



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, QUÍMICAS Y
NATURALES



MAESTRIA EN TECNOLGÍA DE LOS ALIMENTOS

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SECADO Y
CALIDAD DEL PRODUCTO ELABORADO EN TRES
SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN PRIMARIA DE
YERBA MATE**

Ing. Agr. Guillermo Arndt

Directora: Dra. Sandra Patricia Molina

Co-director: Dr. Santiago Alexi Holowaty

SEPTIEMBRE -2018

Dictamen

Espacio Reservado al Jurado de Tesis, Director y Co-Directora.

Dr. Luis Brumovsky - Evaluador
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales.
Universidad Nacional de Misiones

Fecha

Mgter. Griselda Patricia Scipioni - Evaluadora
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales.
Universidad Nacional de Misiones

Fecha

Mgter. Viviana Pacheco – Evaluadora
Universidad Nacional de Itapúa

Fecha

Dra. Sandra Patricia Molina.
Directora de Tesis – E. E. A. Cerro Azul.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Fecha

Dr. Santiago Alexi Holowaty.
Co - Director de Tesis - Facultad de Ciencias
Exactas, Químicas y Naturales.
Universidad Nacional de Misiones

Fecha

CALIFICACIÓN: ELABORACIÓN DE TESIS:

CALIFICACIÓN: DEFENSA DE TESIS:

Agradecimientos

A mí amado Dios quiero darles las eternas gracias porque desde antes que naciera, Él tenía preparado este plan para mi vida, cada una de las personas a las que voy a agradecer cumplieron un propósito en mi vida, pero primero estuvieron en los planes de Dios.

Parecía tan lejano el momento en que debería escribir estos agradecimientos, pero ya llegó el día y aunque parezca redundante siempre es bueno dejar en claro que el orden de aparición no resta importancia a los que le siguen. Muchas gracias a mis Padres Eugenio y Etel quienes me dieron la posibilidad de educarme y me transmitieron todos sus valores. A mi esposa Eugenia y mis hijas Ona y Gia, gracias por hacerme el aguante en estos años de viajes y tardes de estudio, siempre fueron la fuerza de empuje para concretar esta etapa. Gracias a mis tíos Julio y Estela que siempre me supieron hospedar en estos años. Muchas gracias Sandra, mi directora de beca y tesis quien me apoyó en todo momento y colaboró con todo lo que estuvo a su alcance. También quiero agradecerte Santiago por tu dedicación y tiempo de invertido en este trabajo, que también llevo a cultivar una linda amistad. Indudablemente quiero agradecerte Chingo por todos tus aportes, realmente que sin vos esto no podría ser posible. No puedo dejar de agradecer a las grandes personas que estuvieron ayudándome en las mediciones Marcelo, Jonatán, Carolina y en las determinaciones en laboratorio Raquel, Paola, Adriana, Patricia realmente fue un placer conocerlos. Agradezco de forma especial a los dueños de los secaderos que me permitieron tomar los datos y muestras necesarias. A la Universidad Nacional de Misiones y al plantel docente de la Maestría en Tecnología de los Alimentos, gracias por la formación brindada y a su directora Mgter. Griselda P. Scipioni por sus aportes. Gracias a las excelentes personas y profesionales que conocí en clase y que aportaron a mi formación. Como no agradecer a mis compañeros de trabajo con quienes comparto el día a día, Diana, Maricel, Vanesa, Noelia, Gonzalo, Matías, Humberto, Hipólito y a Marcelo, quien hoy ya no está en medio nuestro pero siempre me ha brindado sus consejos.

Por último quiero agradecer al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por haber financiado mi formación y al Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM) que ha colaborado con el financiamiento de varios análisis y otros recursos requeridos por el trabajo de investigación.

Dedicatoria

Esta dedicatoria, más que una prueba de amor, es mi forma de pedirles disculpas por el tiempo de ausencia durante estos años de estudio y trabajo.

A las mujeres de mi vida, mi esposa Eugenia y a nuestras hijas Ona Guillermina y Gia Amelie, las amo, son mi mayor tesoro.

A DIOS SEA LA GLORIA!!

Resumen

Los sistemas de secado que más se utilizan en el procesamiento de la yerba mate son el secadero Barbacué (SB), a Cintas (SC) y Rotativo (SR). Estos se caracterizan por tener una amplia variabilidad, en cuanto a la estructura, los sistemas de secado que utilizan, la forma de operarlos, la temperatura del aire y/o el tiempo de residencia. Las distintas condiciones operativas de cada sistema, llevaron a plantear si las propiedades fisicoquímicas y parámetros de calidad microbiológicos se ven afectados de diferente manera según el tipo de secado al que fue sometida la yerba mate, como así también la eficiencia de cada sistema. El objetivo fue caracterizar y comparar los tres sistemas de secado de yerba mate desde el punto de vista de la eficiencia energética y calidad del producto elaborado. El trabajo se llevó a cabo en seis secaderos de yerba mate, dos de cada tipo, los cuales fueron seleccionados de la zona centro-sur de la provincia de Misiones. En cada establecimiento, por un lado se tomaron muestras de Hoja verde (en planchada) y Yerba mate canchada (sin estacionar), para los análisis microbiológicos (bacterias, hongos y levaduras). Por otro lado se tomaron muestras de yerba mate canchada (sin estacionar) y se definió una hoja verde de referencia, la que fue inactivada enzimáticamente por un tratamiento con microondas. A ambas muestras se le realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: humedad, pH, color, cenizas totales, extracto acuoso, polifenoles totales y cafeína. Para evaluar la eficiencia de cada secadero, se determinaron variables requeridas para la realización de balances de masa y energía en las entradas y salidas de los equipos sólidos y gases, en estado estacionario. La eficiencia y la distribución energética de cada secadero se calcularon en relación a la energía calórica que ingresaba al sistema. La eficiencia se describió como la cantidad de agua evaporada en relación al calor aportado al sistema. Los resultados se compararon con datos de sistemas eficientes obtenidos de la bibliografía. Los diferentes procesos de secado influyeron de algún modo en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizado. En los tres tipos de secado, se observó la disminución de la carga microbiana (bacterias, hongos y levaduras) luego del tratamiento térmico. En los parámetros de color “a” y el matiz, registraron diferencias significativas entre HV, mientras que los restantes parámetros color L, color b, Ip y chroma, no presentaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de secado y tampoco respecto al control HV. El extracto acuoso tampoco, presentó diferencias significativas en los tres tipos de secado respecto al control HV. En los tres métodos de procesamiento se

observó la reducción estadísticamente significativa de la concentración de cafeína respecto al control (HV). Mientras que el contenido de polifenoles totales, tuvo una disminución significativa en los sistemas SC y SR respecto al control HV. En tanto que el sistema SB no afectó significativamente el contenido de polifenoles presentes en la HV. En el contenido de cenizas totales y el pH, si bien no variaron respecto a HV, cuando se compararon los tres sistemas de secado entre sí, el SR generó valores más elevados. Se determinaron los siguientes valores de eficiencia térmica, SR (30,5%), SC (25,3%) y los SB (14,7%), los que resultan ser bajos comparados con la bibliografía.

Palabras clave: Yerba mate, Secaderos, Calidad fisicoquímica, Eficiencia.

Abstract

The drying systems that are most used in the processing of yerba mate are the Barbacua (SB), Cintas (SC) and Rotativo (SR) dryer. These are characterized by having a wide variability, in terms of the structure, the drying systems they use, the way of operating them, the air temperature and / or the residence time. The different operating conditions of each system led to the question whether the physicochemical properties and microbiological quality parameters are affected differently according to the type of drying to which the yerba mate was subjected, as well as the efficiency of each system. The objective was to characterize and compare the three yerba mate drying systems from the point of view of energy efficiency and quality of the finished product. The work was carried out in six driers of yerba mate, two of each type, which were selected from the south-central zone of the province of Misiones. In each establishment, on the one hand samples were taken of green leaf (in planchado) and matured yerba mate (without aging), for microbiological analyzes (bacteria, fungi and yeast). On the other hand samples of matured yerba mate (without aging) were taken and a green reference sheet was defined, which was inactivated enzymatically by a microwave treatment. The following physicochemical analyzes were carried out on both samples: humidity, pH, color, total ash, aqueous extract, total polyphenols and caffeine. To evaluate the efficiency of each dryer, variables required for the realization of mass and energy balances in the entrances and exits of the solid equipment and gases, in steady state, were determined. The efficiency and energy distribution of each dryer were calculated in relation to the caloric energy that entered the system. The efficiency was described as the amount of water evaporated in relation to the heat contributed to the system. The results were compared with data from efficient systems obtained from the literature. The different drying processes influenced in some way the majority of the physicochemical and microbiological parameters analyzed. In the three types of drying, the decrease of the microbial load (bacteria, fungi and yeast) was observed after the thermal treatment. In the parameters of color "a" and shade, they registered significant differences between HV, while the remaining parameters color L, color b, Ip and chroma, did not present significant differences between the three treatments of drying nor with respect to the HV control. The aqueous extract did not show significant differences in the three types of drying with respect to the HV control. In the three processing methods, the statistically significant reduction in caffeine concentration was observed with

respect to control (HV). While the content of total polyphenols, had a significant decrease in the SC and SR systems with respect to the HV control. While the SB system did not significantly affect the content of polyphenols present in the HV. In the content of total ash and pH, although they did not vary with respect to HV, when the three drying systems were compared with each other, the SR generated higher values. The following thermal efficiency values were determined: SR (30.5%), SC (25.3%) and SB (14.7%), which are low compared to the literature.

Keywords: Yerba mate, Drying grounds, Physicochemical quality, Efficiency

Índice

Contenido

<i>Dictamen</i>	II
<i>Agradecimientos</i>	III
<i>Dedicatoria</i>	IV
<i>Resumen</i>	V
<i>Abstract</i>	VII
<i>Índice</i>	IX
<i>Lista de Tablas</i>	XII
<i>Lista de Figuras</i>	XIII
<i>Nomenclatura</i>	XV
Capítulo I. Introducción.....	17
I.1 Alcances y definición del problema de investigación.....	17
I.2 Objetivos	19
I.3 Justificación	20
Capítulo II. Antecedentes.....	22
II.1 Consideraciones generales de la Yerba Mate	22
II.2 Procesamiento Industrial de la Yerba Mate	23
II.2.1 Recepción de hoja verde:.....	24
II.2.2 Zapecado:.....	25
II.2.3 Pre-secado:.....	27
II.2.4 Secado:	27
II.2.5 Canchado:	32
II.2.6 Estacionamiento:	34

II.2.7	Molienda y Envasado:	35
II.3	Influencia del Procesamiento.....	36
II.3.1	Aspectos Microbiológicos	36
II.3.2	Propiedades Fisicoquímicas	37
II.3.3	Aspectos Energéticos.....	42
Capítulo III.	Desarrollo.....	43
III.1	Materiales y Métodos	43
III.1.1	Selección de los secaderos.....	43
III.1.2	Muestreo	43
III.1.3	Análisis fisicoquímicos	45
III.1.4	Análisis Microbiológicos.....	47
III.1.5	Definición de eficiencia.....	48
III.1.6	Análisis Estadístico	52
III.2	Resultados y Discusión	53
III.2.1	Parámetros microbiológicos	53
III.2.2	Pruebas preliminares de parámetros fisicoquímicos	55
III.2.3	Parámetros fisicoquímicos.....	55
III.2.4	Eficiencia	63
Conclusiones.....		67
Propuestas sobre trabajos futuros		69
Bibliografía.....		70
Anexos		77
Anexo 1:	Planilla para la toma de los datos de eficiencia en los distintos secaderos.....	78
Anexo 2:	Diagrama psicrométrico.....	81

Anexo 3: Calor de sorción en ramas a bajas humedades.....	82
Anexo 4: Publicaciones	83

Lista de Tablas

Tabla III-1. Parámetros fisicoquímicos de Hoja verde yerba mate, según el método: Microondas (Mo) y Estufa de vacío (Ev). Los valores expresados en % en base seca).....	55
Tabla III-2. Parámetros fisicoquímicos de yerba mate, según el tipo de procesamiento. Los valores expresados en % en base seca).....	56
Tabla III-3. Eficiencia y distribución energética en los secaderos barbacuá comparados con la bibliografía.....	64
Tabla III-4. Eficiencia y distribución energética en los secaderos a cintas comparados con la bibliografía.	64
Tabla III-5. Eficiencia y distribución energética en los secaderos rotativos comparados con la bibliografía.....	65

Lista de Figuras

Figura II-1 Sistema de alimentación de la cinta transportadora	24
Figura II-2. Esquema de un tubo zapecador de Yerba Mate.	25
Figura II-3. Esquemas del interior de un tubo zapecador de Yerba Mate.	26
Figura II-4. Esquema de un secadero de Yerba Mate tipo Barbacué-Catre.	29
Figura II-5. Esquema de un secadero de Yerba Mate de dos cintas superpuestas.	30
Figura II-6. Detalle del cilindro cribado.	31
Figura II-7. Esquema de un secadero de Yerba Mate tipo Rotativo.....	32
Figura II-8. Detalle vista superior del molino de martillos locos de la canchadora.	33
Figura II-9. Yerba mate canchada en bolsas de polietileno.....	33
Figura II-10. Estructura de la clorofila.	38
Figura II-11. Estructura de las metilxantinas.....	39
Figura II-12. Estructura de polifenoles presentes en yerba mate.	40
Figura II-13. Formación del ácido clorogénico.	40
Figura III-1. Esquema de los puntos de medición en un secadero de cintas superpuestas (barbacué o cinta).	49
Figura III-2. Esquema de los puntos de medición en un secadero rotativo.....	49
Figura III-3. Variación de los valores medios de BAMT (UFC/g) en Hoja Verde y Yerba Mate Canchada, según el sistema de procesamiento (SB, SC y SR).	53
Figura III-4. Variación de los valores medios de HyL (UFC/g) en Hoja Verde y Yerba Mate Canchada, según el sistema de procesamiento (SB, SC y SR).....	54
Figura III-5. Valores medios de Color a (a) y Hue (b) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).....	57
Figura III-6. Valores medios de Color L (a), Color b (b), IP (c) y Chroma (d) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).....	58

