

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“OBTENCIÓN DE HARINA DE LA HOJA DE RAMIO (*Boehmeria nivea*), PARA USO COMO ALIMENTO ANIMAL”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentado por:

DAVID PÉREZ DEL AGUILA

Tarapoto – Perú
2006

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“OBTENCIÓN DE HARINA DE LA HOJA DE RAMIO (Boehmeria nivea), PARA USO COMO ALIMENTO ANIMAL”

TESIS PRESENTADO PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Por:

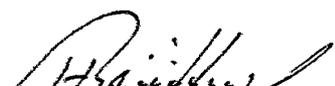
DAVID PÉREZ DEL AGUILA

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE EL SIGUIENTE JURADO:



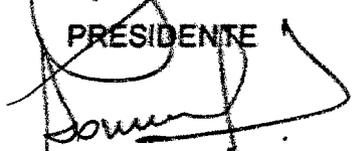
Ing. M. Sc. Epifanio Martínez Mena

PRESIDENTE



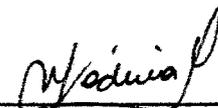
Ing. Horacio Ramírez García

SECRETARIO



Ing. Abilio Dominguez Baldoceada

MIEMBRO



Ing. Dr. Mari Luz Medina Vivanco

ASESORA

TARAPOTO - PERÚ

2006

DEDICATORIA

A mi querida hija Claudia Nicole,
Que es lo mas bello que Dios me
Ha dado.

A mis padres Elena y Walter
Con todo mi amor y gratitud por apoyarme
siempre y por ayudarme a cumplir este objetivo.

A mi esposa Claudia, a mis hermanos: Walter, Teresa y
Norma que me motivaron siempre
para seguir adelante

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto por las facilidades brindadas.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín; por las enseñanzas impartidas para mi formación profesional.

Expreso mi agradecimiento y especial gratitud a la Dra. Mari Medina Vivanco por el valioso asesoramiento que hizo posible la culminación del presente Informe de Ingeniería

Al Dr. Oscar Mendieta por su desinteresado aporte y enseñanza.

A mis padres por hacer posible este trabajo y por haber estado conmigo apoyándome todo este tiempo.

A mi esposa ¹⁹⁸⁸ Claudia J. Guardamino Álvarez, que gracias a su apoyo incondicional motivó en mí la culminación de este presente trabajo de Tesis.

| ÍNDICE | Pág. |
|---|-------------|
| DEDICATORIAS | 3 |
| AGRADECIMIENTOS | 4 |
| INDICE | 5 |
| RESUMEN | 10 |
| ABSTRACT | 11 |
| I. INTRODUCCIÓN | 12 |
| II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1 GENERALIDADES | 14 |
| 2.1.1 Descripción | 14 |
| 2.1.2 Características botánicas | 14 |
| 2.1.3 Clasificación taxonómica | 15 |
| 2.1.4 Usos del ramio | 16 |
| 2.1.5 Composición proximal | 16 |
| 2.1.6 Valor nutricional | 19 |
| 2.1.7 Producción | 20 |
| 2.2 SECADO | 21 |
| 2.2.1 Consideraciones Teóricas | 21 |
| 2.2.2 Cinética de secado | 21 |
| I Período Inicial | 23 |
| II Período de velocidad constante (Nwc) | 23 |
| III Primer período de velocidad decreciente | 24 |
| IV Segundo período de velocidad decreciente | 24 |
| 2.3 TRANSFERENCIA DE MASA | 25 |
| 2.4 APLICACIONES DEL SECADO EN EL CAMPO | |
| AGROALIMENTARIO | 26 |
| 2.5 MOLIENDA | 28 |
| 2.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO O TAMIZADO | 30 |
| 2.7 METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA | 31 |

| | |
|--|----|
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 33 |
| 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN | 33 |
| 3.2 MATERIA PRIMA | 33 |
| 3.3 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS | 33 |
| 3.3.1 Equipos | 33 |
| 3.3.2 Materiales | 34 |
| 3.4 REACTIVOS | 35 |
| 3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL | 35 |
| 3.6 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE SECADO DEL RAMIO | 36 |
| Obtención de la materia prima | 37 |
| 3.6.1 Selección y clasificación | 37 |
| 3.6.2 Disposición de las hojas en la bandeja de secado | 37 |
| 3.6.3 Deshidratado | 37 |
| 3.6.4 Enfriado | 38 |
| 3.6.5 Molienda y Tamizado | 38 |
| 3.6.6 Empacado | 38 |
| 3.7 MÉTODOS DE CONTROL | 38 |
| 3.7.1 Controles en el Ramio | 38 |
| 3.7.1.1 Análisis químico proximal | 39 |
| 3.7.1.1.1 Humedad | 39 |
| 3.7.1.1.2 Proteína total | 39 |
| 3.7.1.1.3 Grasa total | 39 |
| 3.7.1.1.4 Ceniza total | 39 |
| 3.7.1.1.5 Fibra total | 39 |
| 3.7.1.1.6 Carbohidratos totales | 39 |
| 3.7.2 Controles durante el proceso | 39 |
| 3.7.3 Controles fisicoquímicos de las hojas secas de Ramio | 40 |
| 3.7.4 Control de color de las hojas de Ramio secas | 40 |
| 3.7.5 Determinación de difusividad del agua | 40 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 41 |
| 4.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL | 41 |
| 4.2 SECADO | 42 |
| 4.2.1 Cinética de secado | 42 |
| 4.2.2 Velocidad de secado | 45 |
| 4.2.3 Difusividad | 47 |
| 4.3 MOLIENDA Y TAMIZADO | 53 |
| 4.4 COLOR | 54 |
| 4.5 EVALUACIÓN NUTRICIONAL | 54 |
| V. CONCLUSIONES | 57 |
| VI. RECOMENDACIONES | 59 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA | 60 |
| VIII. ANEXOS | 63 |

INDICE DE CUADROS

| N° | TITULO | Pág. |
|-----------|---|-------------|
| 1 | Algunas arbóreas con potencial para la alimentación de monogástricos | 17 |
| 2 | Composición proximal(%) de algunos follajes y granos | 18 |
| 3 | Composición Proximal (%) del Follaje de Ramio | 18 |
| 4 | Digestibilidad (%) del Follaje de Ramio | 20 |
| 5 | Tratamiento para la etapa de secado de hojas de Ramio | 35 |
| 6 | Análisis químico proximal de las hojas de Ramio | 41 |
| 7 | Difusividad aparente del agua presente en hojas de Ramio a diferentes tratamientos de temperatura y velocidad de aire de secado | 49 |
| 8 | Parámetros de la ecuación de Page para hojas de Ramio a diferentes tratamientos de temperatura y velocidad de aire de secado | 51 |
| 9 | Valores para determinación de digestibilidad aparente de Ramio en ratas Holtzman | 55 |
| 10 | Datos Experimentales de Secado de Hojas de Ramio a Temperatura de 40°C | 73 |
| 11 | Datos Experimentales de Secado de Hojas de Ramio a Temperatura de 50°C | 74 |
| 12 | Datos Experimentales de Secado de Hojas de Ramio a Temperatura de 60°C | 75 |
| 13 | Valores Experimentales Considerados para la Figura 19 | 75 |
| 14 | Valores Experimentales considerados para la Figura 20 | 75 |

INDICE DE FIGURAS

| N° | TITULO | Pág. |
|----|--|------|
| 1 | Representación del fenómeno de secado | 21 |
| 2 | Curva característica de secado | 23 |
| 3 | Representación esquemática de los períodos de la velocidad de secado | 25 |
| 4 | Secador por flujo de aire caliente | 33 |
| 5 | Diagrama de flujo del secado de hojas de Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>) | 36 |
| 6 | Hoja de Ramio fresca | 42 |
| 7 | Cinética de secado a temperatura de 40°C y velocidades de aires de secado de 0.5 y 1.1 m/s | 43 |
| 8 | Cinética de secado a temperatura de 50°C y velocidades de aire de secado de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s | 43 |
| 9 | Cinética de secado a temperatura de 60°C y velocidades de aire de secado de 1.1 m/s | 44 |
| 10 | Cinética de secado a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C con velocidad de aire de 1.1 m/s | 45 |
| 11 | Velocidades de secado a temperatura de 40°C para velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s | 45 |
| 12 | Velocidades de secado a temperatura de 50°C para velocidades de aire de secado de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s | 46 |
| 13 | Velocidades de secado a temperatura de 60°C para velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s | 46 |
| 14 | Comportamiento de las difusividades a temperaturas de 40°C a velocidades de aire de secado de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s | 48 |
| 15 | Comportamiento de las difusividades a temperatura de 50°C a velocidades de aire de secado de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s | 48 |
| 16 | Comportamiento de las difusividades a temperatura de 60°C y velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s | 49 |
| 17 | Superficie de respuesta para la difusividad del agua de las hojas del Ramio | 50 |
| 18 | Comportamiento de los parámetros "k" y "n" de la ecuación de Page para el secado de hojas de Ramio | 52 |
| 19 | Resultados para el tamizado de harina de hojas de Ramio | 53 |
| 20 | Luminosidad de hojas de Ramio deshidratadas por flujo de aire caliente a 40°C, 50°C y 60°C | 54 |
| 21 | Ratas utilizadas en la evaluación nutricional de harina de Ramio | 56 |

INDICE DE ANEXOS

| N° | TITULO | Pág. |
|----|---|------|
| 1 | Resultados de Evaluación nutricional (UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA) | 64 |
| 2 | Datos Experimentales de Secado de Hojas de Ramio a Temperaturas de 40, 50 y 60°C | 73 |
| 3 | Valores Experimentales Considerados para la Figura 19 | 75 |
| 4 | Valores Experimentales Considerados para la Figura 20 | 75 |
| 5 | Cálculo de Calor utilizado para el Secado de un lote de hojas de Ramio (B. nivea) | 76 |
| 6 | Anova | 77 |

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Ingeniería y Proyectos y el Laboratorio de análisis de los alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, y está orientado a encontrar parámetros adecuados para la deshidratación del follaje de ramio (Boehmeria nivea), especie de alto valor nutritivo y que se adapta satisfactoriamente a las condiciones ambientales que presenta la región San Martín. Fueron realizadas determinaciones de análisis proximal, obteniéndose los siguientes valores: Humedad 87.03%, 2.82% de proteínas, 0.7% de extracto etéreo, 2.4% de cenizas, 1.62% de fibra y 5.43% de extracto libre de nitrógeno, en el material fresco, mientras que en el producto deshidratado se obtuvieron valores de: 8.68% de humedad, 19.79% de proteínas, 4.92% de extracto etéreo, 16.85% de cenizas, 11.37% de fibra y 38.39% de extracto libre de nitrógeno. Para el secado se utilizó un equipo secador convectivo de laboratorio con velocidad y temperatura del aire de secado variables; durante todo este proceso se controló la pérdida de peso resultante de la evaporación del agua contenida en las hojas, a intervalos de tiempo definidos para las diferentes condiciones de temperatura (40°C, 50°C y 60°C) y velocidad de aire (0.5 m/s, 0.8 m/s y 1.1 m/s) utilizados. La difusividad del agua presente en las hojas de ramio fue calculada ajustando el modelo de Fick para placa plana infinita, empleando el programa Microcal Origin 3.5, determinándose un buen grado de ajuste con los datos experimentales de secado y valores para esta propiedad que van desde 0.804×10^{-10} m²/s hasta 3.23×10^{-10} m²/s, cuando se aumenta la temperatura de 40°C a 60°C. La velocidad de secado calculada fue de 1.5, 2 y 3 kg/h m² para las temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C, respectivamente. La luminosidad de las hojas secas varió entre 33 y 37 unidades de color, tratándose de un producto destinado a consumo animal el color final del producto no sería importante, más sí lo es la disponibilidad de nutrientes, lo que permitió realizar el proceso en el menor tiempo posible, y con valor intermedio de luminosidad. La harina obtenida atravesó en un 60% la malla de 180 micras, y la digestibilidad aparente de la misma fue de 34.78, lo cual la hace recomendable para alimentación animal.

ABSTRACT

The present work was developed in the Laboratory of Engineering and Projects and the Laboratory of Food analysis of the Agro-industrial Engineering School, and is oriented to find parameters for the dehydration of ramio leaves (Boehmeria nivea), species of high nutritious value and that adapts satisfactorily to the environmental conditions of San Martín region. Determinations of proximal analysis were made, obtaining values of 87.03% for humidity, 2.82% for proteins, 0.7% for lipids, 2.4% for ashes, 1.62% for fiber and 5.43% for free nitrogen extract, in the fresh material, whereas in the dehydrated product were obtained values of 8.68% for humidity, 19.79% for proteins, 4.92% for lipids, 16.85% for ashes, 11.37% for fiber and 38.39% for free nitrogen extract. For the drying it was used a convective drying equipment of laboratory with velocity and temperature variables of drying air; throughout this process controlled the weight loss in the leaves, at intervals of time defined for the different conditions of temperature (40°C, 50°C and 60°C) and air velocity (0.5 m/s, 0.8 m/s and 1.1 m/s) used. The water diffusivity in the ramio leaves was calculated fitting the Fick's model for infinite slab, using the program Microcal Origin 3.5, determining a good degree of adjustment with the experimental drying dates and values for this property that go from $0.804 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ to $3.23 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, when the temperature is increased of 40°C to 60°C. The calculated drying velocity was of 1.5, 2 and 3 kg/h m² for the temperatures of 40°C, 50°C and 60°C, respectively. The luminosity of the dry leaves varied between 33 and 37 units of color. The obtained flour crossed in a 60% the mesh of 180 microns, and the apparent digestibility was of 34.78, which makes recommendable for animal feeding.

I. INTRODUCCIÓN

El ramio (Boehmeria nivea) es una urticácea de procedencia asiática, Crece en zona de clima templado o sub-tropical y por su alta resistencia a las plagas y una respuesta positiva al tratamiento ecológico está incluida en la lista de cultivos biológicos. Es una planta herbácea perenne y su ciclo vegetativo es de cerca de 20 años. Del ramio se obtienen dos productos de la parte externa (corteza) se obtiene la fibra textil y las partes frescas de la hoja representan un producto altamente nutritivo para uso zootécnico.

La planta de ramio se cultiva principalmente como planta textil pero puede también utilizarse como fuente de forraje verde nutritivo. Las hojas y puntas, a diferencia de lo que sucede con los tallos, son pobres en fibras y ricas en proteínas, minerales, lisina y carotenos.

El ramio se utiliza en varios países del mundo siendo también poco conocido o desconocido en otros, como el caso del Perú, sin embargo el consumo de este producto va en creciente aumento tal como ocurre en algunos países de Centro y Sur América.

La búsqueda de materias primas que ofrezcan la alternativa de substituir a los ingredientes importados, ha abierto la posibilidad de considerar algunos cultivos de claras ventajas agroecológicas en el medio tropical. En este contexto se ubica el ramio (Boehmeria nivea), una urticácea que es considerada como una fuente promisoría en la alimentación de aves, cerdos y vacunos.

Sin embargo en el Perú, a pesar que se cuenta con zonas apropiadas para el cultivo del mismo, éste no se realiza porque no se cuenta con estudios para el procesamiento industrial que impulse a la siembra comercial.

El secado es una operación en la cual se debe tener en cuenta los mecanismos de transmisión de calor y transporte de materia, que en el caso del deshidratado del follaje de ramio suele ser el vapor de agua, y el gas empleado para la deshidratación que suele ser el aire.

