) | D _{ef} (m ² /s) |
|------------------------------|--------|-------------------------------------|
| Leche entera espuma | 50 | 2.0x10 ⁻⁹ |
| | 40 | 1.4x10 ⁻⁹ |
| | 35 | 8.5x10 ⁻¹⁰ |
| Manzana | 66 | 6.40x10 ⁻⁹ |
| Manzana liofilizadas | 25 | 2.43x10 ⁻¹⁰ |
| pasas | 25 | 4.17x10 ⁻¹¹ |
| Patatas | 54 | 2.58x10 ⁻¹¹ |
| | 60 | 3.94x10 ⁻¹¹ |
| | 65.5 | 4.37x10 ⁻¹¹ |
| | 68.8 | 6.36x10 ⁻¹¹ |
| Peras en laminas | 66 | 9.63x10 ⁻¹⁰ |
| Ternera en polvo liofilizada | 25 | 3.07x10 ⁻¹¹ |
| Zanahoria en cubos | 40 | 6.75x10 ⁻¹¹ |
| | 60 | 12.1x10 ⁻¹¹ |
| | 80 | 17.9x10 ⁻¹¹ |
| | 100 | 24.1x10 ⁻¹¹ |

Fuente: Okos *et al.* (1992).

El coeficiente de difusión se puede expresar en función de la humedad (Okos *et al.*, 1992):

$$D_{ef} = D_0 \exp(-E_a/R_g T) \frac{K_{12} \exp(-E_b/R_g T)}{1 + K_{12} \exp(-E_b/R_g T)} \tag{Ecu. 11}$$

$$K_{12} = k_1/k_2 \tag{Ecu. 12}$$

Donde:

k₁, k₂ = Constantes de difusión a los niveles 1 y 2 de humedad

-E_b = Diferencia de la energía de activación entre los niveles de humedad 1 y 2 o la energía enlazante

E_a = Energía de activación al nivel más alto de humedad

También las ecuaciones podrían ser aplicadas al secado de:

- Arcillas, almidones, harinas, textiles, papel y madera que están a un contenido de humedad de equilibrio por debajo del punto de saturación atmosférica.
- Jabones, colas, y pastas (sólidos en fase simple) en los que el agua y los sólidos son mutuamente solubles (Fortes y Okos, 1980).

2.3. MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL AJUSTE DE LOS DATOS

2.3.1. Cinética de secado

La cinética de secado de los materiales en general puede ser descrita considerando las propiedades de transporte del medio de secado y del material en sí, tales como la conductividad y difusividad térmica, la difusividad de agua y los coeficientes superficiales de calor y masa (Sokhansanj *et al.*, 1984; Vagenas y Karathanos, 1993; Karathanos y Belessiotis, 1999). Sin embargo, en ocasiones, sobre todo en el caso de los alimentos, las ecuaciones diferenciales fundamentadas en los fenómenos de transporte de materia y calor involucrados en un proceso de secado resultan ser matemáticamente complejas de solucionar. Por tanto, en la mayoría de las ocasiones se hace necesario recurrir a la simulación computacional y aún así los tiempos de trabajo son largos (Karathanos y Belessiotis, 1999; Simal *et al.*, 2005). Además, resulta complicado determinar experimentalmente algunos de los parámetros involucrados en dichas ecuaciones. Normalmente, se buscan simplificaciones que reduzcan el número de incógnitas en el sistema y que faciliten el uso de estas ecuaciones. Tal es el caso de las soluciones propuestas a la segunda Ley de Fick para la transferencia de materia, que

permiten calcular la difusividad eficaz del agua en función de la geometría del producto (Crank, 1975).

La complejidad del uso de las ecuaciones diferenciales que consideran las propiedades de transporte del alimento y del medio de secado (tal como una corriente de aire caliente), hace que diversos autores hayan empleado modelos (empíricos o semi-empíricos) relativamente sencillos que permitan reproducir las curvas de secado experimentales, lo que siempre es importante si se pretende mejorar el control de la operación de secado (Doymaz y Pala, 2003; Simal *et al.*, 2005). Las ecuaciones propuestas por estos modelos no consideran normalmente los fundamentos del proceso de secado y suelen incluir parámetros sin sentido físico, por lo que no ofrecen una visión precisa de los fenómenos que tienen lugar, aunque pueden describir las curvas de secado obtenidas bajo ciertas condiciones de secado con bastante rigurosidad. Uno de los modelos más simples es el conocido como modelo exponencial descrito (Ecuación 13) y en la que K es una constante de velocidad (Kajuna *et al.*, 2001; Simal *et al.*, 2005).

$$\frac{X_{wt} - X_{we}}{X_{wo} - X_{we}} = \exp(-k t) \quad \text{Ecu. 13}$$

Este modelo asume que la resistencia interna al movimiento de agua es despreciable y que se localiza en la superficie del producto. Usualmente, este modelo no permite una simulación precisa de las curvas de secado de muchos alimentos, ya que subestima el comienzo de la curva de secado y sobreestima las etapas posteriores (Simal *et al.*, 2005).

Para soslayar las limitaciones del modelo exponencial, el modelo de Page introduce un segundo parámetro de secado, N , que supone una modificación empírica

en el término del tiempo (Ecuación 14) (Morey y Li, 1984; Karathanos y Belessiotis, 1999; Simal *et al.*, 2005). Sin embargo, la introducción del exponente N conduce a un modelo puramente empírico. El parámetro N modera el tiempo y mejora los resultados de predicción de la pérdida de la humedad (Azzouz *et al.*, 2002). Este modelo ha sido ampliamente aplicado para reproducir adecuadamente las curvas de secado de láminas de patata (Akpinar *et al.*, 2003), arroz crudo (Iguaz *et al.*, 2003), alubias verdes, patatas y guisantes (Senadeera *et al.*, 2003), zanahoria (Doymaz, 2004), kiwi (Simal *et al.*, 2005), pasas de corinto, sultanas, higos y ciruelas (Karathanos y Belesiotis, 1999), tomate cherry (Moreira y Xidieh, 2004), yuca (Kajuna *et al.*, 2001), entre otros.

$$\frac{X_{wt} - X_{we}}{X_{wo} - X_{we}} = \exp(-k t^n)$$

Ecu. 14

Donde:

X_{wt} = Humedad al tiempo t (kg agua/kg m.s.)

X_{wo} = Humedad inicial (kg agua/kg m.s.)

X_{we} = Humedad en equilibrio (kg agua/kg m.s.)

k, n = Parámetros del modelo de Page

t = Tiempo de secado

La ecuación anterior, al igual que el modelo exponencial, asume que la resistencia al movimiento de agua y por consiguiente también los gradientes dentro del producto, son despreciables. Por tanto, para una temperatura, presión y humedad relativa determinadas, esta ecuación es válida si el secado tiene lugar a velocidad decreciente, característico de productos de baja humedad como los cereales (Kajuna *et al.*, 2001).

2.4. ENSAYOS DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA EN RATAS

2.4.1. Métodos basados en cambios de peso corporal

El método más simple para determinar el valor nutritivo, es medir la tasa de crecimiento de animales jóvenes alimentados con una dieta sometida a prueba. Se tradujo este concepto en base cuantitativa, relacionando la ganancia de peso con la cantidad de proteína consumida, el índice obtenido fue denominado índice de eficiencia proteínica (PER). Dichos autores demostraron que el PER variaba con el nivel de proteína en la dieta y recomendaron que cada proteína fuese estudiada a su nivel óptimo. Esta recomendación no fue adoptada por investigadores subsecuentes, y se mantuvo en uso generalizado del nivel convencional del 10% de proteína dietética (Pellet y Young, 1980).

El defecto más serio que adolece la prueba del PER es que no estipula ningún margen de tolerancia en lo referente a la proteína para mantenimiento y, en consecuencia, los valores obtenidos no son proporcionales; es decir, un valor de PER de 2 no es dos veces mejor que un valor de PER de 1. Por lo tanto, el PER no es apropiado para estimar la calidad de la proteína en un sistema de clasificación, donde el múltiplo de calidad por cantidad de proteína se considera como proteína utilizable. Se sabe que el resultado es dependiente de la dosis, pero no se puede aplicar ninguna corrección porque es un método que utiliza un solo nivel. Cabe mencionar también que este método puede ser tratado como un “ensayo de dos puntos”, o sea la pendiente entre dos puntos, uno de los cuales es el inicial o de partida. Los factores que afectan la ingesta total de un alimento aumentan la variabilidad de los estimados de PER, reduciendo a su capacidad para discriminar entre proteína. El método no siempre es reproducible en

diferentes laboratorios, y los intentos por eliminar esta variación corrigiendo por un valor de PER de 2.5 para caseína (estándar interno) (Pellet y Young, 1980).

El método conocido como razón proteínica neta (NPR), representa una mejora sobre el PER en el sentido de que se usa un grupo control alimentado con dieta libre de proteína. En la práctica el NPR es comparable al NPU, método ampliamente conocido y muy usado, que se basa en la retención de nitrógeno (Bender y Miller, 1953); citado por Pellet y Young, (1980).

2.4.2. Métodos basados en la retención de nitrógeno

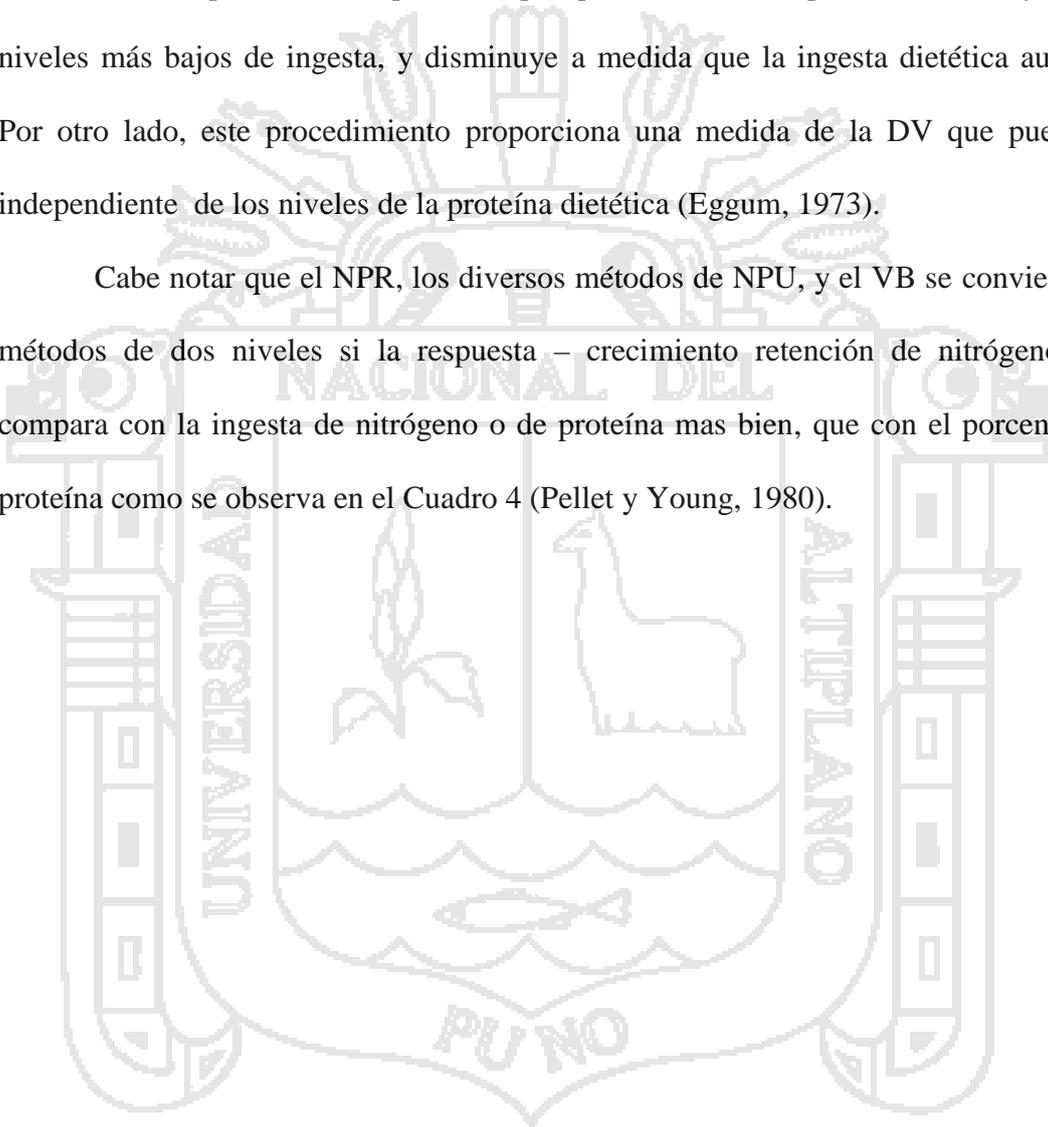
Son varios los métodos que usan la retención de nitrógeno como variable dependiente en un ensayo de evaluación de la calidad proteínica. El más simple de ellos es el de la utilización proteínica neta (NPU), el cual mide la diferencia entre el nitrógeno de la carcasa de ratas alimentadas con una proteína de prueba (NPU, carcasa) y aquellas alimentadas con una dieta libre de proteína (Bender y Millar, 1953); citado por Pellet y Young, (1980).

El método que utiliza el análisis de carcasa ha sido abreviado, determinando el contenido de agua corporal y derivando la cantidad de nitrógeno que a partir de la razón nitrógeno/agua de los animales previamente determinada (Pellet y Young, 1980).

Los ensayos también pueden basarse en los métodos de balance de nitrógeno, en los que se determina el nitrógeno ingerido y el excretado por la ratas alimentadas con dietas que contiene una proteína de prueba o una dieta libre de proteína, de manera que la retención de nitrógeno se estima indirectamente. Esto también permite determinar la excreción del nitrógeno fecal y urinario de origen endógeno y metabólico por lo tanto,

permite la determinación de la digestibilidad aparente (DA), digestibilidad verdadera (DV), utilización proteínica neta (NPU) y valor biológico (VB) convencionalmente, usa el nivel de proteína de 100 g/Kg (10%) de la dieta, y el resultado se expresa como NPU. Este nivel convencional permite hacer comparaciones entre diferentes proteínas aunque se acepta que la utilización proteínica es mayor a los niveles más bajos de ingesta, y disminuye a medida que la ingesta dietética aumenta. Por otro lado, este procedimiento proporciona una medida de la DV que puede ser independiente de los niveles de la proteína dietética (Eggum, 1973).

Cabe notar que el NPR, los diversos métodos de NPU, y el VB se convierten en métodos de dos niveles si la respuesta – crecimiento retención de nitrógeno – se compara con la ingesta de nitrógeno o de proteína mas bien, que con el porcentaje de proteína como se observa en el Cuadro 4 (Pellet y Young, 1980).



Cuadro 4: Ensayos con rata para determinar calidad proteica

| | Autor (es) | Año |
|---|--|--------------|
| A. Ensayo de un solo nivel* | | |
| 1. Retención de nitrógeno | | |
| a. Diferencia entre ingesta y excreción | Mitchell | 1924 |
| b. Análisis de carcás, final contra inicial | Shukers & McCollum | 1929 |
| c. Análisis de carcás, final contra control aprotéinico | Bender & Miller | 1953 |
| 2. Ganancia de peso | | |
| a. Ganancia de peso por g de proteína ingerida | Osborne, Mendel & Ferry | 1919 |
| b. Ganancia y pérdida de peso en una dieta aprotéinica por g de proteína ingerida | Bendell & Doell | 1957 |
| c. Repleción de la rata | Cannon | 1945 |
| d. Mantenimiento de peso | Tomarelli & Bernhart | 1947 |
| B. Ensayo de niveles múltiples** | | |
| 1. Pendiente de la línea entre balance de N y N absorbido | Allison & Anderson | 1945 |
| 2. Pendiente de la línea entre crecimiento en ingesta de nitrógeno | Allison & Anderson | 1945 |
| 3. Pendiente de la línea entre respuesta (crecimiento, agua corporal o N corporal) e ingesta de N | Hegsted & Chang Hegsted, Neff & Worcester | 1965 1968 |
| c. Otros ensayos | | |
| 1. Respuesta específica | | |
| a. Regeneración de proteínas plasmáticas | Robscheit-Robbins & Whipple | 1949 |
| b. Regeneración de la proteína hepática | Harrison & Long | 1945 |
| c. Utilización de la proteína hepática | Campbell & Kostelitz | 1948 |
| d. Oxidasa xántica hepática | Mokady, Viola & Zimmermann | 1969 |
| e. Enzimas hepáticas | Litwack <i>et al.</i> Wirthen & Bergner | 1952 1964 |
| 2. Índices abreviado | | |
| a. Creatinina urinaria/N total urinario | Murlin <i>et al.</i> | 1948 |
| b. Niveles de urea sanguínea | Munchow & Bergner Eggum | 1967 1973 |

* Se refiere a la respuesta obtenida con un solo nivel de proteína, con o sin un grupo control aprotéinico.

** La respuesta puede medirse por crecimiento o contenido de agua en el carcás.

Fuente: Pellet y Young, 1980

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó de junio a septiembre del 2009, en dos etapas:

1) Para el secado y análisis (Físico-Químico y Microbiológico) del alga se realizó de junio a agosto del 2009, en los siguientes laboratorios:

- a) Laboratorio microbiológico de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano en el mes de junio, 2009.
- b) Laboratorio de procesamiento de Pastas y Harinas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano en el mes de junio, 2009.
- c) Laboratorio de Postcosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano en el mes de Agosto, 2009.

2) Para la evaluación biológica del alga, se realizó en un ambiente acondicionado, en el mes de septiembre del 2009.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Material experimental

3.2.1.1. Materia prima

Para realizar el presente estudio se utilizó como materia prima el Cushuro (*Nostoc sphaericum*), el cual se recolectó con mallas de nylon, de la zona de Malcomayo Km. 2 del desvío de la carretera Puno-Laraqueri.

3.2.1.2. Insumos

- Cushuro 29 Kg
- Almidón de maíz nativos 4.73g (Almid)
- Almidón de papa nativos 51.81g (Almid)
- Aceite vegetal 7.92 ml (fino)
- Vitaminas y minerales 2.00 g(Rocsasfol y reavit)
- Glucosa 0.80g (A&M)

3.2.2. Equipos

- Secador de Lecho fijo con circulación de aire forzado (Tesis, UNA)
- Estufa, marca Thelco serie 20-y-10
- Balanza analítica , marca Mettler Toledo, capacidad 0.01-1000g
- Cuenta colonias
- Selladora eléctrica, marca Arno
- Mufla, marca Labor Muszeripari. Muvek

3.2.3. Materiales de vidrio

- Equipo de extracción Soxhlet, marca Fortunas. Germany, 150 ml
- Termómetro (-10 a 110 °C)
- Lunas de reloj
- Vasos precipitados, Pirex USA, 10, 25, 100 y 250 ml
- Campana desecadora
- Crisoles de porcelana, V SE 44-741
- Probeta, marca Kimax USA, 250 ml
- Pipeta volumétrica, marca Kimax USA, 10 y 20 ml.
- Balones de extracción
- Erlenmeyer, marca Kimex USA, 50, 100 y 250 ml
- Matraz , marca Pirover, 500 ml
- Porta tubos

3.2.4. Reactivos

- Acido sulfúrico, 95-97 % de pureza
- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Acido clorhídrico 0.05 N
- Indicador de fenofltaleina (al 1% en etanol)
- Agua destilada
- Caldo lactosado verde brillante bilis (C.L.V.B.B.)
- Solución salina peptona (SSP)
- Cultivo estéril Plate Count Agar

3.2.5. Otros

- 25 ratas albinas de raza Holtzman
- 20 jaulas de digestibilidad 12x12x15 cm (galvanizado)
- 5 jaulas metabólicas 12x12x20 cm (INOX)
- 2 cuchillos, marca Tramontina
- 1 cuchara, marca Facusa
- 3 recipiente de plástico, marca Sumac (8, 10 y 15 lt)
- 27 bolsas de polietileno
- 1 mortero de porcelana
- 25 bebederos, PET
- 2 pares de guantes clínicos de látex
- 1 cámara fotográfica, marca Canon Sw-18

3.3. MÉTODOS Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.3.1. Métodos de análisis

3.3.1.1. Análisis químico proximal

El análisis proximal del alga Cushuro se determinó, con el propósito de asegurar su composición nutricional y comparar los resultados con los obtenidos en otros trabajos de investigación Aldave, (1978) y Gonzales, (2006); que también realizaron estos análisis.

3.3.1.1.1. Determinación de humedad

Se realizó por método de desecación a estufa a 65°C con una muestra de 5g hasta lograr peso constante durante 72 horas, la determinación de humedad se hizo por

diferencia de peso entre el peso inicial y el peso final, obteniéndose en forma directa el peso final (AOAC, 1990).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso final}}{\text{Peso de muestra}} \times 100$$

Donde:

Peso total = peso del vaso + peso de la muestra húmeda.

Peso final = peso del vaso + peso de la muestra seca.

3.3.1.1.2. Determinación de proteína

Se determinó por el método semimicro Kjeldahl, usando el factor 6.25 (para carnes, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general) para llevar el nitrógeno a proteína total. El procedimiento comprende tres fases: digestión, destilación y titulación.

Se pesó 0.1 gramos de muestra, se envolvió en papel filtro, se introdujo en el balón Kjeldahl, se agregó 25 mililitros de H_2SO_4 concentrado y se colocó en la cocina para la digestión completa.

A la muestra se agregó NaOH inmediatamente, se conectó el vapor para que se produzca la destilación. Se conectó el refrigerante y se recibió el destilado en un vaso erlenmeyer con contenido de ácido bórico mas indicador de pH; la destilación terminó cuando hay un viraje de color. Luego se procedió a la titulación y se anotó el gasto de ácido clorhídrico.

Los cálculos se hicieron con la siguiente fórmula (AOAC, 1990).

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{\text{ml de HCL} \times \text{Normalidad} \times \text{meq N}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

Donde:

$$\% \text{ Proteína} = 6.25 \times \% \text{ Nitrógeno}$$

3.3.1.1.3. Determinación de ceniza

Se determinó calcinando la muestra en mufla a una temperatura de 650 °C, para quemar todo el material orgánico. Se pesó 2 g de la muestra en un crisol previamente tarado y deshumedecido. Se calcinó en la mufla durante 4 horas hasta obtener un peso constante. En los primeros 30 minutos de calcinación se sacó el crisol y se dejó enfriar, con el disgregador se rompió las partículas incineradas en forma uniforme y se introdujo nuevamente el crisol, transcurrido el tiempo de 3h de secado el crisol se dejó enfriar a temperatura ambiente, se colocó en un desecador y luego se pesó.

El porcentaje de ceniza se determinó de la siguiente manera (AOAC, 1990).

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{(\text{Peso de crisol} + \text{ceniza}) - \text{Peso de crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.3.1.1.4. Determinación de grasa

Se procedió mediante el método Söxhlet, para lo cual se pesó 2 g de la muestra, se empaquetó en papel filtro Whalman N° 2, se colocó el paquete en el cuerpo

del aparato Söxhlet, previamente tarado libre de humedad y luego se agregó el Hexano. Seguidamente se conectó a una fuente de calor, al calentarse se evaporó y ascendió a la parte superior del cuerpo del Söxhlet, allí se condensó por refrigeración y el Hexano cayó nuevamente sobre la muestra, regresando al balón por sifón. Se evaporó el Hexano remanente en el balón en una estufa a 60 °C y se enfrió en una campana. Los cálculos se realizaron con la siguiente formula (AOAC, 1990).

$$\% \text{Grasa} = \frac{(\text{Peso de balón} + \text{grasa}) - \text{Peso de balón}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.3.1.1.5. Determinación de fibra bruta

Se procedió de la siguiente manera:

a) Digestión ácida

Se pesó 3 g de muestra (exenta de grasa) en un vaso de 600 ml, se hirvió durante 30 minutos con 200 ml de H₂SO₄ al 1,25%. Luego de 30 minutos de hervido se filtró, y se lavó con agua destilada caliente hasta neutralizar la acidez.

b) Digestión alcalina

Se añadió 200 ml de NaOH al 1.25% y se hirvió por 30 minutos. Se filtró al vacío en una cápsula de cerámica porosa, lavando con agua destilada caliente, luego de poner a la estufa por 2 horas se pesó (P1). Luego se puso a la mufla para eliminar la materia orgánica y obtener las cenizas y se pesó nuevamente (P2). Los cálculos se hicieron siguiendo la recomendación (AOAC, 1992):

$$\text{Fibra neta} = P1 - P2$$

$$\% \text{Fibra cruda} = \frac{P1 - P2}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.3.1.1.6. Carbohidratos totales

Se calculó por diferencia restando de 100, los porcentajes de humedad, proteína, grasa, fibra y ceniza, como se muestra en la fórmula. (AOAC, 1990).

$$\% \text{Carbohidratos} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{Fibra} + \% \text{Grasa} + \text{Proteína})$$

3.3.1.2. Análisis microbiológico

Se procedió a realizar el análisis microbiológico del alga cushuro (fresco), con el propósito de descartar los microorganismos patógenos y asegurar de que sea un alimento para consumo humano.

3.3.1.2.1. Preparación de las muestras

La muestra se pasó a refrigerar dentro de su empaque original, a una temperatura de 4 °C por 24 horas. Se pesó asepticamente 10g de alga Cushuro, previamente triturada en un mortero estéril, y se adicionó a un frasco que contenía 90ml de solución salina peptona (SSP) teniendo una dilución 10^{-1} y a partir de ésta se obtuvieron las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} .

3.3.1.2.2. Numeración de bacterias aerobias mesófilas viables.

Se colocó 1ml de cada dilución, por duplicado, en placas petri estériles y se adicionó 15ml del medio de cultivo estéril Plate Count Agar, se dejó solidificar y luego se agregó una cepa estéril (5-7ml) del mismo medio. Se pasó a incubar a 37°C por 24 – 48 h. Finalmente se procedió a contar el número de colonias que se desarrollaron en la placa petri.

3.3.1.2.3. Confirmación de *Escherichia Coli* (Número más probable)

Moler 10 gramos de la muestra en un picador 2 veces o con cubiertos estériles, mezclar y adicionar el Cushuro a 90 ml de agua peptonada al 0.1 %, licuar y dejar en reposo de 2-3 minutos, después realizar diluciones hasta 10^{-3} g/ml con agua peptonada al 0.1 %.

a. Prueba presuntiva.

Añadir 1.0 ml de la dilución 10^{-1} g/ml a cada uno de 3 tubos con 10.0 ml de caldo lauril sulfato de sodio, luego añadir 1.0 ml de las diluciones 10^{-2} g/ml y 10^{-3} g/ml a dos series de 3 tubos cada una con caldo lauril sulfato de sodio. Incubar a 35-37°C durante 24-48 h, los tubos después de la incubación, se registraron como positivos los que presentaron crecimiento y producción de gas.

b. Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales

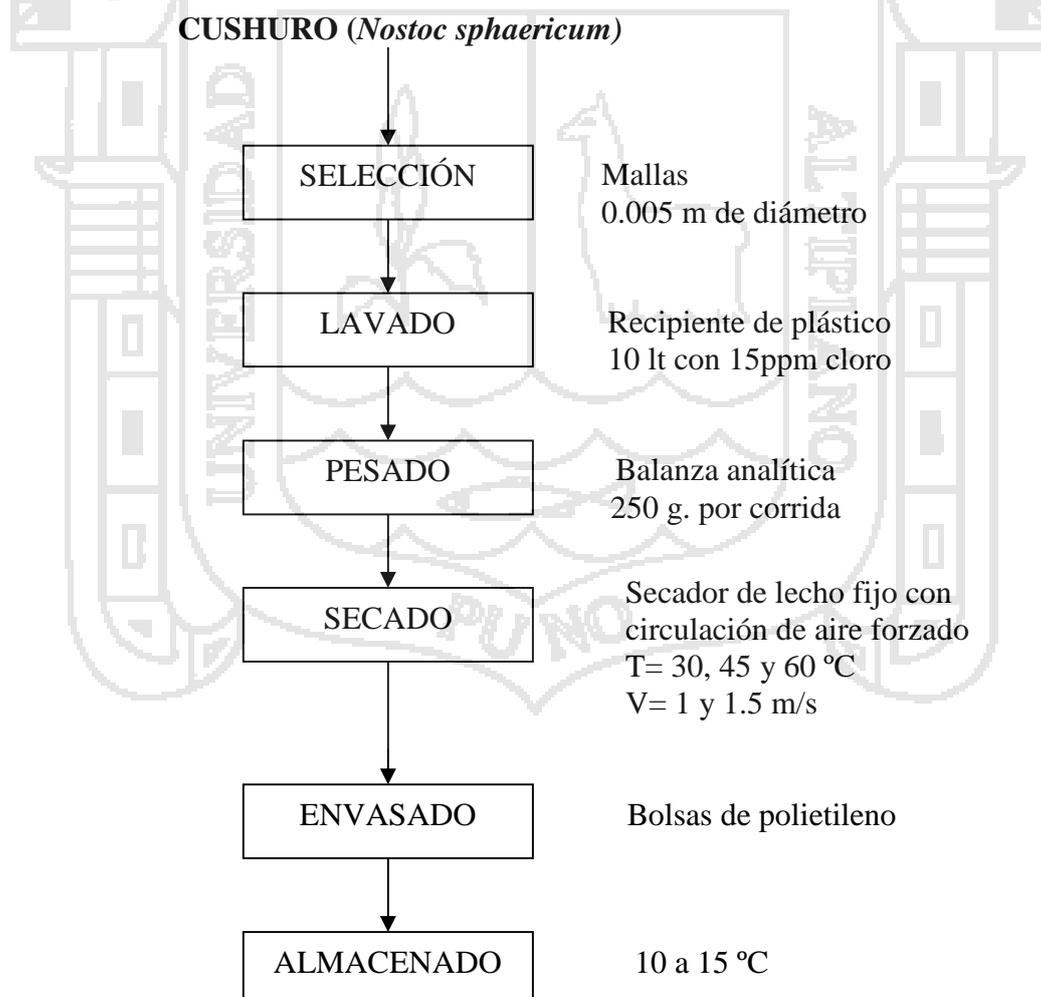
Se ha transferido de 2 a 3 asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva a otro tubo de 16 x 150 mm que contiene caldo de bilis verde brillante (brila), con campana de Durham, se agitó los tubos para su homogeneización y luego se procedió a incubar a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 a 48 h, se registraron como positivos aquellos tubos en donde se observe crecimiento y producción de gas, después de un período de

incubación de 24 a 48 h y a partir de éstos, se hacen los cálculos respectivos para obtener la numeración total..

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL SECADO

Las operaciones seguidas para el secado del cushuro (*Nostoc sphaericum*) se realizó en el secador automatizado de lecho fijo con circulación de aire forzado. Para el presente trabajo de investigación se tomó en consideración el diagrama de flujo presentado en la Figura 6.

Fig. 6: Diagrama de flujo para el secado del cushuro



3.4.1. Materia prima

Se utilizó 4.5 Kg de alga cushuro de la variedad *Nostoc sphaericum* que se recolectó de la zona de Malcomayo Km. 2 del desvío de la carretera Puno-Laraqueri, el cual se consultó a las personas del lugar para confirmar y asegurar que la materia prima sea para el consumo humano.

3.4.2. Selección

Se escogió el alga por su tamaño (0.005 m) de diámetro, uniformidad y en buen estado en mallas de 0.005 m de diámetro de coco.

3.4.3. Lavado

El lavado se realizó manualmente, para eliminar impurezas (tierra, pajas y otros) empleando recipiente de plástico de 10 lt de capacidad, con agua potable con 15 ppm de cloro.

3.4.4. Pesado

Se pesó 250 g de muestra para cada corrida utilizando una balanza analítica de capacidad de 1 Kg.

3.4.5. Secado

El secado artificial se realizó en el secador de lecho fijo con circulación de aire forzado a temperaturas de 30 °C, 45 °C y 60 °C y velocidades de aire de 1 m/s y 1.5 m/s hasta una humedad de 0.001 kg agua/kg solido seco. El secador automatizado registró los pesos de las muestras en tiempos de 1 min hasta que el alga llegó a una humedad de 10%, indicados como factor en estudio que a continuación se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Registro de datos durante el proceso de secado del alga (Temperatura y Velocidad de aire) entre el tiempo (min) y su respectivo peso (g)

| Tiempo (min) | Muestra total (g) |
|--------------|-------------------|
| 0 | P1 |
| 1 | P2 |
| 2 | P3 |
| 3 | P4 |
| 4 | P5 |
| 5 | P6 |
| 6 | P7 |
| 7 | P8 |
| Tn | Pn |

Donde:

Tn = Tiempo (min) hasta llegar a una humedad de 10%

Pn = masa siguiente (g)

3.4.6. Envasado

El producto seco con 10% de humedad se envasó en 27 bolsas de polietileno de alta densidad (50 g de capacidad) para cada tratamiento con sus respectivas repeticiones.

3.4.7. Almacenamiento

Las algas deshidratadas se almacenaron por un periodo de dos meses a temperatura ambiente (13 °C a 18 °C) del laboratorio.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DEL AGUA

Se calculó el valor promedio del coeficiente de difusión efectiva del agua a través del sólido en el periodo de velocidad decreciente de secado, de la siguiente forma.

Se recopilaron los datos cinéticos experimentales (contenido de humedad y tiempo), de cada una de las diferentes condiciones de operación, aplicando La ecuación de la Ley de Fick modificada para esfera (Ecuación 9), se determinó las fracciones X de humedad y con estos valores se trazó una gráfica respecto al tiempo. Los coeficientes difusivos, se determinaron a partir del logaritmo natural (ln) de valores de la siguiente ecuación:

$$\ln \left(\frac{X_w - X_s}{X_0 - X_s} \right) = \ln \left(\frac{6}{f^2 \times n^2} \right) - \left(\frac{n^2 D_{ef} t}{r^2} \right)$$

$y = a + bx$

A partir del valor de la pendiente (b), se realizó la evaluación de los coeficientes de difusión (D_{ef}), aplicando la siguiente ecuación:

$$y = \ln \left(\frac{X_w - X_s}{X_0 - X_s} \right)$$

$$a = \ln \left(\frac{6}{f^2 \times n^2} \right)$$

$$b = \left(\frac{n^2 D_{ef}}{r^2} \right) \quad D_{ef} = \frac{r^2 b}{n^2}$$

Donde:

D_{ef} = Coeficiente efectiva del agua (m^2/s)

r = Radio de la esfera (m)

n = Vector unitario

b = Pendiente

3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA MODELACIÓN

MATEMÁTICA

En concreto, se empleó el modelo de Page (Ecuación 13), modelo difusional de tipo exponencial con dos parámetros k y n . dado que los tratamientos de secado aplicados en este trabajo la humedad de equilibrio (X_{we}), se consideró despreciable su valor, X_w corresponde a la humedad del producto para cada tiempo de secado y X_0 a la humedad inicial del producto, por lo que la Ecuación 13 linealizada del modelo de Page queda simplificada a la expresión:

$$\ln\left(-\ln\left(\frac{X_w}{X_0}\right)\right) = \ln(k_1) + n \ln(t)$$

A partir del valor de la intersección (a) y la pendiente (b), se realizó la evaluación de los parámetros k y n , aplicando la siguiente ecuación:

$$\ln(k_1) = a$$

$$n = b$$

Donde:

X_w = Humedad al tiempo t (kg agua/kg m.s.).

X_0 = Humedad inicial (kg agua/kg m.s.).

k, n = Parámetros del modelo de Page.

3.7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA

3.7.1. Evaluación biológica

Para la evaluación biológica se usó una dieta basal (Cuadro 6) de la siguiente composición porcentual en base seca.