Figura III-7. Valores medios de Cafeína con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).....	59
Figura III-8. Valores medios de Extracto acuoso (EA) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).....	60
Figura III-9. Valores medios de Contenido de polifenoles totales (CPT) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).....	61
Figura III-10. Valores medios de Cenizas totales con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).....	62
Figura III-11. Valores medios de pH con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).....	63

Nomenclatura

a_w	Actividad del agua, expresada en valores entre 0 y 1.
bh	Expresión en base húmeda.
bs	Expresión en base seca.
CPT	Contenido total de polifenoles.
EA	Extracto acuoso de yerba mate (expresado en gramos de solubles/ 100 gramos de sólido seco).
%EAG	Equivalentes de ácido gálico, porcentual, expresado para la concentración de Polifenoles Totales.
g/ 100 g ss	Gramos por cada cien gramos de sólidos secos.
P	Valor <i>P</i> (o P-value), asociado a la significación de un test estadístico.
p_v	Presión de agua ejercida por el sólido.
P_w	Presión de vapor del agua pura a la temperatura del sólido.
X	Contenido de humedad expresado en gramos de agua por gramos de sólido secos o base seca.
x	Contenido de humedad expresado en gramos de agua por cada gramo de sólido húmedo o en base húmeda.
X%	Contenido de humedad en base seca por 100 gramos de sólido seco.
x %	Contenido de humedad en base seca por 100 gramos de sólido húmedo.
SC	Secadero de cintas (continuo).
SR	Secadero rotativo (continuo).

SB	Secadero tipo barbacoá (estacionario).
CT	Coliformes totales.
BAMT	Bacterias aeróbicas mesófilas totales.
CF	Coliformes fecales.
RHL	Recuento de hongos y levaduras.
α	Nivel de significación de un test estadístico.

Capítulo I. Introducción

I.1 Alcances y definición del problema de investigación

La yerba mate es un producto alimenticio, consumido principalmente como infusión en forma de mate caliente o tereré frío. Se obtiene a partir del procesamiento industrial de las hojas y ramas jóvenes que se cosechan de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire.

Esta planta se desarrolla únicamente en un área determinada en América del Sur, que comprende los países de Paraguay, Brasil y Argentina, siendo este último el principal productor.

En Argentina, la región productora corresponde a la provincia de Misiones y nordeste de Corrientes, abarcando una superficie total de 165.326,811 ha. Del total producido en esta región, el 90% se destina al mercado interno que tiene un consumo per cápita de 6,55 kg año⁻¹ y el 10% restante se exporta a países como Siria, Chile, Uruguay, Bolivia, Brasil, Alemania, Francia, Rusia, entre otros. Esto permite que se desarrolle una economía en torno a la actividad yerbatera como generadora de fuente de trabajo, ya que moviliza los sectores productivo, industrial y comercial (Prat Kricun, 2006; Lysiak, 2008).

Según los datos estadísticos registrados por el Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM), durante el año 2016 fueron procesados 819.052.572 kg de hoja verde, mientras que el volumen de yerba mate elaborada a salida de molino con destino al mercado interno fue de 252.136.107 kg.

En el proceso de elaboración, el secado se encuentra dentro de una etapa conocida como transformación primaria. Dicho proceso comprende una serie de pasos secuenciados, en su mayoría térmicos, que comienzan con el zapecado, seguido por el secado, canchado (una molienda gruesa que reduce el volumen del producto) y finaliza con el embolsado y almacenamiento en los noques o cámaras de estacionamiento. En algunos casos, antes del secado, se realiza un proceso intermedio denominado pre-secado (Känzig, 1996; Sarasola, 1998; Prat Kricun, 2006).

Durante el proceso de zapecado se busca, primeramente, inactivar las enzimas que se encuentran en las hojas y a la vez disminuir la carga microbiana existente al momento de la

cosecha y luego, por medio del secado, reducir el contenido de agua de las mismas, hasta llegar a una actividad de agua menor a 0,6. Esto no solo disminuye considerablemente su peso, sino que permite reducir apreciablemente la velocidad de deterioro biológico, con lo cual se logra una estabilidad microbiológica (Horianski y col., 2012).

También se producen una serie de modificaciones o cambios en el material que no son deseables. Esto es producto de las altas temperaturas y los tiempos de residencia en las distintas etapas. Entre las modificaciones más importantes se encuentran el cambio de color (degradación de la clorofila) y la pérdida de nutrientes principalmente vitamina C que influyen en la calidad final del producto (Känzig, 2015; Ramallo y col., 1998).

Otro punto negativo es que el proceso de secado de yerba mate requiere grandes cantidades de energía calorífica, que históricamente se obtenía a partir de la combustión de leña de monte nativo.

Actualmente rige en Misiones la LEY XVI – N° 106, la cual en su artículo N°4, establece que los establecimientos secaderos de yerba mate debían disminuir a partir del 1 de enero del año 2012, el consumo de leña de bosques nativos en un 25%, llegando a un 50% a partir del 1 de enero del año 2013 y desde 2015 debían sustituir la totalidad del combustible utilizado por leña de monte renovable u otra biomasa. De esta forma daría cumplimiento a algunos de sus objetivos como la disminución de la deforestación por consumo de leña de bosques nativos y el mejoramiento de la eficiencia energética en las agroindustrias. A partir de dicha reglamentación surgieron como alternativas viables la utilización de chip y aserrín como combustibles, siendo ambos subproductos de la industria maderera (Sistema Argentino de Información Jurídica, 2012; Holowaty y col., 2014).

Una característica particular del proceso de secado de la yerba mate, es que existe una amplia variabilidad en cuanto a la estructura de los secaderos, los sistemas que utilizan, la forma de operarlos, la temperatura del aire y/o el tiempo de residencia, y la eficiencia térmica de cada uno. Esta gran diversidad dificulta establecer un criterio de clasificación de los secaderos, así como también determinar qué sistema resulta más eficiente.

Känzig (1996), propone como criterio de clasificación el “tiempo de duración del secado”, según el cual existen tres tipos de secaderos: secado largo, secado medio y secado corto o rápido.

Los sistemas de secado fueron evolucionando, con el objetivo de aumentar la capacidad de secado a partir de la reducción del tiempo de residencia de la yerba dentro del secadero, permitiendo aumentar la eficiencia de secado.

Durante el proceso de secado se producen reacciones que modifican las características fisicoquímicas y microbiológicas de la yerba mate. Dichas modificaciones están relacionadas directamente con el tipo de tecnología de secado que se utilice, por lo que es de esperar que las características del producto obtenido en cada uno de ellos sean diferentes en cuanto al contenido de polifenoles, cafeína, extracto acuoso, color, etc.

Hasta el momento no se cuentan con datos que permitan comparar en forma conjunta los tres sistemas de secado en términos de eficiencia de secado y la calidad fisicoquímica y microbiológica del producto obtenido. Conocer si existen diferencias entre cada uno de los sistemas de secado y de los productos obtenidos, representaría un gran aporte al conocimiento del sector yerbatero.

I.2 Objetivos

Caracterizar y comparar los tres sistemas de secado de yerba mate desde el punto de vista de la eficiencia energética y calidad del producto elaborado.

Objetivos particulares:

1. Evaluar la eficiencia energética de cada sistema de secado, a fin de poder establecer que sistema es el más eficiente en términos de consumo energético.
2. Evaluar las modificaciones de los parámetros de calidad físico-química considerando las concentraciones de polifenoles totales, cafeína, sólidos solubles, parámetros de color, cenizas, pH y contenido de humedad de los productos elaborados en cada uno de los secaderos.
3. Evaluar las modificaciones de los parámetros de calidad microbiológica considerando las determinaciones de bacterias mesófilas aerobias, recuento de hongos y levaduras, coliformes fecales y totales y *Escherichia coli* en los productos elaborados en cada uno de los secaderos.

I.3 Justificación

El trabajo de investigación propuesto, busca comparar de manera simultánea los tres sistemas de secado más usados en Yerba Mate (Barbacuá, Cintas, Rotativo), evaluando la calidad microbiológica y fisicoquímica del producto obtenido en cada uno de ellos y también la eficiencia de secado de cada sistema. Esto permitirá identificar qué sistemas de secado reúne las mejores características en cuanto a eficiencia y calidad de producto.

Existen opiniones encontradas en cuanto a la calidad del producto elaborado bajo los tres sistemas de secado de yerba mate, debido a las preferencias de los consumidores y subjetividades por parte de quienes la elaboran.

1. El estudio de las eficiencias de secado en los tres tipos de secaderos es fundamental para caracterizar cuál de ellos resulta mejor en este aspecto. Aunque a priori se podría decir que los sistemas de tiempo corto de secado resultarían con mejor performance, esto no sería apropiado, ya que los volúmenes procesados por hora, así como los equipos utilizados son totalmente diferentes a los utilizados en los sistemas de cinta y barbacuá. La medición de variables de proceso in situ, la determinación de balances y el cálculo de la eficiencia de cada equipo involucrado permitiría establecer conclusiones claras acerca de la eficiencia global en términos de consumo de combustible y de volumen de agua evaporado del producto.
2. La determinación de variables fisicoquímicas al final de la etapa de secado en los tres tipos de secado permitirá conocer qué parámetros se modifican en mayor o menor medida en cada uno de los métodos estudiados. El estudio podría presentar resultados que permitan concluir acerca de los parámetros de calidad que sufren mayor o menor degradación de acuerdo al sistema de secado.
3. El estudio microbiológico busca determinar si los sistemas de secado son consecuentes con la inocuidad alimentaria, y no cuál de ellos tiene mayor o menor grado de contaminación. Al cultivarse en medios abiertos, ser cosechada en su mayoría en forma manual, transportada dentro de bolsas reutilizadas en camiones u otros vehículos y ser depositadas sobre el piso previo a su procesamiento, es inevitable la presencia de flora microbiana habitual y la potencial contaminación con microorganismos no habituales en la yerba. El procesamiento de la materia prima

debe asegurar la inocuidad alimentaria desde el punto de vista microbiológico. Si bien la yerba mate en condiciones habituales tiene una actividad de agua menor a 0,6 inhibiendo el crecimiento principalmente de hongos y otros, es fundamental que los parámetros microbiológicos estén debajo de los límites permitidos, ya que de lo contrario deberían tomarse acciones correctivas, ya sea en la cosecha o durante el procesamiento.

Con este trabajo se busca caracterizar cada tipo de secadero, evaluando su eficiencia y la calidad del producto obtenido, a través de variables cuantificables que permitan comparar y determinar el mejor sistema de secado.

Capítulo II. Antecedentes

II.1 Consideraciones generales de la Yerba Mate

Según el Código Alimentario Argentino, en el Artículo 1193 del Capítulo XV, denomina Yerba Mate o Yerba “al producto formado por las hojas desecadas, ligeramente tostadas y desmenuzadas, de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire (Aquifoliácea) exclusivamente, mezcladas o no con fragmentos de ramas secas jóvenes, pecíolos y pedúnculos florales (Código Alimentario Argentino 2017).

Producir Yerba Mate implica un largo proceso, en donde se parte de la producción de plantines, los que son producidos en viveros acondicionados para tal fin, utilizando semillas de origen y calidad conocida. Una vez obtenidos los plantines, se procede a la plantación a campo.

Durante el 2°-3° año se realizan las primeras podas de formación, que consisten en el corte del eje central de la planta, de esta forma se logra orientar el crecimiento de la planta buscando obtener múltiples tallos, lo que favorece el desarrollo foliar y regula la altura de la planta (Mayol, 1997).

A partir del 4°-6° año comienza la producción del yerbal, alcanzando su máximo rendimiento entre el 8°-10° año, esta producción se extiende por 25-30 años (Grupo de Trabajo Yerba Mate y Té, 1997).

La cosecha se desarrolla en un período de 10 meses, siendo el período comprendido entre los meses de abril hasta agosto el más recomendado. En los meses de octubre y noviembre el INYM a través de la Resolución 37/2007 estableció la suspensión de las actividades de cosecha y secanza de hoja verde de yerba mate (Grupo de Trabajo Yerba Mate y Té, 1997; INYM, 2017). Esto se debe a que la planta se encuentra en la fase reproductiva, en donde la demanda de recursos nutricionales son elevados, además la presencia de frutos y semillas puede generar inconvenientes por la contaminación de la Yerba Mate canchada (Prat Kricun, 2015).

El mantenimiento de la planta en su fase vegetativa, en las plantaciones tradicionales de baja y media densidad mediante las podas de formación, limpieza y producción, constituye la base fundamental de la cosecha tradicional o “tarefa” de la Yerba Mate (Prat Kricun, 2015).