Se conoce una variada bibliografía disponible a nivel mundial sobre estudios de secado de alimentos, pero también se ha verificado que en nuestro país son escasos los antecedentes existentes sobre la variación de humedad durante la deshidratación de productos alimenticios, particularmente en el caso del ramio.

A través del presente trabajo de investigación se buscó determinar los parámetros adecuados de procesamiento para la obtención de harina de hoja de ramio, contribuyendo para el mejor aprovechamiento de la planta, siendo los objetivos planteados los siguientes:

- Obtener harina de follaje de ramio (Boehmeria nivea),
- Evaluar las características físico-químicas y nutricionales del follaje y de la harina de ramio (Boehmeria nivea).
- Determinar los parámetros para el proceso de secado y molienda del follaje de ramio (Boehmeria nivea).

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades:

2.1.1. Descripción

El ramio (Boehmeria nivea) es una planta originaria de China y de las zonas tropicales del extremo oriente. Posteriormente se extendió a Bélgica, Argelia y Estados Unidos. El ramio blanco y el ramio verde, ambos de género *Urtica*, son variedades comunes en Europa (Rodríguez, 1990).

Se conoce la variedad japonesa Murukami, de alta producción muy precoz y con un contenido de 4 – 6 % de fibra de excelentes cualidades físicas (Terranova, 1995).

Rodríguez (1990), expresa que el ramio tiene grandes perspectivas para convertirse en un cultivo de alta rentabilidad para zonas tropicales y subtropicales.

Puede crecer bajo diferentes condiciones climáticas; para cosechas rentables requiere temperaturas altas y constantes (24 – 27°C), atmósfera húmeda y lluvias anuales bien distribuidas de por lo menos 1000 mm. El riego es necesario durante periodos de sequías prolongadas. Requiere suelos de buen drenaje y de buena fertilidad natural. Para mantener plantas vigorosas después de la cosecha, es necesario una buena fertilización (Rodríguez, 1990).

2.1.2. Características botánicas

El ramio (Boehmeria nivea), es una especie herbácea, erecta, crece a partir de rizomas que producen tallos rectos y pubescentes de color pardo cuando están maduros. Los tallos se ramifican, son anuales, con altura variable de 1

a 3 m. y diámetro de 7 a 12 mm. Las hojas son alternas, pecioladas y acorazonadas con bordes dentados; son verdes en su parte superior y blancas plateadas en el envés. Las flores estaminadas, masculinas, se originan en la parte inferior del tallo o debajo de las flores pistiladas en la misma inflorescencia, tienen un cáliz con cinco divisiones e igual número de estambres. Las flores pistiladas tiene un cáliz tubular dividido en dos o cuatro partes, el cual generalmente se contrae en la parte superior; el ovario es solitario, de una sola celda con un óvulo; el pistilo es largo, delgado y piloso o papiloso en un lado; las flores son de color verde oscuro o rosáceo, según la variedad. La semilla es abundante, muy pequeña y de color pardo oscuro cuando está madura. La parte subterránea de la planta se compone de rizomas y raíces adventicias, los rizomas se distinguen de las raíces por su color pardo y por la presencia de muchas yemas.

2.1.3. Clasificación taxonómica

Según Medina (1999), el ramio desde 1958 presenta la siguiente clasificación:

| | | |
|--------------|---|-------------------------|
| Reino | : | Vegetal |
| División | : | Embryophyta Siphonogama |
| Subdivisión | : | Angiosperma |
| Clase | : | Dicotyledoneae |
| Orden | : | Urticales |
| Familia | : | Urticaceae |
| Género | : | Boehmeria |
| Especie | : | B. nivea |
| Nombre Común | : | Ramio |

2.1.4. Usos del ramio

El ramio posee muchas características deseables en una planta textil natural. Una resistencia a la tensión considerablemente alta, ni se encoge, ni se alarga, capacidad de absorción extremadamente rápida y resistencia a la descomposición cuando se ha desgomado en forma apropiada.

Con la fibra del ramio se pueden manufacturar casi todos los productos que se hacen con algodón, lino, cáñamo o seda; por ejemplo: alfombras, telas para vestidos, telas para tapicería, bolsas para proteger armas de fuego, maletas, cable, cordeles de hilo, telas para navegación, lonas impermeables, redes para pescar, bandas industriales, tuberías para incendios y muchos otros productos (Rodríguez 1990).

FAO (2002) indica que las hojas y puntas son ricas en proteínas, minerales, lisina y caroteno. La harina de ramio ha demostrado ser valiosa para las aves de corral, ya que aporta carotenoides y riboflavina. El 5% de harina de hoja de ramio aporta suficiente vitamina A y riboflavina para las aves de corral.

2.1.5. Composición proximal

Sarriá (1999), en su publicación "Forrajes Arbóreos en la alimentación de Monogástricos", señala algunas ventajas importantes de las arbóreas como son su fácil adaptación y propagación; sirven como fuente alimenticia para aves, cerdos, conejos, cuyes, caballos y bovinos; son perennes y absorben CO₂; y protegen las fuentes de agua regulando el ciclo hídrico.

En los cuadros 1 y 2, se muestran las características más importantes de algunas especies con potencial para la alimentación de monogástricos.

Cuadro 1. Algunas arbóreas con potencial para la alimentación de monogástricos

| Especie | Altitud msnm | Precipitación mm | Producción ton-ha-año |
|--|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Quiebrabarrigo (<u>Trichanthera gigantea</u>) | 0 - 2400 | 600 - 800 | 40 - 60 |
| Ramio (<u>Boehmeria nivea</u>) | 0 - 2500 | 1000 - 3000 | 50 |
| Morera (<u>Morus alba</u>) | 1000 - 2400 | 1000 - 3000 | 40 - 70 |
| Bore (<u>Alocasia macrorhyza</u>) | 500 - 2000 | 1000 - 4000 | 140 - 230 |
| Pringamosa (<u>Urera caracasana</u>) | 0 - 1800 | 1000 - 4000 | 1,2 |
| Matarratón (<u>Gliricidia sepium</u>) | 0 - 1200 | 500 - 2000 | 60 |
| Guandul (<u>Cajanus cajan</u>) | 0 - 1200 | 700 - 1500 | 5 |
| Botón de Oro (<u>Thitonia diversifolia</u>) | 0 - 1200 | 600 - 2400 | 40 |

Sarriá (1999)

Cuadro 2. Composición proximal (%) de algunos follajes y granos

| Especie | Humedad | Proteína | Extracto etéreo | Fibra cruda | Ceniza | Extracto libre de nitrógeno |
|---------------------------------|---------|----------|-----------------|-------------|--------|-----------------------------|
| <u>Trichanthera gigantea</u> | 79 | 16 | 8 | 17-26 | 16-19 | 15 |
| <u>Boehmeria nivea</u> | 77 | 16 | 5 | 20 | 14 | 48 |
| <u>Morus alba</u> | 74 | 15-20 | 3 | 19 | 20 | 42 |
| <u>Alocasia macrorhyza</u> (h.) | 87 | 21-22 | 6 | 15-19 | 16 | 38 |
| (t.) | 90 | 6-10 | 1 | 12-16 | 15 | 66 |
| <u>Urera caracasana</u> | 81 | 28 | 2 | 18 | 31 | 28 |
| <u>Gliricidia sepium</u> | 88 | 20-23 | 21 | | | |
| <u>Cajanus cajan</u> | 12 | 22-23 | 2 | 10 | 5 | |
| <u>Thitonia diversifolia</u> | 95 | 21-28 | 6 | 15 | 17 | 17 |

Sarriá (1999)

Cuadro 3. Composición Proximal (%) del Follaje de Ramio

| | Como % de Materia Seca | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|----------------|-------------|---------|-----------------|-----------------------------|--------|---------|
| | Materia seca | Proteína bruta | Fibra bruta | Cenizas | Extracto etéreo | Extracto libre de nitrógeno | Calcio | Fósforo |
| Harina de Hoja y de Puntas, EE.UU. | 91.7 | 21.0 | 16.6 | 14.8 | 4.0 | 43.6 | 4.9 | 0.27 |
| Forraje seco, 40 cm. Guatemala | 96.1 | 22.4 | 11.9 | 17.74 | 3.2 | 44.8 | 4.5 | 0.14 |
| Forraje, 6 semanas 115cm. Tailandia | 16.2 | 11.1 | 29.0 | 15.4 | 4.3 | 40.2 | 3.70 | 0.31 |
| Harina de hoja, Sudán | 90.3 | 22.7 | 11.3 | 18.8 | 8.6 | 38.6 | 4.90 | 0.41 |

Fuente : FAO (2002)

2.1.6. Valor nutricional

En la "Revista de la Facultad Agronómica"-UNET (1997), se afirma que el Ramio ha sido considerado como una fuente promisoría en la alimentación de las aves en virtud de su valor nutricional, lo que alcanza un promedio de proteína entre 24 y 28 % resaltando igualmente los valores de calcio y magnesio que promedian 5.8 y 0.78% respectivamente, valores que superan a los máximos encontrados en cualquier otra planta forrajera (Acosta et al., 1997).

En Colombia se comenzó a utilizar en la alimentación animal a partir del año 1970. Siendo recomendado en mezclas con forrajes en caprinos y en acabado para cerdos. En aves, particularmente en gallinas ponedoras, se han logrado resultados positivos en la coloración de la yema (Acosta et al., 1997).

FAO (2002), se indica que el valor nutritivo del Ramio es similar al de la alfalfa, si bien tiene la capacidad de superar mucho a esta planta en rendimiento. Cuando se cultiva el Ramio para forraje, se puede obtener hasta 14 cortes al año con cultivos establecidos que rinden hasta 300 ton. de material fresco (42 ton. materia seca) por hectárea al año. El follaje es apetecible y ha demostrado ser valioso no sólo para el ganado bovino, sino también para los cerdos y las aves de corral. El Ramio puede pastarse, utilizarse como forraje verde, ensilarse junto con melazas, o secarse artificialmente para convertirlo en harina de hoja. El Ramio es apetecible para toda clase de ganado doméstico, y constituye un excelente pienso para los bovinos, teniendo niveles de minerales satisfactorios.

El Ramio puede suministrarse como alimento de los cerdos de todas las edades y obtener una producción aceptable (Acosta et al., 1997).

Cuadro 4. Digestibilidad (%) del Follaje de Ramio

| | Animal | Proteína bruta | Fibra bruta | Extracto etéreo | Extracto libre de nitrógeno | Energía metaboli- zable (MJ/kg) |
|------------------------------|----------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| Fresco, 4 semanas | Ovinos | 56.0 | 45.0 | 48.0 | 39.0 | 1.47 |
| Fresco, 6 semana | Ovinos | 46.0 | 49.0 | 23.0 | 53.0 | 1.58 |
| Harina de Hoja | Caprinos | 56.2 | 32.6 | 40.0 | 47.2 | 1.61 |

Fuente : FAO (2002)

2.1.7. Producción

El principal productor de ramio es China Continental, cuya producción sobrepasa las 100,000 TM anuales de fibra cruda. Taiwán produce unas 1,000 TM de fibra cruda anuales, Japón alrededor de las 3,000 TM y Corea del Sur otras más o menos 500 TM al año. Filipinas es también productor de ramio, alcanzando a unas 2,500 TM la producción anual de fibra cruda de ramio. En Brasil, el ramio se cultiva principalmente en los Estados de Sao Paulo y Río de Janeiro, así como en el Norte del Estado de Paraná, alcanzándose a producir unas 8,000 TM anuales de fibra cruda.

La producción mundial de fibra cruda de ramio es del orden de las 130,000 – 140,000 TM/año.

Los países importadores de fibra cruda de ramio son principalmente Japón, Alemania, Francia, Reino Unido, Estados Unidos y China que exporta apenas alrededor de un 20% (20,000 – 25,000 TM anuales) de su producción de fibra cruda de ramio, que es principalmente adquirida por Japón.

En San Martín no se tienen datos estadísticos a cerca del cultivo, por ser una planta no muy conocida.

2.2. SECADO

2.2.1. Consideraciones Teóricas

El secado de alimentos es un fenómeno complejo que involucra la transferencia de calor y materia (Laboratorio virtual de secado, 2000).

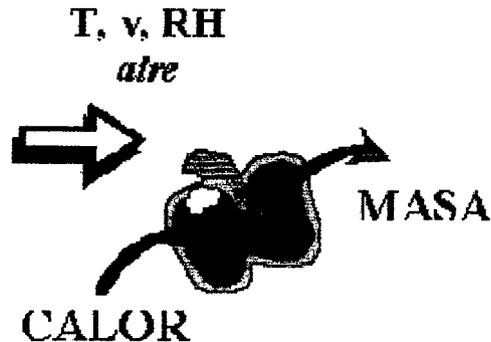


Figura 1. Representación del fenómeno de secado

En la figura 1, está representado el fenómeno de secado, en el cual intervienen parámetros de secado importantes como el calor influenciado por la temperatura, velocidad del aire y la humedad relativa del medio, provocando la transferencia de agua desde el interior hacia el exterior del cuerpo a deshidratar.

2.2.2. Cinética de Secado

El secado se refiere a la eliminación del agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. También se utiliza en referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos (Geankoplis, 1995). Una curva característica de secado se presenta en la Figura 2.

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial de alimentos), se usa también como una técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer ni multiplicarse en ausencia de agua pudiendo los alimentos almacenarse durante periodos bastante largos. (Geankoplis, 1995).

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procede colocando la muestra en una bandeja. Si se trata de sólido, se debe llenar por completo la base de la bandeja de tal manera que solo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida de peso durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye aire caliente para el secado.

Al realizar los experimentos de secado por lotes, deben observarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se asemejen lo más posible a las que imperarán en las operaciones a gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y debe introducirse en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación de superficie de secado a superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido debe ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser los mismos y constantes para simular un secado en condiciones invariables (Geankoplis, 1995).

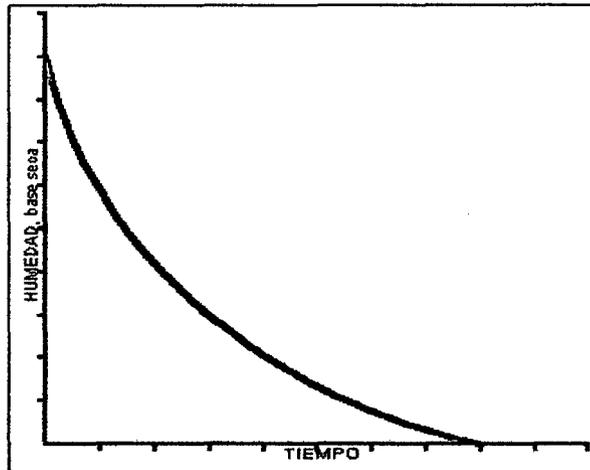


Figura 2. Curva característica de secado.

Existen muchos mecanismos posibles de secado, pero aquellos que controlan el secado de una partícula dependen de su estructura y de los parámetros de secado-condiciones de secado (temperatura, velocidad y humedad relativa del aire), contenido de humedad, dimensiones, superficie expuesta a la velocidad de transferencia, y contenido de humedad de equilibrio de la partícula. Durante el secado con aire bajo condiciones ambientales constantes, la curva de secado puede ser dividida en los siguientes cuatro períodos de velocidad de secado, mostrados en la Figura 3 (Laboratorio virtual de secado, 2000).

I- Período Inicial: la evaporación ocurre desde una superficie libre y, usualmente cuando la temperatura incrementa desde su valor inicial (T_0) hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire (T_{wb}). En algunos casos, cuando la temperatura del producto es mayor que la correspondiente temperatura de bulbo húmedo del aire, el producto disminuye su temperatura. Este período inicial dura pocos minutos (contenido de humedad inicial).