Cuadro 6: Composición de la dieta basal

| Componentes | Porcentaje (%) |
|-------------------|----------------|
| Harina de cushuro | 10 |
| Almidón de papa | 68 |
| Aceite vegetal | 10 |
| Fibra | 5 |
| Sales minerales | 4 |
| Vitaminas | 1 |
| Glucosa | 2 |
| Total | 100 % |

Fuente: Pellet y Young, (1980).

En el Cuadro 7 se encuentra los pesos en 100 gramos para cada nutriente de la dieta a utilizar.

Cuadro 7: Composición de la dieta en 100g de alimento

| Componentes | Peso (g) |
|-------------------|----------|
| Harina de cushuro | 32.85 |
| Almidón de papa | 51.81 |
| Aceite vegetal | 7.82 |
| Coronta de Maiz | 4.72 |
| Sales minerales | 1.00 |
| Vitaminas | 1.00 |
| Glucosa | 0.80 |
| Total | 100 g |

3.7.1.1. Relación de eficiencia proteica (PER)

El valor de la relación de eficiencia proteica, se expresa en el aumento de peso de un animal en crecimiento por gramo de proteína ingerida, en un periodo de 28 días y bajo condiciones controladas, utilizando ratas destetadas de 35 días de edad en jaulas de digestibilidad (Muñoz, 1990).

Se procedió de la siguiente manera:

- Se tomó el peso inicial y peso diario de cada animal de experimentación, registrándolas en la ficha de control.
- Al inicio de la experimentación se les racionó 15 gramos del alimento en estudio, conforme transcurrían los días se les incrementó a 20 gramos su dieta. Los residuos y el consumo diario del alimento, fueron registrados en la ficha correspondiente.

- Se les administró agua *ad libitum*, en unos bebederos preparados de PET.
- Con respecto a la limpieza, esta se realizó diariamente.

El PER se calculó por la siguiente fórmula:

$$PER = \frac{\text{Ganancia de peso}}{\text{Proteína consumida}}$$

El PER obtenido se comparó con el PER de la caseína (Osborne et al. 1919); citados por Ordóñez y FAO, (1985) que es de 2,5.

3.7.1.2. Razón Proteica Neta

Para la determinación de la Razón Proteica Neta (NPR), se utilizaron ratas albinas de raza Holtzman, además del grupo experimental se mantuvo, un grupo control de ratas apareadas en peso con respecto al peso del grupo experimental en una dieta consistente de la ración basal sin modificar. A los diez días se calculó el NPR para la dieta como sigue:

$$NPR = \frac{\text{Ganancia de peso del animal bajo prueba} + \text{Pérdida de peso del animal control}}{\text{Proteína consumida por el animal bajo prueba}}$$

3.7.1.3. Utilización de la Proteína Neta (NPU)

Para hallar el NPU se utilizaron dos grupo de cinco ratas albinas de raza Holtzman, de modo que los pesos promedios de cada grupo no difirieron en más de 0.5

g. El periodo preliminar duró cuatros días. Y el periodo de balance cinco días. (Pellet y Young, 1980).

Se cálculo mediante la fórmula:

$$NPU = \frac{\text{Nitrógeno retenido}}{\text{Nitrógeno ingerido}} = \frac{I - (F - F_K) - (U - U_K)}{I}$$

Donde:

I= Nitrógeno ingerido (g)

F= Nitrógeno fecal (g)

F_K= Nitrógeno metabólico fecal endógeno (g)

U= Nitrógeno urinario (g)

U_K= Nitrógeno urinario endógeno (g)

3.7.1.4. Digestibilidad Verdadera y Valor Biológico

Se utilizó un grupo de cuatro ratas albinas de raza Holtzman, por un periodo de diez días, siguiendo la metodología de la AOAC (1990).

Se cálculo mediante fórmula:

$$D_v = \frac{\text{Nitrógeno absorbido}}{\text{Nitrógeno ingerido}} \times 100 \quad \text{ó} \quad D_v = \frac{NI - (NF - NF_K)}{NI} \times 100$$

Y

$$VB = \frac{\text{Nitrógeno retenido}}{\text{Nitrógeno absorbido}} \times 100 \quad \text{ó} \quad VB = \frac{NI - (NF - NF_K) - (NU - NU_K)}{NI - (NF - NF_K)}$$

Donde:

DV : Digestibilidad verdadera

VB : Valor biológico

NI : Nitrógeno ingerido

NF : Nitrógeno fecal

NF_K : Nitrógeno fecal metabólico

NU : Nitrógeno urinario

NU_K : Nitrógeno urinario endógeno

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.8.1. Variables en estudio

- Temperaturas (30, 45 y 60° C)
- Velocidades de aire de secado (1, 1.5 m/s).

3.8.2. Factores de respuesta

- Tiempo de secado (h)
- Difusividad efectiva del agua (m²/s)

3.8.3. Diseño del experimento para el tiempo de secado y difusividad efectiva

El tratamiento de datos fue el que se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Resultados de parámetros de control.

| Datos | Temperatura (°C) | Velocidad de aire de secado (m/s) | Tiempo de secado (h) | Difusividad efectiva del agua (m ² /s) |
|-------|------------------|-----------------------------------|----------------------|---|
| 1 | 60 | 1 | | |
| 2 | 45 | 1 | | |
| 3 | 45 | 1 | | |
| 4 | 60 | 1,5 | | |
| 5 | 60 | 1,5 | | |
| 6 | 30 | 1 | | |
| 7 | 30 | 1,5 | | |
| 8 | 30 | 1,5 | | |
| 9 | 45 | 1,5 | | |
| 10 | 45 | 1,5 | | |
| 11 | 30 | 1,5 | | |
| 12 | 60 | 1 | | |
| 13 | 60 | 1 | | |
| 14 | 45 | 1 | | |
| 15 | 30 | 1 | | |
| 16 | 60 | 1,5 | | |
| 17 | 30 | 1 | | |
| 18 | 45 | 1,5 | | |

3.9. TRATAMIENTO DE DATOS

3.9.1. Análisis estadístico

El modelo estadístico aplicado para el tiempo de secado y coeficiente de difusividad efectiva del agua fue el diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, analizando estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANVA) con un software estadístico.

3.9.2. Modelo matemático

Para la construcción y descripción matemática se empleó el modelo de Page (Ecuación 14), modelo difusional de tipo exponencial con dos parámetros, k y n .

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL CUSHURO (*Nostoc sphaericum*)

4.1.1. Composición Físico – Químico del Cushuro

Los resultados de la composición Físico- Química del Cushuro (*Nostoc sphaericum*) se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Análisis Físico Químico del Cushuro (*Nostoc Sphaericum*)

| Componentes | Base seca (%) | Base húmeda (%) |
|---------------|---------------|-----------------|
| Humedad | | 98,61 |
| Materia seca | 1,39 | |
| Cenizas | 6,81 | 0.090 |
| Proteína | 30,54 | 0.42 |
| Grasa | 6,65 | 0.092 |
| Fibra | 0,85 | 0.011 |
| Carbohidratos | 55,15 | 0.078 |

Fuente: Laboratorio de Evaluación Nutricional, (2009)

Los componentes más abundantes del alga Cushuro son el agua, carbohidratos y proteínas, tal como se observa en el Cuadro 9, la humedad es el mayor componente del alga fresca 98.61% el cual se aproximó a lo reportado por Gonzáles (2006) que es de 95.0%. El contenido de carbohidratos es el segundo componente de mayor porcentaje con una valor de 55.15% el cual es superior a lo reportado por Gonzáles (2006) con un valor de 50.0% y Aldave (1989) con un valor de 45%. El tercer componente de mayor porcentaje que resalta es la proteína con un valor de 30.54% lo cual es menor a lo

obtenido por Gonzáles (2006) que es 35.0% y Aldave (1989) con un valor de 35.0% de proteína. Los valores de cenizas 6.81%, grasa 6.65% y fibra 0.85%, se aproximó a lo reportado por Gonzáles (2006) que están entre los valores mencionados. Las diferencias encontradas entre los resultados reportados en la literatura consultada pueden deberse a que las muestras analizadas proceden de zonas diferentes, siendo también diferente los factores climáticos y manejo de las mismas.

4.1.2. Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico del Cushuro (*Nostoc sphaericum*) en base fresca se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Análisis microbiológico del Cushuro (*Nostoc Sphaericum*)

| Microorganismos | Cantidad |
|--------------------|------------------|
| Aerobios mesófilos | 19×10^3 |
| Coniformes Totales | Ausente |

Fuente: Laboratorio de Microbiología, (2009)

En el Cuadro 10 el alga fresca presentó para el recuento de aerobios mesófilos viables de 19×10^3 ufc/g, para el recuento del NMP para coliformes es ausente, hallándose dentro de los valores recomendados por el Ministerio de Salud (2003) para los productos hidrobiológicos donde los límites para aerobios mesófilos a (30°C) de 10^4 - 10^5 ufc/ml, para coliformes totales de 10^1 - 10^2 ufc/ml.

4.2. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO Y CURVAS DE SECADO

4.2.1. Evaluación de las curvas de Secado

La humedad inicial de las muestras de Cushuro (*Nostoc sphaericum*) fué de 98.61% durante el secado se observó la contracción del volumen total de las esferas con el cambio de la estructura del tejido debido a la pérdida de humedad.

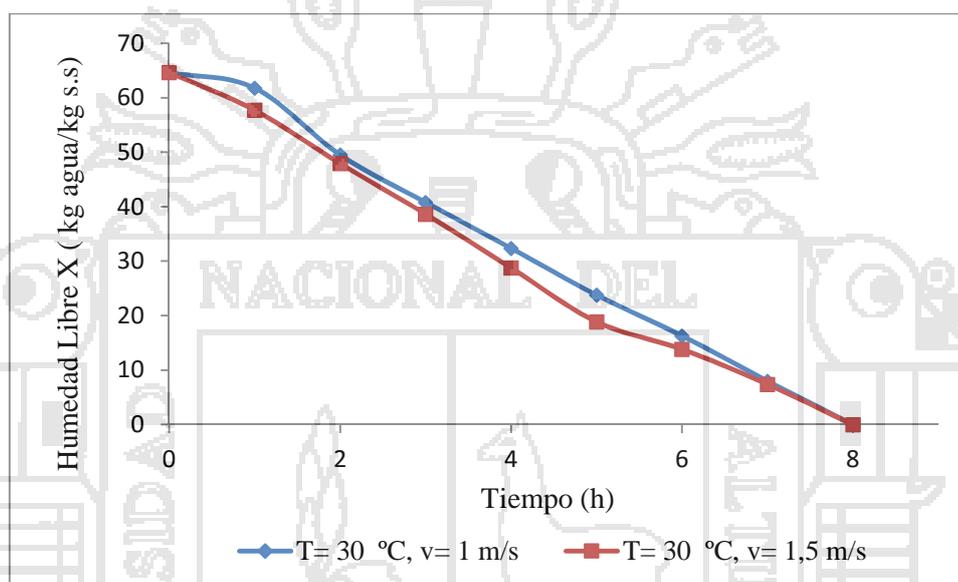


Gráfico 1: Contenido de humedad en función al tiempo de secado

En los Anexos 1 y 3 se presentan los resultados de pérdida de humedad a una temperatura de 30°C y velocidades de aire de 1m/s y 1.5m/s, la representación grafica se presenta en el Gráfico 1, en donde se observa que la tendencia de pérdida de humedad a una velocidad de aire de 1.5m/s es menor que a una velocidad de aire de secado de 1m/s, al cabo de 8 horas de secado la humedad llegó a 0.001 kg agua/kg s.s., lo cual coincide con Vega *et al* (2006) en el secado del alga *Gracilaria chilensis*. Este fenómeno se dio por el endurecimiento del producto de la superficie del alga puesto que en su mayor parte está compuesto por fibra y carbohidratos (Casp y Abril, 1999)

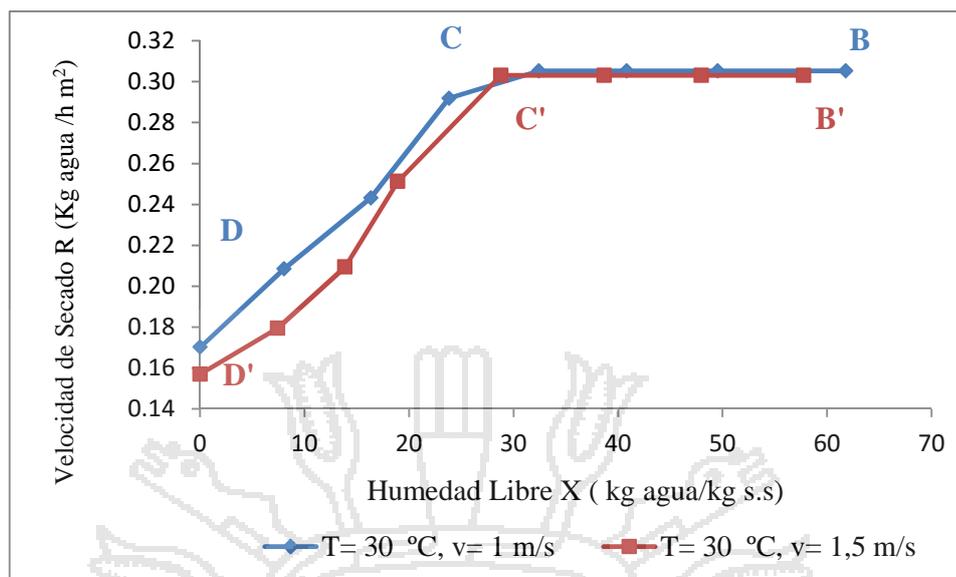


Gráfico 2: Curva de velocidad de secado

En el Gráfico 2, se presenta la representación gráfica de la curva de velocidad de secado del alga, en donde se observa para una velocidad de aire de secado de 1m/s se identificó el periodo de velocidad de secado constante (B-C) y una velocidad de secado decreciente (C-D), con una humedad crítica 32 kg agua/kg s.s., para la velocidad de aire de secado 1.5m/s también se identificó el periodo de velocidad de secado constante (B'-C') y una velocidad de secado decreciente (C'-D'), con humedad crítica de 28 kg agua/kg s.s.. Lo cual se aproximó a una curva típica de secado de alimentos, en la que se observa dos periodos de secado citado por Geankoplis (1998).

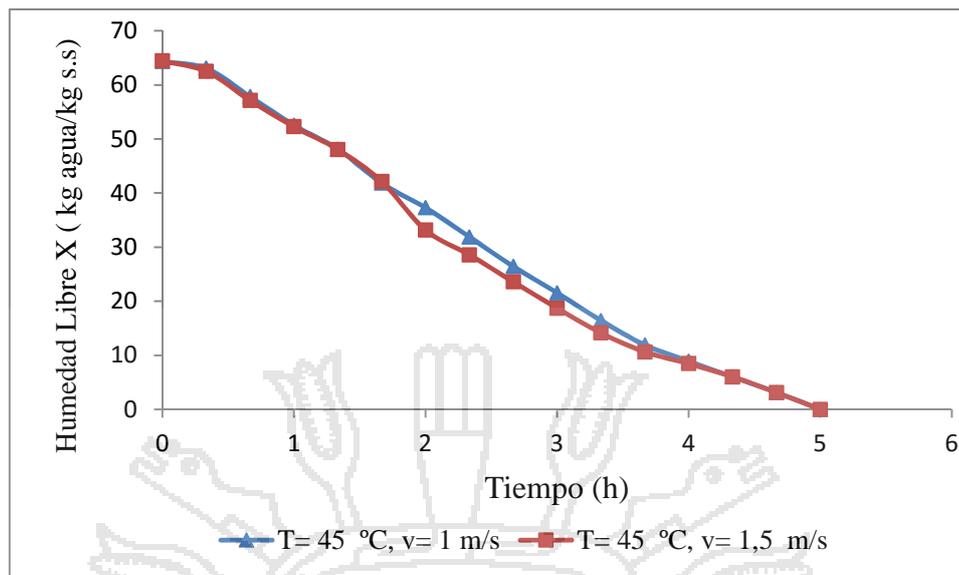


Gráfico 3: Contenido de humedad en función al tiempo de secado

En los Anexos 5 y 7 se presentan los resultados de pérdida de humedad a una temperatura de 45°C y velocidades de aire de 1m/s y 1.5m/s, la representación grafica se presenta en el Gráfico 3, en donde se observa que la tendencia de pérdida de humedad a una velocidad de aire de 1m/s es similar a la tendencia de velocidad de aire de secado de 1.5m/s, al cabo de 5 horas de secado la humedad llegó a 0.001 kg agua/kg s.s., lo cual significa que las velocidades de aire de secado no influyen significativamente, al respecto Pérez *et al* (2005) reportó que para una temperatura de 40°C y velocidades de aire de 0.5m/s , 0.8m/s y 1.1m/s las velocidad de aire tienen poca influencia en el secado de las hojas de ramio.

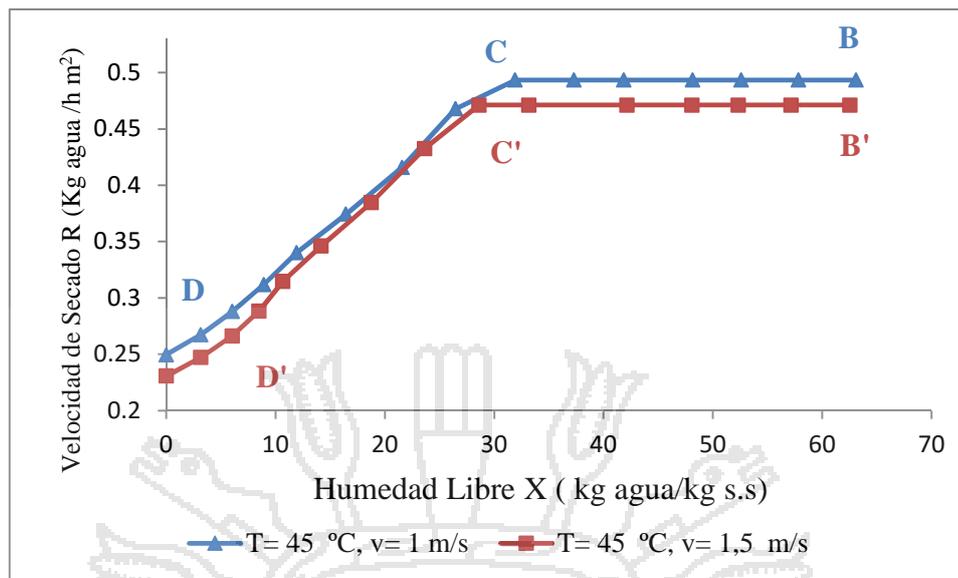


Gráfico 4: Curva de velocidad de secado

En el Gráfico 4, se presenta la representación grafica de la curva de velocidad de secado del alga, en donde se observa para una velocidad de aire de secado de 1m/s se identificó el periodo de velocidad de secado constante (B-C) y una velocidad de secado decreciente (C-D), con una humedad critica 31 kg agua/kg s.s., para la velocidad de aire de secado 1.5m/s también se identificó el periodo de velocidad de secado constante (B'-C') y una velocidad de secado decreciente (C'-D'), con humedad critica de 27 kg agua/kg s.s., pero existe una diferencia en la velocidad de secado de secado de 0.1 Kg agua/m²h. Lo cual se aproximó a una curva típica de secado de alimentos citado por Geankoplis (1998). De igual manera Vega y Roberto (2006) en la cinética de secado de papaya Chilena reportó dos periodos de velocidad de secado.

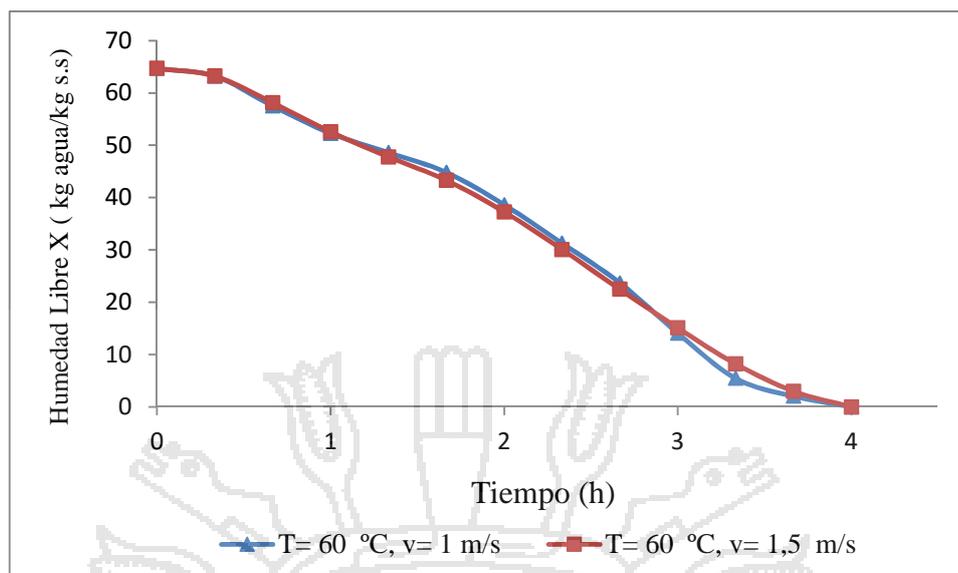


Gráfico 5: Contenido de humedad

En los Anexos 9 y 11 se presentan los resultados de pérdida de humedad a una temperatura de 60°C y velocidades de aire de 1m/s y 1.5m/s, la representación grafica se presenta en el Gráfico 5, en donde se observa que la tendencia de pérdida de humedad a una velocidad de aire de 1m/s es similar a la tendencia de velocidad de aire de secado de 1.5 m/s al cabo de 4 horas de secado la humedad llego a coincidir en 0.001 kg agua/kg s.s., de acuerdo al análisis estadístico la velocidad de aire de secado no influyen significativamente. Resultados similares obtuvieron Park *et al.*, (2002); Vega *et al.*, (2005); Sima *et al.*, (2005); Doymaz (2005); Mohapatra y Rao (2005), trabajando con otras especias; vegetales y cereales.

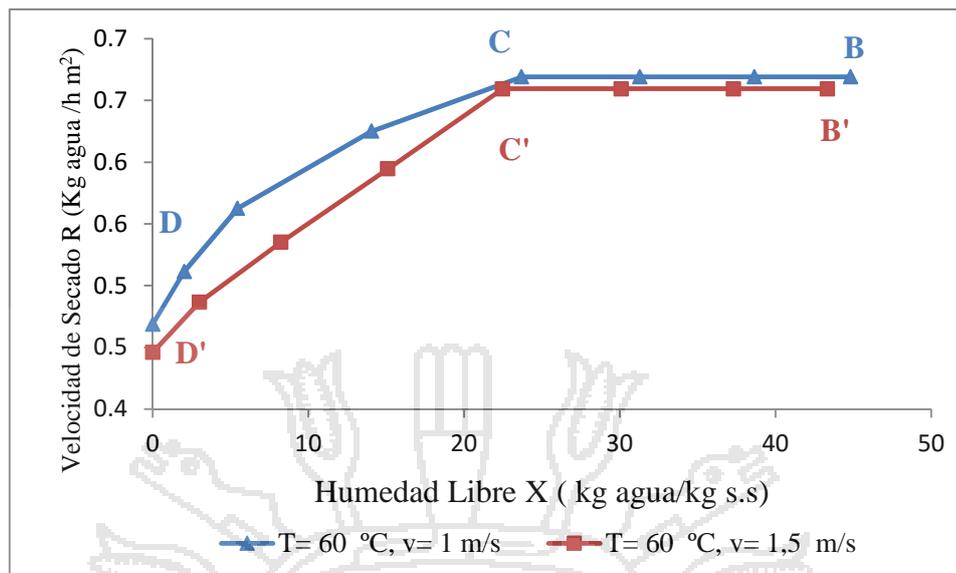


Gráfico 6: Curva de velocidad de secado

En el Gráfico 6, se presenta la representación grafica de la curva de velocidad de secado del alga, en donde se observa para una velocidad de aire de secado de 1m/s se identificó el periodo de velocidad de secado constante (B-C) y una velocidad de secado decreciente (C-D), con una humedad crítica de 23 kg agua/kg s.s., para la velocidad de aire de secado 1.5m/s también se identificó el periodo de velocidad de secado constante (B'-C') y una velocidad de secado decreciente (C'-D'), con humedad critica de 22 kg agua/kg s.s. Comportamientos similares reportaron en sus trabajos Trasmonte (2000); Schmalko *et al.* (1996); Kouhila *et al.*, (2000); Simal *et al.*, (2000); Heredia – Baca *et al.*, (2002), para secado de orégano, yerba mate, verbena, aloe vera y sacha culantro, respectivamente. Además en el periodo decreciente, se observó que la velocidad de secado disminuye ligeramente, este fenómeno fue a causa de la composición del alga, porque en la superficie en contacto con el aire de secado está en su mayor proporción compuesta por carbohidratos y hace que la difusión de las moléculas de agua sea lenta (González, 2006)

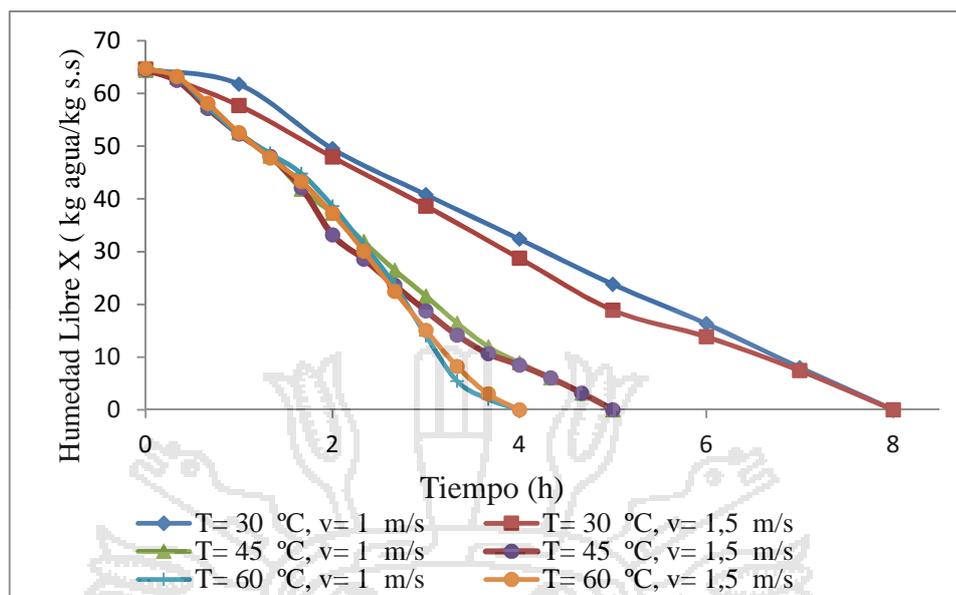


Gráfico 7: Curva de contenido de humedad para las tres temperaturas con velocidad (1 y 1.5m/s)

En el Gráfico 7, se presentan las curvas de pérdida de humedad con respecto al tiempo; el cual se observó que a velocidad de aire de 1m/s y a una temperatura de 30°C, el tiempo de secado es 8 horas, para una temperatura de 45°C, el tiempo de secado es 5 horas y para una temperatura de 60°C, el tiempo de secado es de 4 horas, a velocidad de aire de 1.5m/s se observó que sometido a una temperatura de 30°C, el tiempo de secado es 8 horas, y para una temperatura de 45°C, el tiempo de secado es 5 horas y para una temperatura de 60°C, el tiempo de secado es de 4 horas. En ellas se aprecia que la velocidad de aire, estadísticamente no influye en el secado del alga Cushuro, pero si influye significativamente la temperatura.

Al respecto Maldonado y Pacheco, (2003); en el secado de brócoli y coliflor con contenido humedad inicial de 92.11% y 92.2% a temperatura de 60°C, determinó un tiempo de secado aproximado de 4 horas. De igual manera Carranza y Sanches reportaron que a una temperatura de 60°C, se obtuvieron los menores tiempos de secado

para plátano y yuca, pero una exposición prolongada del producto a esta temperatura ocasiona que el producto final presente una pérdida de calidad en cuanto al color debido a la exposición a altas temperaturas.

El Cuadro 11, presenta el análisis de varianza que se obtuvieron, para el tiempo de secado.

Cuadro 11: Análisis de Varianza para Tiempo de Secado

| <i>Fuente</i> | <i>GL</i> | <i>SC</i> | <i>CM</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> | <i>Significancia</i> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------------|
| EFFECTOS PRINCIPALES | | | | | | |
| A:Temperatura | 2 | 49,6562 | 24,8281 | 384,49 | 0,0000 | ** |
| B:Velocidad de aire de secado | 1 | 0,0177347 | 0,0177347 | 0,27 | 0,6098 | |
| INTERACCIONES | | | | | | |
| AB | 2 | 0,0395151 | 0,0197576 | 0,31 | 0,7420 | |
| RESIDUOS | 12 | 0,774893 | 0,0645744 | | | |
| TOTAL (CORREGIDO) | 17 | 50,4884 | | | | |

En el Anexo 13 se presentan los datos para el tiempo de secado, los resultados de análisis de varianza se representa en el Cuadro 11. ANOVA descompone la variabilidad de Tiempo de Secado en contribuciones debidas a 2 factores. De esta tabla se observa que para el efecto A (temperatura), se obtuvo un valor-P = 0.0000 menor que $\alpha = 0,05$; por tanto la temperatura tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el Tiempo de secado con un 95,0% de nivel de confianza, mientras que la velocidad de aire de secado no influye estadísticamente en el tiempo de secado.

4.3. COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EFECTIVA DEL AGUA

En los Anexos 14 y 15, se presentan los resultados para el coeficiente de difusión efectiva del agua, calculada de la Ley de Fick, difusión para una geometría esférica, en el cuadro 12 se aprecia los resultados promedios del coeficiente de difusividad efectiva del agua, que a una temperatura de 30°C y velocidad de aire 1m/s y 1.5 m/s, los coeficientes de difusividad son de $6,59 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ y $6,18 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, y para una temperatura de 45°C y velocidad de aire 1m/s y 1.5 m/s, los coeficientes de difusividad son de $1,46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ y $1,40 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, y para una temperatura de 60°C y velocidades de aire de 1 m/s y 1.5 m/s, los coeficientes de difusividad son de $3,22 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ y $2,82 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivamente. Al respecto Chaves *et al.*, (2003) en el secado de berenjenas, obtuvieron los valores de $2,93 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 50°C, $4,932 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 70°C y $7,339 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 90°C. Por lo que se puede apreciar que a medida que aumenta la temperatura, existe una disminución de la difusividad efectiva del agua en el experimento en comparación con los valores reportados por los autores mencionados anteriormente. Este fenómeno de la disminución del coeficiente de la difusividad efectiva del agua fue a causa de un incremento de la temperatura, se da por la composición del alga, ya que a medida que va deshidratándose, la pared celular de la capa exterior se endurece y hace que haya una resistencia a la difusividad. Carranza y Sanches (2002).

Cuadro 12: Valores obtenidos de las difusividades efectiva del agua presente en el Cushuro a diferentes tratamientos de temperaturas y velocidad de aire de secado

| Temperatura (°C) | Vel. Aire (m/s) | D _{ef} (m ² /s) |
|---------------------|--------------------|--|
| 30 | 1 | 6,59E-06 |
| 30 | 1,5 | 6,18E-06 |
| 45 | 1 | 1,46E-05 |
| 45 | 1,5 | 1,40E-05 |
| 60 | 1 | 3,22E-05 |
| 60 | 1,5 | 2,84E-05 |

El Cuadro 13, presenta el análisis de varianza que se obtuvieron, para el coeficiente de difusión efectiva de la agua.

Cuadro 13: Análisis de Varianza para la Difusividad

| <i>Fuente</i> | <i>GL</i> | <i>SC</i> | <i>CM</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> | <i>Significancia</i> |
|-------------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------------|
| EFECTOS PRINCIPALES | | | | | | |
| A:Temperatura | 2 | 2,69758E-9 | 1,34879E-9 | 86,27 | 0,0000 | ** |
| B:Velocidad de aire de secado | 1 | 7,0235E-11 | 7,0235E-11 | 4,49 | 0,0556 | |
| INTERACCIONES | | | | | | |
| AB | 2 | 1,44271E-10 | 7,21353E-11 | 4,61 | 0,0326 | * |
| RESIDUOS | 12 | 1,87604E-10 | 1,56337E-11 | | | |
| TOTAL (CORREGIDO) | 17 | 3,09969E-9 | | | | |

En el Anexo 13 se presentan los datos para la difusividad efectiva del agua, los resultados de análisis de varianza se representa en el Cuadro 13. ANOVA descompone la variabilidad de Coeficiente de Difusión Efectiva en contribuciones debidas a 2 factores. De esta tabla se observa que para el efecto A (temperatura), se obtuvo un valor-P = 0.0348, para la interacción AB (temperatura y velocidad de aire de secado) un valor-P = 0,0326 menor que $\alpha = 0,05$; por tanto la temperatura y la interacción tiene un

efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad de secado con un 95,0% de nivel de confianza, mientras que la velocidad de aire de secado no influye estadísticamente en el Coeficiente de Difusión Efectiva.

4.4. PARÁMETROS Y AJUSTE DE LAS CURVAS DE SECADO CON EL MODELO DE PAGE

En los Anexos 16 y 17, se presentan los resultados que se obtuvieron para los parámetros y ajustes con el modelo de Page. En el cuadro 14 se observa los valores de los parámetros del modelo empírico para cada periodo de velocidades de secado (constante y decreciente), los resultados indican que la ecuación de ajuste lineal para el periodo de secado constante observado y que el modelo de Page aplicado al periodo de secado decreciente reproducen con adecuada precisión la evolución de la humedad del producto con el tiempo de proceso. Al respecto Contreras, (2006); mostró que el modelo de Page puede considerarse adecuado para predecir cinéticas – tiempos de secado en tratamientos por aire caliente de rodajas de manzana a 30°C y 50°C y 2m/s de velocidad de aire.

Cuadro 14: Parámetros y ajustes con el modelo de Page.

| Periodo de Velocidad | Temperatura (°C) | Vel. Aire (m/s) | k | n |
|----------------------|------------------|-----------------|--------|-------|
| Constante | 30 | 1 | 0,0521 | 1,97 |
| Decreciente | 30 | 1 | 0,0455 | 1,936 |
| Constante | 30 | 1,5 | 0,1126 | 1,408 |
| Decreciente | 30 | 1,5 | 0,0768 | 1,703 |
| Constante | 45 | 1 | 0,1731 | 1,777 |
| Decreciente | 45 | 1 | 0,1173 | 2,061 |
| Constante | 45 | 1,5 | 0,1973 | 1,606 |
| Decreciente | 45 | 1,5 | 0,1775 | 1,788 |
| Constante | 60 | 1 | 0,1203 | 2,141 |
| Decreciente | 60 | 1 | 0,0205 | 3,954 |
| Constante | 60 | 1,5 | 0,1368 | 2,058 |
| Decreciente | 60 | 1,5 | 0,0390 | 3,33 |

4.5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA

4.5.1. Índice de Eficiencia Proteica

En el Anexo 19, se presenta los datos de las 10 ratas y los valores hallados para la relación de Eficiencia Proteica Neta (PER).