La cosecha o poda de producción de yerba mate se puede realizar de varias formas, dentro de las que se pueden citar:

- Cosecha de rama madura, que consiste en una poda manual, donde el tarefero realiza una selección y corte de las ramas que se encuentran aptas en cuanto a diámetro y madurez, dejando en la planta la totalidad del material remanente (Mayol, 1997).
- Semi-mecanizada, abarca la selección, corte de banderas (ramas más elevadas de la planta) y quiebra mecánica (Prat Kricun, 2015).
- Mecanizada, consiste en establecer pautas fijas, en cuanto a nivel de corte y su posterior elevación/reducción, tareas que se efectúan en forma mecanizada (Prat Kricun, 2015).

El material cosechado se junta sobre una bolsa de polietileno que se encuentra extendida sobre el suelo (ponchadas), luego se juntan las puntas de la bolsa al medio, se atan y se forman los raídos de yerba, los cuales se pesan y son llevados a los camiones que los llevarán al secadero.

El transporte de la hoja verde puede realizarse en los raídos o bien a granel, dependiendo de las características del medio de transporte con que se cuenta.

II.2 Procesamiento Industrial de la Yerba Mate

El procesamiento industrial de la Yerba Mate se lo puede clasificar en primario y secundario.

- Primario: está compuesto por las etapas de zapecado, secado y molienda gruesa (canchado), se lleva a cabo en los secaderos.
- Secundario: comprende las etapas de estacionamiento (natural o acelerado), molienda fina y envasado.

A continuación se detallan las etapas que siguen las ramas de yerba mate durante la transformación primaria y secundaria, desde la recepción de hoja verde en la planchada hasta su transformación en canchada, lista para ser comercializada.

II.2.1 Recepción de hoja verde:

La “planchada” es el lugar destinado a la recepción de la materia prima proveniente de la cosecha. Está compuesta por una superficie techada (tipo tinglado), en los laterales suelen tener muros de 1-1,5 m de altura, a partir de esa altura y hasta el techo pueden tener una malla de media sombra. Con estas medidas se busca proteger la hoja de la acción directa de la luz del sol y de las lluvias, evitar el ingreso de aves y disminuir la entrada de polvo, ya que son factores que aceleran el deterioro de la misma (Prat Kricun, 2006).

Las dimensiones de la planchada varían dependiendo de la capacidad de procesamiento del secadero. Lo recomendable es que la materia prima permanezca el menor tiempo posible en la planchada, evitando de esta manera la fermentación y deterioro de la misma (Prat Kricun, 2006).

El piso por lo general es de concreto y debe ser resistente al tránsito pesado, ya que algunos secaderos disponen de una máquina cargadora para mover el material hasta la cinta transportadora (Prat Kricun, 2006).



Figura II-1 Sistema de alimentación de la cinta transportadora

Una vez que se descarga la materia prima en la planchada, los operarios del sector son los responsables de la inspección visual de las ramas de yerba mate, realizando la primera tarea

de limpieza, separando el material extraño (tierra, piedras, trozos de metales, malezas, hojas ardidas). Simultáneamente, se acarrea la hoja verde hacia la cinta transportadora que conduce el material a la siguiente etapa denominada zapecado (Prat Kricun, 2006).

II.2.2 Zapecado:

Durante el zapecado se forma vapor de agua en el parénquima foliar, lo que produce la muerte del protoplasma y destruye los fermentos (inactivación de las enzimas). Esto impide que se produzca la oxidación de las sustancias tánicas que se encuentran en la hoja, asegurando la conservación del color verde y aroma característico (Frankel, 1983; Känzig, 1996).

El zapecador consiste de un horno rotativo cilíndrico de metal (Tambor), cuyas dimensiones oscilan entre 2-2,5 m de diámetro y entre 6-9 m de largo, lo cual permite una capacidad de secado de entre 3-5 tn hoja verde/h. En su interior existen aletas que facilitan el transporte del material vegetal a lo largo del cilindro, el cual se encuentra montado sobre unos rodamientos y gira a bajas revoluciones mediante un motor de alta potencia unido a un juego de correas (Frankel, 1983; Känzig, 1996).

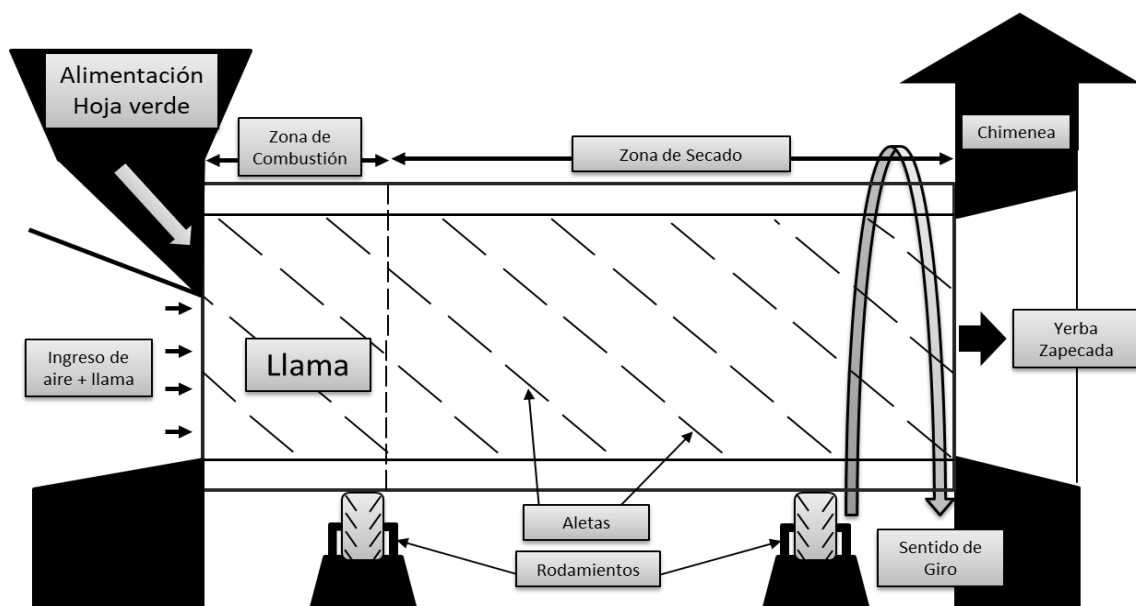


Figura II-2. Esquema de un tubo zapecador de Yerba Mate.

En la etapa de zapecado, las ramas verdes ingresan por uno de los extremos del cilindro con humedad promedio de 62% (bh) y circulan en corriente paralela con gases a elevada

temperatura generados en un hogar contiguo al ingreso de ramas. La combustión se realiza utilizando chip de madera y en algunos casos todavía usan leña. Las ramas entran en contacto con los gases a temperaturas de entrada entre 450-650°C (Nuñez y Känzig, 1995) y 100-160°C a la salida (Peralta y Schmalko, 2007). Una vez dentro del cilindro, el material permanece entre 2-4 minutos y durante este tiempo es alcanzado por las llamas y humos, cuya acción directa hace que las hojas y ramas crepiten, perdiendo entre el 55-75% del agua que contienen inicialmente (Frankel, 1983; Känzig, 1996).

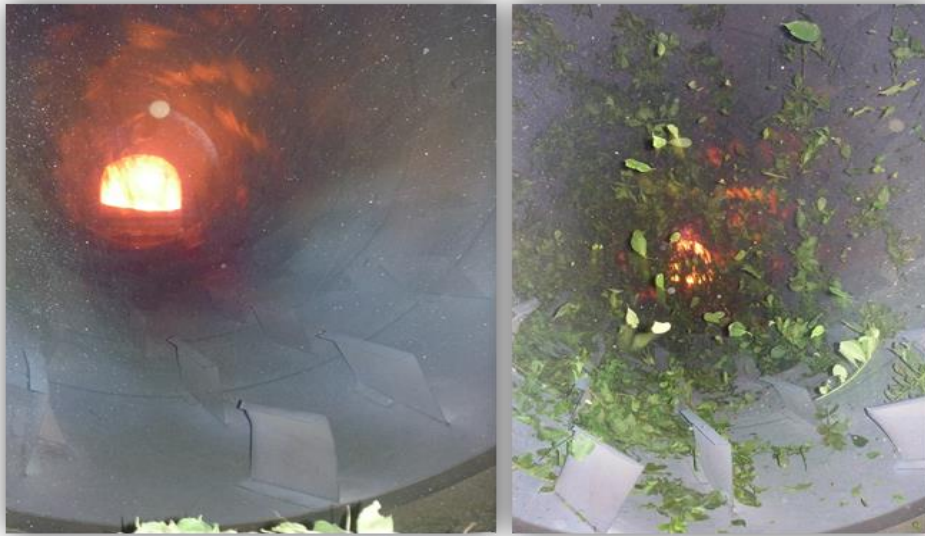


Figura II-3. Esquemas del interior de un tubo zapecador de Yerba Mate.

Según Schmalko (2005), resulta de gran importancia que las hojas verdes de yerba reciban un zapecado adecuado, es decir, que las hojas no estén quemadas (excesivo tratamiento) ni tengan una excesiva humedad (mayores al 50%, bh) que produciría inconvenientes en la etapa de secado (en la industria se denomina a ésta “yerba cruda” y es consecuencia de un tratamiento térmico defectuoso). A pesar de la importancia del zapecado, el control de la temperatura o de la alimentación del zapecador se sigue realizando con operarios de mucha experiencia y de forma empírica.

Desde el año 2012, se avanzó en la automatización de los sistemas de combustión y el control del zapecado con la implementación de termocuplas, sensores de humos y humedad en

chimeneas y boquillas de quemadores de chip, mejorando notablemente la calidad de la yerba mate a la salida del zapecador (Holowaty, 2017).

II.2.3 Pre-secado:

Es una etapa intermedia entre el zapecado y el secado que puede estar o no presente, dependiendo del tipo de secadero. Existen distintos sistemas de pre-secado. El objetivo de esta etapa es estabilizar, uniformar y acondicionar la materia prima en el caso de que el zapecado no haya sido lo suficientemente adecuado. A su vez permite realizar la etapa previa del zapecado a menor temperatura, disminuyendo los riesgos de quemado de hoja. Este proceso puede ser realizado con un sistema similar al paso anterior, con un tambor de metal, cuyas medidas más comunes oscilan entre 2-2,5 m de diámetro y 6-7 m de longitud. Este sistema cuenta con un hogar donde se realiza el fuego mediante el uso de leña o chip, montado por lo general en forma paralela al zapecador, y trabajando con una temperatura inferior al ingreso del tambor que varía entre 100-250°C.

II.2.4 Secado:

Luego del zapecado (o pre-secado si corresponde), el material se dirige a la siguiente etapa, que es el secado propiamente dicho. En este proceso es donde se encuentran las mayores diferencias en cuanto a los sistemas que se utilizan, la forma de operarlos y los tiempos de tratamiento. Sin embargo Núñez y Känzig (1995), determinaron que el contenido de humedad del producto a la salida es bastante uniforme, encontrándose valores entre el 2-4% (bh).

Känzig (1996), propuso como criterio de clasificación el “tiempo de duración del secado”, según el cual existen tres tipos de secaderos:

<i>Tiempo de secado</i>	<i>Duración de secado</i>	<i>Tecnología</i>
<i>Secado Largo</i>	6-12 h	Barbacuá
<i>Secado Medio</i>	3-6 h	A cintas
<i>Secado Corto o Rápido</i>	15 min-1h	Rotativos

Esta diversidad es producto de las constantes modificaciones realizadas con el fin de acelerar el proceso, manteniendo la homogeneidad y calidad del producto.

Los secaderos de mayor difusión en la región yerbatera son los que funcionan a cintas (secado medio), registrándose en 127 establecimientos. Le siguen en orden de importancia los secaderos tipo barbacuá-catre (51 establecimientos), y por último, los rotativos con 34 establecimientos (INYM, 2017).

II.2.4.a Secadero tipo Barbacuá-Catre

Este tipo de secadero, está construido con paredes de mampostería. Pueden ser cuadrados o circulares. Las medidas son variables, pero de manera general promedian los 13 m de lado y 3 m de altura en el catre cuadrado, y 10 m de diámetro por 3 m de altura en el circular. El techo puede ser de chapa metálica o de cartón (CRYM, 1971).

En el interior, los pisos son de cemento. Por lo general cuenta con dos o más boquillas estratégicamente ubicadas para permitir una distribución homogénea del calor proveniente de la hornalla, alcanzando entre 80-110°C (Känzig, 1996). A unos 2 m del nivel del piso se encuentra el “catre” propiamente dicho, que consiste en una parrilla horizontal plana construida con “listones” o “ripas” de madera o bien una malla metálica. Todo esto a su vez se encuentra montado sobre una estructura de madera más gruesa (Känzig, 1996).

Este sistema de secado funciona de forma discontinua o por lotes y tiene capacidad para secar entre 15-20 tn hoja verde/lote.

La yerba proveniente del zapecado o del pre-secado, ingresa al secadero mediante una cinta transportadora, mientras un operario o una maquina distribuye las hojas sobre el catre formando un lecho homogéneo de espesor variable entre 1-2 m. La yerba permanece entre 6-18 h, mientras es removida tantas veces como el maestro secador o “uru” lo considere necesario, de esta forma se llega al final de esta etapa con una humedad de 4-5% (Figura II-4).