II- Período de velocidad constante (Nwc): durante este período el secado aún se lleva a cabo por evaporación de la humedad desde una superficie saturada (evaporación desde una superficie libre) y el

material permanece a T_{wb} . La mayoría de los productos alimenticios no exhiben un período de velocidad de secado constante.

III- Primer período de velocidad decreciente: El contenido de humedad al final del período de velocidad constante es el contenido de humedad crítico (X_{cr}). En este punto la superficie del sólido ya no se encuentra saturada de agua, y la velocidad de secado disminuye con el decrecimiento en el contenido de humedad y el incremento en la temperatura. En el punto final de este período, el film de humedad superficial se ha evaporado completamente y, con el posterior decrecimiento en el contenido de humedad, la velocidad de secado es controlada por la velocidad de movimiento de la humedad dentro del sólido.

IV- Segundo período de velocidad decreciente: Este período representa las condiciones correspondientes a una velocidad de secado totalmente independiente de las condiciones externas. La transferencia de humedad puede ocurrir por una combinación de difusión de líquido, movimiento capilar, y difusión de vapor. La temperatura del producto se acerca a la temperatura de bulbo seco (T_g) y el contenido de humedad se aproxima asintóticamente al valor de equilibrio (X_e).

Los mecanismos I y II siguen la ley de transferencia de calor y masa para un objeto totalmente húmedo. Los mecanismos III y IV siguen la segunda ley de difusión de Fick, pero usando diferentes condiciones de frontera, para el mecanismo III es la igualdad de flujos de transferencia de masa en la superficie, y para el mecanismo IV, la igualdad del contenido de agua al valor de equilibrio X_e (Laboratorio virtual de secado, 2000).

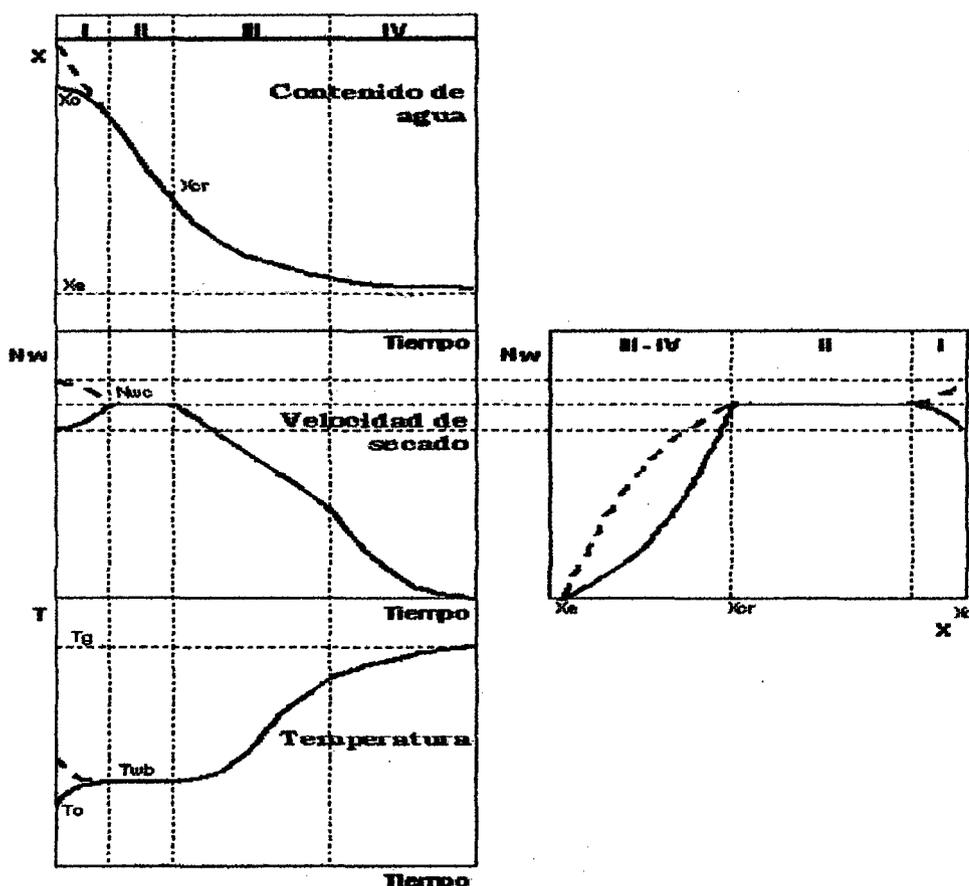


Figura 3. Representación esquemática de los períodos de la velocidad de secado.

(X: contenido de humedad; Nw: velocidad de secado; T: temperatura)

2.3. TRANSFERENCIA DE MASA

Durante el secado ocurre transferencia de vapor de agua desde la superficie húmeda del sólido hacia el aire en movimiento. Es un mecanismo análogo a la transferencia de calor por convección, por lo que se usa un coeficiente de transferencia de masa.

La difusión de la humedad se verifica cuando existe una diferencia de concentración entre el interior del sólido y la superficie, pudiendo la difusividad del agua ser determinada mediante la ecuación de Fick (Ecuación 1) (Geankoplis, 1995), o también estimarse las constantes "k" y "n" de la ecuación de Page, Ecuación 3, (Sarsavadia *et al.*, 1999).

Ecuación de Fick

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \dots\dots\dots (1)$$

Solución de la ecuación de Fick para placa plana:

$$\frac{X - X^*}{X_t - X^*} = \frac{X}{X_t} = \frac{8}{\pi^2} \left[e^{-D_L t \left(\frac{\pi}{2x_1}\right)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D_L t \left(\frac{\pi}{2x_1}\right)^2} + \frac{1}{25} e^{-25D_L t \left(\frac{\pi}{2x_1}\right)^2} \right] \dots\dots\dots (2)$$

La ecuación de Page, reportada por varios investigadores como un modelo adecuado para describir el comportamiento de secado en capa fina, fue también utilizada para el ajuste de los datos experimentales de cinética de secado de Ramio:

$$\frac{X - X^*}{X_t - X^*} = \frac{X}{X_t} = \exp(-kt^n) \dots\dots\dots (3)$$

en la cual "n" es un parámetro que depende del producto y de las condiciones de secado.

2.4. APLICACIONES DEL SECADO EN EL CAMPO AGROALIMENTARIO

En el campo agroalimentario el secado es una técnica que se viene aplicando desde hace mucho tiempo atrás. Así tenemos que:

Zakhia *et al.* (1995) modelaron la cinética de secado de pescado usando combinación de metodología de superficie de respuesta y modelos de difusión, donde el rasgo original de este estudio ha sido el uso combinado de metodología de superficie de respuesta y modelos de difusión en un número limitado de experimentos; esta combinación permitió el desarrollo de una herramienta de predicción evaluando en el pescado los mecanismos de secado así como el tiempo de secado.

Texeira y Tobinaga (1998) estudiaron la transferencia de masa del agua durante el secado de músculo de calamar (*Loligo brasiliensis*) previamente salado y ahumado por humo líquido, tomando a la difusividad efectiva como una función exponencial de la humedad. El resultado obtenido fue comparado con los valores calculados por el método de la pendiente. El modelo basado en la segunda ley de Fick y resuelto por el método de diferencia finita explícita fue aplicado a una geometría de cilindro hueco (manto de calamar), sin considerar el encogimiento, con resultados adecuados.

Vivanco (1999) estudió la influencia de las condiciones de operación en la cinética de secado de uva de la variedad Moscatel Romano utilizando un secador de laboratorio. El tratamiento previo al secado se realizó por inmersión de las uvas en una solución de NaOH al 0.15%. Se trabajó con diferentes temperaturas de secado (50, 60, 65 y 70°C) manteniendo constante la velocidad másica del aire de secado (21300 Kg/m²h). Se registró la humedad y temperatura de entrada de aire al secador. La velocidad de secado decreciente se presentó desde el inicio de la operación de secado. Se empleó un modelo basado en la segunda ley de Fick para la determinación de la característica difusional del producto, sin considerar la concentración de la partícula durante el secado. Las hipótesis asumidas permitieron obtener una excelente correlación entre las variables experimentales y calculadas. La variación de la temperatura del aire produjo un aumento de la transferencia de materia lo cual fue interpretado en términos de la energía de activación de acuerdo con la ley de Arrhenius.

Sarsavadia *et al.* (1999) estudiaron el comportamiento en el secado de cebollas en rodajas. La velocidad de secado en capa fina de cebollas en rodajas saladas fue determinada experimentalmente a cuatro niveles de temperatura de aire de secado (rango de 50-80 C), cuatro niveles de velocidad del aire (rango de 0.25 a 1.00 m/s) y tres niveles de humedad relativa (de 10 a 20%). Los datos experimentales obtenidos fueron ajustados con un modelo del tipo Arrhenius y

un modelo de potencia, usando análisis de regresión no lineal. El modelo tipo Arrhenius mostró ser mejor para predecir el secado a velocidad constante.

Prado *et al.* (2000) realizaron experimentos de secado con muestras de dátiles (*Phoenix dactylifera. L*) para verificar el encogimiento, secando en bandejas convectivas bajo tres condiciones diferentes (60°C, 11.1% HR, 70°C, 7.2% HR y 80°C-4.7% HR) y tres diferentes velocidades de aire (0.5 m/s, 1.0 m/s y 1.5 m/s). Tres modelos matemáticos desarrollados por Suzuki *et al.* (1976), fueron aplicados para correlacionar los datos experimentales con un buen grado de ajuste.

Mulet *et al.* (2000) estudiaron el efecto de forma en la patata y el encogimiento de coliflor durante el secado, a través de análisis de imágenes.

Kechaou y Maâlej (2000) describieron un modelo simplificado para la determinación de difusividad de agua a partir de datos experimentales de curvas de secado de dátiles de Túnez. La temperatura del aire varió entre 30 y 69°C, humedad relativa de 11.6 a 47.1% y velocidad de aire de 0.9 a 2.7 m/s. Un método numérico fue obtenido para resolver la ecuación de difusión en el cual la difusividad es función de la temperatura y el contenido de humedad; fue utilizado para investigar el movimiento de la humedad dentro del material, asumiendo que se trata de un cilindro infinito homogéneo, quedando demostrado que la distribución de humedad en los dátiles durante el secado puede ser obtenido utilizando la ecuación empírica presentada.

2.5. MOLIENDA

Muchos materiales sólidos se presentan en tamaños demasiado grandes para su uso por lo que deben reducirse. Con frecuencia la reducción de tamaño de los sólidos se lleva a cabo para poder separar sus diversos ingredientes. En general los términos trituración y molienda se usan para denotar la subdivisión de partículas sólidas grandes en partículas más pequeñas (Geankoplis,1995).

Los estudios teóricos sugieren que la energía dE necesaria para producir un pequeño cambio, dx , de tamaño en la unidad de masa del material a triturar se puede expresar como una función exponencial de su tamaño:

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x^n} \quad (4)$$

Rittinger (1867), citado por Brown (1965), consideró que, durante la molienda de los sólidos, la energía necesaria debe ser proporcional a la nueva superficie producida y dio a n un valor de 2.

Por lo tanto:

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x} \quad (5)$$

y por integración:

$$E = K \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) \quad (6)$$

donde x_1 es el tamaño medio inicial del material de alimentación, x_2 el tamaño medio final del producto, E es la energía por unidad de masa necesaria para producir la nueva superficie, midiéndose corrientemente en caballos hora ton^{-1} , K es la llamada constante de Rittinger, que tiene un valor determinado para cada producto y cada aparato concretos.

La ley de Rittinger se cumple bien en la molienda fina, en la que aumenta mucho la superficie.

Kick (1885) citado por Brown (1965), consideró que la energía necesaria para producir una reducción de tamaño dada era proporcional a la relación de reducción de tamaño, para lo que es necesario que $n = 1$ en la ecuación (4).

Con lo que :

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x}$$

o bien

$$E = K \ln \frac{x_1}{x_2} \quad (7)$$

siendo x_1/x_2 la relación de reducción de tamaño.

La ley de Kick se cumple mejor en la trituración grosera, en la que la mayor parte de la energía se utiliza para la fractura siguiendo grietas preexistentes. Mide la energía necesaria para deformar las partículas sin superar su límite elástico (Brown, 1965).

2.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO O TAMIZADO

El tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas, de diferentes tamaños, se separa en dos o más fracciones, pasándola por un tamiz. Cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original. Un tamiz es una superficie que contiene cierto número de aberturas, de igual tamaño. La superficie puede ser plana (horizontal o inclinada) o cilíndrica. Los tamices planos, de pequeña capacidad, se denominan cedazos o cribas. En general, los tamices se usan mucho para separar mezclas de productos granulares o pulverulentos, en intervalos de tamaños.

Además de utilizarse para separar industrialmente los productos alimenticios en dos o más categorías de tamaño de partícula, con fines industriales específicos, el tamizado o cribado se usa también con fines analíticos, para determinar el tamaño de partícula y la distribución por tamaño de los productos pulverulentos.

El intervalo de Tamiz o razón de serie de tamices, es el factor que relaciona las aperturas sucesivamente decrecientes de una serie de tamices normalizados.

La American Society for Testing Materials. ASTM-E 11, toma como base un tamiz de 18 mallas, con una abertura de 1.0 mm y una razón de $(2)^{1/4}$

Numerosos tamices de las series British Standard (BS) se corresponden con las recomendaciones de la International Standard Organisation (ISO) para tamices analíticos.

En el Laboratorio, se utilizan tamices normalizados, de hasta 16 mm de apertura, para el análisis de tamaños por tamizado. El intervalo corriente de tamaño de partícula medido por estos métodos es de 50-3,000 μm . El tamaño de las partículas más gruesas se determina normalmente por medida directa. (Brown, 1965). En cuanto a elaboración de harinas, Charley (1987) y Bernales (2002), indican que un mínimo de 60% debe atravesar la malla de 180 micras.

2.7. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

El análisis de superficie de respuesta tiene como base el método de planeamiento factorial y consiste en grupos de técnicas usadas para el estudio de las relaciones entre una y otra respuesta medidas analíticamente en un número de variables de entrada que pasan a ser controladas. Estas técnicas son usadas para dilucidar las siguientes interrogantes. (Box et al., 1978):

- Como una respuesta es afectada sobre una región de interés dado por un conjunto de variables de entrada.
- Que conjuntos de variables de entrada resultaran como producto dentro de las especificaciones deseadas.
- Cual de los valores de las variables de entrada tendrá el menor valor para una respuesta específica y como la superficie de respuesta se aproxima a este punto.
- En procesos multi-variables, como los bioquímicos, donde la importancia de cada variable debe de ser determinada, y optimizada es una herramienta de

trabajo por el mejor entendimiento del sistema, verificándose individualmente el efecto de cada variable operacional en rendimiento y productividad. (Mendieta, 1999).

Supóngase que la dependencia de una variable respuesta Y sobre los niveles x_1, x_2, \dots, x_k de k variable cuantitativas o factores se puede expresar por el siguiente modelo matemático:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e; e \sim N(0, s^2).$$

Esta relación funcional en general se llama una superficie de respuesta. Uno de los objetivos más frecuente en una investigación por experimentación consiste en determinar los valores de las k variables independientes, x_i ; ($i = 1, \dots, k$), las cuales pueden producir una máximo (o mínimo) de $E(Y)$.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación, se realizó en los Laboratorios de Ingeniería y Diseño (LID), Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (ANACOMPA), Tecnología de Productos Agroindustriales No Alimentos (TEPANAL), de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, en 3 meses de Mayo a Agosto 2002, y las evaluaciones biológicas se realizaron en los laboratorios de la Universidad Agraria La Molina.