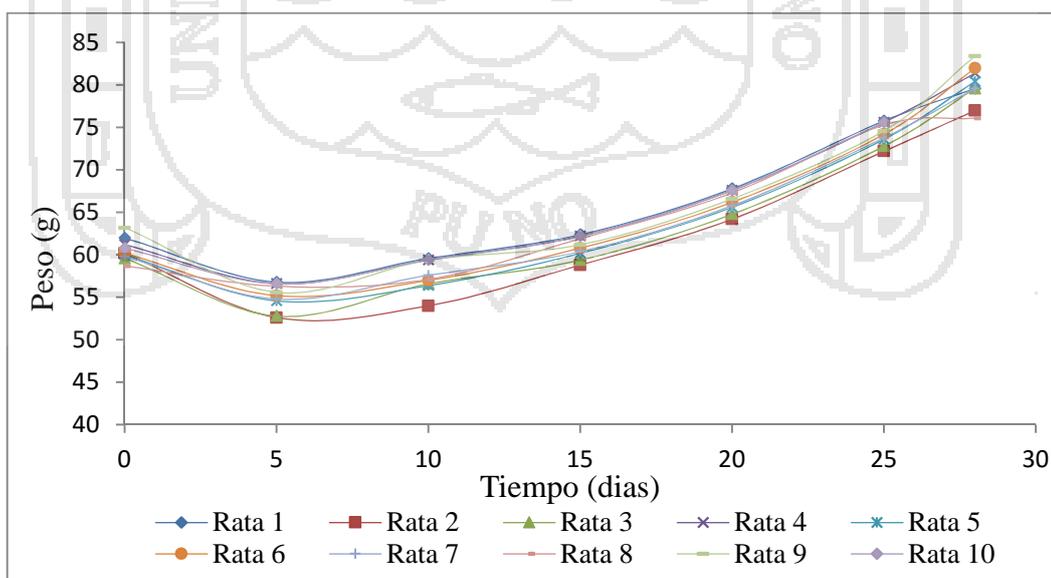


Gráfico 8: Evolución de Peso de las Ratas del Grupo Experimental

En el Gráfico 8, se presenta la representación gráfica de los resultados obtenidos en cuanto a la evolución de peso de las ratas del grupo experimental, donde se puede resaltar que el peso de las diez ratas fue disminuyendo paulatinamente y a término del ensayo fue incrementándose gradualmente. En el Cuadro 15, se indica que el valor del PER fue de 1.11 de la harina de cushuro menor al de la caseína patrón 2.18. Al respecto, Segovia E. (1997) reportó un PER de 3.34 (casina patrón 2.81) de la harina de lombriz. Al respecto, Muños, (1979), halló un PER de 2.66 para la combinación de harinas de papas secas 25% y quinua 75% en condiciones de laboratorio. De igual forma Velezvia, (2005); reportó un PER de 2.48 en su mezcla de carachi 15%, quinua 55% y tarhui 30% seleccionado como su mejor mezcla. Esta variabilidad entre resultados se debe a que el PER es un indicador poco reproducible Pellet y Young (1980), esto significó que el alimento suministrado fue de baja calidad proteica.

Cuadro 15: Resultados del PER y PER Corregido de la Harina de Cushuro

| Grupo | PER | PER corregido |
|------------------------|------|---------------|
| Harina de Cushuro | 1,11 | 1,28 |
| Caseína de referencia* | 2.18 | 2.50 |

4.5.2. Razón Proteica Neta

En el Anexo 20, se presentan los datos de grupo experimental de la Razón Proteica Neta (NPR), el peso final promedio del primer grupo fue de 58.4 mientras que para el grupo apteico fue de 33.9, la dispersión de los datos de la ganancia de peso en el grupo experimental ha ido disminuyendo ligeramente en relación al tiempo, mientras que en el grupo apteico una disminución homogénea.

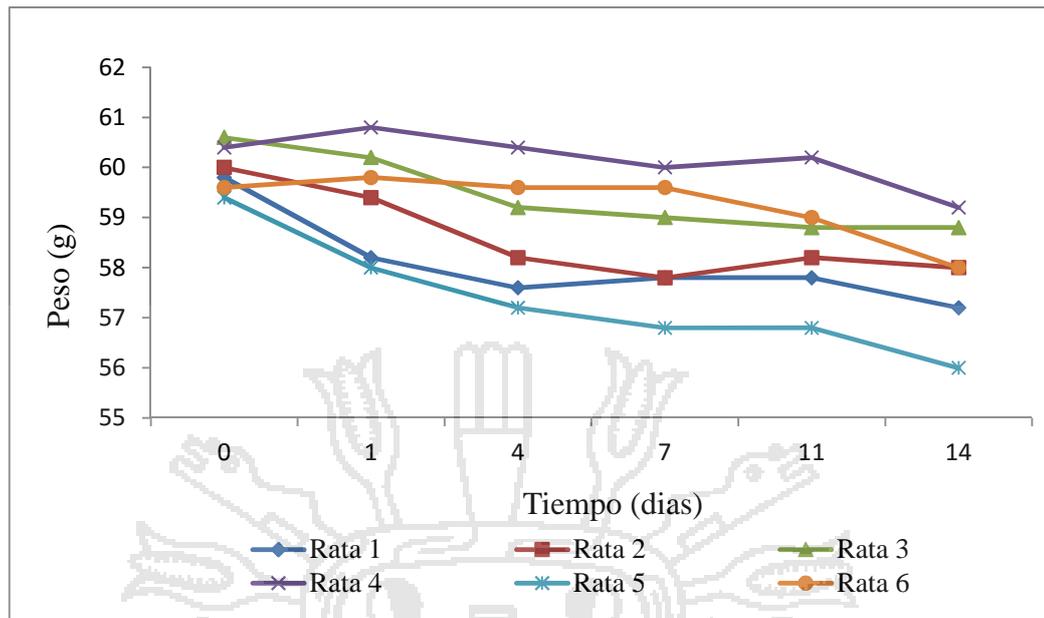


Gráfico 9: Evolución de Peso de las Ratas del Grupo Experimental

En el Gráfico 9, se presenta la representación grafica de los resultados obtenidos en cuanto a la evolución de peso de las ratas del grupo experimental, donde se puede resaltar que el peso de las seis ratas fue disminuyendo hasta el término del ensayo.

Mientras que en el grupo aprobeico se observó que los pesos (g) fueron disminuyendo homogéneamente hasta el último día de experimentación, como se muestra en el Gráfico 10.

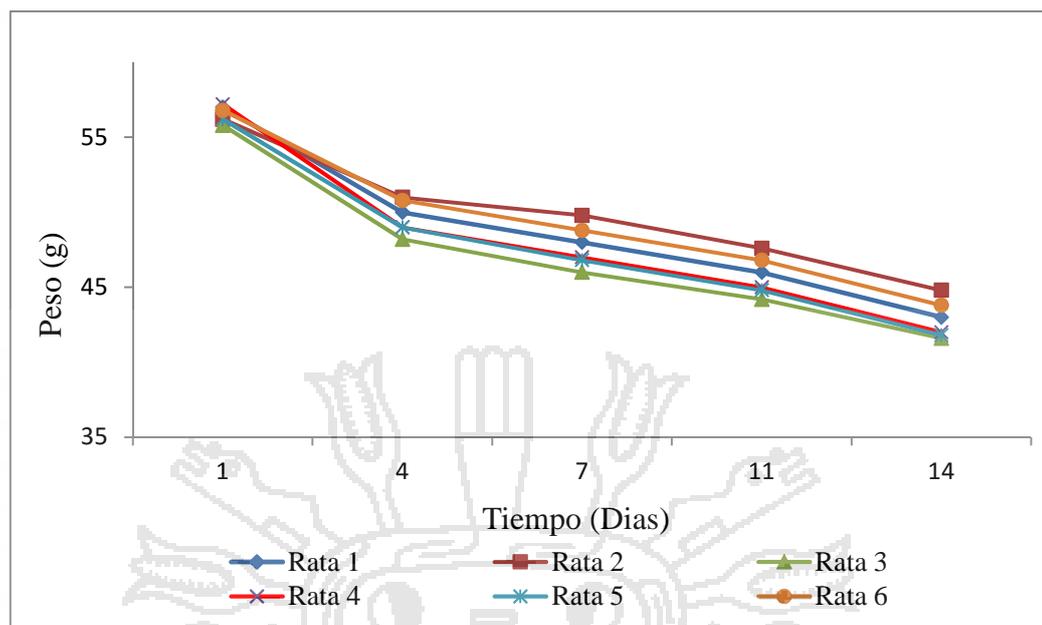


Gráfico 10: Evolución de Peso de las Ratas del Grupo Aproveiteco

En el Cuadro 16, se observó que la Razón Proteica Neta (NPR) es 2.19. Valores similares reportó Risso *et al* (2005) de 2.11 en el estudio de la calidad proteica del alga marina comestible (*Monostroma undulatum* Wittrock), al respecto, Curi (2006); señaló que durante las pruebas biológicas en ratas alimentadas con harina de lombriz obtuvo un NPR de 4.3,

Cuadro 16: Razón Proteínica Neta

| PARAMETROS | GRUPOS | | |
|----------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| | Dieta Experimental | Dieta Control | Dieta Aproveiteca |
| N° de Animales | 6 | 6 | 6 |
| Peso Inicial (g) | 59.97 | 60,01 | 59.27 |
| Ganancia de Peso (g) | -1,57 | 14.65 | -16.35 |
| M.S. Consumida (g) | 95,27 | 61.2 | 38.0 |
| Consumo Proteína (g) | 9,72 | 6.12 | 0,0309 |
| NPR | 2,19 | 4.75 | - |

4.5.3. Utilización Proteínica Neta:

El peso inicial promedio de los grupos de 5 ratas holtzman de animales alimentados con dieta experimental, control y Aproveiteico fue de 300.6g., cuya evolución se observa en el Gráfico 11. Donde se resalta que en el grupo control, la ganancia de peso fue mayor durante los 10 días de duración del ensayo biológico.

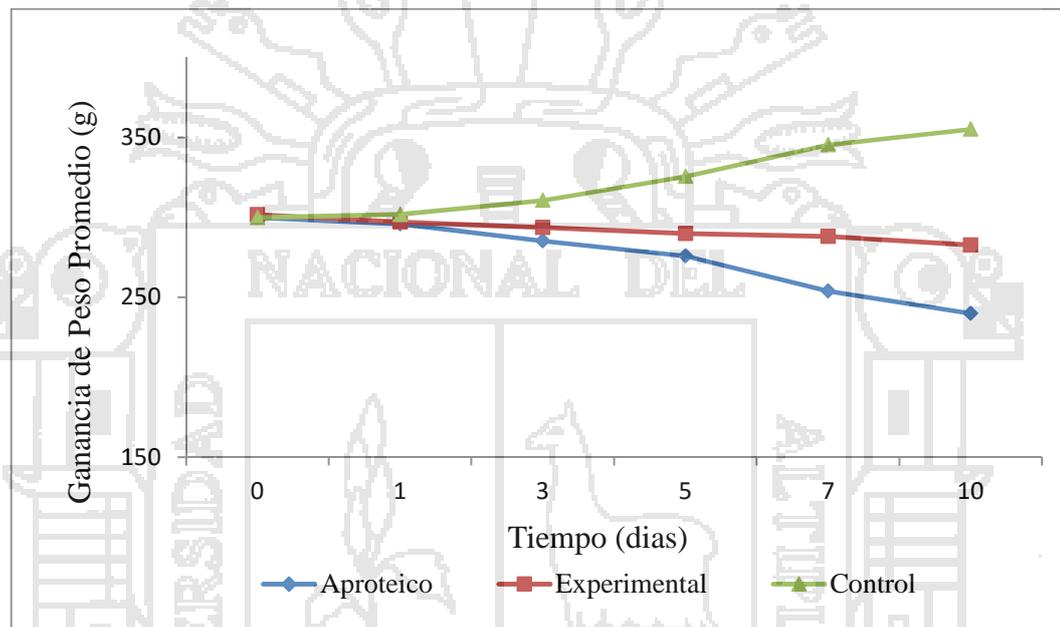


Gráfico 11: Evolución de Peso Promedio de las Ratas del Grupo Experimental, Control y Aproveiteico

El consumo de alimento, así como de nitrógeno fue mayor en el grupo control. Por otro lado, el grupo alimentado con dieta aprobeiteica tuvo un consumo de nitrógeno de 0.0024g. Proveniente de proteína vegetal de la maicena y la coronta de maíz molida, utilizada en la preparación de las dietas, cuyo contenido de nitrógeno fue inevitable.

Cuadro 17: Promedio de Consumo de alimento y Ganancia de Peso de las Ratas de los Grupos Experimental, Control y Aprovechada.

| GRUPOS PARAMETROS | Dieta Experimental | Dieta Aprovechada |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Alimento Consumido (g) | 66.32 | 46.38 |
| Nitrógeno Consumido (g) | 1.09 | 0.0024 |
| Ganancia de Peso (g) | -3.17 | -10.75 |

En Cuadro 18, presenta los parámetros medidos en cada grupo de ensayo el valor del NPU, es menor que los publicados por la harina de lombriz que fue de 66,54%. Meller y Bender (1989); citado por Church y Pond (1990) reportaron valores de NPU para la caseína de 60, harina de carne de 35.5 a 48.3 y harina de plumas de 21.1 a 35.6, al respecto Silvia *et al* (2003) reportó valores para fuentes proteicas usadas en alimentos comerciales para perros de 58.19 para torta de soya, harina de carne 35.52, harina de pollo 60.19 y caseína 96.46

Cuadro 18: Parámetros medidos en cada grupo de animales del ensayo del NPU.

| GRUPOS PARAMETROS | Dieta Experimental | Dieta Aprovechada |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Nitrógeno Consumido (g) | 2,02 | 0,0024 |
| Nitrógeno en Orina % | 0,69 | 0,52 |
| Nitrógeno en la Heces % | 3,33 | 2,55 |
| NPU | 0,53 | |

4.5.4. Digestibilidad Verdadera y Valor Biológico Verdadero (DV y VB)

El peso inicial promedio del grupo experimental fue de 58.4 g. y en el grupo alimentado con dieta aprovechada, de 58.55 g, así mismo la ganancia de peso registra valores negativos, tanto en el grupo experimental como en el grupo aprovechada.

En el Cuadro 19 se muestra los valores obtenidos de la digestibilidad verdadera y valor biológico de Cushuro (*Nostoc Sphaericum*). Al respecto, curi (2006); indica que los valores biológicos y digestibilidad verdadera obtenidos fueron de 85,45 y 0,767 respectivamente. Al respecto, la FAO (1982); citado por Gross(1982) hallaron en ratas un valor biológico de 86.6% para lupino con 0.2% de metionina; y un valor biológico de 51.9% para lupino puramente. Al respecto, Velezvia, (2005); reportó un valor biológico de 70.49% en la mezcla de carachi 15%, quinua 55% y tarhui 30%. Al respecto, la FAO (1970); citado por Muños (1990) hallaron una digestibilidad de 90.9% para el trigo integral y de 97% párale huevo cocido. Igualmente, Velezvia, (2005); reporto una digestibilidad aparente de 81.33% para la mezcla de carachi 15%, quinua 55% y tarhui 30%.

Cuadro 19: Digestibilidad Verdadera y Valor Biológico Verdadero (DV y VB)

| PARAMETROS \ GRUPOS | Dieta Experimental | Dieta Aporteica |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| N° de Animales | 4 | 4 |
| Peso Inicial (g) | 58.4 ± 0.15 | 58.55 ± 0.24 |
| Ganancia de Peso (g/día) | -1.55 | -18.85 |
| M.S. Consumida (g/día) | 94.2 | 40.6 |
| Consumo Proteína (g) | 9,52 ± 0.14 | 0,0309 ± 0,001 |
| Total de Heces Excretadas (g) | 9.4 | 3.55 |
| Total de N Excretadas (g) | 0.27 | 0.078 |
| Digestibilidad Verdadera (%) | 49,53 | - |
| Valor biológico | 0,78 | |

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó las curvas de secado de todos los tratamientos, las que mostraron las mejores curvas de secado para el alga Cushuro fueron a una temperatura de 60°C y velocidades de aire de 1m/s y 1.5m/s hasta llegar a una humedad del 0.001 kg agua/kg s.s. mostrando estos tiempos de 4 horas cada una, respecto a los demás tratamientos, y se aproxima a una curva típica de secado de alimentos.
2. Los valores de difusividades obtenidos para el alga Cushuro (*Nostoc sphaericum*), produjo un descenso a medida que aumenta la temperatura, encontrándose el más alto valor de $6,59 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ sometido a temperatura de 30°C con velocidad de 1 m/s.
3. los parámetros de ajuste del modelo empírico de Page en la pérdida de humedad de Cushuro se ajusta al modelo empírico de Page, y los parámetros que se obtuvieron fueron para k_1 igual a 0,0205 como mínimo para una temperatura de 60°C y velocidad de aire de 1m/s en el periodo de velocidad decreciente y el máximo fue de 0,1973 a una temperatura de 45°C y velocidad de aire 1.5m/s en el periodo de velocidad constante.
4. Para la evaluación biológica se utilizó una dieta de harina de Cushuro 10%, almidón de papa 70%, fibra 5%, sales minerales 4% y vitaminas 1 %, en la cual se obtuvieron un PER de 1.11, NPR 1.82, NPU 0,53, DV 49,53% y VB 77,79%.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar investigación con otras técnicas de secado (osmodeshidratación, atomización, liofilización y sol) y analizar sus propiedades físico-químicas posteriores al proceso.
2. Determinar el tiempo óptimo de secado para algas con alto contenido de humedad.
3. Modelar los datos experimentales del proceso de secado aplicando otros modelos (Newton, Henderson-Page, y otros), que puedan simular un mejor ajuste.
4. Determinar el contenido de aminoácidos del cushuro (Nostoc) en base seca.
5. Realizar la Evaluación Biológica utilizando parámetros ambientales (temperatura, iluminación, etc.) y ratas de experimentación de la zona.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 15th ed. Washington, D.C. The Association.
2. Aldave, P. A. (1989). *Algas*. Edit. Libertad, Trujillo-Perú.
3. Akpinar E. K. (2005). *Determination of suitable thin layer drying curve models for some vegetables and fruits*. Journal of Food Engineering. Vol. 73 N° 1, pp. 75 - 84.
4. Akpinar, E.; Midilli, A.; & Bicer, Y. (2003). *Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modelling*. *Energy Conversion and Management*, 44, 1689-1705.
5. Azzouz, S.; Guisan, A.; Jomaa, W.; & Belghith, A. (2002). *Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes*. Journal of Food Engineering, 55, 323-330.
6. Barbosa-Cánovas, G. V.; & Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de alimentos*. Edit: Acribia, S.A., Zaragoza-España.
7. Bruin, S.; & Luyben, K. CH. A. M. (1980). *Drying of food materials*. En *Advances in drying*. Vol. 1, Editado por A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing, New York.
8. Carranza, J., & Sanches, M. (2002). *Cinética de secado de musa para disiacca L. "platano" y manijod sculenta grantz "yuca"*. Revista Amazonica de Investigación Alimentaria. Vol. 2 N°1. p. 15 – 25, Inap, Iquitos – Perú.
9. Casp, A.; & Abril, J. (1999). *Procesos de conservación de alimentos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, p. 325 – 340.

10. Comexperu. (2007). *Semanario 439*. Consultada el 31 de oct. 2007, <http://www.comexperu.org.pe/semanario.asp>.
11. McCabe, W.; Smith, J.; & Harriot, P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4ta ed. McGraw – Hill / Interamericana de España, S.A. Madrid, p. 830 – 846.
12. Contreras, C. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*, tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia – España.
13. Cordero, T. A. (2002). *Evaluación Nutricional de la Proteína de la hoja de coca (Erythroxylum coca lamarck var. Coca)*. Tesis para optar el título de Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica, E. A. P. Farmacia y Bioquímica. Lima-Perú.
14. Curi, K. (2006). *Determinación biológica de la calidad proteica de la harina de lombriz (Eisenia Foetida)*. Tesis, facultad de medicina humana E. A. P. de nutrición, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú.
15. Chaves, M. G., Sgroppo, S. C., & Avanza, J. R. (2003). *Cinética de secado de berenjenas (Solanum melongena L.)*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Laboratorio de Tecnología Química - Facultad de Cs. Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE. Argentina.
16. Chen, C. S.; & Johnson, W. H. (1969). *Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. I. Theoretical consideration of drying phenomena*. Trans. Hemisphere Publishing, New York.
17. Church, D.C., & Pond, W.G. (1974). *Basic Animal Nutrition and Feeding*. Oxford Press. Portland, Oregon, USA. pp 1-2.

18. Crank, J. (1975). *The mathematical of diffusion*. 2nd Ed. London. Oxford University Press.
19. Doymaz, I. (2004). *Drying kinetics of white mulberry*. *Journal of Food Engineering*. Vol. 61 N° 3, pp. 341-346.
20. Doymaz, I. (2005). *Drying characteristics and kinetics of okra*. *Journal of Food Engineering*. Vol. 69 N° 3, pp. 275-279.
21. Doymaz, I.; Pala, M. (2003). *The thin-layer drying characteristics of corn*. *Journal of Food Engineering*, 60, 125-130.
22. Durango, N., Bula, A., Quintero, R., & Donado, L. (2004). *Modelo matemático para secador de alimentos de flujo radial*. *Revista de Ingeniería y desarrollo. Universidad del norte*. 15: 1-8.
23. Eggum, B. O. (1973). *A study of certain factors influencing protein utilization in rats and pigs*. National Institute of Animal Science, Copenhagen. Comité on, publi. N° 406.
24. Elliot, W. T., Ralph, S. C., & Barbour, M. (1983). *Botánica* .5ta. Edición. Edit: limusa. México.
25. FAO. (1982). *Normas CODEX para regímenes especiales para lactantes y niños de corta edad. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias*. Comisión del CODEX Alimentarius. Roma-Italia. Pág. 564.
26. Fortes, M.; & Okos, M. R. (1980). *Drying theories. En Advances in Drying*, Vol. 1, Editado por A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing, New York.
27. García, S. V., Schmalko, M. E., & Tanzariello, A. (2007). *Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones*. *RIA*, 36 (1): 115-129. INTA, Argentina.

28. Geankoplis, J. (1998). *Proceso de transporte y operaciones unitarias*. Tercera Edición. Edit. Continental, S.A. de C. V. Mexico, 593-606.
29. Giovanelli, G., B. Zanoni., V. Lavelli., & R. Nani. (2002). *Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products*. Journal of Food Engineering. Vol.52, 135-141.
30. González, M. P. (2006). *Cushuro Alga–Alto andino peruano*. Artículo Científico. Lima-Perú.
31. Heredia – Baca, J.; Teloo – Panderó, B.; Medina – Vivanco, M., & Mendieta – Tabuada, O. (2002). *Air drying of sachá – culantro (Eryngium foetidum L.) leaves*, proceedings 13th international drying symposium, Beijing, China.
32. Hernández, J. A., Pavón. G. & García, M. A. (2000). *Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modelling food drying kinetics*. Journal of Food Engineering. Vol. 45, 1-10.
33. Hope, G.W.; D.G. (1982). *Osmotic dehydration a cheap and simple method of reserving Mangoes, bananas and plantains*. Food Research Institute, Canada.
34. Hough, G.; Marini, C. (1993). *A simple model for osmotic dehydration of apples*. Food Sci. & Technologic Vol. 26, N° 2, pp. 151 – 156. E.E.U.U.
35. Iguaz, A.; San Martín, M.; Maté, J.; Fernández, T.; & Vírveda, P. (2003). *Modelling effective moisture diffusivity of rouge rice (Lido cultivar) at low drying temperatures*. Journal of Food Engineering, 59, 253-258.
36. Jansen, G.R. (1978). *Biological Evaluation of Protein Quality*. Food Techn, 12:52- 56.
37. Kajuna, S.; Silayo, V.; Mkenda, A.; & Makungu, P. (2001). *Thin layer drying of diced cassava roots*. African Journal of Science and Technology, 2, 94-100.

38. Kaymak, F. & Ertekin. (2002). *Drying and rehydration kinetics of green and red peppers*. Journal of Food Science. Vol. 67 N° 1, pp. 168 – 175.
39. Karathanos, V.T.; & Belssiotis, V.G. (1999). *Application of a thin – layer equation to drying data of freshand – dried fruits*. Journal of Agricultural Engineering Research, 74(4), 355 – 361.
40. Kouhila, M.; Belghit, A.; & Boutaleb, B. C. (2000). *Experimental study of the drying kinetics of verbena in a solar drier which an auxiliary heating system*, proceedings 12th international drying symposium, Noordwijkerhout, Holanda.
41. Liapis, A. I., & Marchello, J. M. (1982). *Advances in the modelling and control of freeze drying. en advances in drying*, Vol. 3, editado por A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing, New York.
42. Maldonado, R. J., & Pacheco – Delahalle, E. (2003). *Curvas de deshidratación de brócoli (Brassecia oleraceae L Var. Italica plenk) y coliflor (Brassecia oleraceae L Var. Bortrytis L.)*. Revista de la Facultad de Agronomía. Vol. 20 N° 3, Caracas – Venezuela.
43. Melgarejo, E. H. (1995). *Estudio químico-bromatológico de Nostoc sphaericum Vauch "cushuro" procedente de la provincia de Concepción (Junín)*. Tesis para optar el título de Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima-Perú.
44. Ministerio de Salud. (2003) *Criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano*. RM-N° 615-2003-SA/DM del 30-05-2003; Ley N° 26842. Publicado el 28-06-2003. Normas Legales El Peruano. Pág. 246849-246862. Lima-Perú.

45. Mitchell, G.V., Young, M.Y., & Grundel, E. (1989). *Protein Efficiency Ratios and Net Protein Ratios of Selected Protein Foods*. Plant Foods Human Nutr; 39: 53-58.
46. Mohapatra, D.; & Rau, P. (2005). *A thin layer drying model of parboiled wheat*. Journal of food Engineering. Vol. 66, pp. 513-518.
47. Montoya, J. A & E. Jiménez. (2006). *Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación matemática y experimental de la Guadua angustifolia*. Scientia et Technica Año XII, N° 30. ISSN 0122-1701.
48. Morey, R.; & Li, H. (1984). *Thin-layer equation effects on deep-bed drying prediction [models for grain]*. Transactions-of-the-ASAE, 27, 1924-1928.
49. Moreira, P.; Xidieh, F. (2004). *Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato*. Journal of Food Engineering, 61, 291-295.
50. Morris, H. J., Carrillo, O., & Bermúdez, C. (2003). *Enfoque Integral en la utilización de los métodos químicos de evaluación de la calidad proteica*. Revista cubana de salud P: Vol. 29 N° 1.
51. Muñoz, A. (1979). *Evaluación química bromatológica y nutricional de las combinaciones de papa (Solanum tuberosum), tarhui (Lupinus mutabilis), quinua (Chenopodium quinoa) y cebada, (Hordeum sativum)*. Tesis magíster Scientiae. UNA La Molina. Lima-Perú. Pág. 125.
52. Ocampo, A. (2006). *Modelado cinético del secado de la pulpa de mango*. Revista EIA, ISSN 1794-1237. Número 5 p. 119-128.
53. Okos, M. R.; Narsimhan, G.; Singh, R. K. & Weitnauer, A. C. (1992). *Food dehydration*. En *Handbook of Food Engineering*. editado por D. R. Heldman y D.B. Lund. Marcel Dekker, New York.

54. Park, K.J.; Bhnikova, Z & Reisbros, F.P. (2002). *Evaluation of drying parameter and desorption isotherms of garden mint leaves (Mentha crispa L.)*. Journal of Food Engineering, pp. 51, 193 – 199.
55. Pellett, P. L., & Young, V. R. (1980). *Evaluación de alimentos proteínicos*. Massachusetts, USA: Universidad de las naciones unidas.
56. Pérez-Del Aguila, D., C. Guardamino-Alvarez., O. Mendieta-Taboada & M. L. Medina-Vivanco. (2005). *Cinética de secado de hojas de ramio (Boehmeria nivea) por flujo de aire caliente*. VII Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología de Alimentos. Lambayeque-Perú.
57. Perry, R. H.; & Chilton, C.H. (1981). *Manual del ingeniero químico*. McGraw Hill, New York. E.E.U.U.
58. Picado, A., R. Mendieta & J. Martínez. (2006). *Cinética de secado de la levadura cervecera (Saccharomyces cerevisiae)*. Revista científica. Vol. 19, N° 1, pp. 49-56.
59. Risso, S., Estevao, S., Gallardo, A. & Fajardo, M. (2005). *Estudio de la calidad proteica del alga marina comestible (Monostroma undulatum, Wittrock)*. Naturalia patagónica, 2(1): 45-56.
60. Schamalco, M.; Ramallo, L. & Morawicki, R. (1996). *A comparison of the model and the response surface method (RSM) and estimating the drying times of, ex paraguarienses*, Latin American applied research, 26: 215 – 220.
61. Segovia E. (1997). *Obtención y Caracterización de la Harina de Lombriz (Eisenia foetida) para Consumo Humano*. Tesis. Lima: Universidad Federico Villarreal.

62. Senadeera, W.; Bhandari, B.; Young, G.; & Wijesinghe, B. (2003). *Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying*. Journal of Food Engineering, 58, 277-283.
63. Silva, W., T. Arbaiza., F. Carcelén & O. Lucas. (2003). *Evaluación biológica en ratas de laboratorio (rattus norvegicus) de fuentes proteicas usadas en alimentos comerciales para perros*. Rev Inv. Vet. Perú 2003; 14 (1): 18-23.
64. Simal, S.; Femenia, A.; Garau, M.C.; & ROSELLÓ, C. (2005). *Use for exponential, pages and diffusion models to simulate the drying kinetics of kiwi fruits*. Journal of Food Engineering. Vol. 4 N°3, pp. 323 – 328.
65. Singh, P.; Heldman, D. (1998). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. p. 16.
66. Sokhansanj, S.; Singh, D.; & Wasserman, J. (1984). *Drying characteristics of wheat, barley and canola subjected to repetitive wetting and drying cycles*. Transactions of the ASAE, 27, 903-906, 914.
67. Togrul, I. T & PEHLIVAN, D. (2003). *Modelling of drying kinetics of single apricot*. Journal of Food Engineering. Vol. 58 N° 1, pp. 23-32.
68. Trasmonte, W. (1993). *Deshidratación de orégano (Origanum vulgare) por el método de flujo de aire caliente*, tesis Ing. Ind. Alimentarias, UNALM, Lima – Perú.
69. Treybal R. E. (1988). *Operaciones de Transferencia de masa*. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill.
70. Vagenas, G.; & Karathanos, V. (1993). *Prediction of the effective moisture diffusivity in gelatinized food systems*. Journal of Food Engineering, 18, 159-179.

71. Van Arsdel, N. B.; & Copley, M. J. (1963). *Food Dehydration*. AVI Publishing, Westpoint, CT.
72. Vega, A., ANDRÉS, A.; & FITO P. (2001). *Cinética de secado por aire caliente de dados de pimiento (Capsicum annum L.)*. III Congreso Iberoamericano de Ingeniería en alimentos. Tomo II, Cap. 2, 228-234.
73. Vega, A., Andrés, A., & FITO, P. (2005). *Modelación de la cinética de secado del pimiento rojo (Capsicum Annuum L.) cv Lamuyo*. Revista información tecnológica. Vol. 16 N° 6, pp. 3-11.
74. Vega, A & LEMUS, R. (2006). *Modelación de la cinética de secado de la papaya chilena (Vasconcellea pubescens)*. Revista información tecnológica. Vol. 17, N° 3, pp. 23-31.
75. Vega, A., Tello, C & Lemus, R. (2007). *Simulación matemática del proceso de secado de la Gracilaria Chilena (Gracilaria Chilensis)*. Revista Chilena de Ingeniería: Vol. 15 N° 1, pp.55-64.
76. Velezvia, J. D. (2005). *Elaboración de sopas reconstituibles en base de carachi (Orestias agassii V.), tarhui (lupinus mutabilis S.), quinua (Chenopodium quinoa W.) y cañihua (Chenopodium pallidicaule A.)*. Tesis Magíster Scientiae. Especialidad de Tecnología de Alimentos. Escuela de Post Grado. UNA La Molina. Pág. 152-157.
77. Welti, J. (2000). *Programa de ciencia y tecnología para el desarrollo V centenario CYTED-D. Desarrollo de alimentos de humedad intermedia importante para Ibero América. Sub proyecto frutas y hortalizas*. Universidad de la ameritas Puebla, México.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE PERDIDA DE HUMEDAD (T= 30 °C, V= 1 m/s)

| Humedad inicial (%) | Solido seco (g s.s.) | Peso bandeja (g) | Área bandeja (m) | PENDIENTE | | Solido seco (kg) | Peso final (kg) | Humedad equilibrio (kg agua/kg s.s.) | X inicial (kg agua/kg s.s.) | LS/A |
|---------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------|---------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------|
| | | | | R. LINEAL | R. EXP. (1/x) | | | | | |
| 98,61% | 3,475 | 1060 | 0,11024 | -9,687 | -46,308 | 0,003475 | 0,02535 | 0,021875 | 64,6477468 | 0,03152213 |

| Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso+Bandeja (g) | Peso-Bandeja (g) | Peso (kg) | Peso agua (kg) | X (kg agua/kg s.s.) | LS/A | dX/dt | R | X/X0 | Ln Y |
|--------------|------------|------------------|------------------|-----------|----------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 0 | 0,0 | 1310,00 | 250,00 | 0,250 | 0,225 | 64,648 | -0,032 | - | - | 1,000 | 0,000 |
| 5 | 0,1 | 1314,06 | 254,06 | 0,254 | 0,229 | 65,817 | -0,032 | - | - | 1,018 | 0,018 |
| 10 | 0,2 | 1314,66 | 254,66 | 0,255 | 0,229 | 65,987 | -0,032 | - | - | 1,021 | 0,021 |
| 15 | 0,3 | 1309,15 | 249,15 | 0,249 | 0,224 | 64,402 | -0,032 | - | - | 0,996 | -0,004 |
| 20 | 0,3 | 1303,07 | 243,07 | 0,243 | 0,218 | 62,655 | -0,032 | - | - | 0,969 | -0,031 |
| 25 | 0,4 | 1300,02 | 240,02 | 0,240 | 0,215 | 61,774 | -0,032 | - | - | 0,956 | -0,045 |
| 30 | 0,5 | 1298,65 | 238,65 | 0,239 | 0,213 | 61,381 | -0,032 | - | - | 0,949 | -0,052 |
| 35 | 0,6 | 1297,93 | 237,93 | 0,238 | 0,213 | 61,173 | -0,032 | - | - | 0,946 | -0,055 |
| 40 | 0,7 | 1297,26 | 237,26 | 0,237 | 0,212 | 60,982 | -0,032 | - | - | 0,943 | -0,058 |
| 45 | 0,8 | 1295,30 | 235,30 | 0,235 | 0,210 | 60,416 | -0,032 | - | - | 0,935 | -0,068 |
| 50 | 0,8 | 1292,25 | 232,25 | 0,232 | 0,207 | 59,539 | -0,032 | - | - | 0,921 | -0,082 |
| 55 | 0,9 | 1290,26 | 230,26 | 0,230 | 0,205 | 58,966 | -0,032 | - | - | 0,912 | -0,092 |
| 60 | 1,0 | 1287,76 | 227,76 | 0,228 | 0,202 | 58,249 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,901 | -0,104 |
| 65 | 1,1 | 1283,24 | 223,24 | 0,223 | 0,198 | 56,946 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,881 | -0,127 |
| 70 | 1,2 | 1276,94 | 216,94 | 0,217 | 0,192 | 55,134 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,853 | -0,159 |
| 75 | 1,3 | 1269,21 | 209,21 | 0,209 | 0,184 | 52,909 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,818 | -0,200 |
| 80 | 1,3 | 1261,42 | 201,42 | 0,201 | 0,176 | 50,669 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,784 | -0,244 |
| 85 | 1,4 | 1254,94 | 194,94 | 0,195 | 0,170 | 48,802 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,755 | -0,281 |
| 90 | 1,5 | 1249,85 | 189,85 | 0,190 | 0,164 | 47,338 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,732 | -0,312 |
| 95 | 1,6 | 1246,32 | 186,32 | 0,186 | 0,161 | 46,321 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,717 | -0,333 |
| 100 | 1,7 | 1245,27 | 185,27 | 0,185 | 0,160 | 46,020 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,712 | -0,340 |
| 105 | 1,8 | 1246,13 | 186,13 | 0,186 | 0,161 | 46,268 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,716 | -0,335 |
| 110 | 1,8 | 1248,50 | 188,50 | 0,189 | 0,163 | 46,950 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,726 | -0,320 |
| 115 | 1,9 | 1252,02 | 192,02 | 0,192 | 0,167 | 47,964 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,742 | -0,299 |
| 120 | 2,0 | 1255,51 | 195,51 | 0,196 | 0,170 | 48,966 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,757 | -0,278 |
| 125 | 2,1 | 1256,35 | 196,35 | 0,196 | 0,171 | 49,209 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,761 | -0,273 |
| 130 | 2,2 | 1253,59 | 193,59 | 0,194 | 0,168 | 48,413 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,749 | -0,289 |
| 135 | 2,3 | 1247,91 | 187,91 | 0,188 | 0,163 | 46,779 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,724 | -0,324 |
| 140 | 2,3 | 1240,46 | 180,46 | 0,180 | 0,155 | 44,637 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,690 | -0,370 |
| 145 | 2,4 | 1232,17 | 172,17 | 0,172 | 0,147 | 42,251 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,654 | -0,425 |
| 150 | 2,5 | 1224,14 | 164,14 | 0,164 | 0,139 | 39,939 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,618 | -0,482 |
| 155 | 2,6 | 1217,35 | 157,35 | 0,157 | 0,132 | 37,986 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,588 | -0,532 |
| 160 | 2,7 | 1212,04 | 152,04 | 0,152 | 0,127 | 36,458 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,564 | -0,573 |
| 165 | 2,8 | 1209,07 | 149,07 | 0,149 | 0,124 | 35,604 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,551 | -0,596 |
| 170 | 2,8 | 1208,70 | 148,70 | 0,149 | 0,123 | 35,495 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,549 | -0,600 |
| 175 | 2,9 | 1210,55 | 150,55 | 0,151 | 0,125 | 36,029 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,557 | -0,585 |
| 180 | 3,0 | 1213,64 | 153,64 | 0,154 | 0,128 | 36,917 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,571 | -0,560 |
| 185 | 3,1 | 1217,43 | 157,43 | 0,157 | 0,132 | 38,008 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,588 | -0,531 |
| 190 | 3,2 | 1220,24 | 160,24 | 0,160 | 0,135 | 38,818 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,600 | -0,510 |
| 195 | 3,3 | 1219,73 | 159,73 | 0,160 | 0,134 | 38,672 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,598 | -0,514 |
| 200 | 3,3 | 1215,76 | 155,76 | 0,156 | 0,130 | 37,528 | -0,032 | -9,687 | 0,305 | 0,580 | -0,544 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 400 | 6,7 | 1124,41 | 64,41 | 0,064 | 0,039 | 11,241 | -0,032 | -6,946 | 0,219 | 0,174 | -1,749 |
| 405 | 6,8 | 1122,60 | 62,60 | 0,063 | 0,037 | 10,721 | -0,032 | -6,860 | 0,216 | 0,166 | -1,797 |
| 410 | 6,8 | 1117,51 | 57,51 | 0,058 | 0,032 | 9,254 | -0,032 | -6,777 | 0,214 | 0,143 | -1,944 |
| 415 | 6,9 | 1110,15 | 50,15 | 0,050 | 0,025 | 7,136 | -0,032 | -6,695 | 0,211 | 0,110 | -2,204 |
| 420 | 7,0 | 1101,63 | 41,63 | 0,042 | 0,016 | 4,684 | -0,032 | -6,615 | 0,209 | 0,072 | -2,625 |
| 425 | 7,1 | 1093,36 | 33,36 | 0,033 | 0,008 | 2,306 | -0,032 | -6,538 | 0,206 | 0,036 | -3,333 |
| 430 | 7,2 | 1086,51 | 26,51 | 0,027 | 0,001 | 0,335 | -0,032 | -6,462 | 0,204 | 0,005 | -5,263 |
| 480 | 8,0 | 1085,35 | 25,35 | 0,025 | 0,000 | 0,000 | -0,032 | -5,789 | 0,268 | 0,000 | #jNUM! |