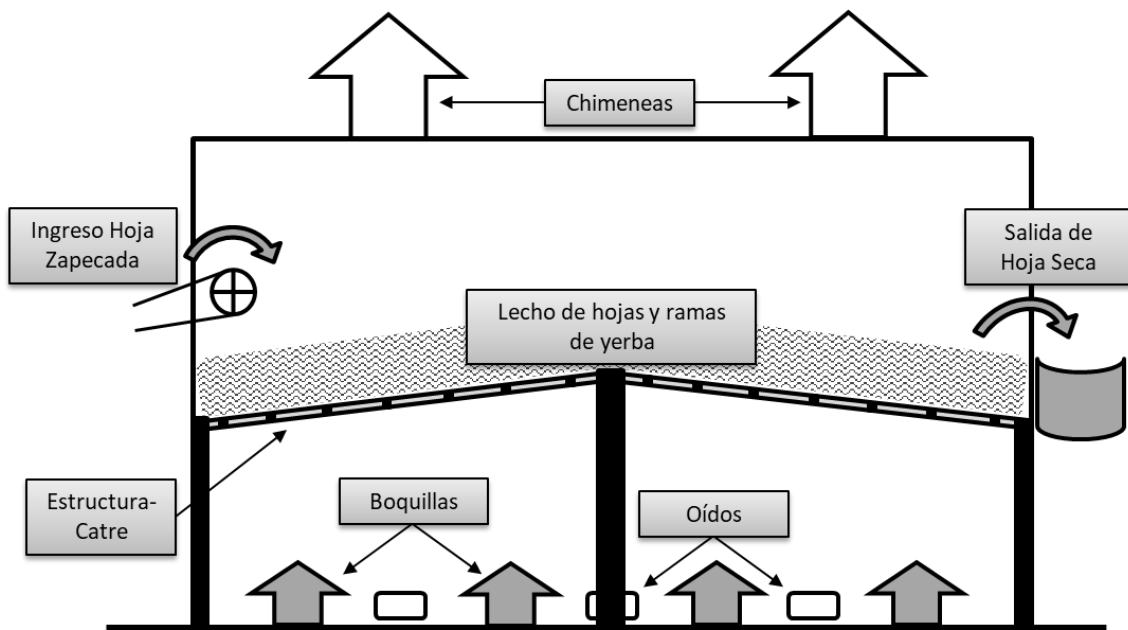


Figura II-4. Esquema de un secadero de Yerba Mate tipo Barbacué-Catre.

Con el objetivo de mejorar las condiciones de trabajo de los operarios durante la etapa de secanza, pero manteniendo las características del producto final, algunos secaderos optaron por utilizar un sistemas de cintas de malla metálica superpuestas o en tándem, similares a la de los secaderos de cintas que se describen en la sección II.2.4.b. La diferencia entre estos radica en que el secadero tipo barbacué sigue trabajando de forma discontinua. Es decir, se cargan las cintas con la yerba zapecada y luego se la deja secar la yerba durante el tiempo necesario y una vez seca, se descargan las cintas para realizar el canchado de la misma.

II.2.4.b Secaderos a Cintas:

Este tipo de secaderos es el de mayor difusión en toda la zona yerbatera, y a diferencia de los anteriores, este trabaja en régimen continuo con mayor capacidad de procesamiento por unidad de tiempo.

Los secaderos a cintas son construcciones de mampostería de aproximadamente 7-10 m de altura (dependiendo del número de cintas) por 4 m de ancho y 25-30 m de longitud. Están cubiertos por techos de chapa metálica, en donde a lo largo del techo se encuentran distribuidas chimeneas que ayudan con la circulación del calor en el interior del secadero y

a la eliminación de los gases. El tiro puede ser natural o inducido, utilizándose en este caso, ventiladores ubicados a la salida, y el tiempo de residencia varía de 3-6 h (Schmalko, 2005).

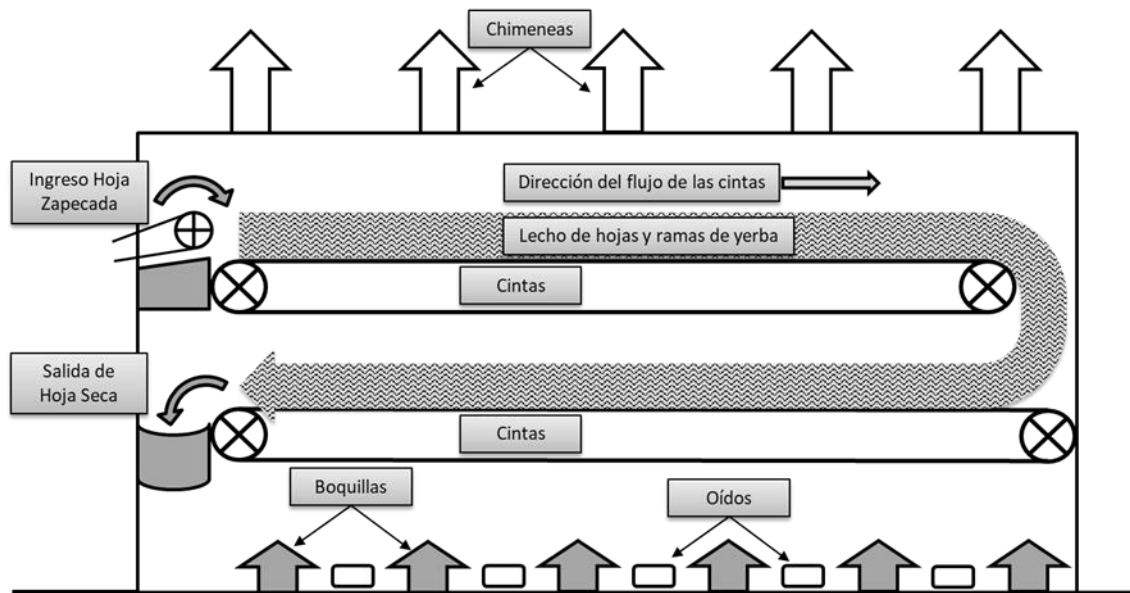


Figura II-5. Esquema de un secadero de Yerba Mate de dos cintas superpuestas.

La mayoría de los secaderos están equipados con dos y en algunos casos con tres cintas transportadoras. Estas son mallas metálicas que se extienden a lo largo y ancho del interior del secadero y sobre las que se deposita mecánicamente las ramas de yerba mate formando un lecho entre 0,80-1 m de espesor. Las hojas ingresan al secadero con una humedad de 25-30% cuando provienen del zapecado y con 18-25% cuando proviene de zapecado y pre-secado.

El material que ingresa a la cinta superior se seca con gases provenientes de la cinta inferior, con temperaturas de entre 70-100°C. En el extremo final de la primera cinta, las ramas se vuelcan sobre la cinta inferior por acción de rodillos dentados que modifican la disposición de las ramas, de tal manera que el lecho fijo de yerba mate invierta su posición. De esta manera las ramas dispuestas en las zonas superiores del lecho en la primera cinta (sometidas a menor temperatura) se mueven hacia las zonas de mayor temperatura en la segunda cinta. En la parte inferior del secadero la temperatura oscila entre 110-130°C, dependiendo de la capacidad de procesamiento de cada secadero (en general un establecimiento procesa de 3-5 tn hoja verde/h). Las humedades finales del producto en la descarga del secadero son menores

al 3% en la mayoría de los casos. Esto asegura la estabilidad del producto en las etapas posteriores de estacionamiento y envasado (Figura II-5).

II.2.4.c Secadero Rotativo

Este tipo de secadero se compone por un tambor rotatorio metálico similar al utilizado en el zapecado, en cuyo interior se encuentra un cilindro cribado de menor diámetro. Las medidas del tambor exterior son de 3,50 m de diámetro por 9 m de longitud, mientras que el tubo cribado interno tiene 2,50 m de diámetro y 9 m de longitud.

El tambor está unido a un hogar construido en mampostería en donde se produce el calor (cercano a los 120°C), para el secado mediante la combustión de chip, leña, etc.

El material proveniente del zapecado y/o pre-secado, ingresa al cilindro cribado y a medida que va avanzando, las hojas más finas van pasando por las cribas y quedan en el cilindro externo, mientras que el palo queda dentro del cilindro cribado (Figura II-6).



Figura II-6. Detalle del cilindro cribado.

Luego de 3 minutos las hojas llegan al otro extremo y son llevadas a la canchadora. En cambio los palos, tardan en llegar al extremo de salida unos 10 minutos y se dirigen a un tambor rotatorio de menor dimensión que se utiliza para secar los palos. Allí el palo termina su proceso de secado y se dirige a la canchadora, que mezcla la hoja y el palo, pasando luego por un sistema de zarandas de enfriamiento. Los establecimientos con este sistema de secado, procesan entre 5-6 tn hoja verde/h (Figura II-7).

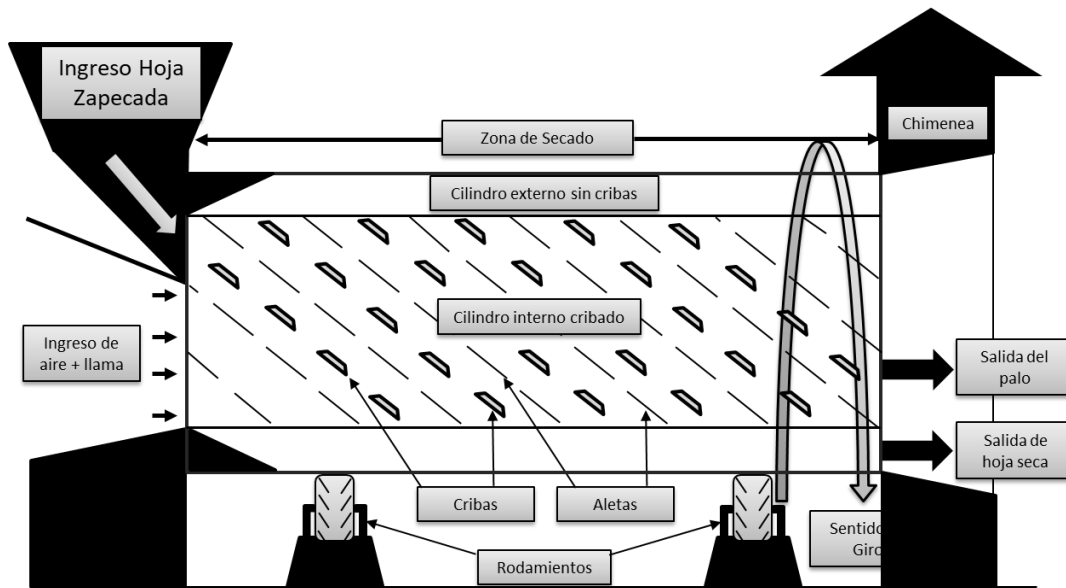


Figura II-7. Esquema de un secadero de Yerba Mate tipo Rotativo.

II.2.5 Canchado:

El canchado es una etapa de acondicionamiento de la yerba seca, que se realiza con dos fines específicos que son, en primer lugar disminuir el volumen del material seco para mejorar su envasado y movilidad y, en segundo lugar, aumentar la superficie en contacto con la atmósfera. Este último posibilita que se lleven a cabo numerosas reacciones químicas durante el estacionamiento, ya sea natural o acelerado, y que le confieren todas sus características organolépticas propias (sabor, color y aroma) (Frankel, 1983; Känzig, 1996).

Esta molienda gruesa se lleva a cabo mediante un sistema de molino de martillos locos, que son movilizadas por un motor de alta potencia (Figura II-8). Una criba permite el paso del material molido (Känzig, 1996), que se eleva a través de una noria hacia un sistema de zarandas, que separan el palo de la hoja y de esta manera se reduce el contenido de palo en la yerba mate canchada (1-10 % del material de entrada).



Figura II-8. Detalle vista superior del molino de martillos locos de la canchadora.

La yerba canchada es fraccionada en bolsas de arpillera o de polietileno de entre 40-50 kg dependiendo del secadero (Figura II-9). Cada bolsa debe estar identificada con una etiqueta, conteniendo los datos del producto elaborado. Es importante que dichas bolsas se mantengan en adecuadas condiciones de higiene, para no contaminar el producto terminado.



Figura II-9. Yerba mate canchada en bolsas de polietileno.

II.2.6 Estacionamiento:

Una vez embolsada, la yerba se lleva a los depósitos o noques, donde se realiza el estacionamiento.

Existen tres tipos de estacionamiento: natural, acelerado y mixto.

- **Estacionamiento Natural:** El objetivo del estacionamiento es permitir que se desarrollen una serie de procesos de transformación, mediante los cuales la yerba adquiere las características de sabor y color requeridas por los consumidores. Los depósitos o noques son galpones con techos de chapa metálica y paredes de mampostería o chapa. Las bolsas con yerba canchada son estibadas sobre tarimas, permitiendo separar el material del suelo y alejadas de las paredes para evitar que tomen contacto con la humedad. La yerba mate canchada es almacenada en estos depósitos por un tiempo aproximado de 6-24 meses y durante este tiempo, el único control de las condiciones ambientales que se realiza, consiste en abrir los portones de forma esporádica para lograr una aireación (generalmente en los días cálidos, secos y soleados), ya que el resto del tiempo las puertas y ventanas se mantienen cerradas para evitar el ingreso de plagas y polvo durante varios meses (Schmalko, 2005).
- **Estacionamiento Acelerado:** la yerba canchada es almacenada por un período de 30-60 días, En estas cámaras se controla la temperatura (50-60°C) y la humedad relativa (hasta el 60%). Las cámaras están provistas de un sistema de circulación de aire para que el oxígeno, el vapor de agua y el calor lleguen al material, por lo que las bolsas deben ser estibadas para permitir que esto se realice adecuadamente. La circulación del aire se realiza en forma forzada con ventiladores. En algunos establecimientos se añaden, en algunas ocasiones, otros compuestos (ej. anhídrido carbónico, etileno, etc.). La yerba estibada en estos depósitos adquiere las características de sabor y color similares al estacionamiento natural en un menor tiempo (Holowaty, 2017).
- **Estacionamiento Mixto:** en este tipo de estacionamiento, se controla la temperatura del depósito que varía entre 40-45°C. También se controla la temperatura de rocío del aire para evitar la formación de goteras en los depósitos. El tiempo de estacionamiento es menor al del estacionamiento natural, llevándose a cabo entre 6-

8 meses. El grado de estacionamiento del producto es controlado mediante análisis sensorial con catadores expertos quienes deciden cuando el producto está en condiciones de ser consumido (Holowaty, 2017).