3.2. MATERIA PRIMA

Se empleó hojas de Ramio (Boehmeria nivea), obtenidas de la zona Laguna Venecia (km. 3,5 Carretera a Yurimaguas), Distrito de la Banda de Shilcayo, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

3.3. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS

3.3.1. Equipos

- Mufla Thermolyne 1500 Furnace, temperatura máxima 1200°C, 2240 watts, USA.
- Estufa MEMMERT, tipo W – 350, temperatura máxima 110°C, 1600 Watts.
- Estufa MEMMERT, tipo U30, Temperatura máxima 220°C, 1400 Watts.
- Balanza Digital DENVER INSTRUMENT COMPANY, capacidad 210 g., exactitud 0.1 g.
- Balanza electrónica, capacidad 500 g., exactitud 0.1 g.
- Cocina eléctrica Fisher, temperatura máxima 600 °C.
- Digestor Buchi para proteína, tipo B425, 1100 Watts, Suecia.
- Equipo Semi-microkjeldhal, Marca J. P.- Selecta, Modelo 627,220 voltios, 2000 Watts.
- Destilador microkjeldhal marca Buchi.

- Extractor Soxhlet.
- Equipo de titulación.
- Selladora. eléctrica.
- Anemómetro.
- Secador por flujo de aire caliente equipado con un termostato, lámpara piloto, cuatro interruptores, un transformador de 220V a 12V, cuatro ventiladores de 12 V, tres resistencias con un total de 2500 vatios, con recirculación de aire de 80%, y velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s; el caudal de aire es de 0.0612, 0.09792 y 0.13464 m³/s respectivamente. La potencia es 10.21 watts.
- Colorímetro Minolta CR 300.
- Molino de discos.
- Equipo de tamizado con mallas ASTM de diferentes aberturas.

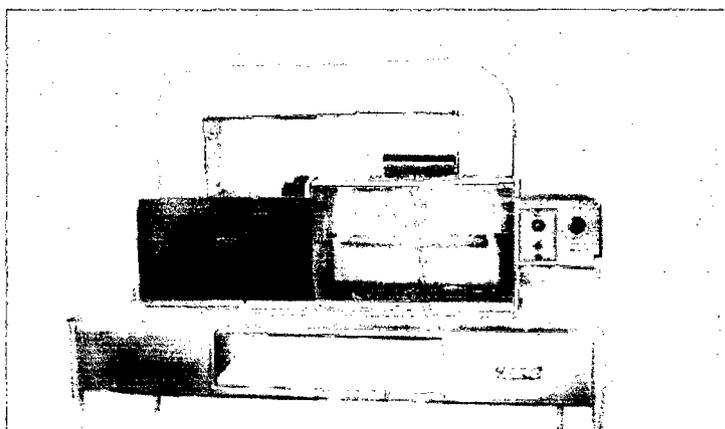


Figura 4. Secador por flujo de aire caliente

3.3.2. Materiales

- Bolsas de polietileno de alta densidad.
- Material diverso de vidrio (vasos de precipitados, buretas, pipetas, probetas, fiolas, baguetas).
- Sales minerales, vitaminas, azúcar, maicena, coronta, grasa vegetal.
- Cuchillos, etc.

3.4. REACTIVOS

- Ácido sulfúrico concentrado
- Ácido clorhídrico concentrado
- Rojo de metilo
- Hidróxido de Sodio concentrado
- Etanol
- Éter etílico
- Sulfato de Potasio
- Ácido Bórico
- Agua destilada

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El experimento comprendió tres fases. La primera fase fue la deshidratación del Ramio (Boehmeria nivea), la segunda fase consistió en la molienda y tamizado de las hojas deshidratadas y la tercera fase fue la evaluación nutricional de la harina obtenida.

La etapa de secado fue realizada bajo un experimento factorial completo de 3x3, con tres repeticiones, dentro de un diseño estadístico completamente al azar (DCA), el mismo que se muestra en el cuadro 5, siendo la variable respuesta la difusividad, este experimento factorial genera una superficie de respuesta.

Cuadro 5. Tratamientos para la etapa de secado de hojas de Ramio

| TEMPERATURA (°C) | VELOCIDAD DEL AIRE (m/s) | | |
|---------------------|---------------------------|----------|-----------|
| | 0.5 (-1) | 0.8 (0) | 1.1 (+1) |
| 40 (-1) | (-1) (-1) | (-1) (0) | (-1) (+1) |
| 50 (0) | (0) (-1) | (0) (0) | (0) (+1) |
| 60 (+1) | (+1) (-1) | (+1) (0) | (+1) (+1) |

3.6. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE SECADO DEL RAMIO

En el diagrama de flujo de la Figura 5, se muestran las operaciones del proceso de secado:

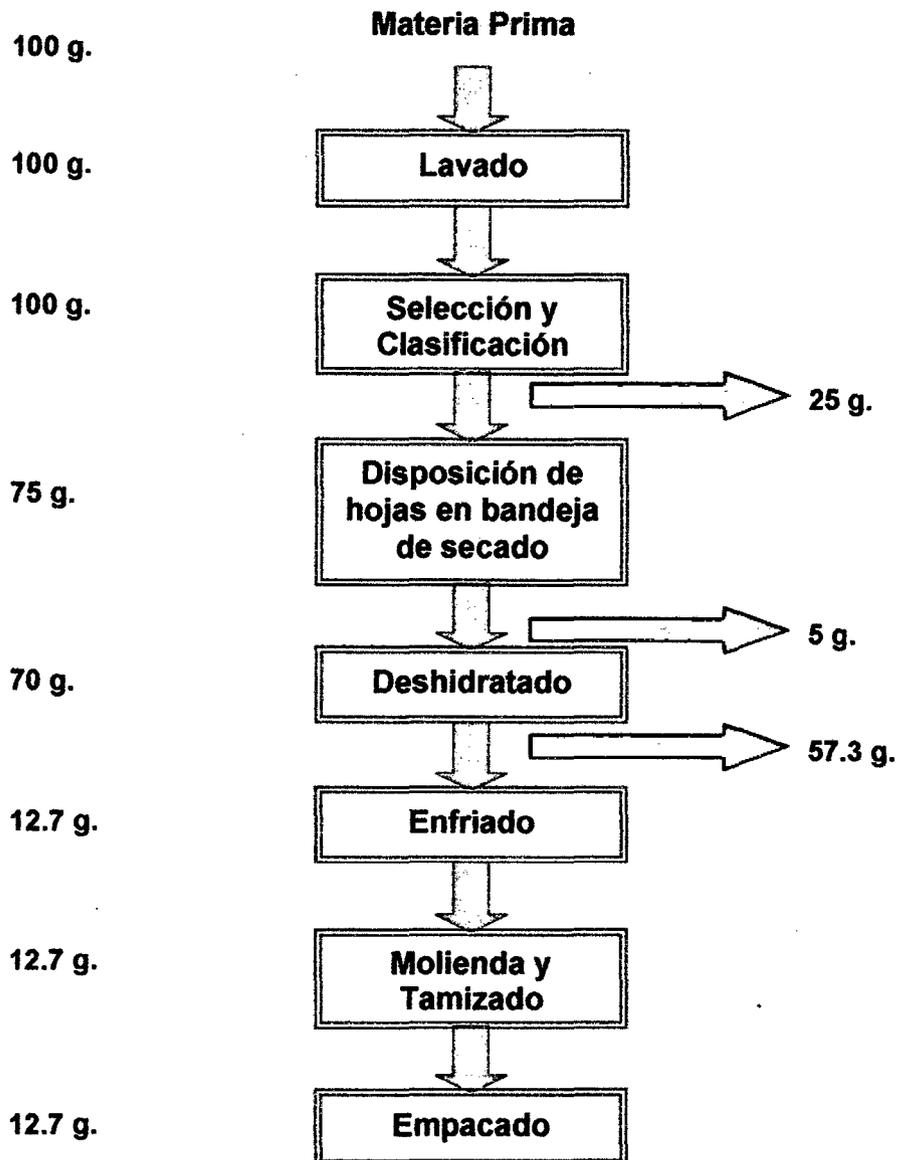


Figura 5. Diagrama de flujo del secado de hojas de Ramio (*Boehmeria nivea*)

Obtención de la materia prima

La materia prima, hojas de Ramio (Boehmeria nivea), fue obtenida de la zona Laguna Venecia (km. 3,5 Carretera a Yurimaguas), Distrito de la Banda de Shilcayo, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

Lavado

Se lavó para eliminar la tierra adherida a las hojas, se usó papel secante para secar el agua. Esta operación fue realizada cuidadosamente, para no romper o maltratar las hojas

3.6.1. Selección y clasificación

Las hojas fueron seleccionadas por tamaño, y clasificadas de acuerdo a la integridad que presentaron (que no estuvieran rotas, maltratadas, marchitas o dañadas por ataque de insectos).

3.6.2. Disposición de las hojas en la bandeja de secado

En la bandeja de secado fueron dispuestos 70 g de hojas de Ramio de manera uniforme y ordenada, formando una sola capa, luego fueron aseguradas con una cubierta de malla metálica para evitar su deformación por efectos de secado, manteniendo siempre la forma de placa plana, y poder aplicar los modelos de Fick y Page a los valores experimentales.

3.6.3. Deshidratado

El secado fue realizado en el secador del Laboratorio de Ingeniería y Diseño, tomando el peso en forma continua, a intervalos de tiempo establecidos, controlando siempre las temperaturas establecidas de 40°C, 50°C y 60°C mediante termómetro, para efectos de mantener las mismas condiciones de secado entre muestras, a velocidades de aire constantes de 0.5 m/s, 0.8 m/s y

1.1 m/s, hasta alcanzar una humedad, en base húmeda, de aproximadamente 8%.

Para la determinación de la cinética de pérdida de agua las muestras fueron pesadas a intervalos de tiempo crecientes; a partir de estos valores fueron determinadas las humedades utilizando la siguiente expresión:

$$X = (W_t - W_\infty) / W_\infty \quad (8)$$

donde W_t es el peso a un tiempo t y W_∞ es el peso a tiempo infinito o de equilibrio.

3.6.4. Enfriado

Una vez alcanzada la humedad establecida, se retiró la bandeja del secador, y la malla metálica de cubierta, enfriándose las hojas de Ramio por unos minutos para proceder al embolsado y sellado.

3.6.5. Molienda y tamizado

La molienda fue realizada en molino de discos y el tamizado en equipo tamizador mecánico. Los tamices utilizados fueron de la serie ASTM con aberturas de malla comprendidas entre 100 micras y 850 micras.

3.6.6. Empacado

Se empacó las hojas deshidratadas en bolsas de polipropileno de alta densidad las que luego fueron selladas.

3.7. MÉTODOS DE CONTROL

3.7.1. Controles en el Ramio

Los controles que se realizaron al Ramio fresco fueron: análisis físico y análisis químico proximal.

3.7.1.1. Análisis químico proximal

3.7.1.1.1. Humedad

Se realizó por el método de estufa a 110°C durante 24 horas (AOAC, 1990).

3.7.1.1.2. Proteína total

Se utilizó equipo microkjeldhal (AOAC, 1990.) El porcentaje de nitrógeno se multiplicó por el factor 6,25.

3.7.1.1.3. Grasa total

Fue determinada por extracción con éter etílico como solvente, mediante el método Soxhlet (AOAC, 1990).

3.7.1.1.4. Ceniza total

Se determinó por calcinación de la muestra en mufla, a 550°C, durante cuatro horas (AOAC, 1990).

3.7.1.1.5. Fibra total

Se determinó por hidrólisis ácida y alcalina (AOAC, 1990).

3.7.1.1.6. Carbohidratos totales

Se obtuvo por diferencia, restándose de 100 la sumatoria de porcentajes de humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra.

3.7.2. Controles durante el proceso

Durante el proceso se controló la temperatura de 40°C, 50°C y 60°C, en el secador mediante el termómetro ubicado en la cámara de secado, así como las velocidades de aire que se mantuvieron constantes en 0.5 m/s, 0.8 m/s y 1.1 m/s y que fueron determinadas mediante anemómetro.

3.7.3. Controles fisicoquímicos de las hojas secas de Ramio

Los controles que se realizaron a las hojas de Ramio secas fueron los mismos que se realizaron a las hojas frescas.

3.7.4. Control de color de las hojas de Ramio secas

Para seleccionar las mejores condiciones de secado de las hojas de Ramio se evaluó el atributo color mediante un colorímetro MINOLTA CR-300, portátil, para uso en campo y laboratorio, con memoria para mil mediciones y espacio de color en XYZ y Hunter, provisto de unidad procesadora de datos.

3.7.5. Determinación de difusividad del agua

Se determinó la difusividad del agua por medio de ajuste no lineal de los datos experimentales a la ecuación de Fick (Ecuación 2), mediante el programa MICROCAL ORIGIN 3.5; este programa realiza el ajuste mediante mínimos cuadrado utilizando el algoritmo de Marquardt. El programa STATISTICA 5.0, fue utilizado para graficar las superficies de respuesta.

La ecuación de Page (Ecuación 3) fue también utilizada para el ajuste de los datos experimentales de cinética de secado de Ramio; en la cual "n" es un parámetro que depende del producto y de las condiciones de secado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

El resultado del análisis químico proximal de las hojas de Ramio (Boehmeria nivea) frescas, se presenta en el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Análisis químico proximal de las hojas de Ramio

| COMPONENTES | HOJAS FRESCAS (%) | HOJAS SECAS (%) | Acosta et al. (1997) |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Humedad | 87.03 | 8.68 | 12.3 |
| Proteína total (N x 6,25) | 2.82 | 19.79 | 20.4 |
| Extracto etéreo | 0.70 | 4.92 | 1.20 |
| Cenizas | 2.40 | 16.85 | 14.2 |
| Fibra | 1.62 | 11.37 | 19.2 |
| Extracto libre de nitrógeno | 5.43 | 38.39 | 32.7 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Acosta et al. (1997). Para el producto seco existe diferencia en el contenido de fibra que para los autores mencionados alcanza un valor de 19.2%, muy superior al obtenido en el presente trabajo. Las diferencias encontradas entre los resultados reportados en la literatura consultada y el presente trabajo pueden deberse a que las muestras analizadas proceden de zonas diferentes, siendo por lo tanto diferentes también los cuidados culturales de las mismas.



Figura 6. Hoja de Ramio fresca

4.2. SECADO

Las hojas de Ramio presentaron espesor promedio de 1 mm, esta medida fue la que se utilizó para los cálculos de difusividad, así mismo se tiene que la unidad muestral fue de 70 g.

4.2.1. Cinética de secado

Cuando se grafica la humedad adimensional versus el tiempo de secado (en minutos) se obtienen las curvas de cinética de secado. En las figuras 7, 8, 9 y 10 se presentan las curvas de cinética de secado de las hojas de Ramio (Boehmeria nivea) para las tres temperaturas estudiadas a diferentes velocidades de aire de secado. En ellas puede notarse pequeña influencia de la velocidad de aire.