ANEXO 2: SECCIONES PARA VELOCIDAD CONSTANTE Y DECRECIENTE
(T= 30° C, V= 1 m/s)

Gráfico 1: Primera Sección de Velocidad Constante

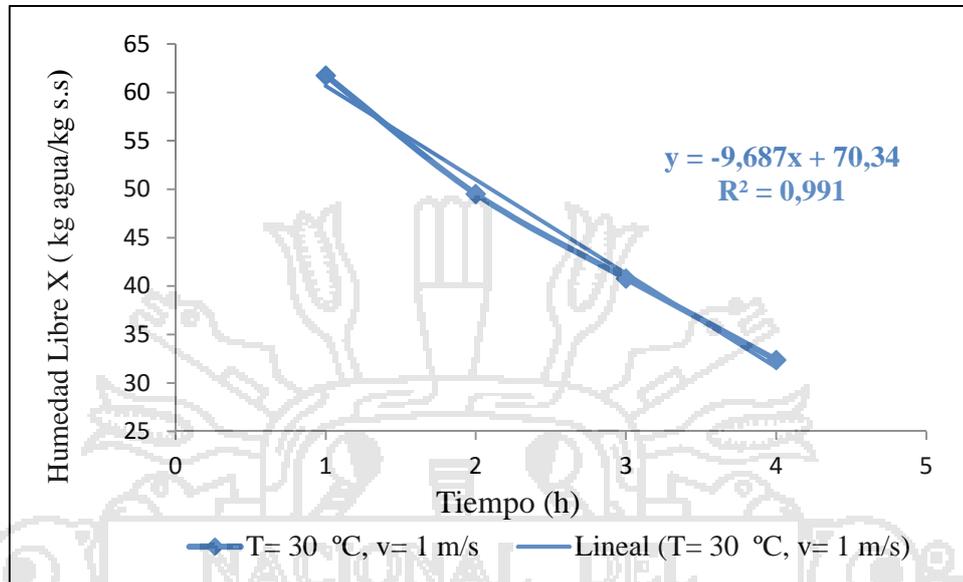
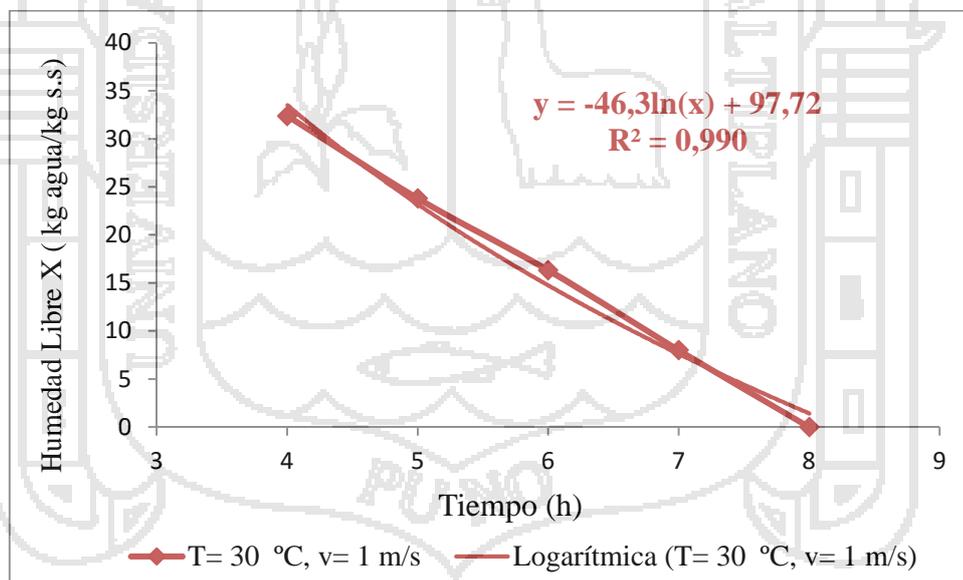


Gráfico 2: Segunda Sección de Velocidad Decreciente





ANEXO 3: RESULTADOS DE PERDIDA DE HUMEDAD (T= 30 °C, V= 1,5 m/s)

| Humedad inicial (%) | Solido seco (g s.s.) | Peso bandeja (g) | Área bandeja (m) | PENDIENTE | | Solido seco (kg) | Peso final (kg) | Humedad equilibrio (kg agua/kg s.s.) | X inicial (kg agua/kg s.s.) | LS/A |
|---------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------|---------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------|
| | | | | R. LINEAL | R. EXP. (1/x) | | | | | |
| 98,61% | 3,475 | 1060 | 0,11024 | -9,617 | -39,860 | 0,003475 | 0,02535 | 0,021875 | 64,6465784 | 0,03152213 |

| Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso+Bandeja (g) | Peso-Bandeja (g) | Peso (kg) | Peso agua (kg) | X (kg agua/kg s.s.) | LS/A | dx/dt | R | X/X0 | Ln Y |
|--------------|------------|------------------|------------------|-----------|----------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 0 | 0,0 | 1310,00 | 250,00 | 0,250 | 0,225 | 64,647 | -0,032 | - | - | 1 | 0 |
| 5 | 0,1 | 1309,72 | 249,72 | 0,250 | 0,224 | 64,567 | -0,032 | - | - | 0,999 | -0,001 |
| 10 | 0,2 | 1306,69 | 246,69 | 0,247 | 0,221 | 63,696 | -0,032 | - | - | 0,985 | -0,015 |
| 15 | 0,3 | 1299,92 | 239,92 | 0,240 | 0,215 | 61,747 | -0,032 | - | - | 0,955 | -0,046 |
| 20 | 0,3 | 1292,49 | 232,49 | 0,232 | 0,207 | 59,609 | -0,032 | - | - | 0,922 | -0,081 |
| 25 | 0,4 | 1285,91 | 225,91 | 0,226 | 0,201 | 57,714 | -0,032 | - | - | 0,893 | -0,113 |
| 30 | 0,5 | 1281,42 | 221,42 | 0,221 | 0,196 | 56,424 | -0,032 | - | - | 0,873 | -0,136 |
| 35 | 0,6 | 1279,30 | 219,30 | 0,219 | 0,194 | 55,812 | -0,032 | - | - | 0,863 | -0,147 |
| 40 | 0,7 | 1278,58 | 218,58 | 0,219 | 0,193 | 55,606 | -0,032 | - | - | 0,860 | -0,151 |
| 45 | 0,8 | 1276,81 | 216,81 | 0,217 | 0,191 | 55,095 | -0,032 | - | - | 0,852 | -0,160 |
| 50 | 0,8 | 1273,97 | 213,97 | 0,214 | 0,189 | 54,278 | -0,032 | - | - | 0,840 | -0,175 |
| 55 | 0,9 | 1273,02 | 213,02 | 0,213 | 0,188 | 54,005 | -0,032 | - | - | 0,835 | -0,180 |
| 60 | 1,0 | 1273,82 | 213,82 | 0,214 | 0,188 | 54,237 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,839 | -0,176 |
| 65 | 1,1 | 1275,40 | 215,40 | 0,215 | 0,190 | 54,689 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,846 | -0,167 |
| 70 | 1,2 | 1275,39 | 215,39 | 0,215 | 0,190 | 54,687 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,846 | -0,167 |
| 75 | 1,3 | 1272,68 | 212,68 | 0,213 | 0,187 | 53,907 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,834 | -0,182 |
| 80 | 1,3 | 1267,58 | 207,58 | 0,208 | 0,182 | 52,440 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,811 | -0,209 |
| 85 | 1,4 | 1260,69 | 200,69 | 0,201 | 0,175 | 50,456 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,780 | -0,248 |
| 90 | 1,5 | 1252,86 | 192,86 | 0,193 | 0,168 | 48,204 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,746 | -0,293 |
| 95 | 1,6 | 1245,37 | 185,37 | 0,185 | 0,160 | 46,050 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,712 | -0,339 |
| 100 | 1,7 | 1239,23 | 179,23 | 0,179 | 0,154 | 44,283 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,685 | -0,378 |
| 105 | 1,8 | 1234,75 | 174,75 | 0,175 | 0,149 | 42,992 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,665 | -0,408 |
| 110 | 1,8 | 1232,63 | 172,63 | 0,173 | 0,147 | 42,383 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,656 | -0,422 |
| 115 | 1,9 | 1232,63 | 172,63 | 0,173 | 0,147 | 42,381 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,656 | -0,422 |
| 120 | 2,0 | 1234,09 | 174,09 | 0,174 | 0,149 | 42,802 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,662 | -0,412 |
| 125 | 2,1 | 1236,36 | 176,36 | 0,176 | 0,151 | 43,457 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,672 | -0,397 |
| 130 | 2,2 | 1239,04 | 179,04 | 0,179 | 0,154 | 44,229 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,684 | -0,380 |
| 135 | 2,3 | 1240,39 | 180,39 | 0,180 | 0,155 | 44,616 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,690 | -0,371 |
| 140 | 2,3 | 1238,61 | 178,61 | 0,179 | 0,153 | 44,103 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,682 | -0,382 |
| 145 | 2,4 | 1233,92 | 173,92 | 0,174 | 0,149 | 42,753 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,661 | -0,413 |
| 150 | 2,5 | 1227,31 | 167,31 | 0,167 | 0,142 | 40,852 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,632 | -0,459 |
| 155 | 2,6 | 1219,66 | 159,66 | 0,160 | 0,134 | 38,650 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,598 | -0,514 |
| 160 | 2,7 | 1211,58 | 151,58 | 0,152 | 0,126 | 36,324 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,562 | -0,576 |
| 165 | 2,8 | 1204,29 | 144,29 | 0,144 | 0,119 | 34,228 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,529 | -0,636 |
| 170 | 2,8 | 1198,39 | 138,39 | 0,138 | 0,113 | 32,529 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,503 | -0,687 |
| 175 | 2,9 | 1194,29 | 134,29 | 0,134 | 0,109 | 31,350 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,485 | -0,724 |
| 180 | 3,0 | 1192,67 | 132,67 | 0,133 | 0,107 | 30,883 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,478 | -0,739 |
| 185 | 3,1 | 1192,98 | 132,98 | 0,133 | 0,108 | 30,972 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,479 | -0,736 |
| 190 | 3,2 | 1194,44 | 134,44 | 0,134 | 0,109 | 31,394 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,486 | -0,722 |
| 195 | 3,3 | 1196,47 | 136,47 | 0,136 | 0,111 | 31,976 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,495 | -0,704 |
| 200 | 3,3 | 1198,74 | 138,74 | 0,139 | 0,113 | 32,631 | -0,032 | -9,617 | 0,303 | 0,505 | -0,684 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 400 | 6,7 | 1111,75 | 51,75 | 0,052 | 0,026 | 7,596 | -0,032 | -5,979 | 0,188 | 0,118 | -2,141 |
| 405 | 6,8 | 1103,37 | 43,37 | 0,043 | 0,018 | 5,185 | -0,032 | -5,905 | 0,186 | 0,080 | -2,523 |
| 410 | 6,8 | 1094,92 | 34,92 | 0,035 | 0,010 | 2,753 | -0,032 | -5,833 | 0,184 | 0,043 | -3,156 |
| 415 | 6,9 | 1087,76 | 27,76 | 0,028 | 0,002 | 0,694 | -0,032 | -5,763 | 0,182 | 0,011 | -4,535 |
| 480 | 8,0 | 1085,35 | 25,35 | 0,025 | 0,000 | 0,000 | -0,032 | -4,983 | 0,192 | 0,000 | #iNUM! |

ANEXO 4: SECCIONES PARA VELOCIDAD CONSTANTE Y DECRECIENTE
(T= 30 °C, V= 1,5 m/s)

Gráfico 3: Primera Sección de Velocidad Constante

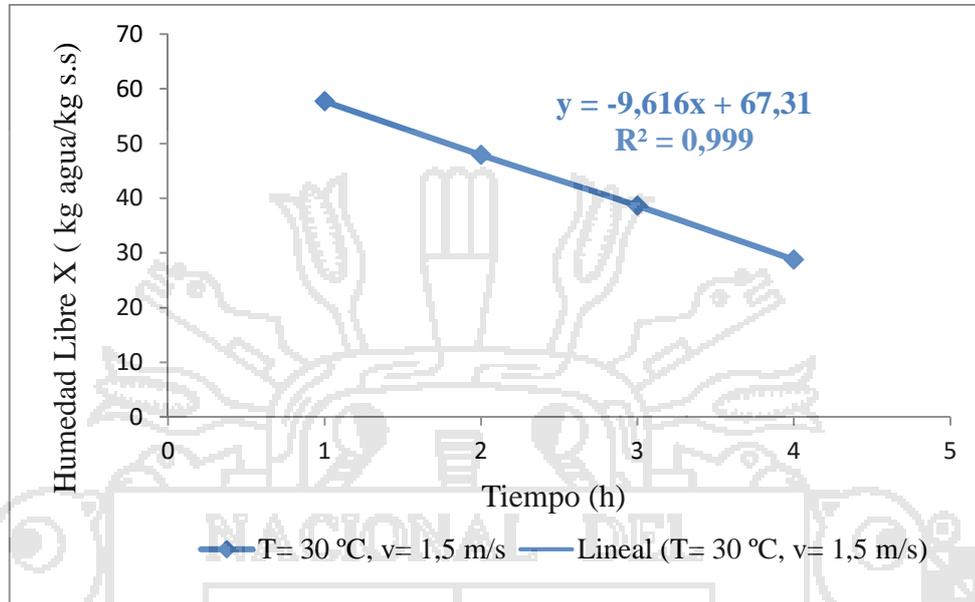
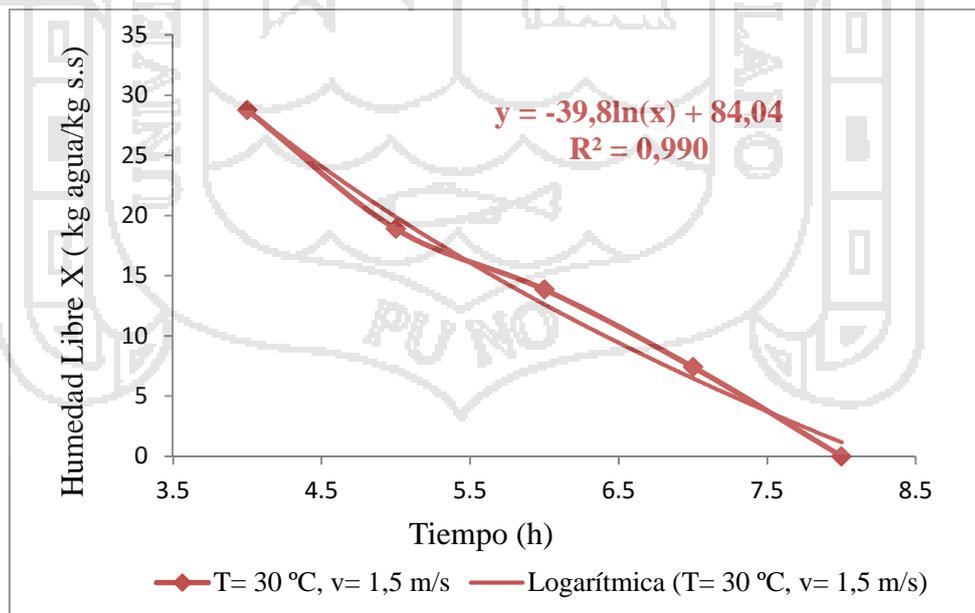


Gráfico 4: Segunda Sección de Velocidad Decreciente





ANEXO 5: RESULTADOS DE PERDIDA DE HUMEDAD (T= 45 °C, V= 1 m/s)

| Humedad inicial (%) | Solido seco (g s.s.) | Peso bandeja (g) | Área bandeja (m) | PENDIENTE | | Solido seco (kg) | Peso final (kg) | Humedad equilibrio (kg agua/kg s.s.) | X inicial (kg agua/kg s.s.) | LS/A |
|---------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------|---------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------|
| | | | | R. LINEAL | R. EXP. (1/x) | | | | | |
| 98,61% | 3,475 | 1060 | 0,11024 | -15,654 | -39,586 | 0,003475 | 0,02596944 | 0,02249444 | 64,3488695 | 0,031522 |

| Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso+Bandeja (g) | Peso-Bandeja (g) | Peso (kg) | Peso agua (kg) | X (kg agua/kg s.s.) | LS/A | dX/dt | R | X/X0 | Ln Y |
|--------------|------------|------------------|------------------|-----------|----------------|---------------------|--------|---------|-------|-------|--------|
| 0 | 0,0 | 1309,58 | 249,58 | 0,250 | 0,224 | 64,349 | -0,032 | | - | 1,000 | 0,000 |
| 5 | 0,1 | 1309,89 | 249,89 | 0,250 | 0,224 | 64,437 | -0,032 | | - | 1,001 | 0,001 |
| 10 | 0,2 | 1308,54 | 248,54 | 0,249 | 0,223 | 64,048 | -0,032 | | - | 0,995 | -0,005 |
| 15 | 0,3 | 1303,98 | 243,98 | 0,244 | 0,218 | 62,736 | -0,032 | | - | 0,975 | -0,025 |
| 20 | 0,3 | 1298,43 | 238,43 | 0,238 | 0,212 | 61,140 | -0,032 | | - | 0,950 | -0,051 |
| 25 | 0,4 | 1293,15 | 233,15 | 0,233 | 0,207 | 59,620 | -0,032 | | - | 0,927 | -0,076 |
| 30 | 0,5 | 1288,54 | 228,54 | 0,229 | 0,203 | 58,294 | -0,032 | | - | 0,906 | -0,099 |
| 35 | 0,6 | 1284,65 | 224,65 | 0,225 | 0,199 | 57,174 | -0,032 | | - | 0,889 | -0,118 |
| 40 | 0,7 | 1281,38 | 221,38 | 0,221 | 0,195 | 56,235 | -0,032 | | - | 0,874 | -0,135 |
| 45 | 0,8 | 1276,61 | 216,61 | 0,217 | 0,191 | 54,859 | -0,032 | | - | 0,853 | -0,160 |
| 50 | 0,8 | 1270,23 | 210,23 | 0,210 | 0,184 | 53,025 | -0,032 | | - | 0,824 | -0,194 |
| 55 | 0,9 | 1265,13 | 205,13 | 0,205 | 0,179 | 51,558 | -0,032 | | - | 0,801 | -0,222 |
| 60 | 1,0 | 1262,65 | 202,65 | 0,203 | 0,177 | 50,844 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,790 | -0,236 |
| 65 | 1,1 | 1260,63 | 200,63 | 0,201 | 0,175 | 50,263 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,781 | -0,247 |
| 70 | 1,2 | 1256,12 | 196,12 | 0,196 | 0,170 | 48,964 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,761 | -0,273 |
| 75 | 1,3 | 1252,65 | 192,65 | 0,193 | 0,167 | 47,965 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,745 | -0,294 |
| 80 | 1,3 | 1243,55 | 183,55 | 0,184 | 0,158 | 45,347 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,705 | -0,350 |
| 85 | 1,4 | 1237,80 | 177,80 | 0,178 | 0,152 | 43,693 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,679 | -0,387 |
| 90 | 1,5 | 1233,91 | 173,91 | 0,174 | 0,148 | 42,572 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,662 | -0,413 |
| 95 | 1,6 | 1228,38 | 168,38 | 0,168 | 0,142 | 40,981 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,637 | -0,451 |
| 100 | 1,7 | 1225,49 | 165,49 | 0,165 | 0,140 | 40,150 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,624 | -0,472 |
| 105 | 1,8 | 1220,34 | 160,34 | 0,160 | 0,134 | 38,669 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,601 | -0,509 |
| 110 | 1,8 | 1218,31 | 158,31 | 0,158 | 0,132 | 38,084 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,592 | -0,525 |
| 115 | 1,9 | 1215,67 | 155,67 | 0,156 | 0,130 | 37,324 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,580 | -0,545 |
| 120 | 2,0 | 1207,88 | 147,88 | 0,148 | 0,122 | 35,082 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,545 | -0,607 |
| 125 | 2,1 | 1204,48 | 144,48 | 0,144 | 0,119 | 34,104 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,530 | -0,635 |
| 130 | 2,2 | 1199,14 | 139,14 | 0,139 | 0,113 | 32,567 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,506 | -0,681 |
| 135 | 2,3 | 1193,71 | 133,71 | 0,134 | 0,108 | 31,005 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,482 | -0,730 |
| 140 | 2,3 | 1189,94 | 129,94 | 0,130 | 0,104 | 29,920 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,465 | -0,766 |
| 145 | 2,4 | 1184,28 | 124,28 | 0,124 | 0,098 | 28,291 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,440 | -0,822 |
| 150 | 2,5 | 1180,97 | 120,97 | 0,121 | 0,095 | 27,337 | -0,032 | -15,654 | 0,493 | 0,425 | -0,856 |
| 155 | 2,6 | 1174,64 | 114,64 | 0,115 | 0,089 | 25,518 | -0,032 | -15,324 | 0,483 | 0,397 | -0,925 |
| 160 | 2,7 | 1171,64 | 111,64 | 0,112 | 0,086 | 24,652 | -0,032 | -14,845 | 0,468 | 0,383 | -0,959 |
| 165 | 2,8 | 1169,52 | 109,52 | 0,110 | 0,084 | 24,044 | -0,032 | -14,395 | 0,454 | 0,374 | -0,984 |
| 170 | 2,8 | 1162,32 | 102,32 | 0,102 | 0,076 | 21,971 | -0,032 | -13,972 | 0,440 | 0,341 | -1,075 |
| 175 | 2,9 | 1157,54 | 97,54 | 0,098 | 0,072 | 20,596 | -0,032 | -13,572 | 0,428 | 0,320 | -1,139 |
| 180 | 3,0 | 1154,30 | 94,30 | 0,094 | 0,068 | 19,663 | -0,032 | -13,195 | 0,416 | 0,306 | -1,186 |
| 185 | 3,1 | 1151,04 | 91,04 | 0,091 | 0,065 | 18,724 | -0,032 | -12,839 | 0,405 | 0,291 | -1,235 |
| 190 | 3,2 | 1146,06 | 86,06 | 0,086 | 0,060 | 17,292 | -0,032 | -12,501 | 0,394 | 0,269 | -1,314 |
| 195 | 3,3 | 1139,29 | 79,29 | 0,079 | 0,053 | 15,344 | -0,032 | -12,180 | 0,384 | 0,238 | -1,434 |
| 200 | 3,3 | 1135,90 | 75,90 | 0,076 | 0,050 | 14,368 | -0,032 | -11,876 | 0,374 | 0,223 | -1,499 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 260 | 4,3 | 1103,30 | 43,30 | 0,043 | 0,017 | 4,986 | -0,032 | -9,135 | 0,288 | 0,077 | -2,558 |
| 265 | 4,4 | 1100,85 | 40,85 | 0,041 | 0,015 | 4,283 | -0,032 | -8,963 | 0,283 | 0,067 | -2,710 |
| 270 | 4,5 | 1098,62 | 38,62 | 0,039 | 0,013 | 3,639 | -0,032 | -8,797 | 0,277 | 0,057 | -2,873 |
| 275 | 4,6 | 1095,71 | 35,71 | 0,036 | 0,010 | 2,803 | -0,032 | -8,637 | 0,272 | 0,044 | -3,134 |
| 280 | 4,7 | 1092,52 | 32,52 | 0,033 | 0,007 | 1,886 | -0,032 | -8,483 | 0,267 | 0,029 | -3,530 |
| 285 | 4,8 | 1089,76 | 29,76 | 0,030 | 0,004 | 1,091 | -0,032 | -8,334 | 0,263 | 0,017 | -4,077 |
| 290 | 4,8 | 1087,13 | 27,13 | 0,027 | 0,001 | 0,334 | -0,032 | -8,190 | 0,258 | 0,005 | -5,260 |
| 295 | 4,9 | 1085,97 | 25,97 | 0,026 | 0,000 | 0,000 | -0,032 | -8,051 | 0,254 | 0,000 | #iNUM! |

ANEXO 6: SECCIONES PARA VELOCIDAD CONSTANTE Y DECRECIENTE
(T= 45 °C, V= 1 m/s)

Gráfico 5: Primera Sección de Velocidad Constante

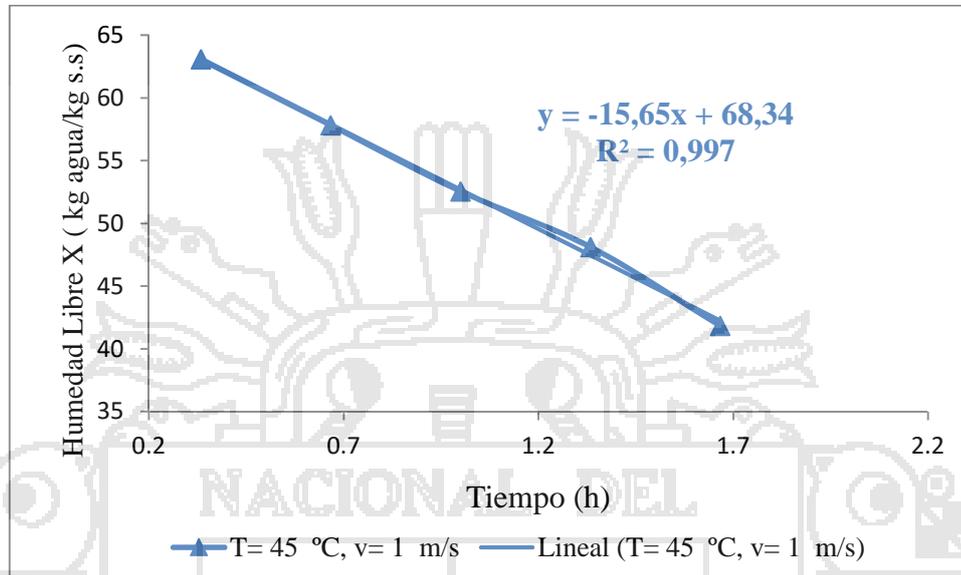
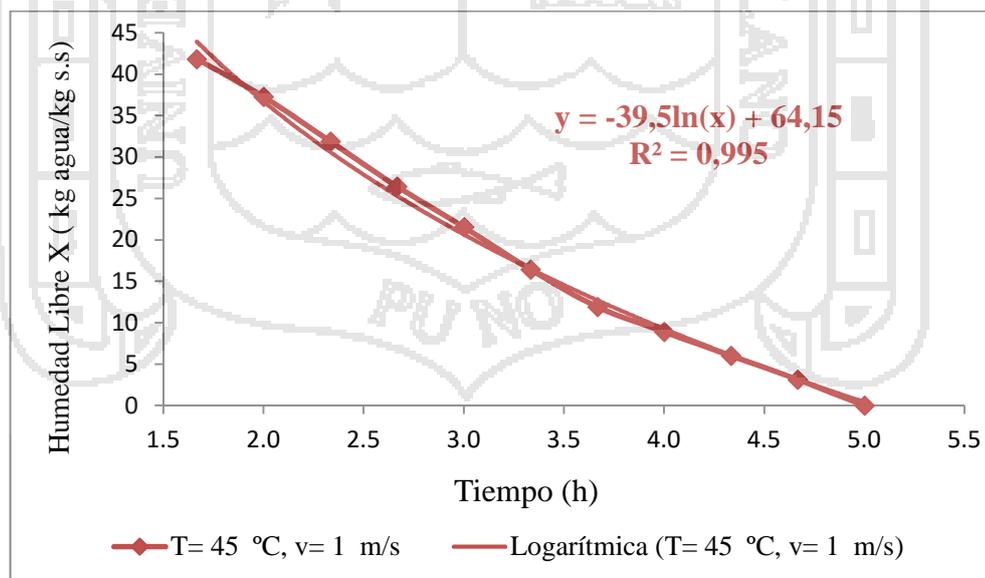