II.2.7 Molienda y Envasado:

Como se mencionó anteriormente, la yerba puede ser sometida a diferentes tipos de secado y de estacionamiento, por lo que la materia prima a moler (yerba canchada) será heterogénea en cuanto contenidos de humedad, granulometría y tonalidad. Esta variabilidad es aprovechada para obtener la mezcla adecuada, de acuerdo al gusto del consumidor (Schmalko, 2005).

De acuerdo a Kotik (1994), se denomina molienda a una serie de operaciones que comprende la clasificación, trituración y mezclado mediante las cuales los establecimientos adecuan el gusto de la yerba mate a los consumidores de diferentes regiones del país o países importadores.

El sistema de “molienda integral” es utilizado en los establecimientos pequeños, debido a su bajo costo de inversión. En la misma, los dos componentes (hoja y palo) son triturados en forma conjunta, teniendo el molino una criba inferior con perforaciones del tamaño requerido por el industrial, por lo que no se realizan operaciones previas de separación y clasificación de hojas y palos (Kotik, 1994).

En secaderos de mayor escala esta etapa es más compleja, ya que se efectúan operaciones de limpieza, separación de hojas y palos, molienda, separación por tamaño, mezcla de las diferentes porciones y envasado (Schmalko, 2005).

La limpieza se realiza, en una primera etapa, en una zaranda cilíndrica rotatoria con chapas perforadas para eliminar elementos extraños como por ejemplo papeles, hilos, insectos, alambres y palos de yerba mate de tamaño grande. Luego se eliminan los metales con electroimanes (Schmalko, 2005).

La separación de hojas y palos se realiza con zarandas rotatorias cilíndricas. Cada una de las fracciones (hojas y palos) es molida en forma separada en molinos de martillos y con diferentes tamices de salida (Schmalko, 2005).

Las diferentes fracciones de hojas y palos son almacenadas en diferentes silos. Estos son generalmente cilíndricos con cuerpo inferior cónico y con un dosificador de descarga en la parte inferior. El producto final se obtiene en un mezclador utilizando diferentes fracciones de polvo, hojas pequeñas, hojas de mayor tamaño y palitos (Schmalko, 2005).

El fraccionamiento y empaquetado se realizan en máquinas volumétricas que presan el producto dentro de paquetes. Estas máquinas también controlan el peso del material. También existen máquinas que envasan el material sin presar. Sobre el producto envasado se realizan, en los establecimientos, los controles requeridos por el Código Alimentario Argentino (Kotik, 1994).

Los paquetes de yerba mate (generalmente de ½ y 1 kg) son envasados en cajas, paquetes de polietileno o fardos con diferentes unidades para ser enviadas a los centros de comercialización (De Bernardi y Prat Kricun, 2001).

II.3 Influencia del Procesamiento

II.3.1 Aspectos Microbiológicos

La yerba mate a lo largo de su proceso de producción y elaboración está expuesta a diversas fuentes de contaminación como ser suelo, aire, manipulación, etc. Al ser un producto alimenticio, debe cumplir con ciertas normas de calidad y mantener sus cualidades organolépticas y microbiológicas inalterables en el producto final (Cañete y col., 2017).

Para determinar la calidad microbiológica en los alimentos, por lo general, se establecen límites cuantitativos en parámetros microbianos de interés (Horianski y col., 2012). En el Código Alimentario Argentino, no se encuentra legislada de forma particular la calidad higiénica-sanitaria de la yerba mate, sino que se aplica la que es común para todos los alimentos (Duce y col. 2012). Es por esto, que en Argentina se desarrolló la norma IRAM 20517 (2007), la cual establece los métodos de evaluación y el perfil microbiológico para el control de calidad microbiológica de yerba mate elaborada y yerba mate canchada, pero no establece los límites máximos admitidos (Horianski y col., 2012).

El procesamiento de la yerba mate, incluye tratamientos térmicos que reducen la carga microbiana inicial, esto no implica que sean alimentos estériles, pero les permite mantener

una estabilidad microbiológica debido a la baja actividad de agua y solo cuando se humedecen puede comenzar su alteración.

En un trabajo llevado a cabo por Cañete y col. (2017), estudiaron la variación de la flora microbiana de la yerba mate durante sus etapas de elaboración. En el mismo se observó que los tratamientos térmicos, redujeron significativamente la flora microbiana inicial, tanto de bacterias como de hongos y levaduras.

Otro antecedente es el estudio realizado por Horianski y col. (2012) cuyo objetivo fue evaluar la calidad microbiológica de yerba mate canchada, y observar si el período de estacionamiento influye en la proliferación de microorganismos. Ellos encontraron mayor contaminación microbiológica en la yerba mate elaborada y la yerba mate compuesta, en relación a la yerba mate canchada, por lo que concluyeron que durante el estacionamiento o el adicionado de hierbas sápido-aromáticas aumentan la carga microbiana.

II.3.2 Propiedades Fisicoquímicas

II.3.2.a Color

El color es la parte de la energía radiante que el ser humano percibe mediante la estimulación de la retina del ojo a longitudes de onda entre 380 y 780 nm. Dependiendo de los pigmentos que contenga el objeto, se definirá el color que se perciba.

En los vegetales, los pigmentos se clasifican por su estructura química como: clorofilas, carotenoides, flavonoides y betalaínas. Estos pigmentos naturales, pueden descomponerse en presencia de luz, oxígeno, metales y altas temperaturas, también así por la variación del pH del medio (acidez o alcalinidad) dando lugar a otros colores (Badui Dergal, S. 2012; Kays, 1999).

De los pigmentos presentes en los vegetales, la clorofila es el más abundante y es responsable del color verde de las plantas, además es el principal agente capaz de absorber la energía lumínica y transformarla en energía química para la síntesis de los compuestos orgánicos (fotosíntesis).

Los espectros de absorción de la clorofila y sus derivados son específicos de cada compuesto, con dos picos de absorción máxima, uno en la región del rojo (640-660 nm) que da el color

verde de los derivados de la clorofila, y otro en la región rojo cercana a 440 nm, la cual identifica la presencia de clorofila en extractos vegetales (Badui Dergal, S. 2012).

La clorofila tiene una estructura química formada a partir de un ciclo porfirínico (cuatro unidades de pirrol) que se coordinan con un átomo de magnesio (zona hidrofílica) y una cadena hidrocarbonada de fitol (cadena hidrofóbica) con la que puede establecer relaciones con moléculas como carotenoides y lípidos de membrana. Los dobles enlaces conjugados le permiten absorber la luz (Figura II-10).

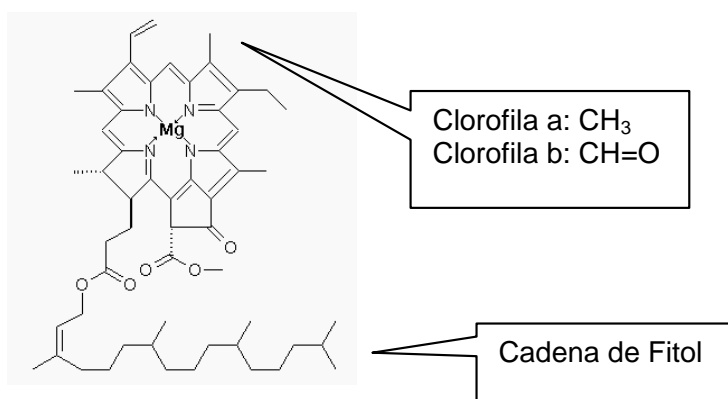


Figura II-10. Estructura de la clorofila.

En las plantas existen la clorofila a y la b. La última difiere de la primera en que posee un grupo formilo (grupo funcional de aldehídos) en lugar del metilo en el carbono 3.

El procesamiento de la yerba mate implica que la hoja verde sea sometida a tratamientos térmicos. Según estudios realizados por Schmalko (2005), la temperatura y la actividad del agua influyen significativamente sobre la degradación de las clorofilas a y b. Producto de esa degradación, se generan cambios en la coloración que se pueden medir utilizando las escalas CIELab y/o HunterLab, a través de colorímetros que emulan la respuesta del ojo humano al color y la luz. Estos equipos trabajan con un sistema de coordenadas L, a y b. La coordenada “L” o luminosidad representa la escala de grises y tiene el valor 0 para el negro y 100 para el blanco. La coordenada “a” tiene valores negativos para el verde y positivos para el rojo; mientras que la coordenada “b” tiene valores negativos para el azul y positivo para el amarillo.

De esta forma, Schmalko (2005) al estudiar la variación del color mediante las coordenadas L, a, b, encontró que las mayores variaciones se registraban en el valor de a.

II.3.2.b Cafeína

Las metilxantinas están representadas por la cafeína, teobromina, teofilina, que se encuentran muy distribuidas en el reino vegetal (Figura II-11). Es común encontrarlas en plantas de té, yerba mate, cacao, café, entre otras. Se caracterizan por tener un sabor amargo, lo que le permite actuar como un sistema de defensa de la planta. También son conocidas por su acción estimulante del sistema nervioso central. La cafeína, teobromina, teofilina y xantina son purinas (Gros y col., 1985), que se incluyen dentro del grupo de los alcaloides heterocíclicos (Hess, 1980) por sus propiedades farmacológicas.

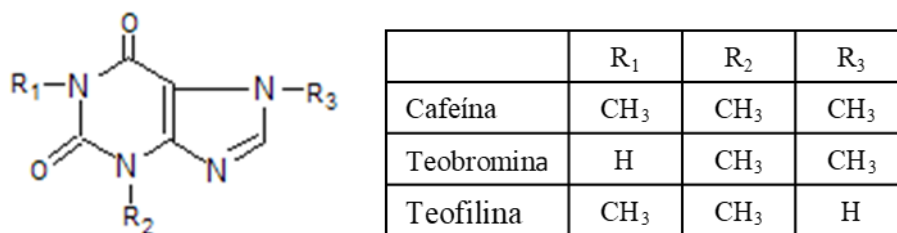


Figura II-11. Estructura de las metilxantinas.

De acuerdo a una serie de investigaciones realizadas por Bertoni y col. (1991, 1992a y 1992b), en donde estudiaron la composición química general de diferentes clones de yerba mate (*Ilex paraguariensis*), encontraron que el contenido de cafeína variaba según el material genético, el estado de madurez de la planta y la fecha de cosecha. Mientras que Schubert y col. en 2006, determinaron que el contenido de metilxantinas en las plantas de yerba mate, se ve influenciado por el tipo suelo, clima, época del año, luminosidad, edad y genética de la planta.

El procesamiento primario de la yerba mate, permite que se lleven adelante mecanismos, que facilitan la pérdida de cafeína a través de la difusión y sublimación. Es así que, Bertoni y col. (1993) y Schmalko (2005) encontraron pérdidas promedio de cafeína en las hojas del 30%. Mientras que en otros trabajos registraron pérdidas de hasta un 20% de cafeína (Schmalko y Alzamora, 2001; Esmelindro y col., 2002).

II.3.2.c Polifenoles

Son un grupo de sustancias químicas, presente en los vegetales, que provienen del metabolismo de los hidratos de carbono. Resultan importantes para la fisiología de las plantas, pues contribuyen a tolerar situaciones de estrés biótico y abiótico. En el ser humano, parte de la actividad biológica de los polifenoles se debe a su capacidad de formar parte del sistema antioxidante celular. Estos compuestos presentan efectos vasodilatadores, son capaces además de mejorar el perfil lipídico y atenúan la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad y presentan claros efectos antiinflamatorios (Quiñones y col., 2012).

Estructuralmente están formados por un anillo aromático (benceno) al que se une un grupo hidroxilo (fenol) o más grupos (polifenoles), los cuales pueden estar metilados o glicosilados formando un éter o un glicósido, respectivamente (Figura II-12) (Argüello y Scipioni, 2015).

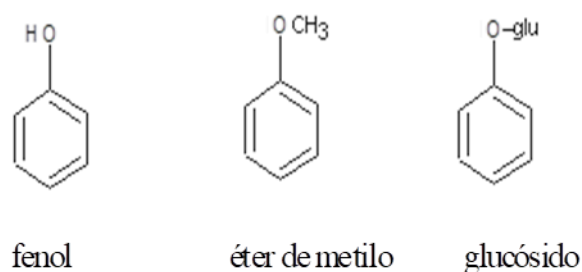


Figura II-12. Estructura de polifenoles presentes en yerba mate.

En yerba mate, la mayor parte de los compuestos fenólicos presentes son ésteres de los ácidos cinámicos (cafeico y ferúlico) y ácido quínico (Figura II-13) (Hess, D., 1980; Gros y col., 1985). Chaves y col. (2002), concluyen que los ácidos clorogénicos presentes en las infusiones de yerba mate representan el 78% de la fracción fenólica total.