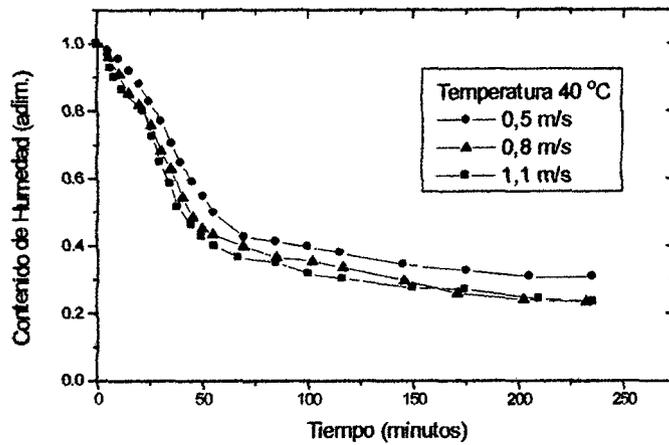


Figura 7. Cinética de secado a temperatura de 40 °C y velocidades de aire de secado de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s.

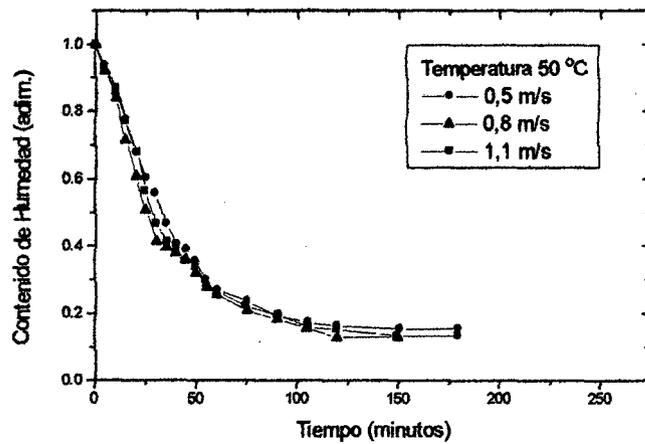


Figura 8. Cinética de secado a temperatura de 50°C y velocidades de aire de secado de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s.

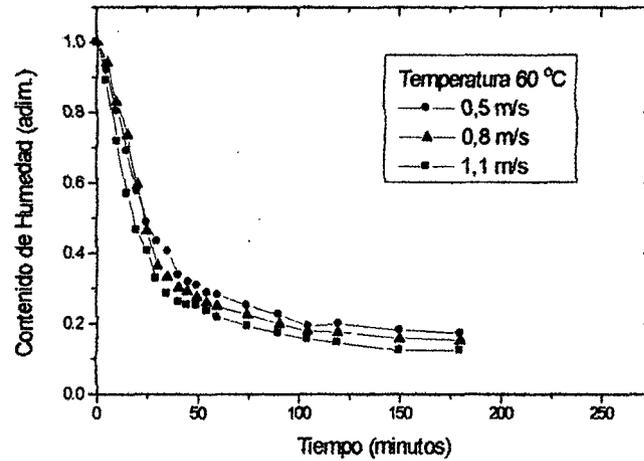


Figura 9. Cinética de secado a temperatura de 60 °C y velocidades de aire de secado de 1.1 m/s

En la figura 10, a una velocidad constante de 1.1 m/s, se puede notar claramente la influencia directa de la temperatura sobre las curvas de cinética de secado, a mayor temperatura menor será el tiempo de secado, aumentando en consecuencia la velocidad de secado, lo cual coincide con lo indicado por Talib e Ibrahim, (1996), Trasmonte (1993), Schmalko et al. (1996), Simal et al. (2000), para fréjol, orégano, yerba mate y sábila respectivamente.

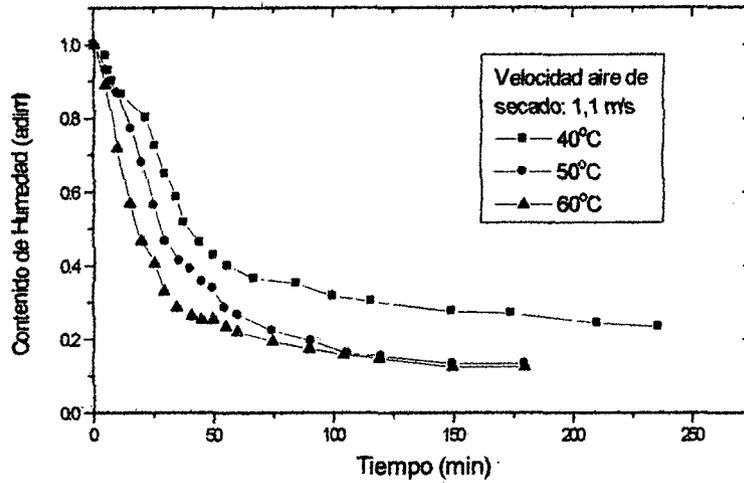


Figura 10. Cinética de secado a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C con velocidad de aire de 1.1 m/s

4.2.2. Velocidad de secado

En las figuras 12, 13 y 14 apreciamos el comportamiento de la velocidad de secado para diferentes temperaturas y velocidades del aire del secado.

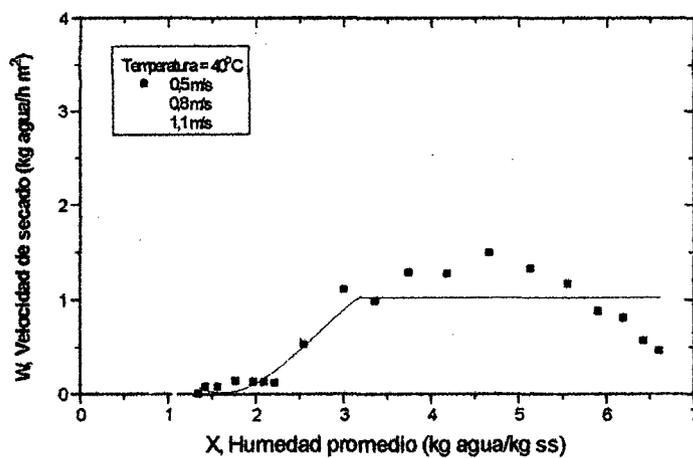


Figura 11. Velocidades de secado a temperatura de 40°C para velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s

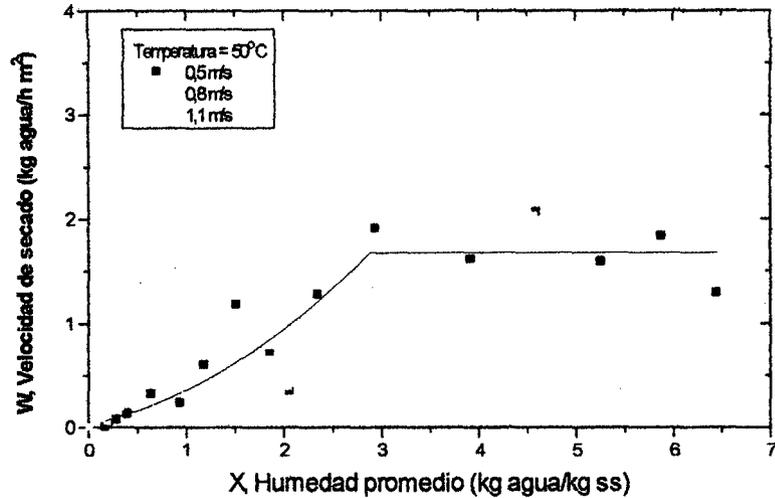


Figura 12. Velocidades de secado a temperatura de 50°C para velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s.

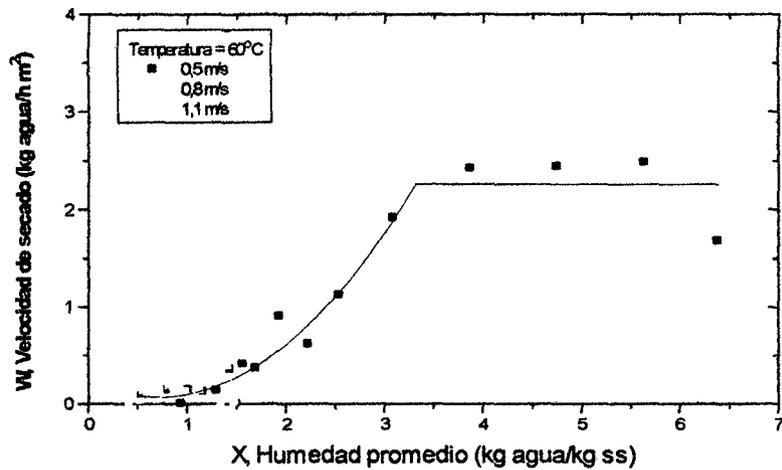


Figura 13. Velocidades de secado a temperatura de 60 °C para velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s.

En las figuras 11, 12 y 13 puede notarse que las diferentes curvas presentan el periodo de velocidad constante. También puede verse que la velocidad de secado está fuertemente influenciada por la temperatura (valores máximos en torno de 1,5, 2 y 3 kg agua/h m² para 40, 50 y 60°C) y, en menor medida, por la velocidad del aire de secado.

En estudios realizados por López et al. (2000), con hojas de lechuga, se encuentran resultados similares sobre la influencia de la temperatura y la velocidad de aire en las curvas de velocidad secado; comportamiento reportado también por Trasmonte (1993) para orégano, este último indica que el aumento de la velocidad del aire incrementa la turbulencia de la corriente de aire que pasa a través del producto arrastrando el vapor de agua que se encuentra en las superficies respectivas. La cantidad de calor utilizada para el secado de un lote de hojas se presenta en el Anexo 2.

4.2.3. Difusividad

En las figuras 14, 15 y 16 se muestran las curvas experimentales de cinética de secado (tiempo en segundos y humedades en base seca como relación adimensional) y las simuladas utilizando el modelo de Fick; mientras que los datos experimentales se presentan en el Anexo 2. Para obtener los valores de difusividad aparente se aplicó regresión no lineal, haciendo uso del programa Microcal Origin 3.5, que permitió determinar con un grado de ajuste razonable el modelo de Fick a los datos experimentales. Los valores calculados para la difusividad del agua contenida en las hojas de Ramio hacia el aire de secado, para las diferentes condiciones ensayadas se presentan en el Cuadro 7.

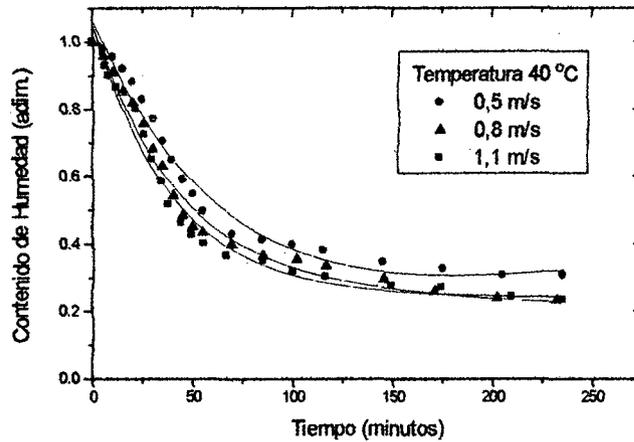


Figura 14. Cinéticas de secado a 40°C y velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s. Las líneas continuas representan la humedad obtenida mediante la ecuación de Fick (Ecuación 2).

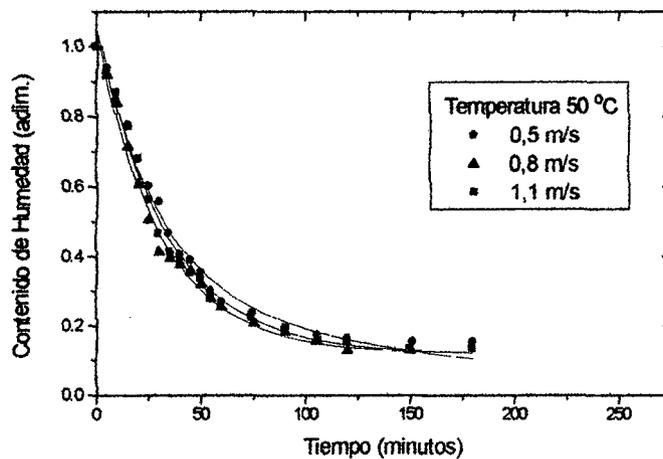


Figura 15. Cinéticas de secado a 50°C y velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s. Las líneas continuas representan la humedad obtenida mediante la ecuación de Fick (Ecuación 2).



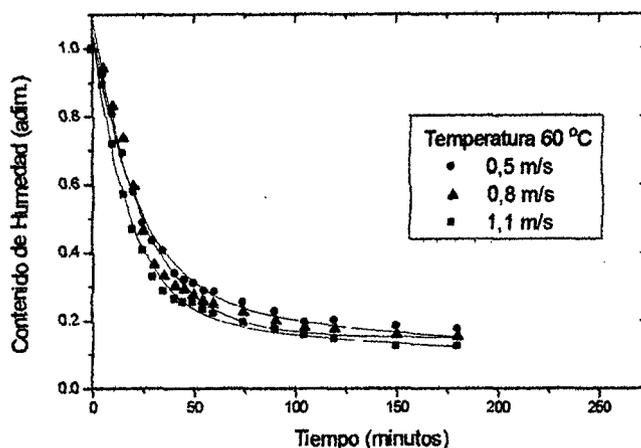


Figura 16. Cinéticas de secado a 60°C y velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s. Las líneas continuas representan la humedad obtenida mediante la ecuación de Fick (Ecuación 2).

Cuadro 7. Difusividad aparente del agua presente en hojas de Ramio a diferentes tratamientos de temperatura y velocidad de aire de secado

| Temperatura °C | Velocidad de aire (m/s) | Difusividad ($\times 10^9$ m ² /s) | Coefficiente de determinación (R ²) |
|-------------------|----------------------------|---|--|
| 40 | 0.5 | 8.04 | 0.874 |
| | 0.8 | 10.5 | 0.903 |
| | 1.1 | 11.8 | 0.889 |
| 50 | 0.5 | 20.2 | 0.934 |
| | 0.8 | 21.9 | 0.929 |
| | 1.1 | 24.1 | 0.944 |
| 60 | 0.5 | 23.1 | 0.911 |
| | 0.8 | 25.7 | 0.892 |
| | 1.1 | 32.3 | 0.918 |

En el cuadro 7 y en la figura 17 puede notarse como influye directamente la temperatura, y en menor medida la velocidad de aire, sobre la difusividad del

agua de las hojas de Ramio, durante el proceso de deshidratación por flujo de aire caliente. El análisis de varianza que se presenta en el Anexo 3 indica que influyeron significativamente la temperatura y la velocidad de aire, aumentando inicialmente la difusividad con el aumento de la temperatura y con la tendencia a valores constantes a temperaturas mas altas; asimismo en el Cuadro 17 se observa como aumenta la difusividad desde $8.04 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, cuando el proceso de secado se da a una temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de aire de 0.5 m/s , hasta alcanzar un valor de $32.3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ cuando el proceso ocurre a temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de aire de 1.1 m/s .

Los valores obtenidos para difusividad del agua presente en las hojas de Ramio se encuentran en el rango aceptable de valores de difusividades reportados por otros investigadores como Ahmet y Labuza (1996), Simal et al. (2000), Trasmonte (1993), Talib e Ibrahim (1996), para arroz (5.86 a $7.89 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ a temperaturas de 35.3 a $35.5 \text{ }^\circ\text{C}$), aloe vera ($18.1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $70 \text{ }^\circ\text{C}$), orégano ($8.37 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ a $60 \text{ }^\circ\text{C}$) y frijol ($7.34 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $50 \text{ }^\circ\text{C}$), respectivamente.