Gráfico 6: Segunda Sección de Velocidad Decreciente





ANEXO 7: RESULTADOS DE PERDIDA DE HUMEDAD (T= 45 °C, V= 1,5 m/s)

| Humedad inicial (%) | Solido seco (g s.s.) | Peso bandeja (g) | Area bandeja (m) | PENDIENTE | | Solido seco (kg) | Peso final (kg) | Humedad equilibrio (kg agua/kg s.s.) | X inicial (kg agua/kg s.s.) | LS/A |
|---------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------|---------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------|
| | | | | R. LINEAL | R. EXP. (1/x) | | | | | |
| 98,61% | 3,475 | 1060 | 0,11024 | -14,950 | -36,612 | 0,003475 | 0,025969 | 0,022494 | 64,4693525 | 0,03152213 |

| Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso+Bandeja (g) | Peso-Bandeja (g) | Peso (kg) | Peso agua (kg) | X (kg agua/kg s.s.) | LS/A | dx/dt | R | X/X0 | Ln Y |
|--------------|------------|------------------|------------------|-----------|----------------|---------------------|---------|---------|-------|-------|--------|
| 0 | 0,0 | 1310,00 | 250,00 | 0,250 | 0,224 | 64,469 | -0,0315 | - | - | 1 | 0,000 |
| 5 | 0,1 | 1309,71 | 249,71 | 0,250 | 0,224 | 64,386 | -0,0315 | - | - | 0,999 | -0,001 |
| 10 | 0,2 | 1306,72 | 246,72 | 0,247 | 0,221 | 63,526 | -0,0315 | - | - | 0,985 | -0,015 |
| 15 | 0,3 | 1301,17 | 241,17 | 0,241 | 0,215 | 61,927 | -0,0315 | - | - | 0,961 | -0,040 |
| 20 | 0,3 | 1295,42 | 235,42 | 0,235 | 0,209 | 60,273 | -0,0315 | - | - | 0,935 | -0,067 |
| 25 | 0,4 | 1290,34 | 230,34 | 0,230 | 0,204 | 58,811 | -0,0315 | - | - | 0,912 | -0,092 |
| 30 | 0,5 | 1286,00 | 226,00 | 0,226 | 0,200 | 57,564 | -0,0315 | - | - | 0,893 | -0,113 |
| 35 | 0,6 | 1282,36 | 222,36 | 0,222 | 0,196 | 56,516 | -0,0315 | - | - | 0,877 | -0,132 |
| 40 | 0,7 | 1279,48 | 219,48 | 0,219 | 0,194 | 55,686 | -0,0315 | - | - | 0,864 | -0,146 |
| 45 | 0,8 | 1275,93 | 215,93 | 0,216 | 0,190 | 54,665 | -0,0315 | - | - | 0,848 | -0,165 |
| 50 | 0,8 | 1269,72 | 209,72 | 0,210 | 0,184 | 52,877 | -0,0315 | - | - | 0,820 | -0,198 |
| 55 | 0,9 | 1264,54 | 204,54 | 0,205 | 0,179 | 51,388 | -0,0315 | - | - | 0,797 | -0,227 |
| 60 | 1,0 | 1260,67 | 200,67 | 0,201 | 0,175 | 50,273 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,780 | -0,249 |
| 65 | 1,1 | 1257,56 | 197,56 | 0,198 | 0,172 | 49,380 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,766 | -0,267 |
| 70 | 1,2 | 1254,88 | 194,88 | 0,195 | 0,169 | 48,609 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,754 | -0,282 |
| 75 | 1,3 | 1251,65 | 191,65 | 0,192 | 0,166 | 47,678 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,740 | -0,302 |
| 80 | 1,3 | 1248,10 | 188,10 | 0,188 | 0,162 | 46,656 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,724 | -0,323 |
| 85 | 1,4 | 1243,48 | 183,48 | 0,183 | 0,158 | 45,328 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,703 | -0,352 |
| 90 | 1,5 | 1237,01 | 177,01 | 0,177 | 0,151 | 43,466 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,674 | -0,394 |
| 95 | 1,6 | 1228,99 | 168,99 | 0,169 | 0,143 | 41,157 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,638 | -0,449 |
| 100 | 1,7 | 1219,97 | 159,97 | 0,160 | 0,134 | 38,561 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,598 | -0,514 |
| 105 | 1,8 | 1211,27 | 151,27 | 0,151 | 0,125 | 36,057 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,559 | -0,581 |
| 110 | 1,8 | 1203,75 | 143,75 | 0,144 | 0,118 | 33,893 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,526 | -0,643 |
| 115 | 1,9 | 1197,43 | 137,43 | 0,137 | 0,111 | 32,076 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,498 | -0,698 |
| 120 | 2,0 | 1192,51 | 132,51 | 0,133 | 0,107 | 30,658 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,476 | -0,743 |
| 125 | 2,1 | 1189,49 | 129,49 | 0,129 | 0,104 | 29,790 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,462 | -0,772 |
| 130 | 2,2 | 1187,59 | 127,59 | 0,128 | 0,102 | 29,243 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,454 | -0,791 |
| 135 | 2,3 | 1184,35 | 124,35 | 0,124 | 0,098 | 28,312 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,439 | -0,823 |
| 140 | 2,3 | 1179,90 | 119,90 | 0,120 | 0,094 | 27,031 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,419 | -0,869 |
| 145 | 2,4 | 1175,34 | 115,34 | 0,115 | 0,089 | 25,718 | -0,0315 | -14,950 | 0,471 | 0,399 | -0,919 |
| 150 | 2,5 | 1169,46 | 109,46 | 0,109 | 0,083 | 24,026 | -0,0315 | -14,645 | 0,462 | 0,373 | -0,987 |
| 155 | 2,6 | 1165,44 | 105,44 | 0,105 | 0,079 | 22,870 | -0,0315 | -14,172 | 0,447 | 0,355 | -1,036 |
| 160 | 2,7 | 1161,92 | 101,92 | 0,102 | 0,076 | 21,857 | -0,0315 | -13,730 | 0,433 | 0,339 | -1,082 |
| 165 | 2,8 | 1157,54 | 97,54 | 0,098 | 0,072 | 20,596 | -0,0315 | -13,313 | 0,420 | 0,319 | -1,141 |
| 170 | 2,8 | 1153,19 | 93,19 | 0,093 | 0,067 | 19,343 | -0,0315 | -12,922 | 0,407 | 0,300 | -1,204 |
| 175 | 2,9 | 1149,33 | 89,33 | 0,089 | 0,063 | 18,235 | -0,0315 | -12,553 | 0,396 | 0,283 | -1,263 |
| 180 | 3,0 | 1144,32 | 84,32 | 0,084 | 0,058 | 16,793 | -0,0315 | -12,204 | 0,385 | 0,260 | -1,345 |
| 185 | 3,1 | 1140,26 | 80,26 | 0,080 | 0,054 | 15,623 | -0,0315 | -11,874 | 0,374 | 0,242 | -1,417 |
| 190 | 3,2 | 1136,60 | 76,60 | 0,077 | 0,051 | 14,571 | -0,0315 | -11,562 | 0,364 | 0,226 | -1,487 |
| 195 | 3,3 | 1132,89 | 72,89 | 0,073 | 0,047 | 13,504 | -0,0315 | -11,265 | 0,355 | 0,209 | -1,563 |
| 200 | 3,3 | 1130,67 | 70,67 | 0,071 | 0,045 | 12,863 | -0,0315 | -10,984 | 0,346 | 0,200 | -1,612 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 260 | 4,3 | 1103,30 | 43,30 | 0,043 | 0,017 | 4,986 | -0,0315 | -8,449 | 0,266 | 0,077 | -2,559 |
| 265 | 4,4 | 1100,85 | 40,85 | 0,041 | 0,015 | 4,284 | -0,0315 | -8,290 | 0,261 | 0,066 | -2,711 |
| 270 | 4,5 | 1098,62 | 38,62 | 0,039 | 0,013 | 3,640 | -0,0315 | -8,136 | 0,256 | 0,056 | -2,874 |
| 275 | 4,6 | 1095,71 | 35,71 | 0,036 | 0,010 | 2,803 | -0,0315 | -7,988 | 0,252 | 0,043 | -3,135 |
| 280 | 4,7 | 1092,52 | 32,52 | 0,033 | 0,007 | 1,886 | -0,0315 | -7,845 | 0,247 | 0,029 | -3,532 |
| 285 | 4,8 | 1089,76 | 29,76 | 0,030 | 0,004 | 1,091 | -0,0315 | -7,708 | 0,243 | 0,017 | -4,079 |
| 290 | 4,8 | 1087,13 | 27,13 | 0,027 | 0,001 | 0,334 | -0,0315 | -7,575 | 0,239 | 0,005 | -5,262 |
| 295 | 4,9 | 1085,97 | 25,97 | 0,026 | 0,000 | 0,000 | -0,0315 | -7,447 | 0,235 | 0,000 | #iNUM! |

ANEXO 8: SECCIONES PARA VELOCIDAD CONSTANTE Y DECRECIENTE
 (T= 45 °C, V= 1,5 m/s)

Gráfico 7: Primera Sección de Velocidad Constante

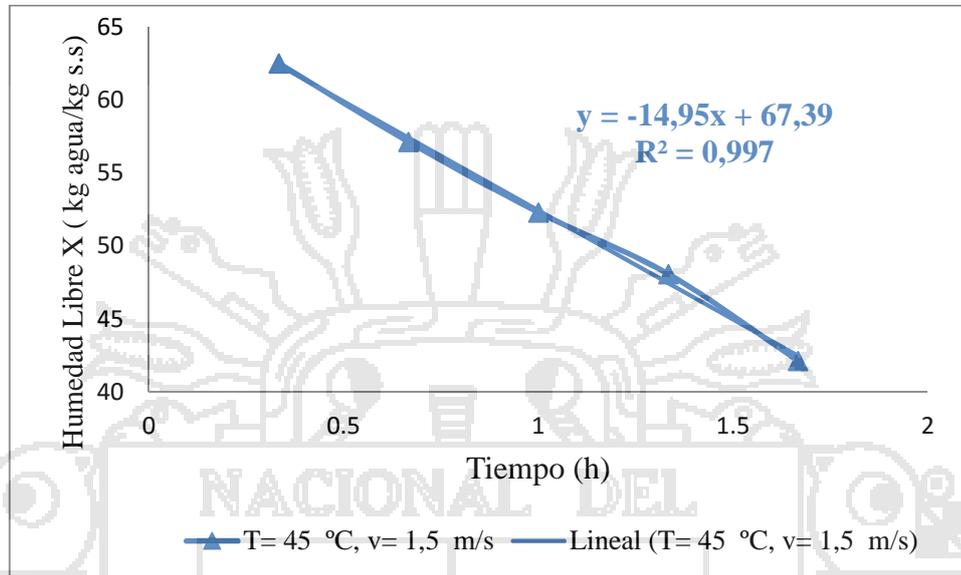
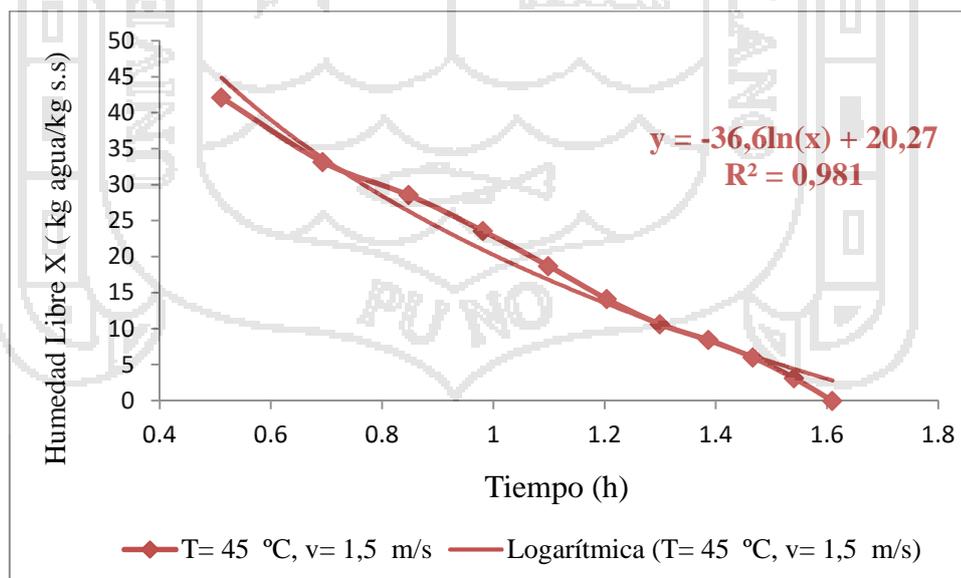


Gráfico 8: Segunda Sección de Velocidad Decreciente





ANEXO 9: RESULTADOS DE PERDIDA DE HUMEDAD (T= 60 °C, V= 1 m/s)

| Humedad inicial (%) | Solido seco (g s.s.) | Peso bandeja (g) | Área bandeja (m) | PENDIENTE | | Solido seco (kg) | Peso final (kg) | Humedad equilibrio (kg agua/kg s.s.) | X inicial (kg agua/kg s.s.) | LS/A |
|---------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------|---------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------|
| | | | | R. LINEAL | R. EXP. (1/x) | | | | | |
| 98,61% | 3,475 | 1060 | 0,11024 | -21,230 | -59,500 | 0,00348 | 0,0255 | 0,02207 | 64,70856 | 0,03152 |

| Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso+Bandeja (g) | Peso-Bandeja (g) | Peso (kg) | Peso agua (kg) | X (kg agua/kg s.s.) | LS/A | dX/dt | R | X/X0 | Ln Y |
|--------------|------------|------------------|------------------|-----------|----------------|---------------------|--------|---------|-------|-------|--------|
| 0 | 0,0 | 1310,39 | 250,39 | 0,250 | 0,225 | 64,709 | -0,032 | - | - | 1,000 | 0,000 |
| 5 | 0,1 | 1309,44 | 249,44 | 0,249 | 0,224 | 64,437 | -0,032 | - | - | 0,996 | -0,004 |
| 10 | 0,2 | 1308,81 | 248,81 | 0,249 | 0,223 | 64,256 | -0,032 | - | - | 0,993 | -0,007 |
| 15 | 0,3 | 1303,32 | 243,32 | 0,243 | 0,218 | 62,675 | -0,032 | - | - | 0,969 | -0,032 |
| 20 | 0,3 | 1297,21 | 237,21 | 0,237 | 0,212 | 60,918 | -0,032 | - | - | 0,941 | -0,060 |
| 25 | 0,4 | 1291,67 | 231,67 | 0,232 | 0,206 | 59,322 | -0,032 | - | - | 0,917 | -0,087 |
| 30 | 0,5 | 1286,99 | 226,99 | 0,227 | 0,201 | 57,977 | -0,032 | - | - | 0,896 | -0,110 |
| 35 | 0,6 | 1283,19 | 223,19 | 0,223 | 0,198 | 56,884 | -0,032 | - | - | 0,879 | -0,129 |
| 40 | 0,7 | 1280,02 | 220,02 | 0,220 | 0,194 | 55,970 | -0,032 | - | - | 0,865 | -0,145 |
| 45 | 0,8 | 1275,17 | 215,17 | 0,215 | 0,190 | 54,576 | -0,032 | - | - | 0,843 | -0,170 |
| 50 | 0,8 | 1268,93 | 208,93 | 0,209 | 0,183 | 52,779 | -0,032 | - | - | 0,816 | -0,204 |
| 55 | 0,9 | 1264,18 | 204,18 | 0,204 | 0,179 | 51,412 | -0,032 | - | - | 0,795 | -0,230 |
| 60 | 1,0 | 1260,78 | 200,78 | 0,201 | 0,175 | 50,433 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,779 | -0,249 |
| 65 | 1,1 | 1258,14 | 198,14 | 0,198 | 0,173 | 49,673 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,768 | -0,264 |
| 70 | 1,2 | 1255,79 | 195,79 | 0,196 | 0,170 | 48,998 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,757 | -0,278 |
| 75 | 1,3 | 1253,41 | 193,41 | 0,193 | 0,168 | 48,313 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,747 | -0,292 |
| 80 | 1,3 | 1250,74 | 190,74 | 0,191 | 0,165 | 47,546 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,735 | -0,308 |
| 85 | 1,4 | 1247,65 | 187,65 | 0,188 | 0,162 | 46,656 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,721 | -0,327 |
| 90 | 1,5 | 1243,89 | 183,89 | 0,184 | 0,158 | 45,574 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,704 | -0,351 |
| 95 | 1,6 | 1239,36 | 179,36 | 0,179 | 0,154 | 44,269 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,684 | -0,380 |
| 100 | 1,7 | 1234,24 | 174,24 | 0,174 | 0,149 | 42,796 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,661 | -0,413 |
| 105 | 1,8 | 1228,80 | 168,80 | 0,169 | 0,143 | 41,230 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,637 | -0,451 |
| 110 | 1,8 | 1223,01 | 163,01 | 0,163 | 0,137 | 39,565 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,611 | -0,492 |
| 115 | 1,9 | 1216,84 | 156,84 | 0,157 | 0,131 | 37,788 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,584 | -0,538 |
| 120 | 2,0 | 1210,57 | 150,57 | 0,151 | 0,125 | 35,986 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,556 | -0,587 |
| 125 | 2,1 | 1204,05 | 144,05 | 0,144 | 0,119 | 34,108 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,527 | -0,640 |
| 130 | 2,2 | 1197,51 | 137,51 | 0,138 | 0,112 | 32,225 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,498 | -0,697 |
| 135 | 2,3 | 1190,94 | 130,94 | 0,131 | 0,105 | 30,336 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,469 | -0,758 |
| 140 | 2,3 | 1184,34 | 124,34 | 0,124 | 0,099 | 28,436 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,439 | -0,822 |
| 145 | 2,4 | 1177,70 | 117,70 | 0,118 | 0,092 | 26,524 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,410 | -0,892 |
| 150 | 2,5 | 1171,08 | 111,08 | 0,111 | 0,086 | 24,620 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,380 | -0,966 |
| 155 | 2,6 | 1164,69 | 104,69 | 0,105 | 0,079 | 22,781 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,352 | -1,044 |
| 160 | 2,7 | 1158,33 | 98,33 | 0,098 | 0,073 | 20,952 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,324 | -1,128 |
| 165 | 2,8 | 1151,49 | 91,49 | 0,091 | 0,066 | 18,982 | -0,032 | -21,230 | 0,669 | 0,293 | -1,226 |
| 170 | 2,8 | 1142,93 | 82,93 | 0,083 | 0,057 | 16,519 | -0,032 | -21,000 | 0,662 | 0,255 | -1,365 |
| 175 | 2,9 | 1132,95 | 72,95 | 0,073 | 0,047 | 13,648 | -0,032 | -20,400 | 0,643 | 0,211 | -1,556 |
| 180 | 3,0 | 1125,97 | 65,97 | 0,066 | 0,040 | 11,640 | -0,032 | -19,833 | 0,625 | 0,180 | -1,715 |
| 185 | 3,1 | 1120,74 | 60,74 | 0,061 | 0,035 | 10,133 | -0,032 | -19,297 | 0,608 | 0,157 | -1,854 |
| 190 | 3,2 | 1116,73 | 56,73 | 0,057 | 0,031 | 8,980 | -0,032 | -18,789 | 0,592 | 0,139 | -1,975 |
| 195 | 3,3 | 1114,57 | 54,57 | 0,055 | 0,029 | 8,358 | -0,032 | -18,308 | 0,577 | 0,129 | -2,047 |
| 200 | 3,3 | 1111,73 | 51,73 | 0,052 | 0,026 | 7,542 | -0,032 | -17,850 | 0,563 | 0,117 | -2,149 |
| 205 | 3,4 | 1109,46 | 49,46 | 0,049 | 0,024 | 6,888 | -0,032 | -17,415 | 0,549 | 0,106 | -2,240 |
| 210 | 3,5 | 1105,80 | 45,80 | 0,046 | 0,020 | 5,836 | -0,032 | -17,000 | 0,536 | 0,090 | -2,406 |
| 215 | 3,6 | 1102,96 | 42,96 | 0,043 | 0,017 | 5,018 | -0,032 | -16,605 | 0,523 | 0,078 | -2,557 |
| 220 | 3,7 | 1098,99 | 38,99 | 0,039 | 0,013 | 3,875 | -0,032 | -16,227 | 0,512 | 0,060 | -2,815 |
| 225 | 3,8 | 1094,91 | 34,91 | 0,035 | 0,009 | 2,701 | -0,032 | -15,867 | 0,500 | 0,042 | -3,176 |
| 230 | 3,8 | 1090,42 | 30,42 | 0,030 | 0,005 | 1,408 | -0,032 | -15,522 | 0,489 | 0,022 | -3,827 |
| 235 | 3,9 | 1086,73 | 26,73 | 0,027 | 0,001 | 0,349 | -0,032 | -15,191 | 0,479 | 0,005 | -5,224 |
| 240 | 4,0 | 1085,52 | 25,52 | 0,026 | 0,000 | 0,000 | -0,032 | -14,875 | 0,469 | 0,000 | #iNUM! |

ANEXO 10: SECCIONES PARA VELOCIDAD CONSTANTE Y DECRECIENTE
(T= 60 °C, V= 1 m/s)

Gráfico 9: Primera Sección de Velocidad Constante

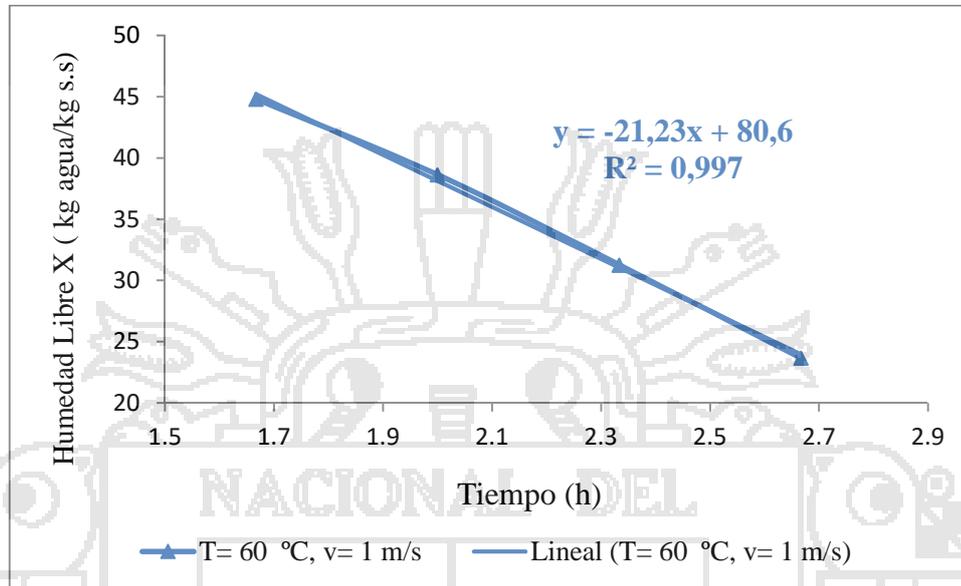
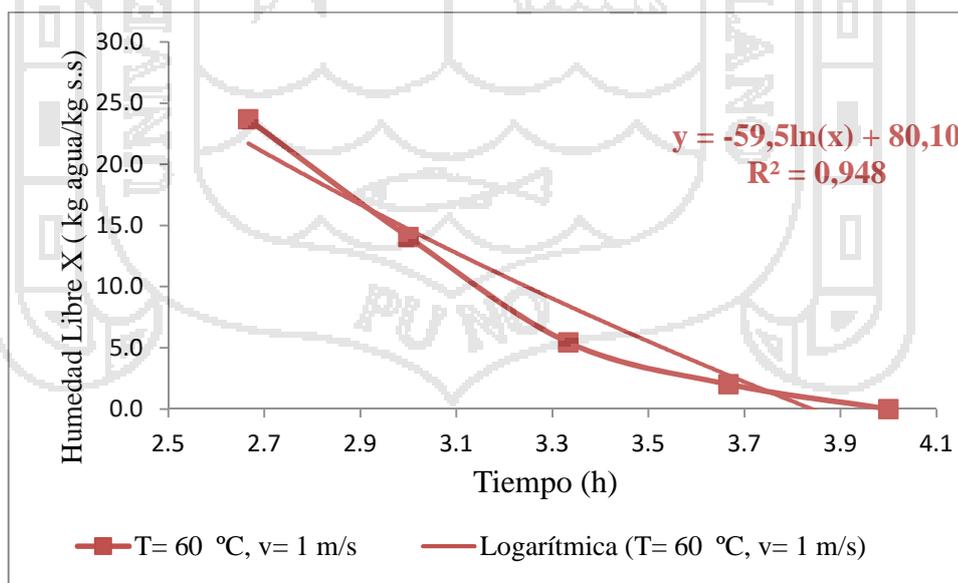


Gráfico 10: Segunda Sección de Velocidad Decreciente





ANEXO 11: RESULTADOS DE PERDIDA DE HUMEDAD (T= 60 °C, V= 1,5 m/s)

| Humedad inicial (%) | Solido seco (g s.s.) | Peso bandeja (g) | Area bandeja (m) | PENDIENTE | | Solido seco (kg) | Peso final (kg) | Humedad equilibrio (kg agua/kg s.s.) | X inicial (kg agua/kg s.s.) | LS/A |
|---------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------|----------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| | | | | R. LINEAL | R. EXP . (1/x) | | | | | |
| 98,61% | 3,475 | 1060 | 0,11024 | -20,9200 | -56,600 | 0,003475 | 0,0258 | 0,022347 | 64,6634293 | 0,0315221 |

| Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso+Bandeja (g) | Peso-Bandeja (g) | Peso (kg) | Peso agua (kg) | X (kg agua/kg s.s.) | LS/A | dX/dt | R | X/X0 | Ln Y |
|--------------|------------|------------------|------------------|-----------|----------------|---------------------|--------|--------|---------|-------|--------|
| 0 | 0,0 | 1310,69 | 250,69 | 0,251 | 0,225 | 64,663 | -0,032 | - | - | 1,000 | 0,000 |
| 5 | 0,1 | 1309,20 | 249,20 | 0,249 | 0,223 | 64,234 | -0,032 | - | - | 0,993 | -0,007 |
| 10 | 0,2 | 1305,20 | 245,20 | 0,245 | 0,219 | 63,082 | -0,032 | - | - | 0,976 | -0,025 |
| 15 | 0,3 | 1300,19 | 240,19 | 0,240 | 0,214 | 61,640 | -0,032 | - | - | 0,953 | -0,048 |
| 20 | 0,3 | 1295,00 | 235,00 | 0,235 | 0,209 | 60,148 | -0,032 | - | - | 0,930 | -0,072 |
| 25 | 0,4 | 1290,33 | 230,33 | 0,230 | 0,204 | 58,802 | -0,032 | - | - | 0,909 | -0,095 |
| 30 | 0,5 | 1286,29 | 226,29 | 0,226 | 0,200 | 57,640 | -0,032 | - | - | 0,891 | -0,115 |
| 35 | 0,6 | 1282,89 | 222,89 | 0,223 | 0,197 | 56,661 | -0,032 | - | - | 0,876 | -0,132 |
| 40 | 0,7 | 1278,66 | 218,66 | 0,219 | 0,193 | 55,445 | -0,032 | - | - | 0,857 | -0,154 |
| 45 | 0,8 | 1272,13 | 212,13 | 0,212 | 0,186 | 53,565 | -0,032 | - | - | 0,828 | -0,188 |
| 50 | 0,8 | 1266,24 | 206,24 | 0,206 | 0,180 | 51,871 | -0,032 | - | - | 0,802 | -0,220 |
| 55 | 0,9 | 1261,47 | 201,47 | 0,201 | 0,175 | 50,498 | -0,032 | - | - | 0,781 | -0,247 |
| 60 | 1,0 | 1257,61 | 197,61 | 0,198 | 0,172 | 49,386 | -0,032 | - | - | 0,764 | -0,270 |
| 65 | 1,1 | 1254,26 | 194,26 | 0,194 | 0,168 | 48,422 | -0,032 | - | - | 0,749 | -0,289 |
| 70 | 1,2 | 1251,00 | 191,00 | 0,191 | 0,165 | 47,484 | -0,032 | - | - | 0,734 | -0,309 |
| 75 | 1,3 | 1247,51 | 187,51 | 0,188 | 0,162 | 46,480 | -0,032 | - | - | 0,719 | -0,330 |
| 80 | 1,3 | 1243,77 | 183,77 | 0,184 | 0,158 | 45,404 | -0,032 | - | - | 0,702 | -0,354 |
| 85 | 1,4 | 1239,65 | 179,65 | 0,180 | 0,154 | 44,219 | -0,032 | - | - | 0,684 | -0,380 |
| 90 | 1,5 | 1235,20 | 175,20 | 0,175 | 0,149 | 42,939 | -0,032 | - | - | 0,664 | -0,409 |
| 95 | 1,6 | 1230,36 | 170,36 | 0,170 | 0,144 | 41,545 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,642 | -0,442 |
| 100 | 1,7 | 1225,17 | 165,17 | 0,165 | 0,139 | 40,052 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,619 | -0,479 |
| 105 | 1,8 | 1219,64 | 159,64 | 0,160 | 0,134 | 38,461 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,595 | -0,520 |
| 110 | 1,8 | 1213,84 | 153,84 | 0,154 | 0,128 | 36,791 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,569 | -0,564 |
| 115 | 1,9 | 1207,68 | 147,68 | 0,148 | 0,122 | 35,019 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,542 | -0,613 |
| 120 | 2,0 | 1201,34 | 141,34 | 0,141 | 0,115 | 33,194 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,513 | -0,667 |
| 125 | 2,1 | 1194,97 | 134,97 | 0,135 | 0,109 | 31,361 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,485 | -0,724 |
| 130 | 2,2 | 1188,47 | 128,47 | 0,128 | 0,102 | 29,492 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,456 | -0,785 |
| 135 | 2,3 | 1181,93 | 121,93 | 0,122 | 0,096 | 27,608 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,427 | -0,851 |
| 140 | 2,3 | 1175,26 | 115,26 | 0,115 | 0,089 | 25,691 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,397 | -0,923 |
| 145 | 2,4 | 1168,52 | 108,52 | 0,109 | 0,083 | 23,751 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,367 | -1,002 |
| 150 | 2,5 | 1161,83 | 101,83 | 0,102 | 0,076 | 21,826 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,338 | -1,086 |
| 155 | 2,6 | 1155,27 | 95,27 | 0,095 | 0,069 | 19,936 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,308 | -1,177 |
| 160 | 2,7 | 1148,91 | 88,91 | 0,089 | 0,063 | 18,108 | -0,032 | -0,034 | -20,920 | 0,280 | -1,273 |
| 165 | 2,8 | 1142,60 | 82,60 | 0,083 | 0,057 | 16,292 | -0,032 | -0,034 | -20,582 | 0,252 | -1,379 |
| 170 | 2,8 | 1136,08 | 76,08 | 0,076 | 0,050 | 14,415 | -0,032 | -0,034 | -19,976 | 0,223 | -1,501 |
| 175 | 2,9 | 1130,18 | 70,18 | 0,070 | 0,044 | 12,718 | -0,032 | -0,034 | -19,406 | 0,197 | -1,626 |
| 180 | 3,0 | 1124,17 | 64,17 | 0,064 | 0,038 | 10,988 | -0,032 | -0,034 | -18,867 | 0,170 | -1,772 |
| 185 | 3,1 | 1118,36 | 58,36 | 0,058 | 0,032 | 9,317 | -0,032 | -0,034 | -18,357 | 0,144 | -1,937 |
| 190 | 3,2 | 1112,65 | 52,65 | 0,053 | 0,027 | 7,674 | -0,032 | -0,034 | -17,874 | 0,119 | -2,131 |
| 195 | 3,3 | 1108,40 | 48,40 | 0,048 | 0,022 | 6,450 | -0,032 | -0,034 | -17,415 | 0,100 | -2,305 |
| 200 | 3,3 | 1105,41 | 45,41 | 0,045 | 0,019 | 5,587 | -0,032 | -0,034 | -16,980 | 0,086 | -2,449 |
| 205 | 3,4 | 1102,25 | 42,25 | 0,042 | 0,016 | 4,679 | -0,032 | -0,034 | -16,566 | 0,072 | -2,626 |
| 210 | 3,5 | 1099,47 | 39,47 | 0,039 | 0,013 | 3,879 | -0,032 | -0,034 | -16,171 | 0,060 | -2,813 |
| 215 | 3,6 | 1097,01 | 37,01 | 0,037 | 0,011 | 3,170 | -0,032 | -0,034 | -15,795 | 0,049 | -3,015 |
| 220 | 3,7 | 1094,00 | 34,00 | 0,034 | 0,008 | 2,306 | -0,032 | -0,034 | -15,436 | 0,036 | -3,334 |
| 225 | 3,8 | 1091,86 | 31,86 | 0,032 | 0,006 | 1,691 | -0,032 | -0,034 | -15,093 | 0,026 | -3,644 |
| 230 | 3,8 | 1089,28 | 29,28 | 0,029 | 0,003 | 0,948 | -0,032 | -0,034 | -14,765 | 0,015 | -4,223 |
| 235 | 3,9 | 1087,00 | 27,00 | 0,027 | 0,001 | 0,290 | -0,032 | -0,034 | -14,451 | 0,004 | -5,406 |
| 240 | 4,0 | 1085,99 | 25,99 | 0,026 | 0,000 | 0,000 | -0,032 | -0,034 | -14,150 | 0,000 | #iNUM! |

ANEXO 12: SECCIONES PARA VELOCIDAD CONSTANTE Y DECRECIENTE
(T= 60 °C, V= 1,5 m/s)

Gráfico 11: Primera Sección de Velocidad Constante

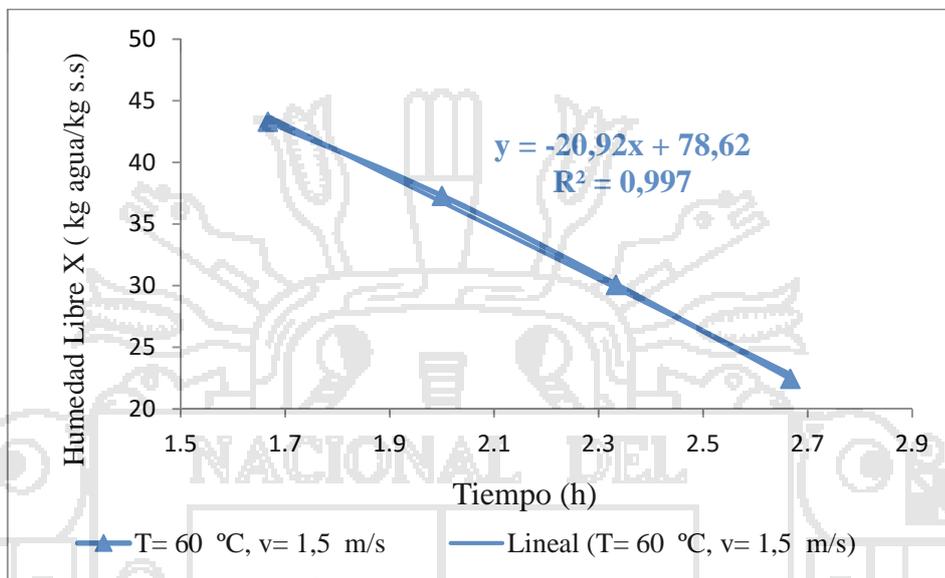
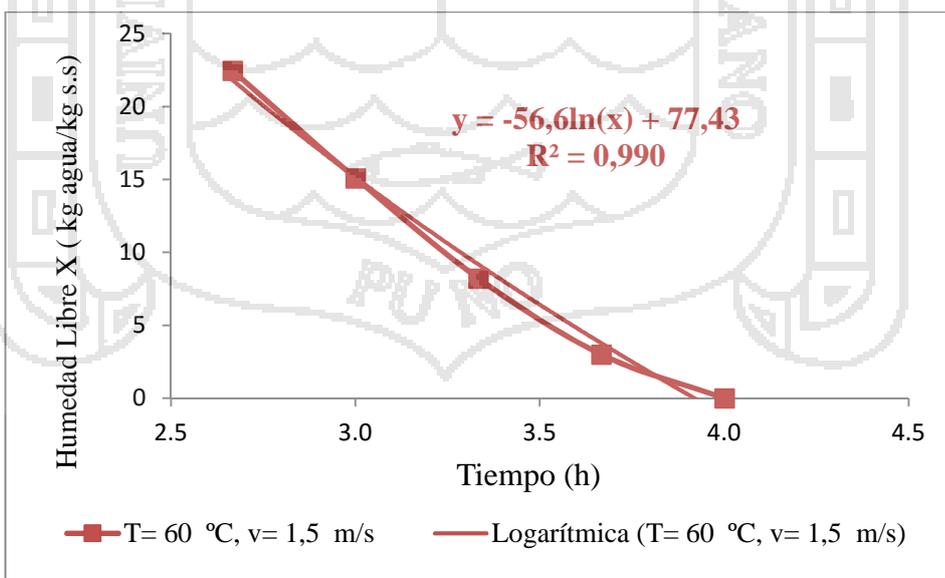


Gráfico 12: Segunda Sección de Velocidad Decreciente



ANEXO 13: TRATAMIENTO PARA EL ANALISIS ESTADISTICO**Diseño Base**

Número de factores experimentales: 2

Número de respuestas: 2

Número de corridas: 18

Grados de libertad para el error: 12

Aleatorizar: Sí

| <i>Factores</i> | <i>Niveles</i> | <i>Unidades</i> |
|-----------------------------|----------------|-----------------|
| Temperatura | 3 | °C |
| Velocidad de aire de secado | 2 | m/s |

| <i>Respuestas</i> | <i>Unidades</i> |
|----------------------|-------------------|
| Tiempo de secado | h |
| Difusividad efectiva | m ² /s |

| Datos | Temperatura (°C) | Velocidad de aire de secado (m/s) | Tiempo de secado (h) | Difusividad efectiva del agua (m ² /s) |
|-------|------------------|-----------------------------------|----------------------|---|
| 1 | 60 | 1 | 4 | 0,00003220 |
| 2 | 45 | 1 | 5 | 0,00001458 |
| 3 | 45 | 1 | 5,1 | 0,00001346 |
| 4 | 60 | 1,5 | 3,917 | 0,00003013 |
| 5 | 60 | 1,5 | 4,92 | 0,00002925 |
| 6 | 30 | 1 | 8 | 0,00000659 |
| 7 | 30 | 1,5 | 8,12 | 0,00000755 |
| 8 | 30 | 1,5 | 8,24 | 0,00000590 |
| 9 | 45 | 1,5 | 5 | 0,00001396 |
| 10 | 45 | 1,5 | 4,917 | 0,00001525 |
| 11 | 30 | 1,5 | 8 | 0,00000618 |
| 12 | 60 | 1 | 4,1 | 0,00004125 |
| 13 | 60 | 1 | 4,24 | 0,00005012 |
| 14 | 45 | 1 | 5,24 | 0,00001024 |
| 15 | 30 | 1 | 7,984 | 0,00000680 |
| 16 | 60 | 1,5 | 4 | 0,00002836 |
| 17 | 30 | 1 | 8,125 | 0,00000713 |
| 18 | 45 | 1,5 | 5,24 | 0,00001024 |

ANEXO 14: SECCIONES PARA LAS CURVAS DEL COEFICIENTE DE DIFUSION EFECTIVA DEL AGUA EN EL PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE DE SECADO

Gráfico 13: Curva de coeficiente de difusividad efectiva del agua (T= 30 °C, V= 1 m/s)