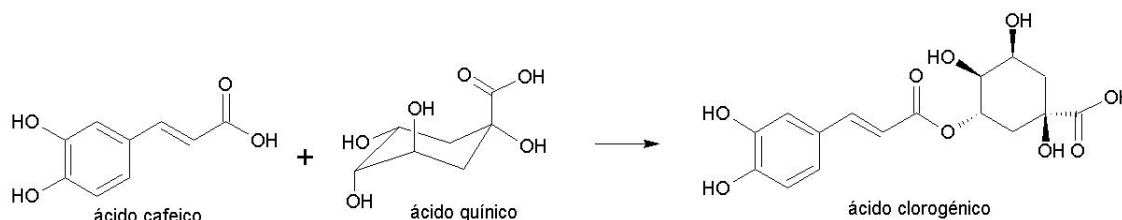


Figura II-13. Formación del ácido clorogénico.

Se realizaron varios estudios para analizar si los compuestos fenólicos se ven afectados por los tratamientos térmicos que implican el procesamiento de la yerba mate. De acuerdo a un estudio realizado por Gómez Vara y col. (1979), sobre los ácidos clorogénicos, encontraron que la concentración se reducía en un 35% en el procesamiento primario y permanecía constante durante el estacionamiento. Otros trabajos realizados sobre la variación de estos compuestos durante el procesamiento de la yerba mate, revelan que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la hoja verde, la procesada y la estacionada (Holowaty y col., 2006) e incluso, que el responsable de la mayor variación en el contenido de polifenoles, es la época de cosecha de la hoja verde (Escalada y col., 2011).

II.3.2.d Otras variables:

Existen una serie de variables, de las cuales no se tienen muchos antecedentes sobre su comportamiento durante el procesamiento primario de la yerba mate. Una de ellas es el extracto acuoso. Maiocchi (2017), lo define como todas las sustancias que pueden ser extraídas de la yerba mate, utilizando el agua como solvente. Gómez Vara y col. (1979) estudiaron las modificaciones de algunos compuestos en el procesamiento de la yerba mate, y encontraron que el extracto acuoso y cetónico, en cuatro marcas comerciales no se modificaban durante el estacionamiento. Resultados similares fueron encontrados por Escalada y col. (1998), quienes realizaron determinaciones de extracto acuoso en hojas y palos de yerba mate, con el objetivo de determinar el contenido de palos de una muestra. Ellos registraron diferencias estadísticas significativas entre palos y hojas, pero cuando realizaron ambas determinaciones en yerbas estacionadas y sin estacionar, no encontraron diferencias.

Con respecto al pH, se puede hacer referencia al trabajo realizado por Holowaty (2017a), quien midió la variación del pH en distintos sistemas de estacionamiento de la yerba mate. Este parámetro se incrementó levemente al principio del estacionamiento y decreció hacia el final del mismo.

En cuanto a las cenizas totales, se consideran óxidos metálicos que quedan como residuo sólido después de un tratamiento de las muestras a altas temperaturas (650°C) por tres horas (Maiocchi, 2017). Holowaty y col. (2016), realizaron un estudio comparativo en secado de yerba mate con leña de bosque implantado vs. chip de madera. Encontraron que el contenido

de cenizas totales en el procesamiento con leña fue un 10% superior respecto a las muestras obtenidas del procesamiento con chips.

II.3.3 Aspectos Energéticos

Durante el procesamiento de la yerba mate, se requieren grandes cantidades de energía calorífica obtenida a partir de combustibles celulósicos (leña o chip). Los requerimientos energéticos más importantes en el procesamiento se presentan en las etapas de zapeado y secado (Arndt y col., 2017; Holowaty, 2017b).

Las normativas vigentes limitan el uso de este tipo de combustible cuando se trata maderas de montes nativos, obligando a la utilización de maderas de bosques implantados y/u otros combustibles. Este reemplazo de factor es debido a la escasez de los primeros e implica costos mayores para la industria, de manera que se racionaliza el mismo mejorando la eficiencia del proceso productivo.

Holowaty y col. (2016), en un estudio comparativo de combustibles para el secado de yerba mate, establecieron el requerimiento de leña y de chip para un secadero tipo de yerba mate. En donde describen que un secadero utiliza entre 1,4-1,5 tn de leña para obtener 1 tn de yerba canchada. Mientras que el requerimiento de chip para el mismo proceso fue de aproximadamente 1,25 tn, por lo que el secado con chip es más eficiente que con leña.

Capítulo III. Desarrollo

III.1 Materiales y Métodos

III.1.1 Selección de los secaderos

Para la elaboración de este trabajo, se seleccionaron 6 secaderos de yerba mate situados en la zona Centro-Sur de la Provincia de Misiones, difiriendo entre sí por el sistema de secado: 2 del tipo barbacuá (SB), 2 a cintas (SC) y 2 rotativos (SR). En la selección, se priorizó la homogeneidad dentro de cada tipo, considerando sus características estructurales, capacidad de secado, tipo de combustible que utilizan, etc.

Los secaderos barbacuá que se seleccionaron, contaban con 2 cintas de malla metálica superpuestas, sobre las cuales las ramas formaban un lecho de 0,80-1 m de altura. La temperatura en la cinta superior llegaba a los 50-55°C y a los 90-100°C en la inferior. El calor necesario para el secado se generaba a través de la combustión de chip de madera, pudiendo secar de forma discontinua entre 18-25 tn hoja verde, en turnos de 12-18 h.

Los secaderos a cintas, contaban con las mismas estructuras descriptas para el barbacuá. Es decir 2 cintas superpuestas, sobre las cuales las ramas formaban un lecho de 1 m de altura aproximadamente, pero con procesamiento continuo, con un flujo másico de 3,5-4 tn hoja verde/h. Las temperaturas de secado alcanzaban los 75-80°C en la cinta superior y 100-110°C en la cinta inferior, que se lograban a partir de la combustión de chip de madera.

Los secaderos de tambor rotatorio, procesaban en un sistema continuo, donde el flujo de gases circulaba en paralelo al flujo de ramas y eran extraídos por una chimenea ubicada al final del tambor. El combustible utilizado fue leña de monte implantado, en uno, y aserrín de madera, en el otro. El flujo másico para este tipo de secadero era de 3-3,5 tn hoja verde/h y las temperaturas de entrada era en promedio de 300°C mientras que las de salida eran de 80°C.

III.1.2 Muestreo

En cada uno de los secaderos, se tomaron muestras de hojas y ramas verdes de yerba en la planchada, y de yerba mate canchada sin estacionar.

Para los análisis microbiológicos, las muestras de hojas y ramas verdes fueron almacenadas en un envase estéril descartable de 500 ml, mientras que para la yerba mate canchada, se utilizaron dos envases estériles descartables de 125 ml. Luego las muestras fueron transportadas al laboratorio para su procesamiento inmediato y posterior análisis.

Para los análisis fisicoquímicos, se definió una muestra control de referencias “hoja verde” (HV). Para la obtención de la misma se realizaron una serie de pruebas preliminares, con el objetivo de encontrar un método de procesamiento adecuado, que permita reducir la actividad enzimática y conservar la mayor cantidad de características fisicoquímicas de la hoja verde. Los métodos usados fueron: microondas vs. secado en estufa de vacío. En ambos casos, se cosecharon hojas verdes de plantas de yerba mate por duplicado en bolsas de polietileno de 2 kg aproximadamente. Las muestras fueron transportadas al laboratorio para su procesamiento inmediato.

Para el método de microondas, se pesaron de 80-100 g de hoja verde y se sometieron a una inactivación enzimática durante 5 minutos en un microondas marca ATMA, modelo MC930XE de 900 watts de potencia. Mientras que para el método de estufa de vacío, se seleccionaron y pesaron 20 g de hojas verdes y se colocaron dentro de una bandeja, la cual se introdujo a una estufa de vacío marca BLUE M, modelo SV-57 A, en condiciones estables de 55°C +/- 5°C y 680 mm Hg durante 5 horas.

Las muestras de yerba mate canchada fueron tomadas a la salida de la canchadora, en bolsas de polietileno por duplicado, con un tamaño de 2 kg aproximadamente.

A partir de las muestras secas (control HV y yerba mate canchada), se procedió a la separación de los componentes, hojas y palos, y molienda fina, utilizando un molino del tipo martillo con malla N° 40 (cuarenta mallas por pulgada). Las muestras procesadas se almacenaron en bolsas de polietileno, en un freezer a -20°C a fin de evitar modificaciones hasta el momento del análisis.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de yerba mate y el laboratorio central de la Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones, en el laboratorio de la Fundación Dincyt y en la E.E.A. INTA Cerro Azul.

III.1.3 Análisis fisicoquímicos

III.1.3.a Humedad

El contenido de humedad se determinó por calentamiento, colocando las muestras en estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, hasta pesada constante, según lo establecido en la norma IRAM 20503 (1995).

III.1.3.b Color

Este parámetro se midió utilizando un medidor Modelo MSEZ-4500L, MiniScan® EZ HunterLab (Hunter Associates Laboratory, Inc.). El parámetro “L” determinó el grado de blancura, el parámetro “a” el grado de verde (-)-rojo (+), y el parámetro “b” el grado de azul (-)-amarillo (+). Luego se calcularon otros parámetros como el ángulo Hue que describe el color como lo percibe una persona, el Chroma que mide la intensidad del color y finalmente, el Índice de Pardeamiento (IP) que determina la pureza del color obtenido (Woniaczuk y Schmalko, 2005).

III.1.3.c Contenido de cafeína

La extracción y determinación se realizó de acuerdo a la norma IRAM 20512 (2000). La extracción se realizó en medio acuoso, por tratamiento con MgO. Del extracto obtenido se tomó una alícuota filtrada, se diluyó la muestra (1:5), se determinó por HPLC con columna C18 y fase móvil Acetonitrilo-Agua, en proporción 30:70. Para la calibración del equipo se utilizaron patrones de referencia de cafeína de 0,02; 0,01 y 0,005 g/L. Los resultados se expresaron en g de cafeína por 100 g de sólidos secos.

III.1.3.d Extracto acuoso (EA)

La determinación se realizó de acuerdo al protocolo establecido en la norma IRAM 20510 (2005). Se trasvasaron 2 g de yerba mate con 200 ml de agua destilada a un balón de vidrio, el cual se calentó a una temperatura de 100°C durante 1 h a reflujo. El extracto obtenido se filtró, y transfirió a un recipiente previamente tarado. A continuación se colocó en estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, hasta peso constante.

III.1.3.e Contenido de Polifenoles Totales (CPT).

Esta determinación se realizó en el laboratorio de la Fundación Dincyt, por espectrofotometría, utilizando el método descrito en la norma internacional ISO 14502-1 (E) (2004), adaptada para la determinación en yerba mate.

Los reactivos que se utilizaron fueron: reactivo de Folin-Ciocalteu (Fluka), ácido gálico (MP Biomedicals; CAS: 5995-86-8), radical DPPH (radical libre 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil, Sigma; CAS: 1898-66-4), metanol (Merck, grado HPLC), carbonato de calcio (Anedra).

Para la extracción se pesaron 0,2 g +/- 0,001 g de la muestra de yerba mate molida tamizada (500 µm). Esta muestra se colocó en un tubo de ensayo, al que se le agregaron 5 ml mezcla metanol/agua (70/30 v/v) a 70°C. Se llevó a baño termostatzado con agitación, por 10 minutos, agitando en vortex cada 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente, y finalmente se centrifugó a 3500 rpm y se recogió el sobrenadante. La extracción se realizó dos veces. Los sobrenadantes se combinaron y fueron ajustados a un volumen fijo (10 ml) con solución de metanol al 70 %. Se diluyó un mililitro del extracto con agua hasta 100 ml.

Una vez obtenido el extracto, se prosiguió a realizar la reacción, mezclando 1 ml del extracto diluido con 5 ml del reactivo de Folin-Ciocalteu diluido (10 en 100), se agitó y luego de 3 a 8 minutos, se agregó 4 ml de solución de carbonato de sodio. Previa agitación, se dejó en reposo a temperatura ambiente. Luego de 60 minutos se determinó la absorbancia a 765 nm, en un espectrofotómetro marca Spectronic modelo Genesys, de origen estadounidense.

Las curvas de calibración se prepararon con ácido gálico (0, 10, 20, 30, 40 y 50 µg/ml). La ecuación del ajuste fue $y = 0,0112 * x - 0,0011$; siendo $x =$ concentración del patrón ácido gálico ($R^2 = 0,9996$).

Los resultados obtenidos se expresaron como equivalentes de ácido gálico en porcentaje de masa seca (g EAG % bs).

III.1.3.f Cenizas totales

La determinación se realizó de acuerdo a la norma IRAM 20505 (2011). Se pesaron 2 g de muestra de yerba y se llevaron a una mufla, a 550°C durante 5 h. Una vez frías las muestras se pesaron nuevamente y, por diferencia de masa, se determinaron las cenizas totales.

III.1.3.g Determinación de pH

Para la determinación del pH se pesaron 5 g de muestra de yerba en un recipiente, y se agregó 60 ml de agua en ebullición. Luego de 5 minutos de reposo, se filtró el extracto. Cuando alcanzó la temperatura ambiente, se determinó el pH utilizando un medidor digital marca OAKTON, con compensación automática de temperatura (ATC).