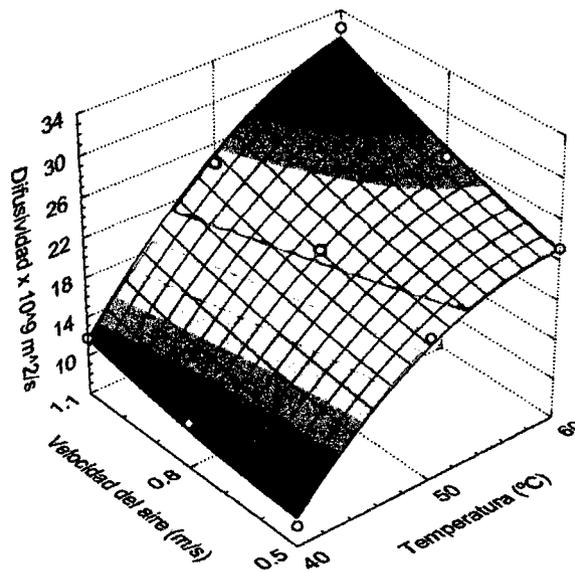


Figura 17. Superficie de respuesta para la difusividad del agua de las hojas del Ramio.

Cuadro 8. Parámetros de la ecuación de Page para hojas de Ramio a diferentes tratamientos de temperatura y velocidad de aire de secado

| Temperatura °C | Velocidad de aire (m/s) | K | n | Coefficiente de determinación (R ²) |
|-------------------|----------------------------|-------|-------|--|
| 40 | 0.5 | 0.022 | 0.785 | 0.925 |
| | 0.8 | 0.036 | 0.719 | 0.942 |
| | 1.1 | 0.039 | 0.724 | 0.933 |
| 50 | 0.5 | 0.028 | 0.907 | 0.972 |
| | 0.8 | 0.037 | 0.872 | 0.976 |
| | 1.1 | 0.029 | 0.916 | 0.967 |
| 60 | 0.5 | 0.067 | 0.707 | 0.949 |
| | 0.8 | 0.051 | 0.798 | 0.929 |
| | 1.1 | 0.089 | 0.693 | 0.954 |

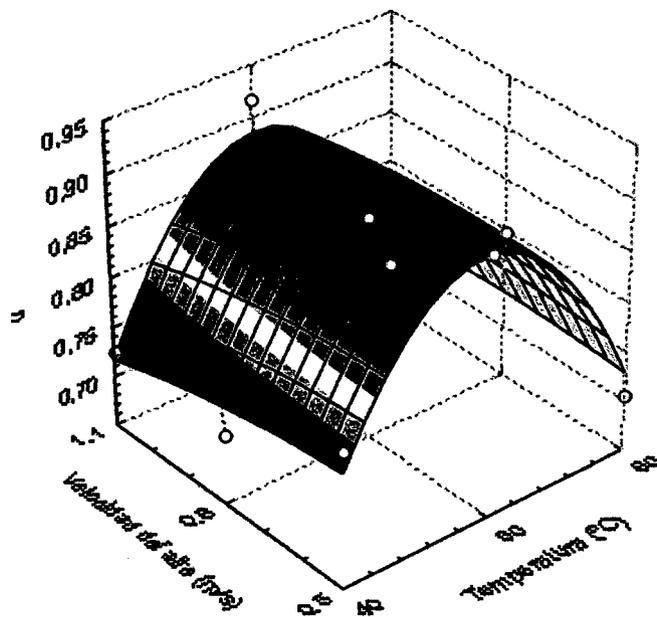
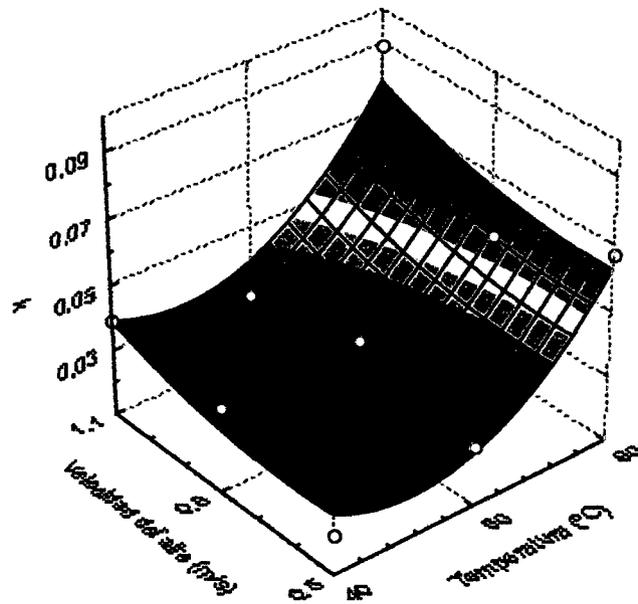


Figura 18. Comportamiento de los parámetros "k" y "n" de la ecuación de Page para el secado de hojas de Ramio

En el Cuadro 8 y la figura 18 se presentan los parámetros de la ecuación de Page como función de la temperatura y velocidad del aire de secado.

En las superficies de respuesta para los parámetros de la ecuación de Page se puede notar claramente la influencia de la temperatura sobre el parámetro "k" el cual varía de manera directamente proporcional a la temperatura de secado, mientras que para el parámetro "n" no hay una tendencia definida, obteniéndose una faja más elevada de valores a la temperatura de 50 °C.

4.3. MOLIENDA Y TAMIZADO

Los resultados para el tamizado de hojas deshidratadas y molidas de ramio se presentan en la Figura 19, y en el Cuadro 13 del Anexo 2, puede notarse que el porcentaje acumulado se va incrementando con el aumento de la abertura de malla, así como también que el porcentaje de partículas que atraviesa la malla de 180 micrones es cercano al 60%, lo cual concuerda con lo indicado por Charley (1987) y Bernaldes (2002).

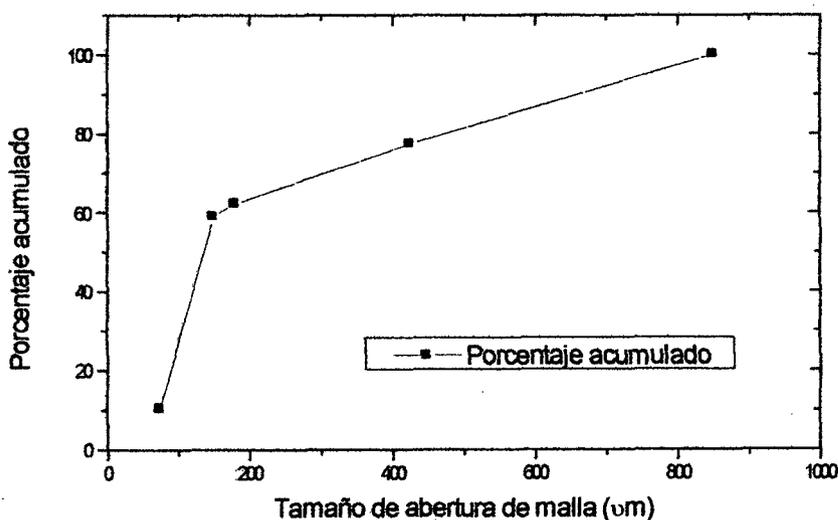


Figura 19. Resultados para el tamizado de harina de hojas de Ramio

4.4. COLOR

Los valores para color verde, expresados como Luminosidad, se presentan en la Figura 20 y en el Cuadro 14 del Anexo 2. Puede verse que la luminosidad disminuye con la temperatura de secado, lo cual se debe a reacciones tipo Maillard que pueden ocurrir debido al efecto de la temperatura de secado que se va incrementando, con la consiguiente disminución de la disponibilidad de los nutrientes (Charley, 1987). En vista de que se trata de un producto destinado a consumo animal y podría pensarse que el color final del producto no sería importante, sí lo es la disponibilidad de nutrientes, razón por la cual se consideró como mejor tratamiento a la temperatura de secado que permitió realizar el proceso en el menor tiempo posible, y con valor intermedio de luminosidad, es decir 50°C y 0.8 m/s de velocidad del aire.

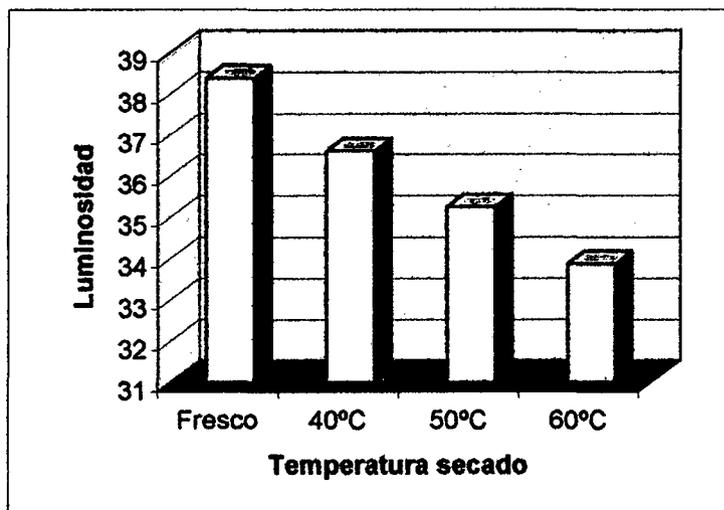


Figura 20. Luminosidad de hojas de Ramio deshidratadas por flujo de aire caliente a 40°C, 50°C y 60°C

4.5. EVALUACIÓN NUTRICIONAL

Los resultados para la evaluación nutricional se presentan en el Cuadro 9, mientras que en la Figura 21 se presenta una batería de jaulas de ratas utilizadas en el ensayo. Los resultados de Digestibilidad (34.78) indican que la harina de ramio puede ser utilizada para alimentación animal, ya que no contiene sustancias que inhiban el crecimiento o la adecuada nutrición, con resultados satisfactorios. El valor

de digestibilidad obtenido (34.78) cuando la dieta contenía 75% de Ramio, es comparable al mencionado por Acosta et al. (1997), quienes atribuyen el resultado obtenido al elevado contenido de fibra de las hojas de Ramio, no pudiendo por lo tanto ser considerado como única fuente de proteína.

Los métodos utilizados por la Universidad Agraria La Molina, al igual que los cálculos de los resultados en los procesos efectuados se indican en el anexo.

Cuadro 9. Valores para determinación de digestibilidad aparente de Ramio en ratas Holtzman

| | |
|---|-----------|
| PARÁMETRO | |
| Número de animales | 6 |
| Peso inicial (g) | 52.15 |
| Peso final (g) | 49.87 |
| Consumo de alimento (g) | 32.45 |
| Materia seca del alimento (%) | 93.62 |
| Nitrógeno en alimento (%) | 1.70 |
| Nitrógeno consumido (g) | 0.552 (I) |
| Total de heces excretadas (g) | 33.22 |
| Materia seca de heces (%) | 49.07 |
| Nitrógeno en heces (%) | 1.074 |
| Nitrógeno excretado (g) | 0.36 (F) |
| Digestibilidad aparente | 34.78 |
| $\text{Digestibilidad aparente} = \frac{I - F}{I} \times 100$ | |

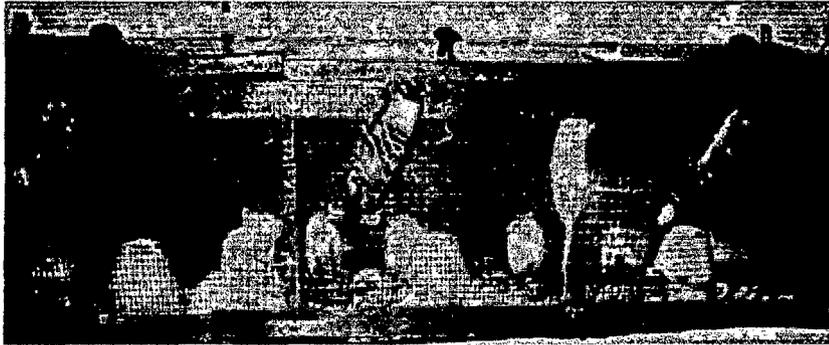


Figura 21. Ratas utilizadas en la evaluación nutricional de harina de hojas de Ramio

V. CONCLUSIONES

La composición proximal de las hojas frescas y deshidratadas de Ramio indica que es un recurso con elevado contenido de proteína, la cual no es totalmente aprovechada por el alto contenido de fibra que presenta.

En las condiciones de secado estudiadas se observó que gran parte del proceso se realiza con velocidad de secado decreciente hasta alcanzar aproximadamente 8% de humedad en base seca.

Para una misma temperatura, la velocidad de aire de secado tiene poca influencia en la cinética de secado de las hojas de Ramio; mientras que para una misma velocidad del aire de secado se tiene una influencia pronunciada en la cinética de secado de la temperatura. Además, se presenta una relación inversa entre la velocidad y temperatura del aire, con respecto al tiempo de secado, ya que mientras mayores sean la temperatura y velocidad del aire caliente utilizado, menor será el tiempo requerido para que la muestra alcance el contenido de humedad deseado.

Para el caso de la difusividad del agua presente en las hojas de Ramio, esta se incrementa de manera acentuada con el aumento de la temperatura, variando ligeramente con el incremento de la velocidad de aire de secado. Los valores de difusividad del agua presente en las hojas de Ramio obtenidos varían desde $8.04 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, cuando el proceso de secado se da a temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de aire de 0.5 m/s , hasta $32.3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ cuando el proceso ocurre a temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de aire de 1.1 m/s .

Se consideró como mejor tratamiento de deshidratado para las hojas de Ramio, temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ con 0.8 m/s de velocidad del aire de secado, pues las hojas presentaron mejor color y apariencia general. Además, en estas condiciones se presenta la región optimizada para el parámetro "n" de la ecuación de PAGE.

Finalmente, se puede concluir que el Ramio (Boehmeria nivea), constituye un recurso potencial de la zona de Selva, y principalmente de la Región San Martín, por tener un valor nutricional (digestibilidad aparente) relativamente bueno para alimentación animal.

VI. RECOMENDACIONES

Intensificar el cultivo tecnificado y específico de este recurso, ya que presenta un importante potencial económico, industrial y alimentario para la región.

Utilizar los parámetros obtenidos en el secado de ramio para el diseño y construcción de equipos de secado de pastos y forrajes.

Realizar estudios de evaluación nutricional de ramio en raciones para otros tipos de crianzas (cuyes, conejos, aves, peces).

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. **A. O. A .C. (1990).** "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist". Arlington, VA, USA.
2. **Acosta, I.; Rosales, J.; Márquez-Araque, A.; Monsalve, D. (1997).** Evaluación energética y digestibilidad del Ramio (*Boehmeria nivea*) en aves. *Revista Facultad Agronomía (LUZ) Universidad del Táchira*, 14:517-523.
3. **Ahmet, M.; Labuza, T. (1996).** Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient , *Journal of Food Engineering*, 30, 433-447.
4. **Barbosa, G. y Vega, H., (1997).** "Deshidratación de Alimentos". Edit. Acribia S.A., Zaragoza – España.
5. **Belarbi, A.; Aymar, Ch.; Meto, J.; Themelin, A. y Reymes, M. (2000).** Water desorption isotherms for eleven varieties of dates. *Journal of Food Engineering*. 43, 103-107.
6. **Bernales, R. (2002).** Estudio tecnológico para la obtención de Harina a partir de Cormo de Jergón Sacha (*Dracontium sp.*) para Consumo Humano, Tesis Ing. Agroindustrial, UNSM-Tarapoto.
7. **Box, G.E.P.; Hunter, J.S. (1978).** Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building, New York, Wiley & Sons.
8. **Brown, G. (1965).** Operaciones Básicas de la Ingeniería Química, Ed. CECSA, Barcelona, España.
9. **Charley, C. (1987).** Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos, Ed. Limusa, México.
10. **Chen, C.S. y Johnston, W.H. (1969).** "Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. I. Theoretical consideration of Drying Phenomena". *Trans. ASAE*. 12: 109-113.
11. **FAO (2002),** www.fao.org/aq/aga/agap/frg/afris/data/361.htm
12. **Gahona, E. (2000).** "Actividad de agua". Universidad de la Serena Chile. <http://download.tripod.es:81/egahona/deshi/Aw.pdf>
13. **Geankoplis, Ch. (1982).** "Procesos de transporte y Operaciones Unitarias". Compañía Editorial Continental S.A. CECSA . México.