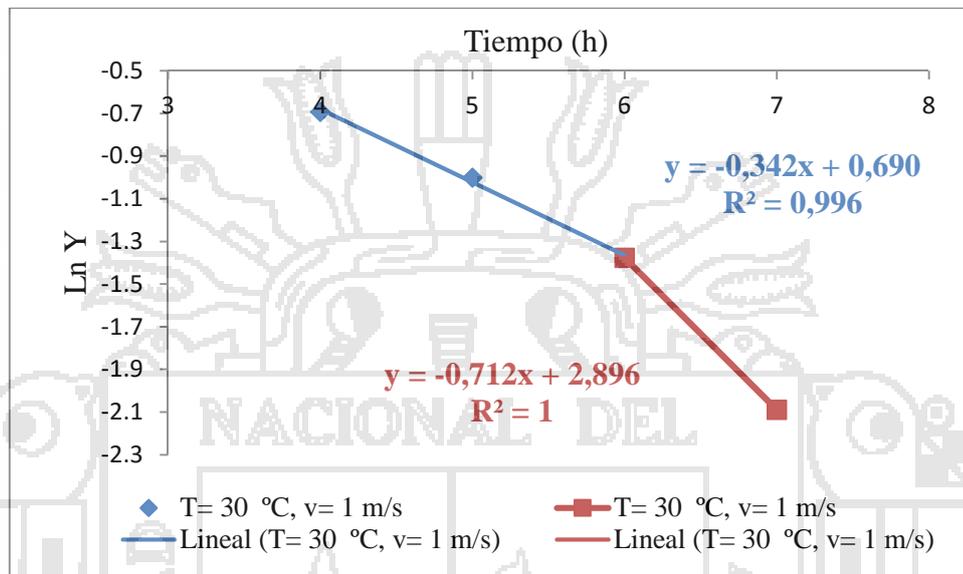


Gráfico 14: Curva de coeficiente de difusividad efectiva del agua (T= 30 °C, V= 1,5 m/s)

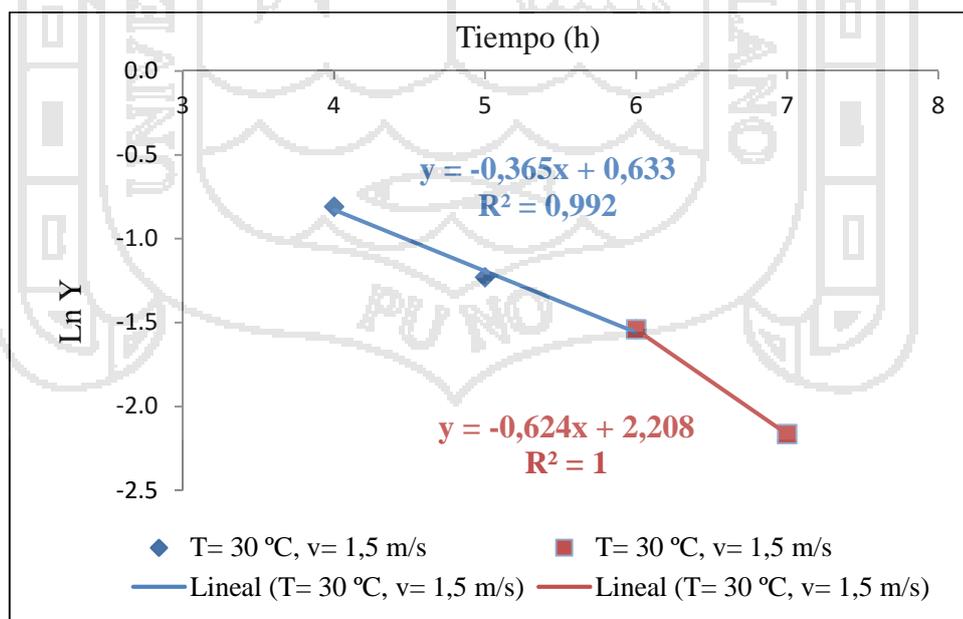


Gráfico 15: Curva de coeficiente de difusividad efectiva del agua (T= 45 °C, V= 1 m/s)

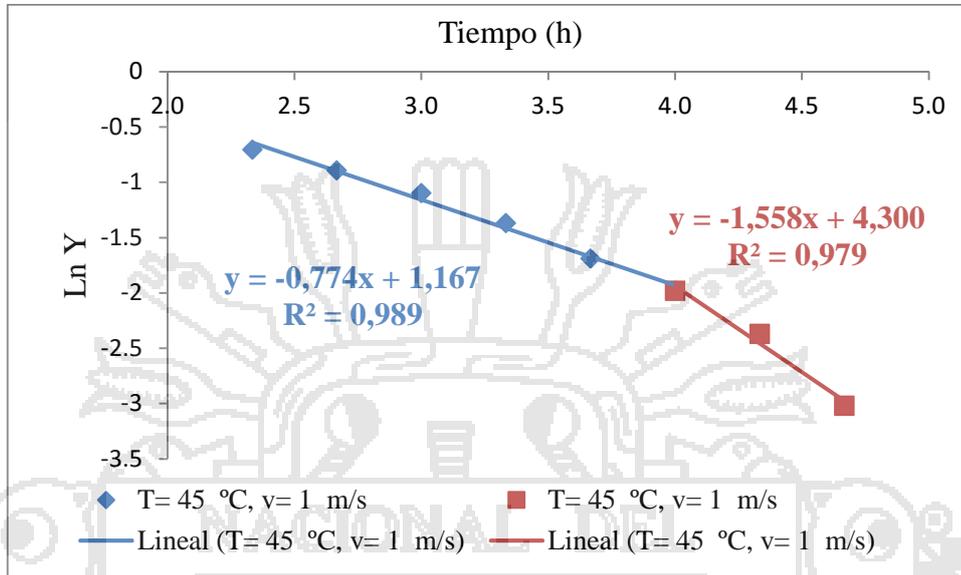


Gráfico 16: Curva de coeficiente de difusividad efectiva del agua (T= 45 °C, V= 1,5 m/s)

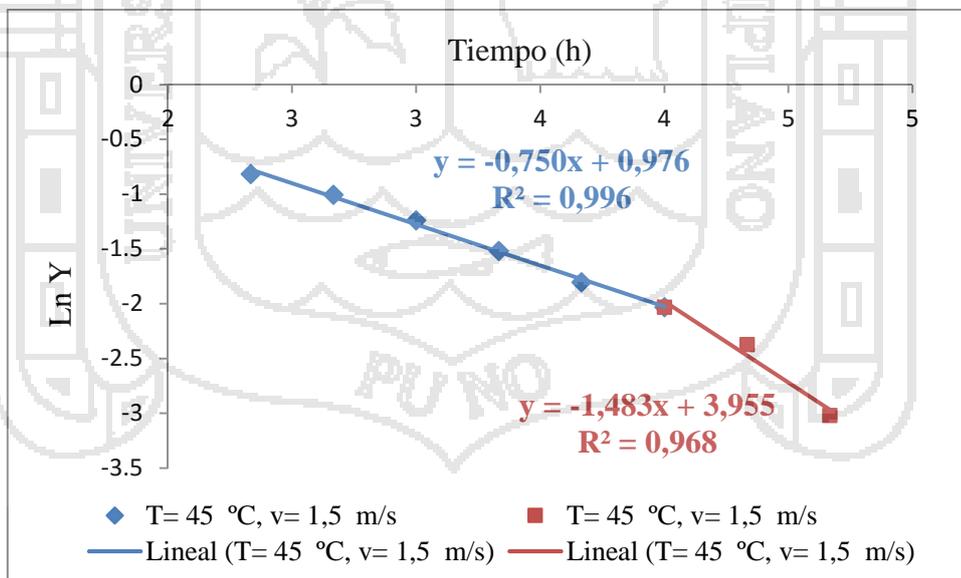


Gráfico 17: Curva de coeficiente de difusividad efectiva del agua (T= 60 °C, V= 1 m/s)

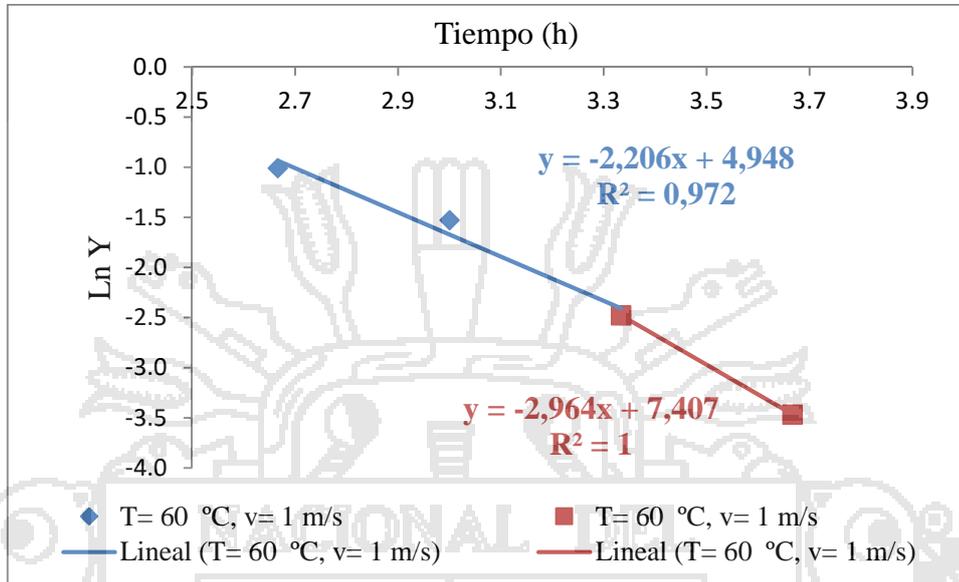
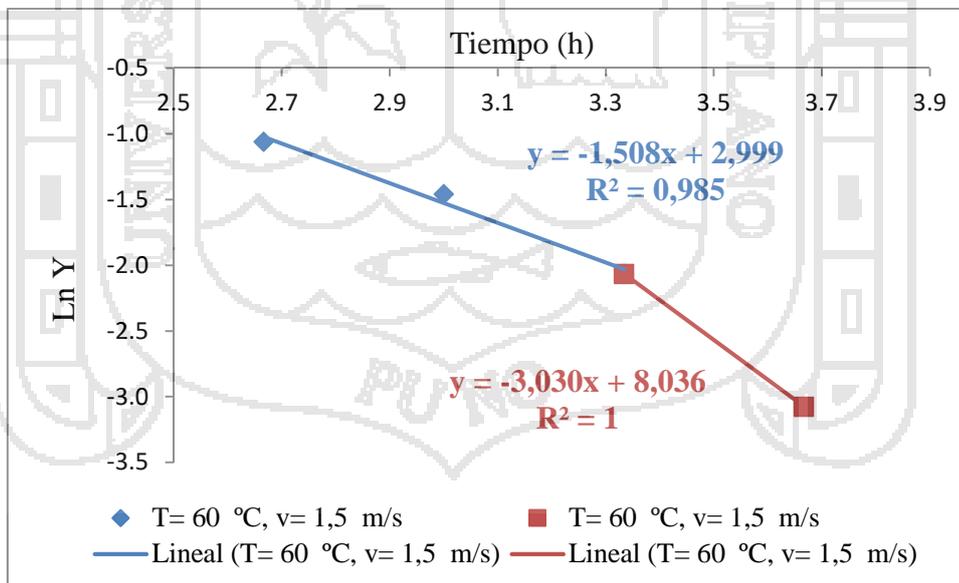


Gráfico 18: Curva de coeficiente de difusividad efectiva del agua (T= 60 °C, V= 1,5 m/s)



ANEXO 15: RESULTADOS DEL COEFICIENTE DE DIFUSION EFECTIVA DEL AGUA.

Los cálculos se realizaron con la solución de la ley de Fick modificada (Ecuación 9) para esfera en todos los casos como se muestra:

Difusividad efectiva para 30°C y Vel. Aire 1 m/s:

$$\Gamma = \frac{X - X_s}{X_0 - X_s} = \frac{6}{f^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{\left(\frac{-n^2 D_{ef} t}{r^2}\right)}$$

$$\Gamma = \frac{X}{X_0} = \frac{6}{f^2 \times n^2} \times e^{\left(\frac{-n^2 D_{ef} t}{r^2}\right)}$$

$$\ln \left(\frac{X}{X_0} \right) = \ln \left(\left(\frac{6}{f^2 \times n^2} \right) \times e^{\left(\frac{-n^2 D_{ef} t}{r^2}\right)} \right)$$

$$\ln \left(\frac{X}{X_0} \right) = \ln \left(\frac{6}{f^2 \times n^2} \right) - \left(\frac{n^2 D_{ef} t}{r^2} \right)$$

$$b = \left(\frac{n^2 D_{ef} t}{r^2} \right)$$

$$D_{ef} = \frac{r^2 b}{n^2}$$

Datos:

$$n = 1$$

$$r = 0.0025\text{m}$$

$$y = 0,3081x + 0,5413$$

$$D_{ef} = \frac{(0.0025)^2 \times 0,342}{1}$$

$$D_{ef} = 2,14\text{E}-06$$

| Difusividad efectiva del agua en el periodo decreciente | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|--------------|----------------|-----------|-----------------|------------------------|
| r (mm.) | 2,5 | | | | | | |
| Tramos | Temperatura (°C) | Vel. Aire (m/s) | Intersección | R ² | Pendiente | D _{ef} | D _{ef. Total} |
| Tramo 1 | 30 | 1 | 0,69 | 0,996 | 0,342 | 2,14E-06 | 6,588E-06 |
| | 30 | 1 | 2,896 | 1 | 0,712 | 4,45E-06 | |
| Tramo2 | 30 | 1,5 | 0,633 | 0,992 | 0,365 | 2,28E-06 | 6,181E-06 |
| | 30 | 1,5 | 2,208 | 1 | 0,624 | 3,90E-06 | |
| Tramo 1 | 45 | 1 | 1,167 | 0,989 | 0,774 | 4,84E-06 | 1,458E-05 |
| | 45 | 1 | 4,3 | 0,979 | 1,558 | 9,74E-06 | |
| Tramo 2 | 45 | 1,5 | 0,976 | 0,996 | 0,75 | 4,69E-06 | 1,396E-05 |
| | 45 | 1,5 | 3,955 | 0,968 | 1,483 | 9,27E-06 | |
| Tramo 1 | 60 | 1 | 4,948 | 0,972 | 2,206 | 1,38E-05 | 3,220E-05 |
| | 60 | 1 | 7,407 | 1 | 2,946 | 1,84E-05 | |
| Tramo 2 | 60 | 1,5 | 2,999 | 0,985 | 1,508 | 9,43E-06 | 2,836E-05 |
| | 60 | 1,5 | 8,036 | 1 | 3,03 | 1,89E-05 | |



ANEXO 16: SECCIONES PARA LAS CURVAS DEL AJUSTE APLICADO AL MODELO DE PAGE A LAS DIFERENTES MUESTRAS

Gráfico 19: Curva del ajuste aplicado al modelo de Page en los dos tramos de secado (T= 30 °C, V= 1 m/s)

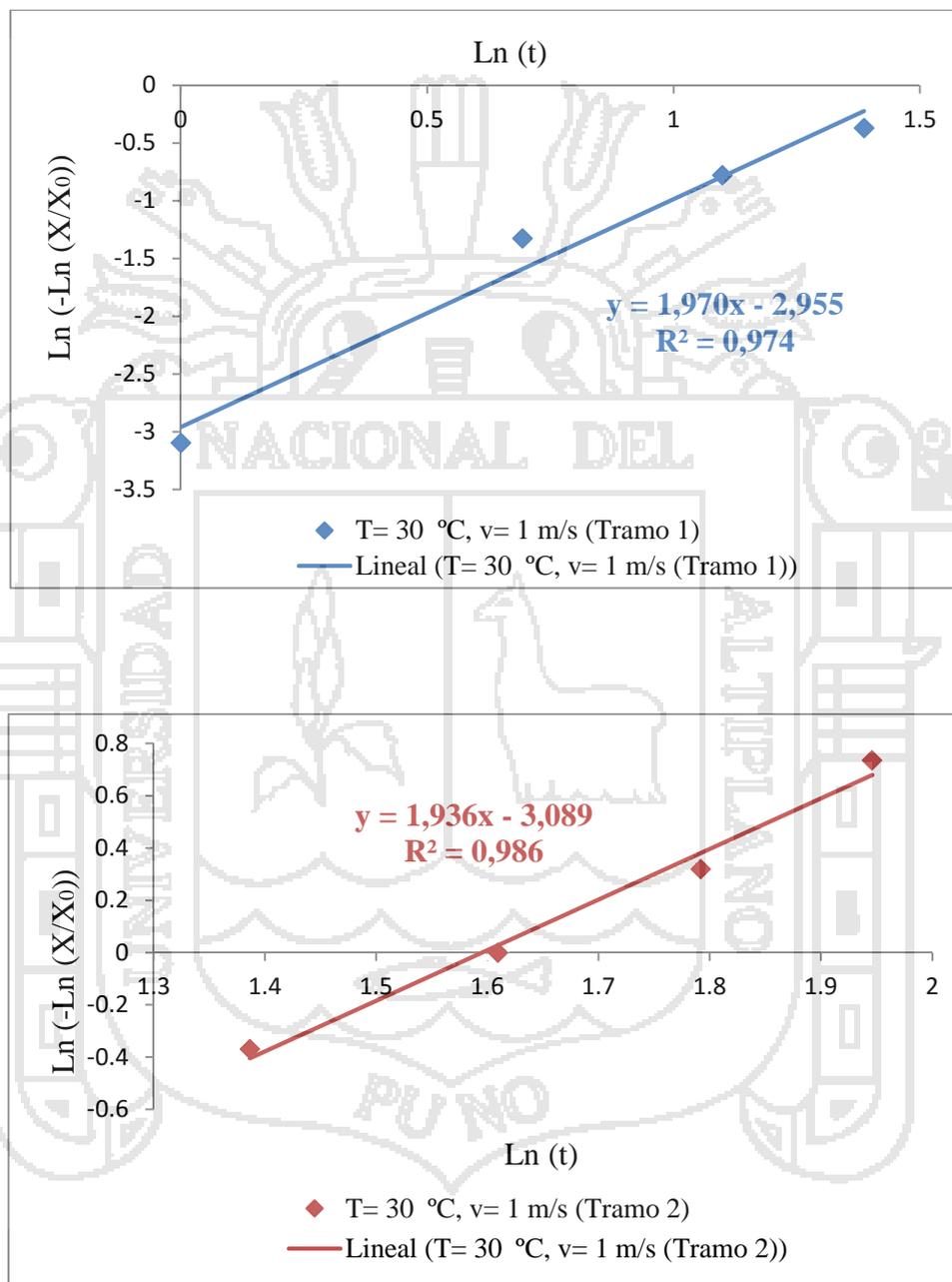


Gráfico 20: Curva del ajuste aplicado al modelo de Page en los dos tramos de secado (T= 30 °C, V= 1,5 m/s)

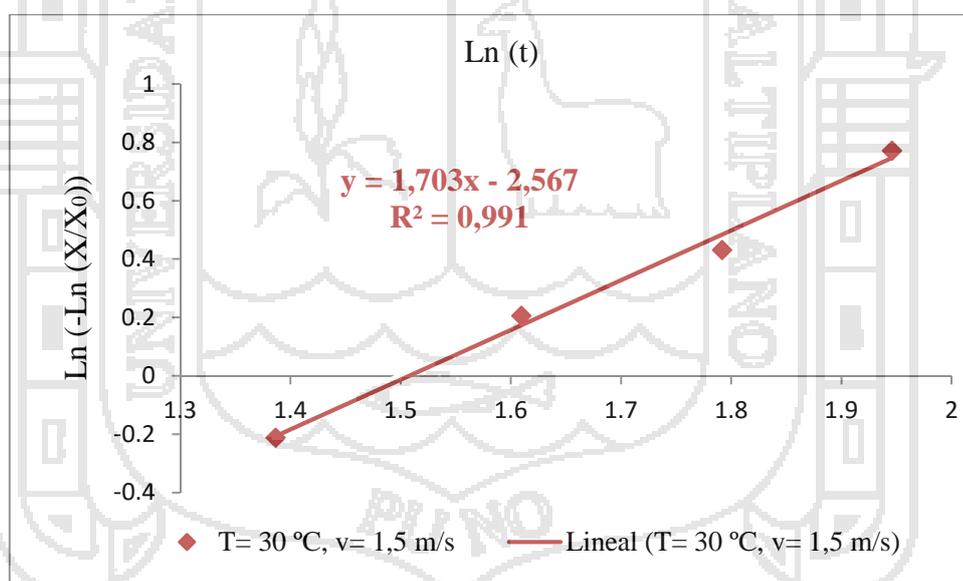
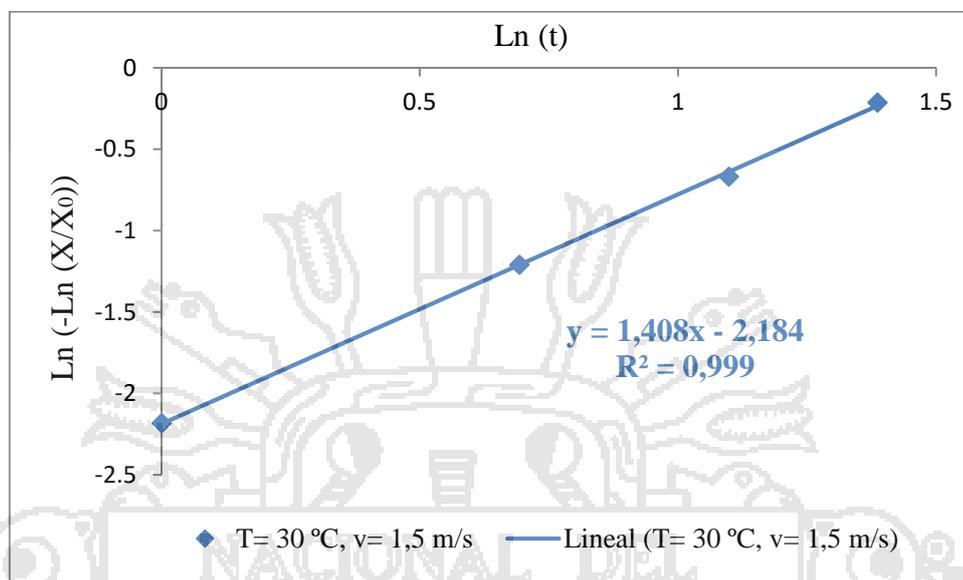


Gráfico 21: Curva del ajuste aplicado al modelo de Page en los dos tramos de secado (T= 45 °C, V= 1 m/s)

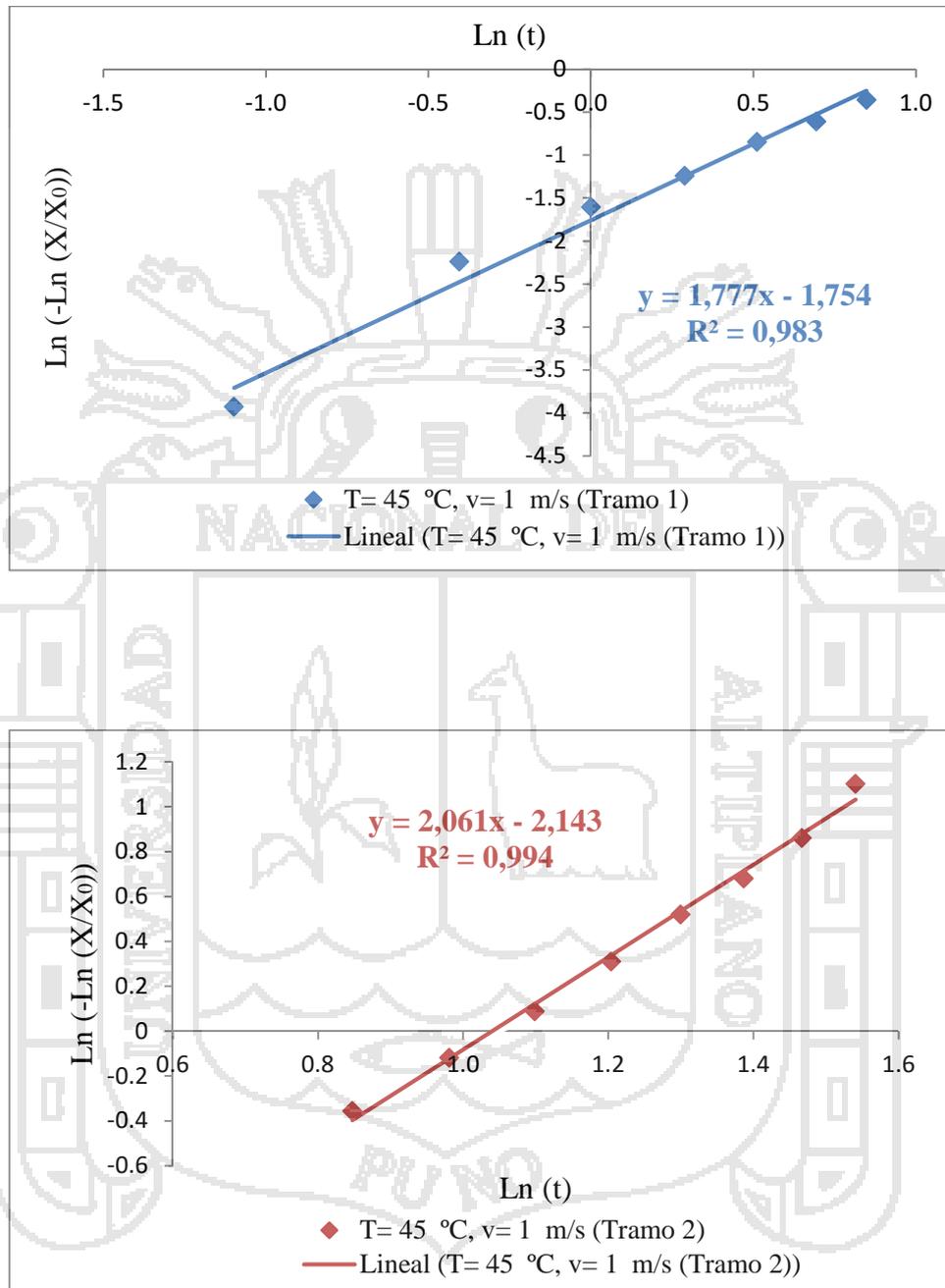


Gráfico 22: Curva del ajuste aplicado al modelo de Page en los dos tramos de secado (T= 45 °C, V= 1,5 m/s)

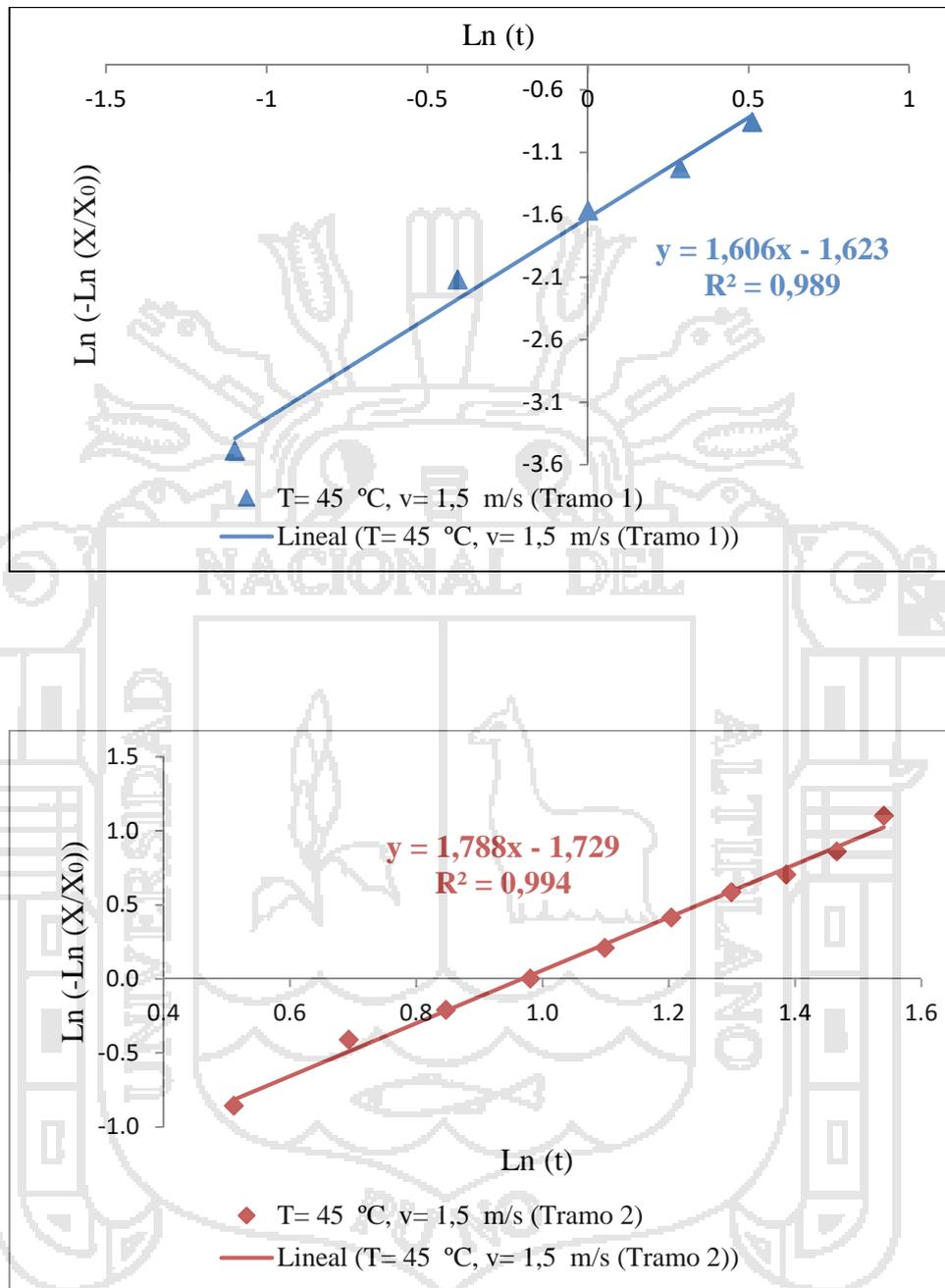


Gráfico 23: Curva del ajuste aplicado al modelo de Page en los dos tramos de secado (T= 60 °C, V= 1 m/s)

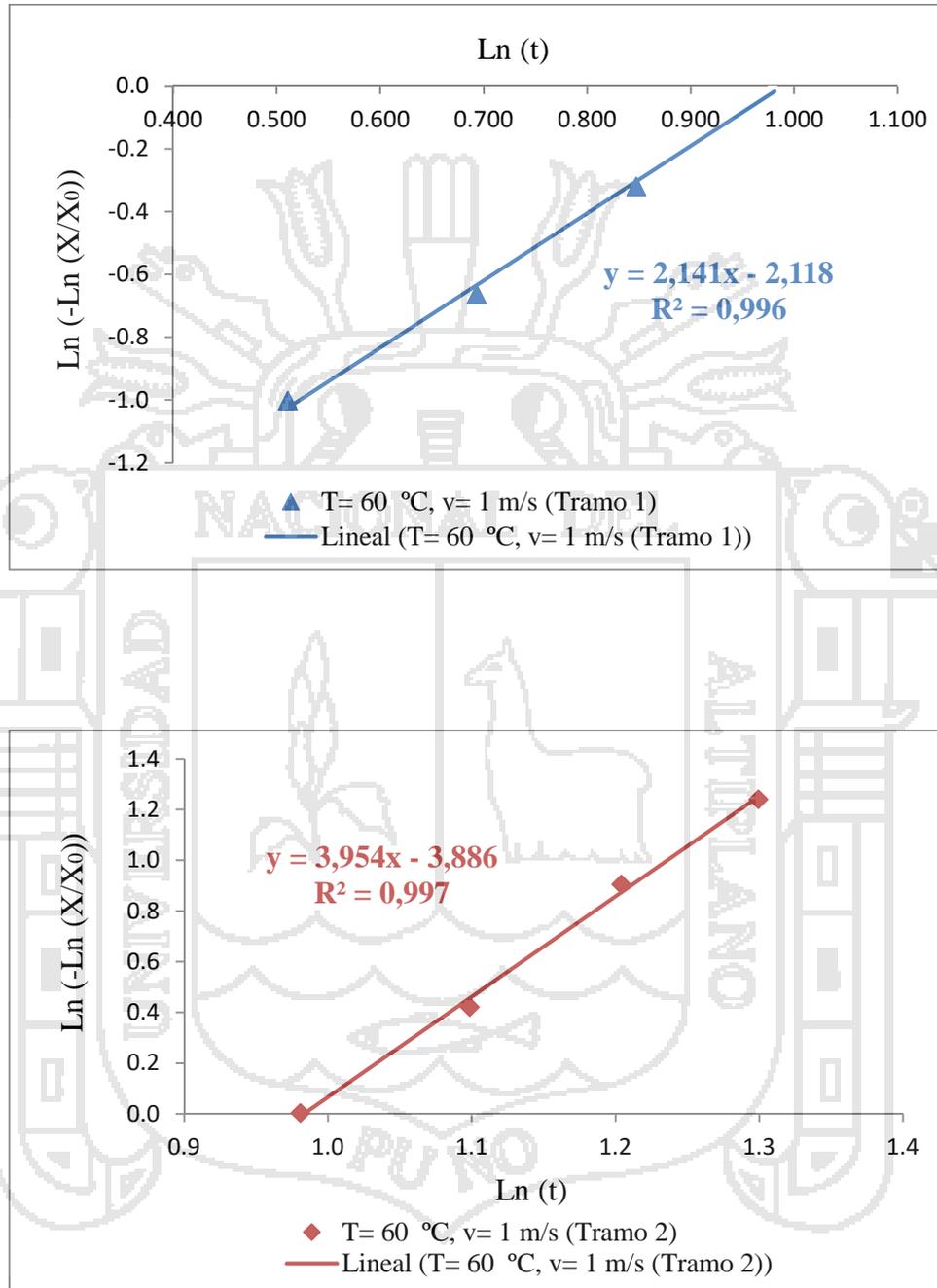
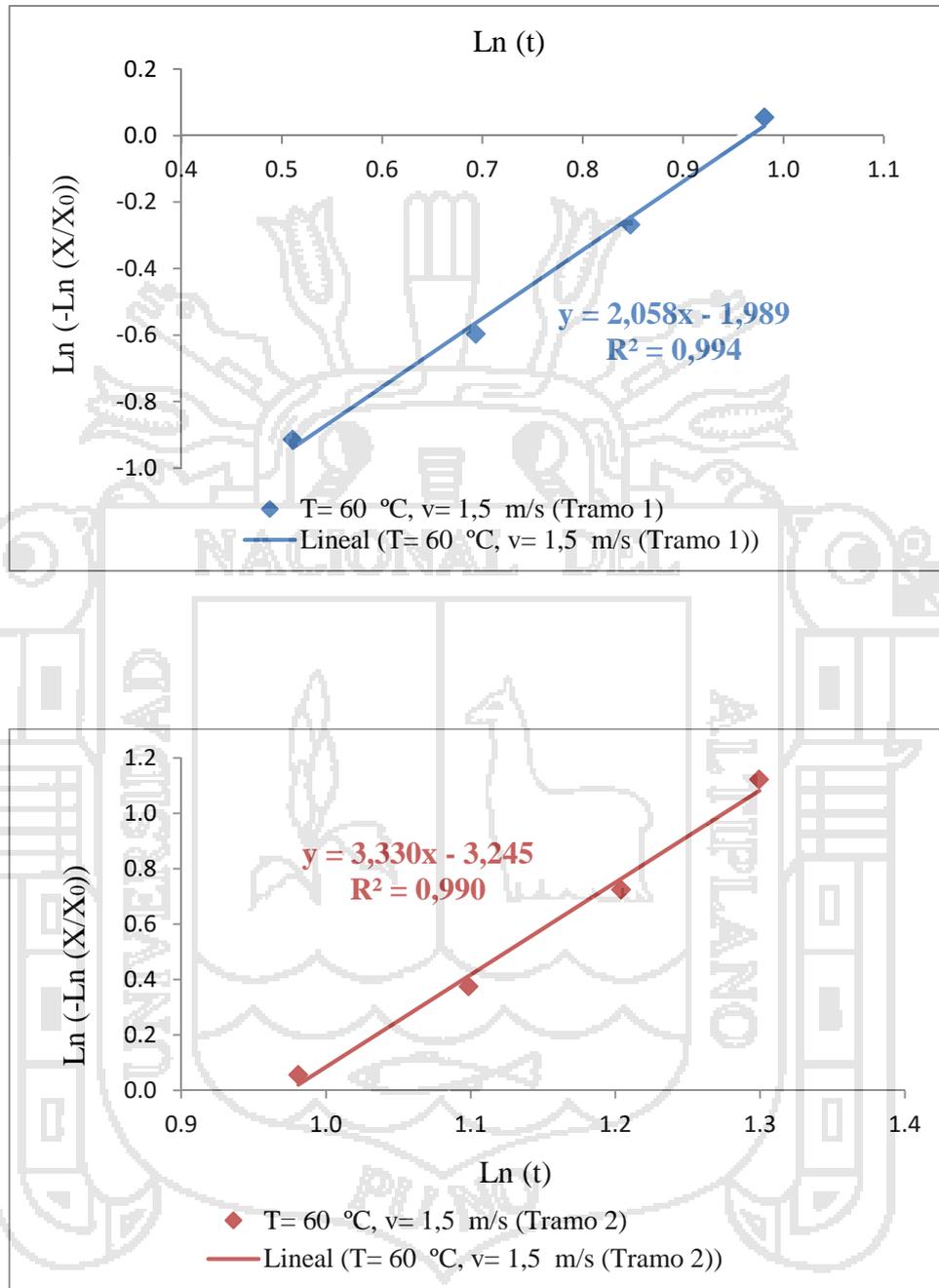