III.1.4 Análisis Microbiológicos

Las determinaciones de los parámetros microbiológicos fueron realizadas en el laboratorio de la Fundación Dincyt. Se realizó recuento de Bacterias Aeróbicas Mesófilas Totales (BAMT), Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF), Hongos y Levaduras (RHL) y la detección de *Escherichia coli*. Todas las técnicas analíticas se desarrollaron de acuerdo con lo establecido en la norma IRAM 20517 (2007).

Las muestras se tomaron como se describe la sección III.1.2 Muestreo.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron homogeneizadas manualmente, y luego se tomaron unidades analíticas de 25 g y se colocaron en un erlenmeyer que contenía 225 ml de agua peptonada al 0,1 % y se realizaron las siguientes diluciones seriadas, 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000, 1:100000.

Con las diluciones listas se procedió a realizar las siguientes determinaciones:

- **Bacterias Aeróbicas Mesófilas Totales:** se empleó el método de dilución en placas, en medio PCA (agar para recuento en placa), incubando a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 ± 3 h.
- **Coliformes Totales y Coliformes Fecales:** se realizó utilizando el método del número más probable (NMP), en caldo Mac Conkey incubados a $35 \pm 2^\circ\text{C}$, y en caldo verde brillante incubados a $44,5 \pm 1^\circ\text{C}$, respectivamente.
- ***Escherichia coli*:** se realizó a partir de los tubos positivos con verde brillante, sembrando para aislamiento en medio EMB (agar eosina, azul de metileno) e incubando entre 24-48 h a $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Para la identificación de *Escherichia coli*, se seleccionaron aquellas colonias que presentaban características representativas del microorganismo y se realizaron las pruebas bioquímicas mínimas, conocidas como IMVIC: detección de indol, rojo de metilo, Voges Proskauer y citrato.

- **Hongos y Levaduras:** se empleó el método de siembra en superficie, en medio AHL (agar hongos y levaduras con cloranfenicol), distribuyendo el inóculo sobre el medio, con una espátula de Driglasky, previamente flameada. Se dejó reposar las placas por 20 minutos sin invertirlas y finalmente se incubaron a 30°C durante 120 h (5 días).

III.1.5 Definición de eficiencia

En este trabajo de investigación, se usará la definición de eficiencia energética establecida por Kudra (2004), quien la define como la relación entre la energía utilizada para evaporar agua y la energía total generada.

Conociendo la cantidad de combustible utilizado y el calor de combustión del mismo, se puede calcular cual es la energía total generada. El combustible utilizado en los secaderos es la leña o sus derivados. El calor de combustión de este combustible varía en función del contenido de humedad.

Con los datos de calor latente de evaporación (tabla) y la cantidad de agua evaporada (balance de masa), se puede calcular cuánto de la energía total generada, se utiliza para evaporar el agua.

III.1.5.a Determinación de la eficiencia

En cada uno de los secaderos que ya fueron descritos en la sección **III.1.1 Selección de los secaderos**, se realizaron las mediciones en la línea de producción, funcionando a régimen constante. Se tomaron muestras antes de ingresar al secadero (planchada), a la salida del zapecado y en la salida del secadero (yerba mate canchada), para el posterior cálculo de humedad (Figuras III-1 y III-2). El flujo de ramas se consideró el promedio diario de procesamiento de hoja verde (Schmalko et al., 2003).

Para el caso de los secaderos a cinta y barbacoá, que contaban con las mismas características estructurales, se obtuvieron los datos del flujo de entrada de los gases de combustión midiendo la temperatura de bulbo húmedo, temperatura bulbo seco y velocidad de entrada de los gases en la boquilla y del aire que ingresaba por los oídos (Figura III-1). Se tomaron medidas del área y número de boquillas y oídos. Los datos de temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo también fueron tomados en la parte superior del secadero (sobre la cinta superior).

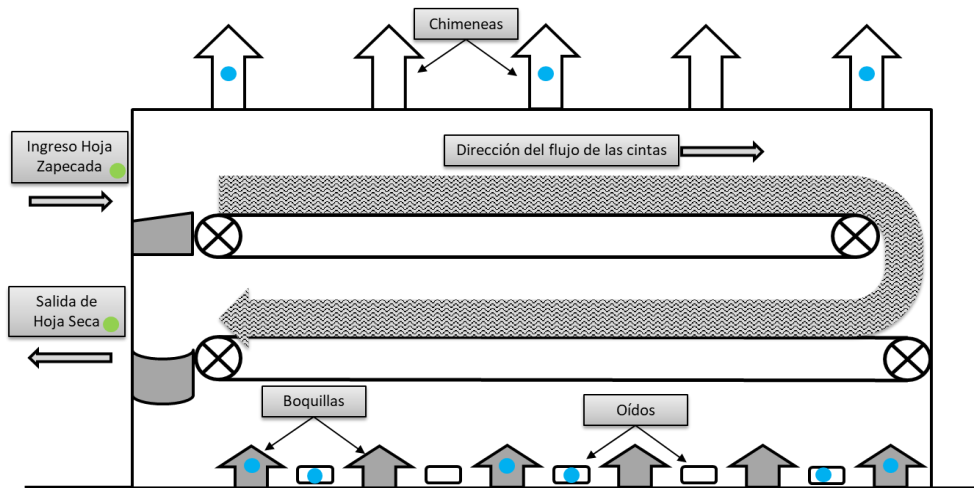


Figura III-1. Esquema de los puntos de medición en un secadero de cintas superpuestas (barbacuá o cinta).

En los secaderos rotativos (Figura III-2), se tomaron datos del flujo de salida de los gases de combustión a través de la chimenea. Se midió temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, velocidad de flujo y área de la chimenea.

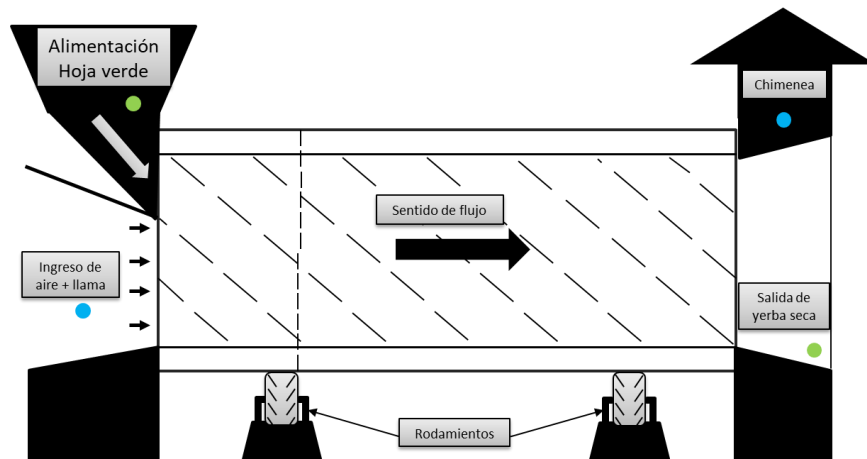


Figura III-2. Esquema de los puntos de medición en un secadero rotativo.

La temperatura del aire (bulbo seco) se midió utilizando termómetros de mercurio (con una precisión de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). Se generó el bulbo húmedo con algodón humedecido. En cambio, para la medición de temperatura de las ramas a la salida, se utilizó un termómetro infrarrojo con termocupla marca CEM modelo DT-8833. Para la determinación de velocidad de flujo, se

utilizó un medidor tipo ventilador con cuentavuelgas, marca Wilh Lambrecht KG, modelo 1400/351028, de origen alemán (con una precisión de ± 1 m/min).

III.1.5.b Ecuaciones de balances en el secadero.

Cálculo de flujos de sólidos

Entrada y salida de sólidos

Contenido de humedad x_1 (bh)

Contenido de humedad X_1 (bs)

Calor específico en el producto

$$C_{sh} = 0,428 + 0,564 * x \quad \text{Ec. III-1}$$

$$C_{ss} = C_{sh}/(1-x) \quad \text{Ec. III-2}$$

Entalpía del sólido

$$H_s' = C_{ss} * (T_s - T_o) \quad \text{Ec. III-3}$$

Cálculo de Flujos de Aire

Salida de gases de combustión (chimeneas)

Volumen húmedo de Anexo 2: Diagrama psicrométrico

$$v_{h2} = (0,00283 + 0,00456 * Y_2') * (T_{g2} + 273) \quad \text{Ec. III-4}$$

Flujo volumétrico V_2 medido en planta

Flujo másico de aire seco

$$G_s' = V_2 / v_{h2} \quad \text{Ec. III-5}$$

Capacidad calorífica del aire de Anexo 2: Diagrama psicrométrico

$$C_{as2} = 0,24 + 0,46 * Y_2' \quad \text{Ec. III-6}$$

Entalpía del aire

$$H_{G2}' = C_{as2} * (T_{g2} - T_o) + Y_2' * \lambda_o \quad \text{Ec. III-7}$$

Entrada de aire por oídos

Volumen húmedo del aire a temperatura ambiente (20°C)

$$v_{h1} = (0,00283 + 0,00456 * Y_{oidos}') * (T_{g1o} + 273) \quad \text{Ec. III-8}$$

Flujo másico de aire seco de oídos (G_s oídos)

$$G_s' \text{ oído Ext.} = V_{1EXT} / v_{hoidos}$$

$$G_s' \text{ oído int.} = V_{1INT} / v_{hoidos}$$

Capacidad calorífica del aire del Anexo 2: Diagrama psicrométrico

$$C_{as1oidos} = 0,24 + 0,46 * Y_{oidos}' \quad \text{Ec. III-9}$$

Entalpía del aire

$$H_{Goidos}' = C_{aoidos} * (T_{goidos} - T_o) + Y_{oidos}' * \lambda_o \quad \text{Ec. III-10}$$

Entrada de gases de combustión (ventilador –difusores)

Flujo volumétrico

Flujo másico

$$G_{s1}' = G_s' - G_{oidos}'$$

$$G_{s1}' * Y_1' + S_s' * X_1' + G'_{oidos} * Y_{oidos} = G_s' * Y_2' + S_s' * X_2' \quad \text{Ec. III-11}$$

$$Y_1' = (G_s' * Y_2' + S_s' * (X_2' - X_1') - G'_{oidos} * Y_{oidos}) / G_{s1}' \quad \text{Ec. III-12}$$

Calor específico del aire

$$C_{as1} = 0,24 + 0,46 * Y_1' \quad \text{Ec. III-12}$$

Entalpía de gases de combustión

$$H_{G1}' = C_{as1} * (T_{g1} - T_o) + Y_1' * \lambda_o \quad \text{Ec. III-14}$$

Cálculo de calores

Calor de pérdidas

$$Q_{p1} = S_s * (H_{S1}' - H_{S2}') + G_{s1}' * H_{G1}' + G_s'_{oidos} * H_{Goidos}' - G_s' * H_{G2}' \quad \text{Ec. III-15}$$

Cantidad de agua evaporada sin influencia significativa del calor de sorción

$$M_{agua} = S_s * (X_1' - X_{2B}') \quad \text{Ec. III-16}$$

Sacando los datos del Anexo 3: Calor de sorción en ramas a bajas humedades.

Cantidad de agua evaporada con influencia del calor adicional de sorción

Para distribución y eficiencia

Cantidad de agua evaporada

$$S_s * (X_1' - X_2') \quad \text{Ec. III-17}$$

Calor necesario para evaporación= Q_{evap} = Agua evaporada * Calor de evaporación

Calor de pérdidas= Q_{p1}

Calor perdido en la chimenea (consideramos al aire como un receptor de calor infinito. (no se calienta)

$$Q_{salida} = G_s * C_{asprom} * (T_{g2} - T_a) \quad \text{Ec. III-18}$$

Calor de calentamiento del sólido=

$$Q_{calent} = S_s * C_{ss(prom)} * (T_{s2} - T_{s1}) \quad \text{Ec. III-19}$$

Salida con el producto

$$Q_{prod} = S_s * C_{ss2} * (T_{s2} - T_o) \quad \text{Ec. III-20}$$

III.1.6 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ para comparar las propiedades de la yerba mate obtenida por los diferentes métodos de procesamiento. El paquete estadístico utilizado para el procesamiento de los datos fue el StatGraphics Centurion XV (2009).

III.2 Resultados y Discusión

III.2.1 Parámetros microbiológicos

Se evaluaron los parámetros microbiológicos de las hojas verdes (HV) en planchada y de la yerba mate canchada (YMC) obtenida en cada secadero. Como resultado, se encontraron variaciones porcentuales en los recuentos de bacterias aerobias mesófilas totales (BAMT) y de hongos y levaduras (HyL), antes y después del procesamiento. En ambos casos, se observó una disminución de la carga microbiana luego del tratamiento térmico.

En la Figura III-3, se grafican los datos correspondientes a BAMT, en donde la variación de la carga microbiana de HV a YMC, implicó una reducción del 95,7% en SB, 95,1% en SC y 78,9% en SR. De esta manera las muestras de YMC, presentaron recuentos en un rango de 10^2 , 10^1 y 10^3 UFC/g, respectivamente.