14. **Heredia, J. (2002).** Secado de sachaculantro (*Eryngium foetidum*) por flujo de aire caliente, Tesis Ing. Agroindustrial, UNSM, Tarapoto, Perú.
15. **Hernández, J.A.; Pavón, G. y García, M.A. (2000).** "Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food-drying kinetics. *Journal of Food Engineering*. 45, 1-10.
16. **Kechaou, N.; Maalej, M. (2000).** A simplified model for determination of moisture diffusivity of date from experimental drying curves, *Drying Technology*, 18, pp. 1109-1125.
17. **Laboratorio virtual de secado (2000).** Consideraciones teóricas sobre secado. www.sqa.ulaval.ca/drying/secado.htm.
18. **Medina, A. (1999).** Plantas Fibrosas de Flora Industrial, Instituto Agronómico de Campinas, São Paulo, Brasil.
19. **Mendieta, O. (1999).** Purificação de lipase de *Geotrichum* sp. por resina cromatográfica de interação hidrofóbica. Modelagem, simulação e validação de parâmetros, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.
20. **Mulet, A.; García-Reverter, J.; Bon, A.; Berna, A. (2000).** Effect of shape on potato and couliflower shrinkage during drying, *Drying Technology*, 18, pp. 1201-1219.
21. **Prado, M.E.T; Alonso, I.F.T.; Park, K.J. (2000).** Shrinkage of dates (*Phoenix dactylifera* L.) during drying, *Drying Technology*, 18, pp. 295-310.
22. **Rodríguez (1990).** El Ramio. Hoja tipografiada, Tarapoto, San Martín, Perú.
23. **Sarria (1999).** www.floraguide.es/arboles/urticaceae.htm

24. **Sarsavadia, P.N.; Sawhney, R.L.; Pangavhane, D.R.; Singh, S.P. (1999).** Drying behaviour of brined onion slices, *Journal of Food Engineering*, 40, pp. 219-226.
25. **Simal, S.; Femenia, A.; Llull, P., Roselló, C. (2000).** Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties. *Journal of Food Engineering*, 43: 109-114.
26. **Singh P. y Heldman D. (1998).** "Introducción a la Ingeniería de los alimentos" Editorial Acribia, S.A. Zaragoza – España. (pag. 455 – 461).
27. **Talib, W.; Ibrahim, M. (1996).** Characteristic drying curves of cocoa beans, *Drying Technology*, 14, 2387-2396.
28. **Terranova (1995).** Enciclopedia Agrícola. Tomo 3, Santa Fé de Bogotá, Colombia.
29. **Texeira, B.F. y Tobinaga, S. (1998).** A difusión Model for Describing Water Transport in Round Squid Mantle During Drying with a Moisture-dependent Effective Diffusivity, *Journal of Food Engineering*, 36, pp. 169-181.
30. **Trasmonte, W. (1993).** Deshidratación del orégano (*Origanum vulgare*) por el método de flujo de aire caliente, Tesis Ing. Ind. Alimentarias, UNA La Molina, Lima, Perú.
31. **Vivanco, P. (1999).** Influencia de las condiciones de operación en la cinética de secado de la uva variedad moscatel romano, Universidad Nacional del Callao, Perú. www.unac.edu.pe/investigacion/catalogo98/vivanco
32. **Zakhia. N., Bohuon. P., y Collignan, A. (1995).** Modelling of Fish Drying using a Combination of Surface Response Methodology and Diffusional Models, *Drying Technology*, 13, pp. 2083-2096.

VIII. ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
 LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n. - La Molina
 TELEFAX 3480830

INFORME DE ENSAYO N° LENA – 0143/2005

CLIENTE : DAVID PÉREZ DEL AGUILA
 PRODUCTO : HOJA DE RAMIO - TARAPOTO
 MÉTODO DE MUESTREO : MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2005 - 01 - 31
 FECHA DE ANÁLISIS : 2005 - 02 - 09
 CANTIDAD DE MUESTRA : 793 g.
 PRESENTACIÓN : BOLSA DE PLÁSTICO
 IDENTIFICACIÓN : AQ- 0143/05

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

| COMPONENTE | I |
|----------------------------------|-------|
| a.- HUMEDAD, % | 8.68 |
| b.- PROTEINA TOTAL (N X 6.25), % | 19.79 |
| c.- EXTRACTO ETereo, % | 4.92 |
| d.- FIBRA CRUDA, % | 11.37 |
| e.- CENIZA, % | 16.85 |
| f.- ELN ¹ , % | 38.39 |

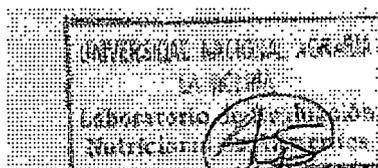
ELN¹ – EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO

Métodos utilizados:

- a.- AOAC 1990, PARTE 950.46 pp.931 c.- AOAC 1990, PARTE 948.16 pp.871
 b.- AOAC 1990, PARTE 954.13 pp.74 d.- AOAC 1990, PARTE 962.09 pp.80
 e.- AOAC 1990, PARTE 942.05 pp.70

Atentamente,

La Molina, 10 de Febrero del 2005



ING. ALEJANDRINA SOTELO MENDEZ
 Jefe de Laboratorio Evaluación
 Nutricional de Alimentos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Av. La Molina s/m - La Molina
 TELEFAX 3480830

INFORME DE ENSAYO N° 1 LENA – 0217/2005

SOLICITANTE : BIOTERIO (DIGESTIBILIDAD AQ – 143)
PRODUCTO : RACIÓN CON HOJA DE RAMIO
MÉTODO DE MUESTREO : MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : 2005 – 02 – 11
FECHA DE ANÁLISIS : 2005 – 02 – 18
CANTIDAD DE MUESTRA : 100 gramos
PRESENTACIÓN : BOLSA PLÁSTICA
IDENTIFICACIÓN : AQ – 0217/05

RESULTADOS DE ANALISIS QUÍMICO

| COMPONENTE | 1 |
|----------------|-------|
| A.- PROTEINA % | 10.63 |
| B.- HUMEDAD % | 6.38 |

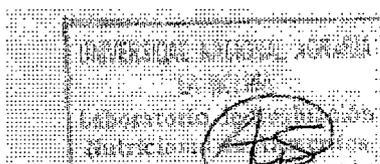
MÉTODOS UTILIZADOS:

A.- AOAC, PARTE 984.13 pp.74

B.- AOAC, PARTE 950.46 pp.931

Atentamente,

La Molina, 24 de Febrero del 2005



ING. ALEJANDRINA SOTELO MENDEZ
 Jefe de Laboratorio Evaluación
 Nutricional de Alimentos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICION
 LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n - La Molina
 TELEFAX 3480830

INFORME FINAL

DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD APARENTE EN RATAS HOLTZMAN

SOLICITANTE : DAVID PÉREZ DEL AGUILA
 MUESTRA : HOJA DE RAMIO

| PARÁMETRO | MI |
|-------------------------------|-------|
| Número de Animales | 6 |
| Peso inicial (g) | 52.15 |
| Peso final (g) | 49.87 |
| Ganancia de peso(g) | -2.28 |
| Consumo de alimento (g) | 32.45 |
| Materia seca del alimento (%) | 93.62 |
| Nitrógeno en el alimento (%) | 1.70 |
| Nitrógeno consumido (gr) (Ni) | 0.552 |
| Total de heces excretadas (g) | 33.22 |
| Materia seca de heces (%) | 49.07 |
| Nitrógeno en heces (%) | 1.074 |
| Nitrógeno excretado (gr) (Nf) | 0.36 |
| Digestibilidad aparente | 34.78 |

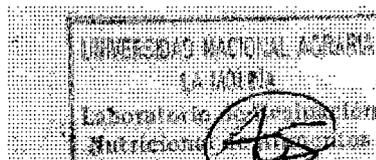
$$DA = \frac{I - F}{I} \times 100$$

DA = Digestibilidad aparente de la proteína

I = Proteína Ingerida

F = Proteína excretada

La Molina 11 de Marzo del 2005



ING. ALEJANDRINA SOTELO MÉNDEZ
 Jefe de Laboratorio Evaluación
 Nutricional de Alimentos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN
LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n - La Molina
 TELEFAX 3480830

FORMULACIÓN DE LA RACIÓN PARA EL EXPERIMENTO

MUESTRA : HOJA DE RAMIO

ANÁLISIS PROXIMAL DE LA MUESTRA

| ANÁLISIS | % | Kcal |
|----------|--------|--------|
| Humedad | 8.68 | |
| Proteína | 19.79 | 79.16 |
| Grasa | 4.92 | 44.28 |
| Fibra | 11.37 | |
| Ceniza | 16.85 | |
| ELN | 38.39 | 153.56 |
| Total | 100.00 | 277.00 |

FORMULACIÓN DE RACIÓN TEÓRICO

| | % | Kcal |
|----------|----|--------|
| Proteína | 10 | 378.52 |

| COMPONENTES | CANTIDAD (g) | Kcal |
|---------------------|--------------|--------|
| Hoja de Ramio | 50.53 | 139.97 |
| Sales Minerales | 4.00 | -- |
| Mezcla de Vitaminas | 5.00 | 18.87 |
| Azúcar | 12.47 | 49.88 |
| Maicena | 15.00 | 52.80 |
| Coronta Molina | -- | -- |
| Grasa Vegetal | 13.00 | 117.00 |
| Total | 100.00 | 378.52 |

ANÁLISIS DE RACIÓN

| | % |
|----------|-------|
| Proteína | 10.63 |
| Humedad | 6.38 |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Av. La Molina s/n - La Molina
 TELEFAX 3480830

CONTROL DIARIO

RATA N°: 1

| Parámetro | 15/02/05 | 16/02/05 | 17/02/05 | 18/02/05 | 19/02/05 | 20/02/05 | 21/02/05 | Total (gr) | Consumo (gr) | Observaciones |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|---------------------|
| Alimento | 5.01 | 7.21 | 8.90 | 9.81 | 9.59 | 9.05 | 6.02 | 49.57 | 30.88 | Heces bien formadas |
| Residuo | 1.35 | 2.78 | 4.15 | 3.95 | 3.85 | 2.20 | -- | 18.28 | -- | -- |
| Desperdicio | 0.18 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | -- | 0.41 | -- | -- |
| Orina | 3.1 | 3.1 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 3.6 | 2.4 | -- | -- | -- |
| Heces | 2.13 | 4.60 | 5.15 | 6.47 | 5.47 | 6.88 | 1.78 | 32.48 | -- | -- |

RATA N°: 2

| Parámetro | 15/02/05 | 16/02/05 | 17/02/05 | 18/02/05 | 19/02/05 | 20/02/05 | 21/02/05 | Total (gr) | Consumo (gr) | Observaciones |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|---------------|
| Alimento | 5.00 | 7.33 | 8.80 | 9.38 | 9.81 | 9.23 | 6.02 | 49.55 | 33.47 | -- |
| Residuo | 0.37 | 2.12 | 2.73 | 3.68 | 3.71 | 3.24 | -- | 15.85 | -- | -- |
| Desperdicio | 0.10 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | -- | 0.23 | -- | -- |
| Orina | 2.2 | 3.5 | 4.0 | 5.2 | 5.4 | 7.2 | 5.1 | -- | -- | -- |
| Heces | 4.53 | 6.13 | 6.72 | 5.93 | 7.60 | 6.50 | 1.62 | 39.03 | -- | -- |

RATA N°: 3

| Parámetro | 15/02/05 | 16/02/05 | 17/02/05 | 18/02/05 | 19/02/05 | 20/02/05 | 21/02/05 | Total (gr) | Consumo (gr) | Observaciones |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|---------------|
| Alimento | 5.12 | 7.41 | 8.92 | 9.46 | 9.56 | 9.11 | 6.02 | 49.58 | 32.69 | -- |
| Residuo | 0.81 | 2.28 | 3.30 | 3.52 | 3.45 | 2.74 | -- | 16.1 | -- | -- |
| Desperdicio | 0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.03 | 0.41 | 0.19 | -- | 0.79 | -- | -- |
| Orina | 3.8 | 3.4 | 4.7 | 5.0 | 3.9 | 4.5 | 3.2 | -- | -- | -- |
| Heces | 3.07 | 3.98 | 4.12 | 5.00 | 5.01 | 5.35 | 1.45 | 27.98 | -- | -- |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n - La Molina
 TELÉFAX 3480839

CONTROL DIARIO

RATA N°: 4

| Parámetro | 15/02/05 | 16/02/05 | 17/02/05 | 18/02/05 | 19/02/05 | 20/02/05 | 21/02/05 | Total (gr) | Consumo (gr) | Observaciones |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|---------------|
| Alimento | 5.07 | 7.64 | 8.92 | 9.74 | 9.54 | 9.22 | 6.01 | 50.13 | 31.91 | -- |
| Residuo | 1.10 | 3.05 | 3.87 | 3.92 | 3.51 | 1.89 | -- | 17.34 | -- | -- |
| Desperdicio | 0.23 | 0.25 | 0.16 | 0.11 | 0.05 | 0.08 | -- | 0.88 | -- | -- |
| Orina | 2.3 | 3.9 | 4.4 | 4.5 | 7.2 | 7.5 | 5.1 | -- | -- | -- |
| Heces | 2.33 | 3.34 | 4.07 | 5.49 | 6.25 | 8.86 | 8.86 | 31.99 | -- | -- |

RATA N°: 5

| Parámetro | 15/02/05 | 16/02/05 | 17/02/05 | 18/02/05 | 19/02/05 | 20/02/05 | 21/02/05 | Total (gr) | Consumo (gr) | Observaciones |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|---------------|
| Alimento | 5.01 | 7.41 | 8.92 | 9.50 | 9.38 | 9.21 | 6.04 | 49.43 | 31.54 | -- |
| Residuo | 1.22 | 2.87 | 3.75 | 3.21 | 3.64 | 2.58 | -- | 17.27 | -- | -- |
| Desperdicio | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.28 | 0.05 | 0.05 | -- | 0.62 | -- | -- |
| Orina | 1.9 | 1.8 | 2.9 | 1.8 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | -- | -- | -- |
| Heces | 2.61 | 4.59 | 5.58 | 5.93 | 6.61 | 8.36 | 1.61 | 35.29 | -- | -- |

RATA N°: 6

| Parámetro | 15/02/05 | 16/02/05 | 17/02/05 | 18/02/05 | 19/02/05 | 20/02/05 | 21/02/05 | Total (gr) | Consumo (gr) | Observaciones |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|---------------|
| Alimento | 5.93 | 7.70 | 8.95 | 9.28 | 9.45 | 9.10 | 6.45 | 50.41 | -- | -- |
| Residuo | 0.73 | 2.32 | 3.21 | 3.28 | 3.45 | 3.01 | -- | 16.00 | -- | -- |
| Desperdicio | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.14 | 0.09 | -- | 0.52 | -- | -- |
| Orina | 4.2 | 3.9 | 4.0 | 4.8 | 5.7 | 6.4 | 3.5 | -- | -- | -- |
| Heces | 3.24 | 4.03 | 5.24 | 5.41 | 6.37 | 7.33 | 0.90 | 32.52 | -- | -- |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICION
 LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n - La Molina
 TELEFAX 3480830