Gráfico 24: Curva del ajuste aplicado al modelo de Page en los dos tramos de secado (T= 60 °C, V= 1,5 m/s)



ANEXO 17: RESULTADOS DE LOS PARAMETROS DEL MODELO DE PAGE A LAS DIFERENTES MUESTRAS

Los cálculos se realizaron, empleando el modelo de Page (Ecuación 13), modelo difusional de tipo exponencial con dos parámetros K y N. para todos lo casos como se muestra:

$$\frac{X_{wt} - X_{we}}{X_{wo} - X_{we}} = \exp(-k_1 t^n)$$

$$y = a + bx$$

$$\frac{X_w}{X_0} = \exp(-k_1 t^n)$$

$$LN\left(\frac{X_w}{X_0}\right) = LN e^{(-k_1 t^n)}$$

$$LN\left(\frac{X_w}{X_0}\right) = -k_1 t^n$$

$$LN\left(-LN\left(\frac{X_w}{X_0}\right)\right) = LN(k_1 t^n)$$

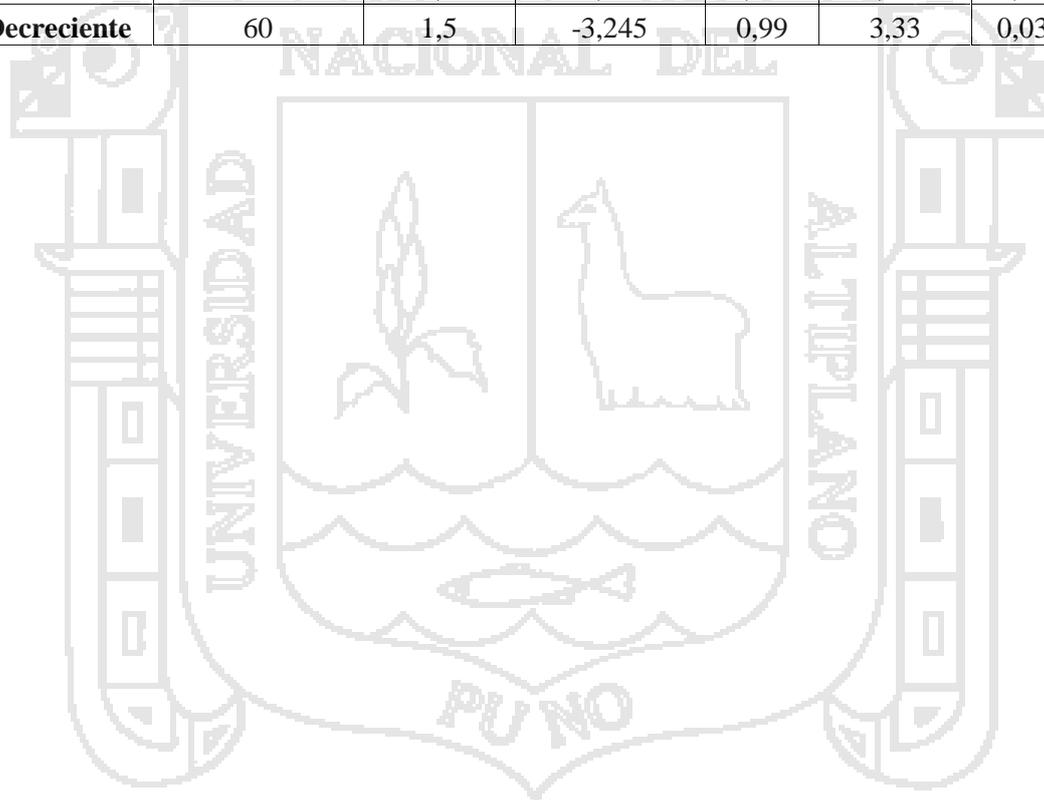
$$LN\left(-LN\left(\frac{X_w}{X_0}\right)\right) = LN(k_1) + nLN(t)$$

A partir del valor de la intersección (a) y la pendiente (b), se realizó la evaluación de los parámetros K y N, aplicando la siguiente ecuación:

$$LN(k_1) = a$$

$$n = b$$

| periodo de velocidad | Temperatura (°C) | Vel. Aire (m/s) | Intersección | R ² | Pendiente | k | n |
|----------------------|------------------|-----------------|--------------|----------------|-----------|--------|-------|
| Constante | 30 | 1 | -2,955 | 0,974 | 1,97 | 0,0521 | 1,97 |
| Decreciente | 30 | 1 | -3,089 | 0,986 | 1,936 | 0,0455 | 1,936 |
| Constante | 30 | 1,5 | -2,184 | 0,999 | 1,408 | 0,1126 | 1,408 |
| Decreciente | 30 | 1,5 | -2,567 | 0,991 | 1,703 | 0,0768 | 1,703 |
| Constante | 45 | 1 | -1,754 | 0,983 | 1,777 | 0,1731 | 1,777 |
| Decreciente | 45 | 1 | -2,143 | 0,994 | 2,061 | 0,1173 | 2,061 |
| Constante | 45 | 1,5 | -1,623 | 0,989 | 1,606 | 0,1973 | 1,606 |
| Decreciente | 45 | 1,5 | -1,729 | 0,994 | 1,788 | 0,1775 | 1,788 |
| Constante | 60 | 1 | -2,118 | 0,996 | 2,141 | 0,1203 | 2,141 |
| Decreciente | 60 | 1 | -3,886 | 0,997 | 3,954 | 0,0205 | 3,954 |
| Constante | 60 | 1,5 | -1,989 | 0,994 | 2,058 | 0,1368 | 2,058 |
| Decreciente | 60 | 1,5 | -3,245 | 0,99 | 3,33 | 0,0390 | 3,33 |



ANEXO 18: DATOS DE INDICE EFICIENCIA PROTEICA (PER) DEL GRUPO EXPERIMENTAL

| Rata N° 1 PER | | | | | | | |
|---------------|-------------------|--------------------|------------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Diet a (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 62,0 | 12,6 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 59,8 | 12,6 | 10 | 15,0 | 3,1 | 4,5 | 0,6 |
| 2 | 57,6 | 12,6 | 10 | 13,0 | 3,2 | 6,4 | 0,8 |
| 3 | 56,6 | 12,6 | 12 | 13,8 | 4,1 | 6,7 | 0,6 |
| 4 | 57,4 | 12,6 | 12 | 13,2 | 3,6 | 7,8 | 0,8 |
| 5 | 56,8 | 12,6 | 12 | 13,4 | 3,4 | 7,8 | 0,8 |
| 6 | 58,8 | 12,6 | 12 | 13,8 | 2,6 | 8,2 | 0,9 |
| 7 | 59,6 | 12,6 | 15 | 14,4 | 2,1 | 11,1 | 1,3 |
| 8 | 59,8 | 12,6 | 15 | 15,8 | 1,6 | 10,2 | 1,1 |
| 9 | 58,2 | 12,6 | 15 | 14,2 | 2,8 | 10,6 | 1,2 |
| 10 | 60,6 | 12,6 | 15 | 13,0 | 1,2 | 13,4 | 1,8 |
| 11 | 59,8 | 12,6 | 18 | 13,6 | 1,6 | 15,4 | 2,2 |
| 12 | 60,4 | 12,6 | 18 | 13,0 | 2,1 | 15,5 | 2,4 |
| 13 | 61,4 | 12,6 | 18 | 13,0 | 2,0 | 15,6 | 2,5 |
| 14 | 61,8 | 12,6 | 18 | 13,0 | 1,8 | 15,8 | 2,7 |
| 15 | 62,4 | 12,6 | 20 | 13,0 | 2,2 | 17,4 | 3,0 |
| 16 | 63,4 | 12,6 | 20 | 13,0 | 2,4 | 17,2 | 2,9 |
| 17 | 64,6 | 12,6 | 20 | 13,0 | 2,6 | 17,0 | 2,9 |
| 18 | 66,6 | 12,6 | 20 | 13,0 | 3,0 | 16,6 | 2,8 |
| 19 | 67,4 | 12,6 | 25 | 13,2 | 2,6 | 21,8 | 3,3 |
| 20 | 67,8 | 12,6 | 25 | 13,0 | 2,1 | 22,5 | 3,5 |
| 21 | 69,8 | 12,6 | 25 | 13,0 | 1,8 | 22,8 | 3,7 |
| 22 | 71,4 | 12,6 | 25 | 13,0 | 1,6 | 23,0 | 3,9 |
| 23 | 73,8 | 12,6 | 25 | 13,0 | 1,7 | 22,9 | 3,8 |
| 24 | 74,4 | 12,6 | 25 | 13,0 | 1,6 | 23,0 | 3,9 |
| 25 | 75,8 | 12,6 | 25 | 13,8 | 0,9 | 22,9 | 3,8 |
| 26 | 76,6 | 12,6 | 25 | 13,0 | 1,8 | 22,8 | 4,1 |
| 27 | 78,2 | 12,6 | 25 | 13,0 | 1,7 | 22,9 | 4,2 |
| 28 | 79,6 | 12,6 | 25 | 13,0 | 1,8 | 22,8 | 4,1 |

| Rata N° 2 PER | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Diet a (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 60,2 | 14 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 56,2 | 14 | 10 | 15,6 | 2,9 | 5,5 | 0,5 |
| 2 | 53,6 | 14 | 10 | 15,0 | 2,8 | 6,2 | 0,7 |
| 3 | 51,8 | 14 | 12 | 14,6 | 5,2 | 6,2 | 0,6 |
| 4 | 51,6 | 14 | 12 | 16,0 | 2,2 | 7,8 | 0,6 |
| 5 | 52,6 | 14 | 12 | 16,0 | 1,9 | 8,1 | 0,6 |
| 6 | 55,2 | 14 | 12 | 15,4 | 2,6 | 8,0 | 0,6 |
| 7 | 54,0 | 14 | 15 | 18,4 | 0,8 | 9,8 | 0,7 |
| 8 | 56,2 | 14 | 15 | 17,4 | 1,6 | 10,0 | 0,9 |
| 9 | 52,6 | 14 | 15 | 16,0 | 1,0 | 12,0 | 1,2 |
| 10 | 57,0 | 14 | 15 | 14,0 | 2,8 | 12,2 | 1,8 |
| 11 | 55,2 | 14 | 18 | 14,6 | 1,8 | 15,6 | 2,4 |
| 12 | 56,8 | 14 | 18 | 14,2 | 1,6 | 16,2 | 2,8 |
| 13 | 55,8 | 14 | 18 | 14,6 | 1,8 | 15,6 | 2,4 |
| 14 | 57,2 | 14 | 18 | 14,2 | 1,8 | 16,0 | 2,8 |
| 15 | 58,8 | 14 | 20 | 14,2 | 2,2 | 17,6 | 3,1 |
| 16 | 59,8 | 14 | 20 | 14,4 | 1,8 | 17,8 | 3,2 |
| 17 | 61,0 | 14 | 20 | 14,2 | 1,9 | 17,9 | 3,3 |
| 18 | 63,0 | 14 | 20 | 15,4 | 1,0 | 17,6 | 3,1 |
| 19 | 63,8 | 14 | 25 | 14,2 | 2,4 | 22,4 | 3,6 |
| 20 | 64,2 | 14 | 25 | 15,2 | 2,4 | 21,4 | 3,4 |
| 21 | 67,2 | 14 | 25 | 14,0 | 2,1 | 22,9 | 4,1 |
| 22 | 67,8 | 14 | 25 | 14,2 | 2,2 | 22,6 | 3,9 |
| 23 | 70,2 | 14 | 25 | 14,2 | 1,8 | 23,0 | 4,4 |
| 24 | 70,8 | 14 | 25 | 14,0 | 2,2 | 22,8 | 4,1 |
| 25 | 72,2 | 14 | 25 | 14,2 | 1,8 | 23,0 | 4,4 |
| 26 | 73,0 | 14 | 25 | 14,0 | 2,2 | 22,8 | 4,0 |
| 27 | 74,6 | 14 | 25 | 14,0 | 2,1 | 22,9 | 4,1 |
| 28 | 77,0 | 14 | 25 | 14,0 | 2,1 | 22,9 | 4,2 |

| Rata N° 3 PER | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Diet a (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 59,6 | 13 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 54,8 | 13 | 10 | 14,8 | 3,8 | 4,4 | 0,5 |
| 2 | 52,6 | 13 | 10 | 14,0 | 2,4 | 6,6 | 0,7 |
| 3 | 50,6 | 13 | 12 | 14,4 | 2,4 | 8,2 | 0,6 |
| 4 | 51,4 | 13 | 12 | 15,8 | 0,9 | 8,3 | 0,7 |
| 5 | 52,8 | 13 | 12 | 14,2 | 2,4 | 8,4 | 0,8 |
| 6 | 53,8 | 13 | 12 | 16,4 | 0,4 | 8,2 | 0,7 |
| 7 | 52,6 | 13 | 15 | 16,8 | 0,9 | 10,3 | 1,0 |
| 8 | 56,8 | 13 | 15 | 15,6 | 1,4 | 11,0 | 1,3 |
| 9 | 55,2 | 13 | 15 | 16,4 | 0,8 | 10,8 | 1,2 |
| 10 | 57,6 | 13 | 15 | 13,0 | 3,2 | 11,8 | 1,8 |
| 11 | 56,8 | 13 | 18 | 15,4 | 0,9 | 14,7 | 2,1 |
| 12 | 57,4 | 13 | 18 | 13,2 | 1,8 | 16,0 | 2,8 |
| 13 | 58,4 | 13 | 18 | 14,6 | 0,6 | 15,8 | 2,7 |
| 14 | 56,8 | 13 | 18 | 13,0 | 2,2 | 15,8 | 2,8 |
| 15 | 59,4 | 13 | 20 | 13,2 | 2,6 | 17,2 | 3,7 |
| 16 | 60,4 | 13 | 20 | 13,2 | 2,9 | 16,9 | 3,6 |
| 17 | 61,6 | 13 | 20 | 13,0 | 1,9 | 18,1 | 4,0 |
| 18 | 63,6 | 13 | 20 | 15,2 | 0,4 | 17,4 | 3,8 |
| 19 | 64,4 | 13 | 25 | 13,0 | 2,2 | 22,8 | 4,0 |
| 20 | 64,8 | 13 | 25 | 13,0 | 2,2 | 22,8 | 4,4 |
| 21 | 65,8 | 13 | 25 | 13,0 | 2,1 | 22,9 | 4,8 |
| 22 | 68,4 | 13 | 25 | 13,4 | 1,8 | 22,8 | 4,6 |
| 23 | 70,8 | 13 | 25 | 13,0 | 2,1 | 22,9 | 4,6 |
| 24 | 71,4 | 13 | 25 | 13,0 | 2,2 | 22,8 | 4,8 |
| 25 | 72,8 | 13 | 25 | 14,2 | 0,8 | 23,0 | 4,8 |
| 26 | 73,6 | 13 | 25 | 13,0 | 2,1 | 22,9 | 4,6 |
| 27 | 75,2 | 13 | 25 | 13,0 | 1,9 | 23,1 | 4,9 |
| 28 | 79,6 | 13 | 25 | 13,8 | 1,3 | 22,9 | 4,5 |

| Rata N° 4 PER | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Diet a (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 61,2 | 12 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 59,6 | 12 | 10 | 15,0 | 1,4 | 5,6 | 0,5 |
| 2 | 54,4 | 12 | 10 | 12,3 | 2,8 | 6,9 | 0,7 |
| 3 | 55,4 | 12 | 12 | 12,0 | 4,0 | 8,0 | 0,6 |
| 4 | 56,2 | 12 | 12 | 12,4 | 3,2 | 8,4 | 0,7 |
| 5 | 56,6 | 12 | 12 | 12,0 | 3,0 | 9,0 | 0,8 |
| 6 | 58,6 | 12 | 12 | 11,8 | 2,0 | 10,2 | 0,7 |
| 7 | 55,4 | 12 | 15 | 12,6 | 2,0 | 12,4 | 1,0 |
| 8 | 57,6 | 12 | 15 | 12,0 | 3,8 | 11,2 | 1,3 |
| 9 | 58,0 | 12 | 15 | 12,0 | 2,6 | 12,4 | 1,9 |
| 10 | 60,4 | 12 | 15 | 12,0 | 2,8 | 12,2 | 1,8 |
| 11 | 59,6 | 12 | 18 | 12,0 | 2,4 | 15,6 | 2,0 |
| 12 | 60,2 | 12 | 18 | 12,0 | 1,9 | 16,1 | 2,1 |
| 13 | 61,2 | 12 | 18 | 12,2 | 1,7 | 16,1 | 2,2 |
| 14 | 61,6 | 12 | 18 | 12,1 | 1,8 | 16,1 | 2,3 |
| 15 | 62,2 | 12 | 20 | 12,0 | 2,4 | 17,6 | 2,5 |
| 16 | 63,2 | 12 | 20 | 12,2 | 1,8 | 18,0 | 2,6 |
| 17 | 64,4 | 12 | 20 | 12,0 | 3,1 | 16,9 | 2,2 |
| 18 | 66,4 | 12 | 20 | 13,2 | 1,2 | 17,6 | 2,3 |
| 19 | 67,2 | 12 | 25 | 12,0 | 2,2 | 22,8 | 3,4 |
| 20 | 67,6 | 12 | 25 | 13,8 | 1,4 | 21,8 | 2,9 |
| 21 | 70,6 | 12 | 25 | 12,0 | 2,3 | 22,7 | 4,8 |
| 22 | 71,2 | 12 | 25 | 12,0 | 2,1 | 22,9 | 4,6 |
| 23 | 73,6 | 12 | 25 | 12,0 | 2,1 | 22,9 | 4,6 |
| 24 | 74,2 | 12 | 25 | 12,0 | 2,2 | 22,8 | 4,3 |
| 25 | 75,6 | 12 | 25 | 12,0 | 2,2 | 22,8 | 4,4 |
| 26 | 76,4 | 12 | 25 | 12,0 | 2,2 | 22,8 | 4,3 |
| 27 | 78,0 | 12 | 25 | 12,0 | 1,8 | 23,2 | 5,2 |
| 28 | 81,4 | 12 | 25 | 12,0 | 2,0 | 23,0 | |

| Rata N° 5 PER | | | | | | | |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 60,0 | 13,4 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 57,6 | 13,4 | 10 | 16,2 | 2,3 | 4,9 | 0,5 |
| 2 | 55,4 | 13,4 | 10 | 13,4 | 2,8 | 7,2 | 0,7 |
| 3 | 54,4 | 13,4 | 12 | 14,2 | 3,5 | 7,7 | 0,8 |
| 4 | 55,2 | 13,4 | 12 | 13,8 | 4,2 | 7,4 | 0,9 |
| 5 | 54,6 | 13,4 | 12 | 13,4 | 4,3 | 7,7 | 0,7 |
| 6 | 56,6 | 13,4 | 12 | 16,2 | 1,3 | 7,9 | 0,7 |
| 7 | 55,4 | 13,4 | 15 | 13,4 | 3,9 | 11,1 | 1,2 |
| 8 | 57,6 | 13,4 | 15 | 13,6 | 3,4 | 11,4 | 1,1 |
| 9 | 56,0 | 13,4 | 15 | 14,0 | 2,8 | 11,6 | 1,6 |
| 10 | 58,4 | 13,4 | 15 | 13,2 | 3,0 | 12,2 | 1,8 |
| 11 | 57,6 | 13,4 | 18 | 13,2 | 3,1 | 15,1 | 2,5 |
| 12 | 58,2 | 13,4 | 18 | 13,4 | 2,9 | 15,1 | 2,4 |
| 13 | 59,2 | 13,4 | 18 | 14,6 | 2,6 | 14,2 | 2,2 |
| 14 | 54,6 | 13,4 | 18 | 13,6 | 2,4 | 15,4 | 2,3 |
| 15 | 60,2 | 13,4 | 20 | 13,2 | 3,5 | 16,7 | 3,5 |
| 16 | 61,2 | 13,4 | 20 | 13,6 | 2,9 | 16,9 | 3,5 |
| 17 | 62,4 | 13,4 | 20 | 14,2 | 2,2 | 17,0 | 2,9 |
| 18 | 64,4 | 13,4 | 20 | 14,9 | 2,8 | 15,7 | 2,3 |
| 19 | 65,2 | 13,4 | 25 | 13,4 | 2,9 | 22,1 | 4,1 |
| 20 | 65,6 | 13,4 | 25 | 14,4 | 2,2 | 21,8 | 3,8 |
| 21 | 65,6 | 13,4 | 25 | 13,2 | 2,8 | 22,4 | 4,0 |
| 22 | 69,2 | 13,4 | 25 | 14,0 | 2,8 | 21,6 | 4,3 |
| 23 | 71,6 | 13,4 | 25 | 13,6 | 2,4 | 22,4 | 4,6 |
| 24 | 72,2 | 13,4 | 25 | 13,4 | 2,6 | 22,4 | 4,3 |
| 25 | 73,6 | 13,4 | 25 | 15,6 | 1,2 | 21,6 | 4,4 |
| 26 | 74,4 | 13,4 | 25 | 13,4 | 2,4 | 22,6 | 4,3 |
| 27 | 76,0 | 13,4 | 25 | 13,4 | 2,5 | 22,5 | 4,5 |
| 28 | 80,4 | 13,4 | 25 | 13,2 | 2,3 | 22,9 | 4,2 |



| Rata N° 6 PER | | | | | | | |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 60,2 | 13 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 58,2 | 13 | 10 | 15,2 | 2,9 | 4,9 | 0,6 |
| 2 | 56,0 | 13 | 10 | 13,8 | 1,8 | 7,4 | 0,6 |
| 3 | 55,0 | 13 | 12 | 13,6 | 3,9 | 7,5 | 0,7 |
| 4 | 55,8 | 13 | 12 | 13,0 | 4,2 | 7,8 | 0,8 |
| 5 | 55,2 | 13 | 12 | 13,0 | 3,2 | 8,8 | 0,9 |
| 6 | 57,2 | 13 | 12 | 13,8 | 3,2 | 8,0 | 0,8 |
| 7 | 59,0 | 13 | 15 | 13,0 | 5,1 | 9,9 | 1,2 |
| 8 | 58,2 | 13 | 15 | 13,0 | 6,2 | 8,8 | 1,1 |
| 9 | 56,6 | 13 | 15 | 13,2 | 1,4 | 13,4 | 2,3 |
| 10 | 59,0 | 13 | 15 | 14,0 | 1,8 | 12,2 | 1,8 |
| 11 | 58,2 | 13 | 18 | 13,6 | 0,6 | 16,8 | 2,5 |
| 12 | 58,8 | 13 | 18 | 13,2 | 3,2 | 14,6 | 2,4 |
| 13 | 59,8 | 13 | 18 | 14,6 | 1,8 | 14,6 | 2,2 |
| 14 | 61,2 | 13 | 18 | 13,0 | 3,1 | 14,9 | 2,3 |
| 15 | 60,8 | 13 | 20 | 13,0 | 3,8 | 16,2 | 3,5 |
| 16 | 61,8 | 13 | 20 | 13,6 | 2,6 | 16,8 | 3,5 |
| 17 | 63,0 | 13 | 20 | 13,4 | 3,4 | 16,2 | 3,1 |
| 18 | 65,0 | 13 | 20 | 14,6 | 1,5 | 16,9 | 3,6 |
| 19 | 65,8 | 13 | 25 | 13,2 | 3,6 | 21,2 | 4,1 |
| 20 | 66,2 | 13 | 25 | 13,6 | 2,2 | 22,2 | 4,2 |
| 21 | 71,2 | 13 | 25 | 13,2 | 2,3 | 22,5 | 4,2 |
| 22 | 69,8 | 13 | 25 | 13,0 | 2,7 | 22,3 | 4,3 |
| 23 | 72,2 | 13 | 25 | 13,2 | 1,9 | 22,9 | 4,6 |
| 24 | 72,8 | 13 | 25 | 13,2 | 2,1 | 22,7 | 4,3 |
| 25 | 74,2 | 13 | 25 | 13,0 | 2,6 | 22,4 | 4,4 |
| 26 | 75,0 | 13 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,6 | 4,3 |
| 27 | 76,6 | 13 | 25 | 13,0 | 1,9 | 23,1 | 4,5 |
| 28 | 82,0 | 13 | 25 | 13,0 | 3,1 | 21,9 | 4,2 |

| Rata N° 7 PER | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Diet a (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 59,8 | 13,2 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 57,8 | 13,2 | 10 | 17,2 | 1,2 | 4,8 | 0,5 |
| 2 | 55,6 | 13,2 | 10 | 14,0 | 2,6 | 6,6 | 0,6 |
| 3 | 54,6 | 13,2 | 12 | 13,6 | 3,6 | 8,0 | 0,7 |
| 4 | 55,4 | 13,2 | 12 | 14,2 | 2,5 | 8,5 | 0,8 |
| 5 | 54,8 | 13,2 | 12 | 13,0 | 3,9 | 8,3 | 0,7 |
| 6 | 56,8 | 13,2 | 12 | 13,6 | 3,2 | 8,4 | 0,8 |
| 7 | 54,6 | 13,2 | 15 | 13,6 | 3,4 | 11,2 | 1,2 |
| 8 | 57,8 | 13,2 | 15 | 14,0 | 3,5 | 10,7 | 1,1 |
| 9 | 56,2 | 13,2 | 15 | 14,0 | 2,8 | 11,4 | 2,3 |
| 10 | 58,6 | 13,2 | 15 | 13,2 | 2,9 | 12,1 | 2,5 |
| 11 | 57,8 | 13,2 | 18 | 14,4 | 1,6 | 15,2 | 3,2 |
| 12 | 58,4 | 13,2 | 18 | 13,2 | 2,4 | 15,6 | 3,4 |
| 13 | 59,4 | 13,2 | 18 | 13,2 | 2,1 | 15,9 | 3,6 |
| 14 | 58,8 | 13,2 | 18 | 13,4 | 2,5 | 15,3 | 3,2 |
| 15 | 60,4 | 13,2 | 20 | 13,2 | 2,8 | 17,2 | 3,8 |
| 16 | 61,4 | 13,2 | 20 | 13,2 | 2,5 | 17,5 | 3,9 |
| 17 | 62,6 | 13,2 | 20 | 13,0 | 2,3 | 17,9 | 4,0 |
| 18 | 64,6 | 13,2 | 20 | 14,6 | 0,8 | 17,8 | 3,9 |
| 19 | 65,4 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,6 | 22,4 | 4,2 |
| 20 | 65,8 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,8 | 22,2 | 4,1 |
| 21 | 65,8 | 13,2 | 25 | 13,0 | 2,5 | 22,7 | 4,2 |
| 22 | 69,4 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,8 | 4,3 |
| 23 | 71,8 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,8 | 4,6 |
| 24 | 72,4 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,3 | 22,7 | 4,3 |
| 25 | 73,8 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,8 | 4,4 |
| 26 | 74,6 | 13,2 | 25 | 14,0 | 1,3 | 22,9 | 4,4 |
| 27 | 76,2 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,8 | 4,5 |
| 28 | 79,6 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,8 | 4,2 |

| Rata N° 8 PER | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Diet a (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta Consumido (g) | Peso de Heces (g) |
| 0 | 58,7 | 14 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 55,3 | 14 | 10 | 16,4 | 3,4 | 4,2 | 0,4 |
| 2 | 55,1 | 14 | 10 | 15,6 | 2,4 | 6,0 | 0,6 |
| 3 | 56,1 | 14 | 12 | 17,0 | 2,6 | 6,4 | 0,8 |
| 4 | 55,9 | 14 | 12 | 17,0 | 2,8 | 6,2 | 0,7 |
| 5 | 56,3 | 14 | 12 | 15,8 | 2,5 | 7,7 | 0,9 |
| 6 | 55,3 | 14 | 12 | 16,8 | 1,4 | 7,8 | 1,0 |
| 7 | 51,6 | 14 | 15 | 16,4 | 2,2 | 10,4 | 1,4 |
| 8 | 55,3 | 14 | 15 | 14,8 | 3,2 | 11,0 | 1,8 |
| 9 | 54,7 | 14 | 15 | 15,4 | 2,4 | 11,2 | 2,3 |
| 10 | 57,1 | 14 | 15 | 14,0 | 3,8 | 11,2 | 2,5 |
| 11 | 58,3 | 14 | 18 | 15,0 | 1,8 | 15,2 | 3,2 |
| 12 | 58,9 | 14 | 18 | 14,2 | 2,1 | 15,7 | 3,4 |
| 13 | 59,1 | 14 | 18 | 15,2 | 1,2 | 15,6 | 3,6 |
| 14 | 57,3 | 14 | 18 | 14,8 | 0,8 | 16,4 | 3,2 |
| 15 | 61,9 | 14 | 20 | 14,2 | 2,6 | 17,2 | 3,8 |
| 16 | 62,9 | 14 | 20 | 14,6 | 1,6 | 17,8 | 3,9 |
| 17 | 64,1 | 14 | 20 | 14,2 | 2,2 | 17,6 | 4,0 |
| 18 | 66,1 | 14 | 20 | 15,8 | 0,4 | 17,8 | 3,9 |
| 19 | 66,9 | 14 | 25 | 14,8 | 2,2 | 22,0 | 4,2 |
| 20 | 67,3 | 14 | 25 | 14,8 | 2,4 | 21,8 | 4,1 |
| 21 | 65,3 | 14 | 25 | 14,2 | 2,6 | 22,2 | 4,2 |
| 22 | 70,9 | 14 | 25 | 14,2 | 2,3 | 22,5 | 4,5 |
| 23 | 73,3 | 14 | 25 | 14,6 | 2,0 | 22,4 | 4,3 |
| 24 | 73,9 | 14 | 25 | 14,2 | 2,1 | 22,7 | 4,6 |
| 25 | 75,3 | 14 | 25 | 14,4 | 1,8 | 22,8 | 4,8 |
| 26 | 76,1 | 14 | 25 | 14,2 | 2,0 | 22,8 | 4,8 |
| 27 | 77,7 | 14 | 25 | 14,2 | 2,1 | 22,7 | 4,5 |
| 28 | 75,1 | 14 | 25 | 14,4 | 1,7 | 22,9 | 5,0 |

| Rata N° 9 PER | | | | | | | |
|---------------|---------------|----------------|-------|------------------------|------------------|-----------------|---------------|
| Tiempo | Peso de Ratas | Peso comederos | Dieta | Perdida Dieta+Comedero | Perdida de dieta | Dieta Consumido | Peso de Heces |
| (días) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) |
| 0 | 63,2 | 14 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 58,6 | 14 | 10 | 15,8 | 3,4 | 4,8 | 0,2 |
| 2 | 56,4 | 14 | 10 | 15,6 | 1,8 | 6,6 | 0,2 |
| 3 | 55,4 | 14 | 12 | 17,0 | 2,2 | 6,8 | 0,4 |
| 4 | 56,2 | 14 | 12 | 17,0 | 2,1 | 6,9 | 0,6 |
| 5 | 55,6 | 14 | 12 | 15,8 | 1,6 | 8,6 | 0,8 |
| 6 | 57,6 | 14 | 12 | 16,8 | 0,8 | 8,4 | 0,7 |
| 7 | 57,9 | 14 | 15 | 16,4 | 1,8 | 10,8 | 0,8 |
| 8 | 58,6 | 14 | 15 | 14,8 | 1,8 | 12,4 | 0,9 |
| 9 | 57,0 | 14 | 15 | 15,4 | 1,0 | 12,6 | 1,1 |
| 10 | 59,4 | 14 | 15 | 14,0 | 2,8 | 12,2 | 1,0 |
| 11 | 58,6 | 14 | 18 | 15,0 | 1,8 | 15,2 | 1,2 |
| 12 | 59,2 | 14 | 18 | 14,2 | 1,4 | 16,4 | 1,6 |
| 13 | 60,2 | 14 | 18 | 15,2 | 0,8 | 16,0 | 1,4 |
| 14 | 62,6 | 14 | 18 | 14,8 | 0,8 | 16,4 | 1,6 |
| 15 | 61,2 | 14 | 20 | 14,2 | 2,6 | 17,2 | 1,8 |
| 16 | 62,2 | 14 | 20 | 14,6 | 1,0 | 18,4 | 2,5 |
| 17 | 63,4 | 14 | 20 | 14,2 | 1,6 | 18,2 | 2,4 |
| 18 | 65,4 | 14 | 20 | 15,8 | 0,2 | 18,0 | 2,2 |
| 19 | 66,2 | 14 | 25 | 14,8 | 1,4 | 22,8 | 3,4 |
| 20 | 66,6 | 14 | 25 | 14,8 | 1,2 | 23,0 | 4,0 |
| 21 | 71,6 | 14 | 25 | 14,2 | 2,2 | 22,6 | 3,1 |
| 22 | 70,2 | 14 | 25 | 14,2 | 2,1 | 22,7 | 3,2 |
| 23 | 72,6 | 14 | 25 | 14,6 | 1,6 | 22,8 | 3,4 |
| 24 | 73,2 | 14 | 25 | 14,2 | 2,0 | 22,8 | 3,4 |
| 25 | 74,6 | 14 | 25 | 14,4 | 1,8 | 22,8 | 3,4 |
| 26 | 75,4 | 14 | 25 | 14,2 | 1,9 | 22,9 | 3,5 |
| 27 | 77,0 | 14 | 25 | 14,2 | 1,8 | 23,0 | 4,0 |
| 28 | 83,4 | 14 | 25 | 14,4 | 1,8 | 22,8 | 4,0 |

| Rata N° 10 PER | | | | | | | |
|----------------|---------|-----------|-------|----------------|------------|-----------|---------|
| Tiempo | Peso de | Peso | Dieta | Perdida | Perdida de | Dieta | Peso de |
| (días) | Ratas | comederos | (g) | Dieta+Comedero | dieta | Consumido | Heces |
| | (g) | (g) | | (g) | (g) | (g) | (g) |
| 0 | 60,8 | 13,2 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 59,6 | 13,2 | 10 | 16,2 | 1,8 | 5,2 | 0,2 |
| 2 | 57,4 | 13,2 | 10 | 14,0 | 2,6 | 6,6 | 0,2 |
| 3 | 56,4 | 13,2 | 12 | 13,6 | 3,4 | 8,2 | 0,4 |
| 4 | 57,2 | 13,2 | 12 | 14,2 | 2,0 | 9,0 | 0,6 |
| 5 | 56,6 | 13,2 | 12 | 13,0 | 1,8 | 10,4 | 0,7 |
| 6 | 58,6 | 13,2 | 12 | 13,6 | 1,2 | 10,4 | 0,8 |
| 7 | 58,4 | 13,2 | 15 | 13,6 | 2,4 | 12,2 | 1,1 |
| 8 | 59,6 | 13,2 | 15 | 14,0 | 1,6 | 12,6 | 1,2 |
| 9 | 58,0 | 13,2 | 15 | 14,0 | 1,6 | 12,6 | 1,2 |
| 10 | 60,4 | 13,2 | 15 | 13,2 | 1,4 | 13,6 | 1,2 |
| 11 | 59,6 | 13,2 | 18 | 14,4 | 1,2 | 15,6 | 1,6 |
| 12 | 60,2 | 13,2 | 18 | 13,2 | 1,6 | 16,4 | 1,9 |
| 13 | 61,2 | 13,2 | 18 | 13,2 | 1,6 | 16,4 | 1,9 |
| 14 | 61,6 | 13,2 | 18 | 13,4 | 1,6 | 16,2 | 1,8 |
| 15 | 62,2 | 13,2 | 20 | 13,2 | 2,2 | 17,8 | 2,1 |
| 16 | 63,2 | 13,2 | 20 | 13,2 | 2,0 | 18,0 | 2,3 |
| 17 | 64,4 | 13,2 | 20 | 13,0 | 1,9 | 18,3 | 2,7 |
| 18 | 66,4 | 13,2 | 20 | 14,6 | 0,3 | 18,3 | 2,6 |
| 19 | 67,2 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,8 | 3,6 |
| 20 | 67,6 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,1 | 22,9 | 3,8 |
| 21 | 68,6 | 13,2 | 25 | 13,0 | 2,4 | 22,8 | 3,7 |
| 22 | 71,2 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,2 | 22,8 | 3,7 |
| 23 | 73,6 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,1 | 22,9 | 3,8 |
| 24 | 74,2 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,0 | 23,0 | 4,0 |
| 25 | 75,6 | 13,2 | 25 | 13,2 | 2,0 | 23,0 | 4,0 |
| 26 | 76,4 | 13,2 | 25 | 14,0 | 1,2 | 23,0 | 4,0 |
| 27 | 78,0 | 13,2 | 25 | 13,2 | 1,9 | 23,1 | 4,0 |