CONTROL DE PESO POR DIA

Tipo de Análisis : DIGESTIBILIDAD **Experimento** : HOJA DE RAMIO
Especie y Raza : Rata Holtzman **N° de Animales** : 6
Sexo : Masculino
Edad : 22 días
Procedencia : UNALM
Fecha de Ingreso : 10/02/05

| N° | PESO INICIAL | 1 16/02/05 | 2 17/02/05 | 3 18/02/05 | 4 19/02/05 | 5 20/02/05 | 6 21/02/05 | G.P. (gr) | Consumo de Alimento | Heces (gr) |
|-------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 54.0 | 53.4 | 51.9 | 51.4 | 52.3 | 51.9 | 53.0 | -1.00 | 30.88 | 32.48 |
| 2 | 51.5 | 51.5 | 51.6 | 52.1 | 52.5 | 51.4 | 51.5 | 0.00 | 33.47 | 39.03 |
| 3 | 51.0 | 49.9 | 49.7 | 50.3 | 50.0 | 48.7 | 48.5 | -2.50 | 32.69 | 27.98 |
| 4 | 50.0 | 49.2 | 48.9 | 49.6 | 49.5 | 48.1 | 48.0 | -2.00 | 31.91 | 31.99 |
| 5 | 54.0 | 53.0 | 52.5 | 51.6 | 52.1 | 50.6 | 50.0 | -4.00 | 31.54 | 35.29 |
| 6 | 52.4 | 51.9 | 50.6 | 50.6 | 50.9 | 49.5 | 48.2 | -4.20 | 34.21 | 32.52 |
| Total | 312.9 | 308.9 | 306.5 | 307.6 | 307.3 | 300.2 | 299.2 | -13.7 | 194.7 | 199.29 |
| Prom. | 52.15 | 51.48 | 51.08 | 50.93 | 51.22 | 50.03 | 49.87 | -2.28 | 32.45 | 33.215 |

\bar{X} de heces = 33.22



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE ZOOTECNIA- DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICION
 LABORATORIO DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n - La Molina
 TELEFAX 3480850

| Análisis de Ración | | | |
|--------------------|-------|--------|----|
| Humedad | 6.38 | Ceniza | -- |
| Proteína | 10.63 | Fibra | -- |
| Grasa | | Nifex | |
| Mat. Seca | 93.62 | %N | |
| Nit. Ingerido | | 0.552 | |

| Análisis de Heces | | | |
|-------------------|-------|--------|-------|
| Humedad | 50.93 | Ceniza | |
| Proteína | 6.71 | Fibra | |
| Grasa | | Nifex | |
| Mat. Seca | 49.07 | %N | 1.074 |
| Nit. Ingerido | | 0.36 | |

$$DA = \frac{NI - NF}{NI} \times 100 = 34.78$$

$$VB = \frac{I - (F + U)}{I - F} \times 100$$



ANEXO 2

Cuadro 10. Datos experimentales de secado de hojas de ramio a temperatura de 40°C

| Velocidad aire = 0.5 m/s | | | Velocidad aire = 0.8 m/s | | | Velocidad aire = 1.1 m/s | | |
|--------------------------|-------|---------------|--------------------------|-------|---------------|--------------------------|-------|---------------|
| Tiempo | Peso | Humedad Adim. | Tiempo | Peso | Humedad Adim. | Tiempo | Peso | Humedad adim. |
| 0 | 74,7 | 1 | 0 | 73,6 | 1 | 0 | 73,6 | 1 |
| 5 | 73,19 | 0,97979 | 5 | 70,52 | 0,95815 | 5 | 71,45 | 0,97079 |
| 10 | 71,3 | 0,95448 | 10 | 66,94 | 0,90951 | 8 | 66,25 | 0,9002 |
| 15 | 68,64 | 0,91888 | 15 | 62,76 | 0,85272 | 12 | 63,57 | 0,86367 |
| 20 | 65,74 | 0,88005 | 20 | 60,24 | 0,81848 | 21 | 58,94 | 0,80082 |
| 25 | 61,89 | 0,82851 | 25 | 55,77 | 0,75774 | 26 | 53,33 | 0,72455 |
| 30 | 57,51 | 0,76988 | 30 | 50,16 | 0,68152 | 30 | 47,71 | 0,64829 |
| 35 | 52,56 | 0,70361 | 35 | 46,38 | 0,63016 | 34 | 43,12 | 0,58582 |
| 40 | 48,34 | 0,64712 | 40 | 40,01 | 0,54361 | 38 | 38,04 | 0,51682 |
| 45 | 44,09 | 0,59023 | 45 | 35,65 | 0,48438 | 45 | 33,97 | 0,46161 |
| 50 | 40,84 | 0,54672 | 50 | 33,22 | 0,45136 | 50 | 31,41 | 0,42675 |
| 55 | 37,18 | 0,49772 | 55 | 31,93 | 0,43383 | 55 | 29,38 | 0,39915 |
| 70 | 31,93 | 0,42744 | 70 | 29,29 | 0,398 | 67 | 26,81 | 0,36428 |
| 85 | 30,77 | 0,41191 | 85 | 26,89 | 0,36531 | 85 | 25,79 | 0,35048 |
| 100 | 29,57 | 0,39585 | 100 | 26,07 | 0,35416 | 100 | 23,28 | 0,31635 |
| 115 | 28,33 | 0,37925 | 115 | 24,71 | 0,3357 | 115 | 22,21 | 0,30182 |
| 145 | 25,72 | 0,34431 | 145 | 21,74 | 0,29532 | 150 | 20,18 | 0,27422 |
| 175 | 24,34 | 0,32584 | 175 | 19,05 | 0,25879 | 175 | 19,87 | 0,26994 |
| 205 | 22,9 | 0,30656 | 205 | 17,67 | 0,24008 | 210 | 17,85 | 0,24253 |
| 235 | 22,9 | 0,30656 | 235 | 17,14 | 0,23282 | 235 | 17,14 | 0,23282 |

Cuadro 11. Datos experimentales de secado de hojas de ramio a temperatura de 50°C

| Velocidad aire = 0.5 m/s | | | Velocidad aire = 0.8 m/s | | | Velocidad aire = 1.1 m/s | | |
|--------------------------|-------|---------------|--------------------------|-------|---------------|--------------------------|-------|---------------|
| Tiempo | Peso | Humedad Adim. | Tiempo | Peso | Humedad Adim. | Tiempo | Peso | Humedad adim. |
| 0 | 72,6 | 1 | 0 | 70 | 1 | 0 | 73 | 1 |
| 5 | 68,25 | 0,93857 | 5 | 64,42 | 0,92029 | 5 | 67,96 | 0,93096 |
| 10 | 63,12 | 0,85143 | 10 | 58,85 | 0,84071 | 10 | 63,41 | 0,86863 |
| 15 | 58,32 | 0,776 | 15 | 50,07 | 0,71529 | 15 | 56,28 | 0,77091 |
| 20 | 53,47 | 0,678 | 20 | 42,57 | 0,60814 | 20 | 49,56 | 0,6789 |
| 25 | 49,02 | 0,60143 | 25 | 35,53 | 0,50757 | 25 | 41,16 | 0,5638 |
| 30 | 43,63 | 0,557 | 30 | 29,01 | 0,41443 | 30 | 33,96 | 0,46524 |
| 35 | 40,48 | 0,46657 | 35 | 27,79 | 0,397 | 35 | 30,11 | 0,41251 |
| 40 | 36,96 | 0,406 | 40 | 26,53 | 0,379 | 40 | 28,49 | 0,39027 |
| 45 | 33 | 0,38971 | 45 | 25,22 | 0,36029 | 45 | 25,92 | 0,35507 |
| 50 | 30,07 | 0,35529 | 50 | 22,47 | 0,321 | 50 | 24,56 | 0,33644 |
| 55 | 26,87 | 0,29929 | 55 | 19,5 | 0,27857 | 55 | 20,78 | 0,28466 |
| 60 | 23,37 | 0,26918 | 60 | 17,93 | 0,25614 | 60 | 19,32 | 0,26467 |
| 75 | 19,51 | 0,23714 | 75 | 14,6 | 0,20857 | 75 | 16,23 | 0,22228 |
| 90 | 12,94 | 0,19171 | 90 | 12,83 | 0,18329 | 90 | 14,29 | 0,19574 |
| 105 | 10,5 | 0,17323 | 105 | 10,99 | 0,157 | 105 | 11,65 | 0,15956 |
| 120 | 7,92 | 0,16316 | 120 | 9,06 | 0,12943 | 120 | 11,17 | 0,15301 |
| 150 | 5,19 | 0,15274 | 150 | 9,06 | 0,12943 | 150 | 9,69 | 0,13274 |
| 180 | 5,19 | 0,15274 | 180 | | | 180 | 9,69 | 0,13274 |

Cuadro 12. Datos experimentales de secado de hojas de ramio a temperatura de 60°C

| Velocidad aire = 0.5 m/s | | | Velocidad aire = 0.8 m/s | | | Velocidad aire = 1.1 m/s | | |
|--------------------------|-------|---------------|--------------------------|-------|---------------|--------------------------|-------|---------------|
| Tiempo | Peso | Humedad Adim. | Tiempo | Peso | Humedad Adim. | Tiempo | Peso | Humedad adim. |
| 0 | 71 | 1 | 0 | 71 | 1 | 0 | 71 | 1 |
| 5 | 65,41 | 0,92127 | 5 | 66,94 | 0,94282 | 5 | 63,26 | 0,89099 |
| 10 | 57,14 | 0,80479 | 10 | 59 | 0,83099 | 10 | 50,99 | 0,71817 |
| 15 | 49,01 | 0,69028 | 15 | 52,29 | 0,73648 | 15 | 40,37 | 0,56859 |
| 20 | 40,93 | 0,57648 | 20 | 42,28 | 0,59549 | 20 | 33,12 | 0,46648 |
| 25 | 34,54 | 0,48648 | 25 | 32,9 | 0,46338 | 25 | 28,8 | 0,40563 |
| 30 | 30,8 | 0,4338 | 30 | 25,88 | 0,36451 | 30 | 26,42 | 0,32862 |
| 35 | 28,76 | 0,40507 | 35 | 23,59 | 0,33225 | 35 | 22,44 | 0,28572 |
| 40 | 25,47 | 0,3383 | 40 | 22,39 | 0,30198 | 40 | 20,78 | 0,26255 |
| 45 | 24,3 | 0,31858 | 45 | 22,39 | 0,2923 | 45 | 20,05 | 0,25252 |
| 50 | 23,1 | 0,30855 | 50 | 21,16 | 0,27569 | 50 | 19,32 | 0,25252 |
| 55 | 23,1 | 0,28572 | 55 | 21,16 | 0,25909 | 55 | 19,09 | 0,2328 |
| 60 | 21,86 | 0,28226 | 60 | 19,88 | 0,2494 | 60 | 18,36 | 0,21965 |
| 75 | 20,58 | 0,25252 | 75 | 18,56 | 0,22623 | 75 | 16,70 | 0,19336 |
| 90 | 19,26 | 0,22623 | 90 | 17,2 | 0,19994 | 90 | 15,24 | 0,17365 |
| 105 | 17,89 | 0,19336 | 105 | 15,49 | 0,18022 | 105 | 14,06 | 0,15704 |
| 120 | 17,89 | 0,19994 | 120 | 15,24 | 0,17676 | 120 | 14,29 | 0,14701 |
| 150 | 15 | 0,18333 | 150 | 12,83 | 0,16016 | 150 | 12,38 | 0,12418 |
| 180 | 13,48 | 0,17365 | 180 | 12,83 | 0,15358 | 180 | 11,42 | 0,12418 |

Cuadro 13. Valores experimentales considerados para la Fig. 19

| Número malla | Peso promedio | Porcentaje retenido | Cantidad acumulada | Porcentaje acumulado |
|--------------|---------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| 850 | 5,03333 | 5,28 | 94,97 | 100 |
| 425 | 26,33333 | 27,66 | 73,67 | 77,57 |
| 180 | 14,6 | 15,34 | 59,07 | 62,19 |
| 150 | 3,03333 | 3,19 | 56,04 | 59 |
| 75 | 46,2 | 48,53 | 9,84 | 10,36 |

Cuadro 14. Valores experimentales considerados para la Fig. 20

| Temperatura | Ambiente(Fresco) | 40°C | 50°C | 60°C |
|-------------|------------------|-------|--------|-------|
| Luminosidad | 38,382 | 36,61 | 35,256 | 33,88 |

Cálculo del calor utilizado para el secado de un lote de hojas de Ramio (B. nivea)

Propiedades del aire ambiente (tomadas de la carta psicrométrica):

| Temperatura seca (°C) | Temperatura húmeda (°C) | Humedad absoluta (g agua/kg aire seco) | Entalpia (kJ/kg aire seco) |
|-----------------------|-------------------------|--|----------------------------|
| 28 | 22 | 11.36 | 57.18 |

Propiedades del aire a la entrada de la cámara de secado (tomadas de la carta psicrométrica y considerando que el calentamiento ocurre a humedad absoluta constante):

| Temperatura seca (°C) | Temperatura húmeda (°C) | Humedad absoluta (g agua/kg aire seco) | Entalpia (kJ/kg aire seco) |
|-----------------------|-------------------------|--|----------------------------|
| 50 | 30 | 11.36 | 79.75 |

Propiedades del aire a la salida de la cámara de secado (tomadas de la carta psicrométrica y considerando que el secado ocurre a entalpía constante):

| Temperatura seca (°C) | Temperatura húmeda (°C) | Humedad absoluta (g agua/kg aire seco) | Entalpia (kJ/kg aire seco) |
|-----------------------|-------------------------|--|----------------------------|
| 43 | 29 | 14.49 | 79.75 |

Cantidad de agua a eliminar: $70 \text{ g.} \times (0.8703 - 0.0868) = 54.845 \text{ g.}$

Cantidad de aire utilizada: $\frac{58.845 \text{ g agua}}{(14.49 - 11.36) \text{ g agua/kg a.s.}} = 17.52 \text{ kg a.s.}$

Calor (entalpía) empleado: $17.52 \text{ kg a.s.} \times (79.75 - 57.18) \text{ kJ/ kg a.s.} = 395.5 \text{ kJ}$

Anexo 3

ANOVA; Var.:DIF; R-sqr=.99118; Adj:.97648 (difusiv.sta)
 2 factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=1.510548
 DV: DIF

| | SS | df | MS | F | p |
|----------------|------------|----|------------|------------|---------------|
| (1)TEMPERAT(L) | 429.4296 | 1 | 429.4296 | 284.287264 | 0.00045432 * |
| TEMPERAT(Q) | 24.4067556 | 1 | 24.4067556 | 16.1575489 | 0.027651379 * |
| (2)VELO (L) | 47.3766 | 1 | 47.3766 | 31.3638463 | 0.011248518 * |
| VELO (Q) | 0.61975556 | 1 | 0.61975556 | 0.4102852 | 0.567393272 |
| 1L by 2L | 7.3984 | 1 | 7.3984 | 4.89782468 | 0.113771907 |
| Error | 4.53164444 | 3 | 1.51054815 | | |
| Total SS | 513.762756 | 8 | | | |