ANEXO 19: RESOLUCIÓN PARA EL CÁLCULO DEL PER

$$PER = \frac{\text{Ganancia de Peso}}{\text{Proteína Consumida}}$$

Datos:

$$\text{Peso Inicial (g)} = 60.57$$

$$\text{Ganancia de Peso (g)} = 79.9$$

$$\text{Proteína Consumida (g)} = 71.8$$

$$\text{PER Caseína de Referencia} = 2.18$$

$$PER = \frac{79.9}{71.8} = 1.11$$

$$PER = 1.11 \pm 0.24$$

$$PER \text{ corregido} = PER * \frac{2.5}{PER \text{ determinado de la caseína estándar de referencia}}$$

$$PER \text{ corregido} = 1.11 * \frac{2.5}{2.18} = 1.28$$

$$PER \text{ corregido} = 1.28 \pm 0.27$$

ANEXO 20: DATOS DE RAZÓN PROTEICA NETA (NPR) DEL GRUPO EXPERIMENTAL

Rata Nº 1

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 59,8 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 58,2 | 13 | 10 | 16,4 | 3,4 | 3,2 | 0,8 |
| 2 | 58 | 13 | 10 | 16,8 | 2,4 | 3,8 | 1,6 |
| 3 | 57,8 | 13 | 12 | 15,6 | 3,6 | 5,8 | 1,8 |
| 4 | 58,2 | 13 | 12 | 15,8 | 3,4 | 5,8 | 1,6 |
| 5 | 58 | 13 | 12 | 14,6 | 2,6 | 7,8 | 2,2 |
| 6 | 57,8 | 13 | 12 | 14,8 | 3,4 | 6,8 | 2,4 |
| 7 | 57,8 | 13 | 12 | 15,8 | 4,4 | 4,8 | 1,3 |
| 8 | 57,2 | 13 | 15 | 16,8 | 2,6 | 8,6 | 1,3 |
| 9 | 57,8 | 13 | 15 | 16,2 | 3 | 8,8 | 3,6 |
| 10 | 57,8 | 13 | 15 | 16,8 | 2,8 | 8,4 | 4,4 |
| 11 | 57,8 | 13 | 15 | 15,6 | 3,4 | 9 | 3,6 |
| 12 | 57,6 | 13 | 15 | 16 | 2,6 | 9,4 | 2,4 |
| 13 | 57,4 | 13 | 15 | 16,4 | 3,4 | 8,2 | 2,8 |
| 14 | 57,6 | 13 | 15 | 15,8 | 3,2 | 9 | 2,6 |

Rata Nº 2

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 60 | 14,2 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 58 | 14,2 | 10 | 16,8 | 3,5 | 3,9 | 1,2 |
| 2 | 58 | 14,2 | 10 | 15,8 | 4 | 4,4 | 1,6 |
| 3 | 57,8 | 14,2 | 12 | 16 | 3,2 | 7 | 1,8 |
| 4 | 58,2 | 14,2 | 12 | 15,4 | 3,4 | 7,4 | 1,6 |
| 5 | 58,2 | 14,2 | 12 | 16,8 | 3,8 | 5,6 | 2,8 |
| 6 | 58 | 14,2 | 12 | 15,8 | 2 | 8,4 | 2,6 |
| 7 | 57,8 | 14,2 | 12 | 15,6 | 3,2 | 7,4 | 2,1 |
| 8 | 57,8 | 14,2 | 15 | 16,8 | 4,8 | 7,6 | 1,6 |
| 9 | 57,8 | 14,2 | 15 | 18 | 3,8 | 7,4 | 1,8 |
| 10 | 58 | 14,2 | 15 | 17,6 | 3,2 | 8,4 | 1,6 |
| 11 | 58,2 | 14,2 | 15 | 16,6 | 3,4 | 9,2 | 2,6 |
| 12 | 58,2 | 14,2 | 15 | 17 | 4,2 | 8 | 3,6 |
| 13 | 58,2 | 14,2 | 15 | 16,8 | 3,4 | 9 | 2,4 |
| 14 | 58,2 | 14,2 | 15 | 16,8 | 3,8 | 8,6 | 2,8 |

Rata N° 3

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 60,6 | 13,2 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 60,2 | 13,2 | 10 | 16 | 4,2 | 3 | 1,6 |
| 2 | 60,2 | 13,2 | 10 | 17,6 | 1,2 | 4,4 | 2 |
| 3 | 59,6 | 13,2 | 12 | 17 | 3,4 | 4,8 | 2,2 |
| 4 | 59,2 | 13,2 | 12 | 15,2 | 2,6 | 7,4 | 2 |
| 5 | 59,2 | 13,2 | 12 | 15,4 | 3,4 | 6,4 | 3,2 |
| 6 | 59 | 13,2 | 12 | 15,4 | 2,4 | 7,4 | 3 |
| 7 | 59 | 13,2 | 12 | 16 | 2,4 | 6,8 | 2,5 |
| 8 | 58,8 | 13,2 | 15 | 16,6 | 3,4 | 8,2 | 2 |
| 9 | 58,2 | 13,2 | 15 | 15,4 | 4 | 8,8 | 2,2 |
| 10 | 58,6 | 13,2 | 15 | 15 | 3,4 | 9,8 | 2 |
| 11 | 58,8 | 13,2 | 15 | 15,6 | 3,8 | 8,8 | 3 |
| 12 | 58,6 | 13,2 | 15 | 16 | 3,2 | 9 | 4 |
| 13 | 58,4 | 13,2 | 15 | 16,2 | 3,2 | 8,8 | 2,8 |
| 14 | 58,8 | 13,2 | 15 | 16 | 3,4 | 8,8 | 3,2 |

Rata N° 4

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 60,4 | 12,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 60,8 | 12,2 | 10 | 16,8 | 3,8 | 1,6 | 1,6 |
| 2 | 60,8 | 12,2 | 10 | 14,6 | 2,4 | 5,2 | 1,8 |
| 3 | 60,4 | 12,2 | 12 | 14,8 | 3,4 | 6 | 1,8 |
| 4 | 60,4 | 12,2 | 12 | 15,8 | 2,6 | 5,8 | 2,2 |
| 5 | 60,2 | 12,2 | 12 | 13,4 | 3,4 | 7,4 | 3,2 |
| 6 | 60,2 | 12,2 | 12 | 13,4 | 2,6 | 8,2 | 3 |
| 7 | 60 | 12,2 | 12 | 15 | 1,8 | 7,4 | 2,5 |
| 8 | 60 | 12,2 | 15 | 15,4 | 3 | 8,8 | 2,4 |
| 9 | 60,2 | 12,2 | 15 | 14 | 4,8 | 8,4 | 3,2 |
| 10 | 60 | 12,2 | 15 | 15,6 | 2,8 | 8,8 | 3 |
| 11 | 60,2 | 12,2 | 15 | 17 | 1,8 | 8,4 | 2,5 |
| 12 | 60,2 | 12,2 | 15 | 15,8 | 2,6 | 8,8 | 2,4 |
| 13 | 60,2 | 12,2 | 15 | 16,8 | 1,2 | 9,2 | 3,2 |
| 14 | 60,8 | 12,2 | 15 | 15,4 | 2,4 | 9,4 | 2,8 |

Rata N° 5

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 59,4 | 11,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 59,8 | 11,4 | 10 | 14,4 | 5,6 | 1,4 | 1,8 |
| 2 | 59,4 | 11,4 | 10 | 14,4 | 3,8 | 3,2 | 2,2 |
| 3 | 58,6 | 11,4 | 10 | 14,4 | 1,4 | 5,6 | 2,4 |
| 4 | 58,2 | 11,4 | 12 | 15,4 | 1,8 | 6,2 | 2,2 |
| 5 | 58 | 11,4 | 12 | 13 | 3,4 | 7 | 3,4 |
| 6 | 58,4 | 11,4 | 12 | 13 | 2,6 | 7,8 | 3,2 |
| 7 | 58,6 | 11,4 | 12 | 14,6 | 2,6 | 6,2 | 2,7 |
| 8 | 58,4 | 11,4 | 12 | 13,8 | 3,4 | 6,2 | 2,2 |
| 9 | 58 | 11,4 | 15 | 15,4 | 2,6 | 8,4 | 2,4 |
| 10 | 57,8 | 11,4 | 15 | 16,4 | 1,4 | 8,6 | 2,2 |
| 11 | 57,8 | 11,4 | 15 | 13,2 | 4,8 | 8,4 | 3,2 |
| 12 | 57,4 | 11,4 | 15 | 13,6 | 3,8 | 9 | 3,2 |
| 13 | 57,6 | 11,4 | 15 | 14,2 | 2,8 | 9,4 | 3 |
| 14 | 57,6 | 11,4 | 15 | 13,8 | 4 | 8,6 | 3,4 |

Rata N° 6

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 59,6 | 12,2 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 60 | 12,2 | 10 | 15,4 | 3,6 | 3,2 | 1,6 |
| 2 | 60 | 12,2 | 10 | 13,8 | 2,6 | 5,8 | 1,2 |
| 3 | 59,8 | 12,2 | 12 | 15 | 2,8 | 6,4 | 1,8 |
| 4 | 59,6 | 12,2 | 12 | 13,2 | 4,8 | 6,2 | 2,2 |
| 5 | 59,8 | 12,2 | 12 | 13,4 | 3,2 | 7,6 | 2,4 |
| 6 | 59,8 | 12,2 | 12 | 13,8 | 2,8 | 7,6 | 2,2 |
| 7 | 60,2 | 12,2 | 12 | 13,2 | 3,2 | 7,8 | 3,4 |
| 8 | 60 | 12,2 | 15 | 15,8 | 2,8 | 8,6 | 3,2 |
| 9 | 60 | 12,2 | 15 | 16,8 | 3,8 | 6,6 | 2,7 |
| 10 | 59,8 | 12,2 | 15 | 16 | 4 | 7,2 | 2,2 |
| 11 | 60 | 12,2 | 15 | 15,4 | 2,8 | 9 | 2,4 |
| 12 | 59,6 | 12,2 | 15 | 14,6 | 3,8 | 8,8 | 2,2 |
| 13 | 59,4 | 12,2 | 15 | 15,6 | 3,2 | 8,4 | 3,2 |
| 14 | 59 | 12,2 | 15 | 15,8 | 2,2 | 9,2 | 2,8 |

ANEXO 21: RESOLUCIÓN PARA EL CÁLCULO DEL NPR

$$NPR = \frac{\text{Ganancia de Peso del animal bajo prueba} + \text{Pérdida de Peso del animal control}}{\text{Proteína Consumida por el animal bajo prueba}}$$

Datos:

Ganancia de peso del animal bajo prueba = 3,42

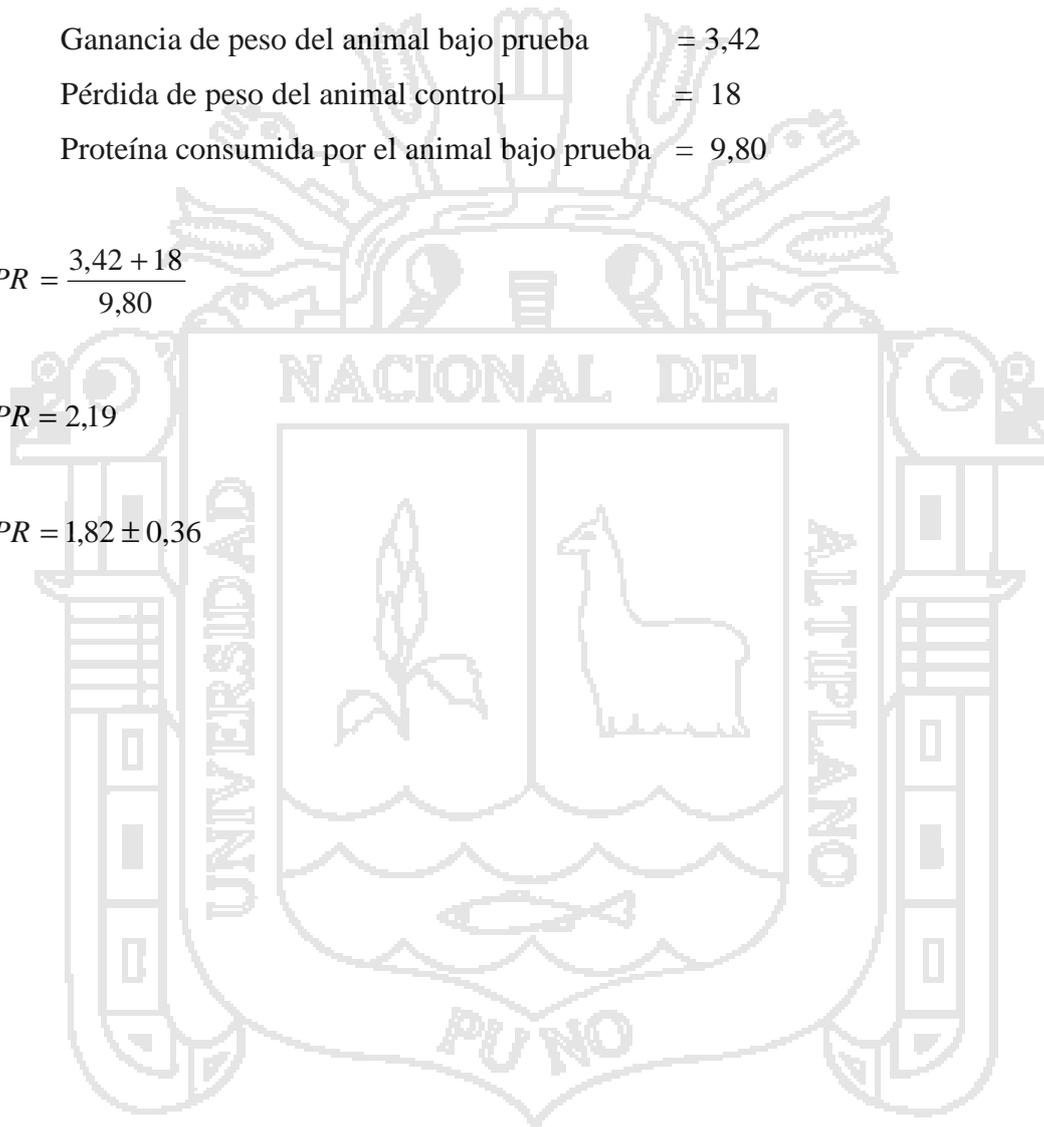
Pérdida de peso del animal control = 18

Proteína consumida por el animal bajo prueba = 9,80

$$NPR = \frac{3,42 + 18}{9,80}$$

$$NPR = 2,19$$

$$NPR = 1,82 \pm 0,36$$



ANEXO 22: DATOS DE UTILIZACIÓN PROTEICA NETA (NPU)**Grupo Experimental**

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 300 | 62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 302 | 62 | 70 | 66,4 | 9,8 | 55,8 | 12,6 |
| 2 | 305,2 | 62 | 70 | 67,6 | 9,4 | 55 | 13 |
| 3 | 310,8 | 62 | 75 | 65 | 10,6 | 61,4 | 14,8 |
| 4 | 315,4 | 62 | 75 | 69,6 | 9,8 | 57,6 | 12,8 |
| 5 | 325,8 | 62 | 75 | 62 | 10,6 | 64,4 | 14,4 |
| 6 | 334,6 | 62 | 75 | 64,6 | 9,8 | 62,6 | 13,8 |
| 7 | 345,6 | 62 | 75 | 63,2 | 13 | 60,8 | 14,2 |
| 8 | 347,8 | 62 | 80 | 70,6 | 12,8 | 58,6 | 15,2 |
| 9 | 352,8 | 62 | 80 | 63,4 | 14,2 | 64,4 | 13,6 |
| 10 | 355,4 | 62 | 80 | 63 | 11 | 68 | 14,6 |

Grupo Control

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 301,8 | 66,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 297,2 | 66,2 | 70 | 70,8 | 6,6 | 58,8 | 3,2 |
| 2 | 295,6 | 66,2 | 70 | 71,2 | 7,2 | 57,8 | 2,8 |
| 3 | 293,8 | 66,2 | 75 | 69,2 | 3,2 | 68,8 | 1,8 |
| 4 | 291,8 | 66,2 | 75 | 68,4 | 5,6 | 67,2 | 2,6 |
| 5 | 290 | 66,2 | 75 | 70 | 5,2 | 66 | 2,4 |
| 6 | 289,4 | 66,2 | 75 | 69,4 | 7,2 | 64,6 | 3,2 |
| 7 | 288,2 | 66,2 | 75 | 71,2 | 5,8 | 64,2 | 2,2 |
| 8 | 286,8 | 66,2 | 80 | 66,2 | 7 | 73 | 2,6 |
| 9 | 284,8 | 66,2 | 80 | 70,2 | 6,4 | 69,6 | 3 |
| 10 | 282,8 | 66,2 | 80 | 67,4 | 5,6 | 73,2 | 2,8 |

Grupo Aporteico

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 300 | 66,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 296 | 66,2 | 70 | 81 | 11,2 | 44 | 6,4 |
| 2 | 290,6 | 66,2 | 70 | 78,8 | 10,8 | 46,6 | 7,2 |
| 3 | 285,4 | 66,2 | 75 | 88 | 9,4 | 43,8 | 5,8 |
| 4 | 270,4 | 66,2 | 75 | 82,2 | 12,8 | 46,2 | 6,2 |
| 5 | 276 | 66,2 | 75 | 81 | 12 | 48,2 | 4,8 |
| 6 | 260,8 | 66,2 | 75 | 83,6 | 13,6 | 44 | 7,4 |
| 7 | 254,4 | 66,2 | 75 | 84,4 | 11 | 45,8 | 6,8 |
| 8 | 250 | 66,2 | 80 | 83,6 | 14,8 | 47,8 | 4,8 |
| 9 | 246,8 | 66,2 | 80 | 84,8 | 13,4 | 48 | 6,2 |
| 10 | 240 | 66,2 | 80 | 84 | 12,8 | 49,4 | 8,2 |

ANEXO 23: RESOLUCIÓN PARA EL CÁLCULO DEL NPU

$$NPU = \frac{\text{Nitrógeno retenido}}{\text{Nitrógeno ingerido}} = \frac{I - (F - F_K) - (U - U_K)}{I}$$

Datos:

Nitrógeno Consumido = 2,02

Nitrógeno en Orina = 0,69

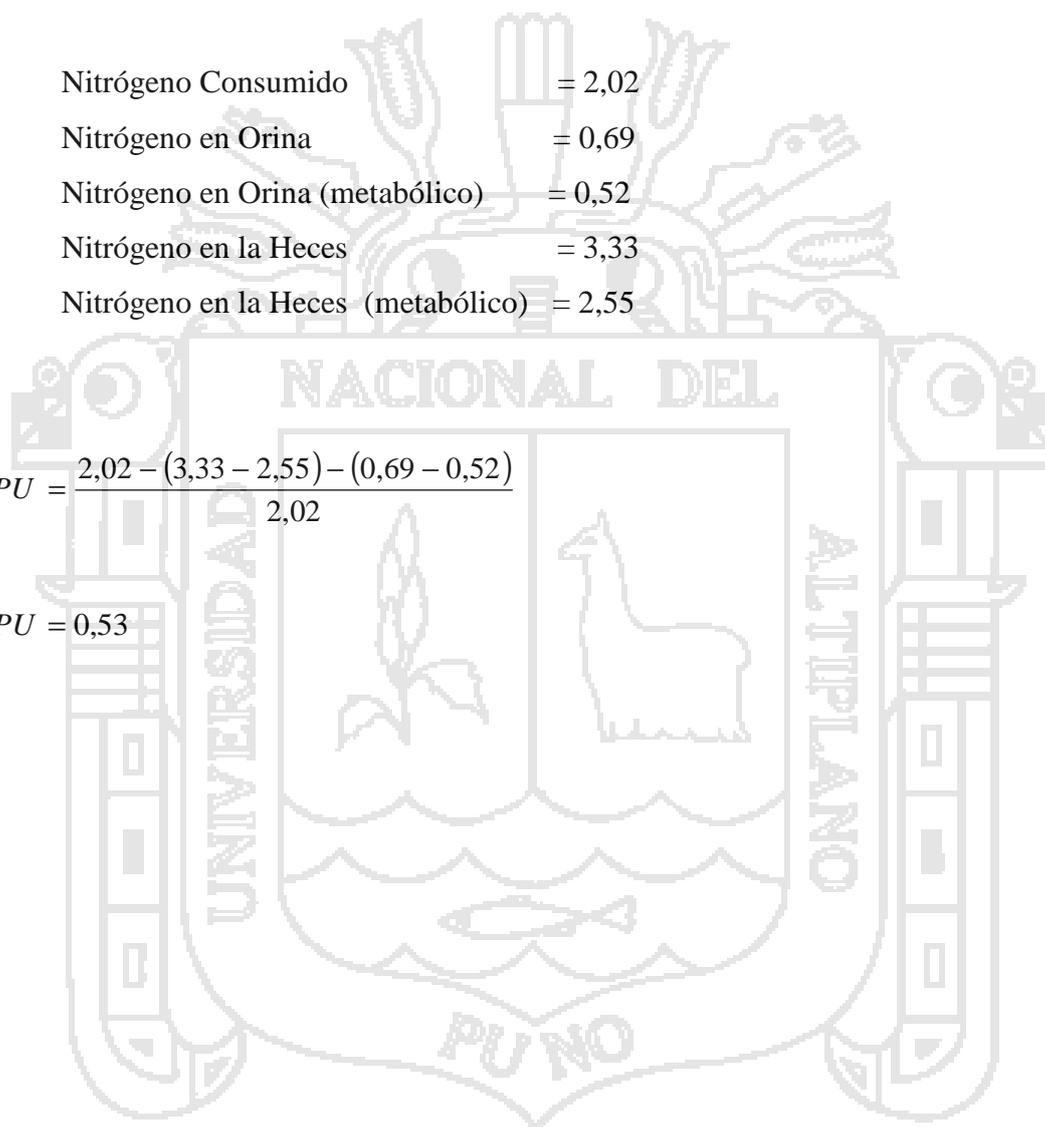
Nitrógeno en Orina (metabólico) = 0,52

Nitrógeno en la Heces = 3,33

Nitrógeno en la Heces (metabólico) = 2,55

$$NPU = \frac{2,02 - (3,33 - 2,55) - (0,69 - 0,52)}{2,02}$$

$$NPU = 0,53$$



ANEXO 24: DATOS DE DIGESTIBILIDAD VERDADERA Y VALOR BIOLÓGICO

Grupo Experimental

Rata N° 1

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida dieta+Comedero (g) | Perdida de dieta (g) | Dieta consumida (g) | Peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 58,5 | 14,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 56,5 | 14,2 | 10 | 15,6 | 2,4 | 6,2 | 1,2 |
| 2 | 56,4 | 14,2 | 10 | 14,2 | 3,2 | 6,8 | 1,2 |
| 3 | 56,6 | 14,2 | 10 | 14,8 | 2,8 | 6,6 | 1,2 |
| 4 | 56,7 | 14,2 | 12 | 14,4 | 3,6 | 8,2 | 2 |
| 5 | 56,6 | 14,2 | 12 | 14,2 | 0,8 | 11,2 | 3,2 |
| 6 | 56,2 | 14,2 | 12 | 14,6 | 1,8 | 9,8 | 2,8 |
| 7 | 56,3 | 14,2 | 12 | 15,2 | 3,2 | 7,8 | 2,1 |
| 8 | 56,4 | 14,2 | 15 | 14,8 | 3,4 | 11 | 3,2 |
| 9 | 56,2 | 14,2 | 15 | 15 | 2,6 | 11,6 | 3,4 |
| 10 | 56,1 | 14,2 | 15 | 14,6 | 1,8 | 12,8 | 3,8 |

Rata N° 2

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 57,9 | 11,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 58,3 | 11,4 | 10 | 12 | 2,4 | 7 | 1,8 |
| 2 | 57,6 | 11,4 | 10 | 11,8 | 3,8 | 5,8 | 1,2 |
| 3 | 57 | 11,4 | 10 | 11,6 | 1,8 | 8 | 2,2 |
| 4 | 56,7 | 11,4 | 12 | 12,8 | 2,2 | 8,4 | 2,4 |
| 5 | 56,6 | 11,4 | 12 | 12,4 | 3,6 | 7,4 | 1,8 |
| 6 | 56,8 | 11,4 | 12 | 11,8 | 2,4 | 9,2 | 2,8 |
| 7 | 57,1 | 11,4 | 12 | 13,4 | 2,6 | 7,4 | 2,2 |
| 8 | 56,4 | 11,4 | 15 | 12,6 | 1,8 | 12 | 3,8 |
| 9 | 56,4 | 11,4 | 15 | 13 | 3 | 10,4 | 3,6 |
| 10 | 56,3 | 11,4 | 15 | 11,8 | 2,2 | 12,4 | 4,2 |

Rata N° 3

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 58,9 | 12,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 59,3 | 12,2 | 10 | 13,6 | 2,8 | 5,8 | 1,6 |
| 2 | 59 | 12,2 | 10 | 12,2 | 2,6 | 7,4 | 1,8 |
| 3 | 59,2 | 12,2 | 10 | 13,4 | 1,8 | 7 | 1,8 |
| 4 | 58,9 | 12,2 | 12 | 12,4 | 3 | 8,8 | 2,2 |
| 5 | 57,8 | 12,2 | 12 | 12,6 | 2,2 | 9,4 | 2,8 |
| 6 | 58 | 12,2 | 12 | 14 | 1,8 | 8,4 | 2,4 |
| 7 | 58,5 | 12,2 | 12 | 12,4 | 2,2 | 9,6 | 1,9 |
| 8 | 58,5 | 12,2 | 15 | 13,8 | 3,6 | 9,8 | 2,8 |
| 9 | 58,7 | 12,2 | 15 | 14,2 | 3,8 | 9,2 | 2,6 |
| 10 | 58,7 | 12,2 | 15 | 12,2 | 2 | 13 | 4,4 |

Rata N° 4

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 58,3 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 56,7 | 13 | 10 | 16,2 | 3,4 | 3,4 | 1,2 |
| 2 | 56,1 | 13 | 10 | 13,8 | 3,8 | 5,4 | 1,6 |
| 3 | 56,4 | 13 | 10 | 13,6 | 1,8 | 7,6 | 0,8 |
| 4 | 56,7 | 13 | 12 | 13,4 | 3,4 | 8,2 | 1,8 |
| 5 | 56,2 | 13 | 12 | 14 | 2,6 | 8,4 | 0,8 |
| 6 | 56,3 | 13 | 12 | 13,6 | 1,8 | 9,6 | 0,8 |
| 7 | 56,3 | 13 | 12 | 13,2 | 3,4 | 8,4 | 2 |
| 8 | 56,2 | 13 | 15 | 14,8 | 2,6 | 10,6 | 1,6 |
| 9 | 56,3 | 13 | 15 | 13 | 1,8 | 13,2 | 1,2 |
| 10 | 56,3 | 13 | 15 | 13,8 | 2,2 | 12 | 2,2 |

Grupo Aprovecho

Rata N° 1

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 58,4 | 12,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 55 | 12,4 | 15 | 12,4 | 1,6 | 13,4 | 0,2 |
| 2 | 52,4 | 12,4 | 15 | 12,8 | 1,6 | 13 | 0,6 |
| 3 | 51,4 | 12,4 | 15 | 13 | 1,8 | 12,6 | 0,8 |
| 4 | 49,2 | 12,4 | 17 | 16 | 2,2 | 11,2 | 0,2 |
| 5 | 48 | 12,4 | 17 | 12,4 | 2,4 | 14,6 | 1,2 |
| 6 | 46,2 | 12,4 | 17 | 14,8 | 3,2 | 11,4 | 1,4 |
| 7 | 43,6 | 12,4 | 17 | 12,6 | 2 | 14,8 | 0,8 |
| 8 | 42 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,4 | 18,4 | 0,6 |
| 9 | 40,2 | 12,4 | 20 | 15,2 | 4 | 13,2 | 1,8 |
| 10 | 39,2 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,8 | 18 | 1,4 |

Rata N° 2

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 57,4 | 12,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 55,2 | 12,4 | 15 | 13 | 2 | 12,4 | 0,8 |
| 2 | 52,6 | 12,4 | 15 | 13,8 | 1,6 | 12 | 0,6 |
| 3 | 51,6 | 12,4 | 15 | 13 | 1,8 | 12,6 | 0,8 |
| 4 | 49,4 | 12,4 | 17 | 16 | 2,2 | 11,2 | 1 |
| 5 | 48,2 | 12,4 | 17 | 12,4 | 2,4 | 14,6 | 0,6 |
| 6 | 46,4 | 12,4 | 17 | 14,8 | 3,2 | 11,4 | 0,8 |
| 7 | 43,8 | 12,4 | 17 | 12,6 | 2 | 14,8 | 0,4 |
| 8 | 42,2 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,4 | 18,4 | 0,2 |
| 9 | 40,4 | 12,4 | 20 | 14,8 | 4 | 13,6 | 1,2 |
| 10 | 39,4 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,8 | 18 | 1,8 |

Rata N° 3

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 59,4 | 12,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 55,6 | 12,4 | 15 | 12,4 | 1,8 | 13,2 | 0,6 |
| 2 | 53 | 12,4 | 15 | 13,8 | 1,6 | 12 | 0,8 |
| 3 | 52 | 12,4 | 15 | 13 | 1,8 | 12,6 | 0,4 |
| 4 | 49,8 | 12,4 | 17 | 16 | 2,2 | 11,2 | 0,8 |
| 5 | 48,6 | 12,4 | 17 | 12,4 | 2,4 | 14,6 | 1 |
| 6 | 46,8 | 12,4 | 17 | 14,8 | 3,2 | 11,4 | 1,2 |
| 7 | 44,2 | 12,4 | 17 | 12,6 | 2 | 14,8 | 1,6 |
| 8 | 42,6 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,4 | 18,4 | 0,8 |
| 9 | 40,8 | 12,4 | 20 | 16,4 | 4 | 12 | 1,8 |
| 10 | 39,8 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,8 | 18 | 1,6 |

Rata N° 4

| Tiempo (días) | Peso de Ratas (g) | Peso comederos (g) | Dieta (g) | Perdida Dieta+Comedero (g) | perdida de dieta (g) | dieta consumida (g) | peso de heces (g) |
|---------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 0 | 59 | 12,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 56,2 | 12,4 | 15 | 12,4 | 1,8 | 13,2 | 0,4 |
| 2 | 53,6 | 12,4 | 15 | 13,8 | 1,6 | 12 | 0,2 |
| 3 | 52,6 | 12,4 | 15 | 13 | 2 | 12,4 | 0 |
| 4 | 50,4 | 12,4 | 17 | 16 | 2,2 | 11,2 | 0,8 |
| 5 | 49,2 | 12,4 | 17 | 12,4 | 2,4 | 14,6 | 0,6 |
| 6 | 47,4 | 12,4 | 17 | 14,8 | 3,2 | 11,4 | 0,6 |
| 7 | 44,8 | 12,4 | 17 | 12,6 | 2 | 14,8 | 1,6 |
| 8 | 43,2 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,4 | 18,4 | 1,4 |
| 9 | 41,4 | 12,4 | 20 | 15,6 | 4 | 12,8 | 1,8 |
| 10 | 40,4 | 12,4 | 20 | 12,6 | 1,8 | 18 | 2,6 |

ANEXO 25: RESOLUCION PARA DETERMINAR LA DV Y VB

$$D_v = \frac{NI - (NF - NF_k)}{NI} \times 100$$

$$VB = \frac{NI - (NF - NF_k) - (NU - NU_k)}{NI - (NF - NF_k)} \times 100$$

Donde:

NI= nitrógeno ingerido por el grupo alimentado con dieta experimental

NF= Nitrógeno fecal excretado por el grupo experimental

NF_k= Nitrógeno fecal metabólico

NU= Nitrógeno urinario excretado por el grupo experimental

UN_k= Nitrógeno urinario endógeno proveniente del grupo alimentado con dieta
aproteica.

Datos:

NI= 1.5456

NF= 3.33

NF_k= 2.55

NU= 0.69

UN_k= 0.52

$$D_v = \frac{1,5456 - (3,33 - 2,55)}{1,5456} \times 100 = 49,53\%$$

$$VB = \frac{1,5456 - (3,33 - 2,55) - (0,69 - 0,52)}{1,5456 - (3,33 - 2,55)} \times 100 = 77,79\%$$

ANEXO 26: SECADO DE CUSHURO (*Nostoc Sphaericum*)

Imagen 1. Materia prima



Imagen 2. Selección



Imagen 3. Lavado



Imagen 4. Pesado



Imagen 5. Cámara de Secado



ANEXO 27: EVALUACIÓN BIOLÓGICA

Imagen 1. Formulación



Imagen 2. Pesado de la dieta



Imagen 3. Alimentación de las ratas



Imagen 4. Agua ad libitun



Imagen 5. Pesado de las ratas