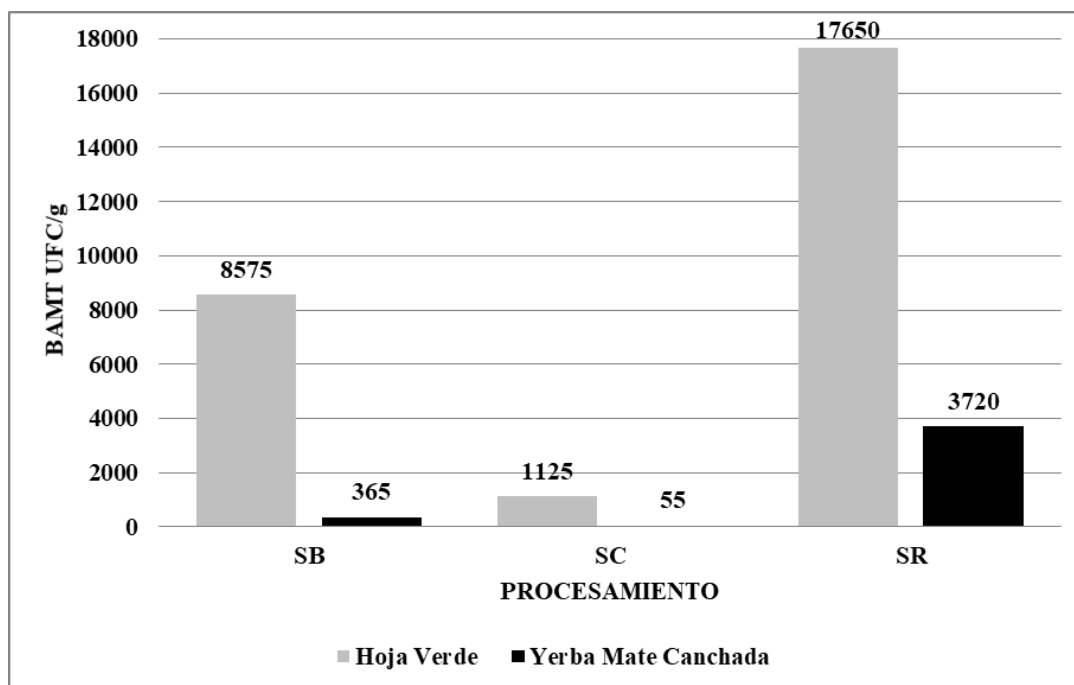


Figura III-3. Variación de los valores medios de BAMT (UFC/g) en Hoja Verde y Yerba Mate Canchada, según el sistema de procesamiento (SB, SC y SR).

Cañete y col. (2017), estudiaron la variación de la flora microbiana de la yerba mate durante sus etapas de elaboración, trabajando con 72 muestras, y obtuvieron para la YMC, un rango de recuento de BMT de 10^1 a 10^4 .

Los resultados de los recuentos de HyL en YMC obtenida de los distintos sistemas de secado SR, SB y SC, mostraron un rango de 10^1 , 10^2 y 10^3 UFC/g, respectivamente (Figura III-4). Estos valores representaron una reducción de la contaminación inicial del 99,5% en SB y SR, mientras que para SC fue del 74,6%.

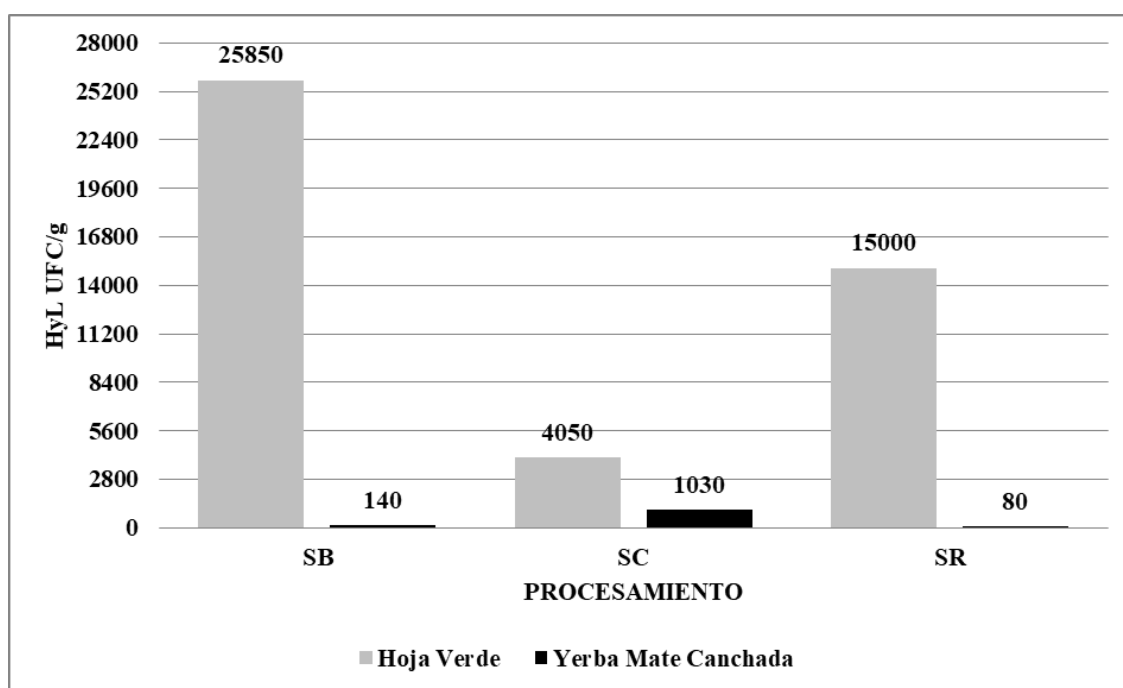


Figura III-4. Variación de los valores medios de HyL (UFC/g) en Hoja Verde y Yerba Mate Canchada, según el sistema de procesamiento (SB, SC y SR).

Este rango de valores concuerda con los obtenidos por Horianski y col. (2012), que reportaron un rango de 10^2 y 10^3 UFC/g para de HyL en un trabajo en el que realizaron el análisis microbiológico de 20 muestras de yerba mate canchada de distintos orígenes. A su vez, en ese mismo trabajo, los autores destacan, que estos valores, son similares a los obtenidos en yerba mate elaborada, pero inferiores a los que obtuvieron en otro trabajo con yerbas compuestas (Marucci y col., 2000; Jerke y col., 2011).

Otras determinaciones realizadas fueron los recuentos de coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y *Escherichia coli*. Para el caso de las dos primeras (CT y CF), los recuentos fueron muy bajos y no presentaron variaciones entre HV y YMC. Mientras que para *E. coli* no se detectó presencia en ninguna de las muestras analizadas.

De acuerdo a estos resultados obtenidos, se puede inferir que durante el procesamiento primario de la yerba mate, y sin importar el tipo de secadero que se utilice, la carga microbiana se reduce considerablemente. Cañete y Duce, (2015) y Horianski y col. (2012), coinciden en que la reducción probablemente se deba a las altas temperaturas a la que la yerba es sometida durante el zapeado y al bajo contenido de humedad después del secado.

III.2.2 Pruebas preliminares de parámetros fisicoquímicos

En la Tabla III-1, se muestra la comparación entre los métodos microondas vs. estufa de vacío. Se realizó un análisis de medias con los resultados preliminares de los parámetros fisicoquímicos cafeína y contenido de polifenoles, se evidenció que no existen diferencias significativas entre los dos métodos, por lo que se optó por utilizar microondas para la inactivación enzimática, ya que este método, requiere menor tiempo de procesamiento, menor costo y más práctico.

Tabla III-1. Parámetros fisicoquímicos de Hoja verde yerba mate, según el método: Microondas (Mo) y Estufa de vacío (Ev). Los valores expresados en % en base seca).

Parámetros/Método	Mo	Ev
Cafeína (g/100g ss)	1,41 ± 0,01	1,41 ± 0,09
CPT (g EAG/100g ss)	12,58 ± 0,15	12,30 ± 0,42

III.2.3 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla III-2, se presentan los valores medios de los parámetros fisicoquímicos, los cuales fueron calculados a partir de los productos sólidos obtenidos de los tres tipos de secaderos analizados en este trabajo, y los valores que corresponden a la muestra control de referencia de hoja verde (HV). Dichos valores se muestran de la siguiente manera: Secado a Barbacué (SB), Secado a Cintas (SC), Secado Rotativo (SR) y la muestra referencia Hoja Verde (HV).

Tabla III-2. Parámetros fisicoquímicos de yerba mate, según el tipo de procesamiento. Los valores expresados en % en base seca).

Parámetros/Procesamiento		HV	SB	SC	SR
Parámetros color	L	47,32 ± 1,96	51,58 ± 3,13	52,33 ± 3,30	49,28 ± 3,28
	a	-4,15 ± 0,32	-0,10 ± 1,08 *	0,57 ± 0,48 *	-1,82 ± 0,49 *
	b	19,96 ± 2,03	20,59 ± 2,68	19,27 ± 2,28	18,52 ± 1,94
	Chroma	20,40 ± 1,94	20,61 ± 2,68	19,28 ± 2,29	18,61 ± 1,90
	Ip	46,47 ± 6,98	50,41 ± 10,13	46,50 ± 8,83	43,51 ± 4,94
	Hue	101,90 ± 1,87	90,09 ± 3,03 *	88,43 ± 1,35 *	95,79 ± 1,96 *
Extracto Acuoso		40,06 ± 0,82	39,00 ± 3,68	38,63 ± 2,52	41,40 ± 4,40
Cafeína		1,72 ± 0,22	0,923 ± 0,13 *	0,954 ± 0,19 *	0,822 ± 0,05 *
CPT		12,73 ± 0,41	11,90 ± 0,46	8,56 ± 0,51 *	10,56 ± 1,19 *
Ph		5,66 ± 0,00	5,63 ± 0,23	5,55 ± 0,07	5,81 ± 0,16
Cenizas Totales		0,058 ± 0,004	0,058 ± 0,001	0,057 ± 0,002	0,062 ± 0,0008

*Los asteriscos en sentido de filas indican diferencias significativas respecto a HV.

Los datos se expresan como media ± el desvío estándar.

III.2.3.a Color

Los valores de los parámetros de color evaluados, se detallan en la Tabla III-2. Respecto al color “a”, se compararon los valores medios obtenidos en los tres tipos de secado con el control de referencia HV (Figura III-5a), y se observó una diferencia significativa en la variación del color “a”. Es decir, que los tres tipos de secado afectan de manera negativa a este parámetro de color. Los procesamientos SB y SC, no presentaron diferencias significativas entre ellos. Mientras que en SR la degradación del color a, fue significativamente menor respecto a los dos anteriores. Es decir que las muestras obtenidas de SR, fueron las que menos se degradaron, convirtiéndose en el método de secado que mejor conservó el color verde de las muestras respecto al control de referencia HV. El procesamiento de SC, fue el que más afectó a este parámetro, lo cual podría deberse a la combinación de tiempo y temperatura con la que se trabaja. De igual manera la menor degradación de a en SR se asocia al corto tiempo de tratamiento térmico.

Según Schmalko y col. (2005), el efecto combinado del aumento de la temperatura y la actividad de agua, llevan a las pérdidas de las clorofilas, lo que repercute de forma directa en los cambios en el parámetro de color "a".

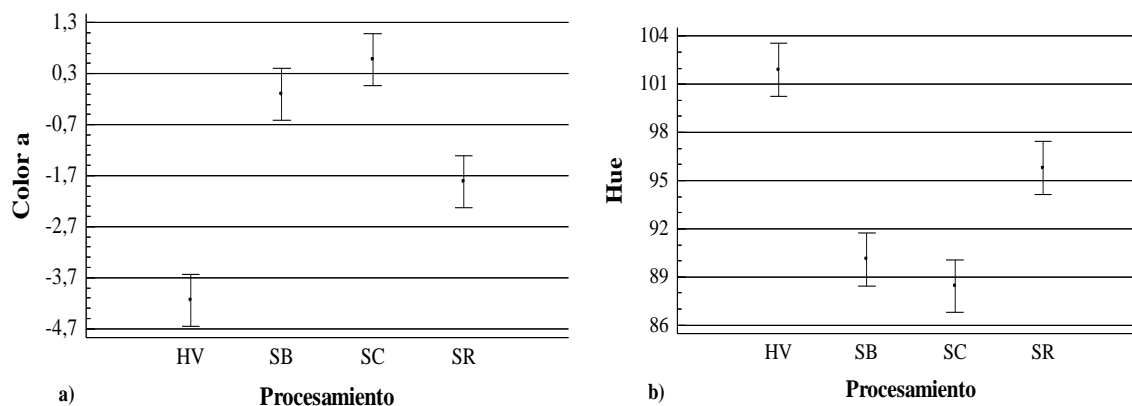


Figura III-5. Valores medios de Color a (a) y Hue (b) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).

El parámetro HUE o matiz (Figura III-5b), presentó similar comportamiento al color “a”, donde se registraron diferencias significativas entre HV y los tres tipos de secado. En este caso SR registró una variación del 6%, mientras que para SC la variación fue del 11,6%.

Holowaty y col. (2016) en un estudio comparativo de secado de yerba mate con diferentes combustibles (leña vs. chip), no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la yerba mate canchada procesada con leña y procesada con chip en los parámetros de color L, a y b. En cambio al estudiar el Hue o matiz encontró que las muestras procesadas con chip resultaron con mayor intensidad o pureza de color verde.

Los análisis realizados sobre ambos parámetros (color a y Hue), coincidieron en que SR fue el procesamiento que menos afectó el parámetro de color, lo que permitió obtener una yerba mate canchada con un color verde con mayor intensidad respecto a la obtenida en los otros procesamientos.

Los parámetros color L, color b, Ip y chroma, no presentaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de secado y tampoco respecto al control HV (Figura III-6).

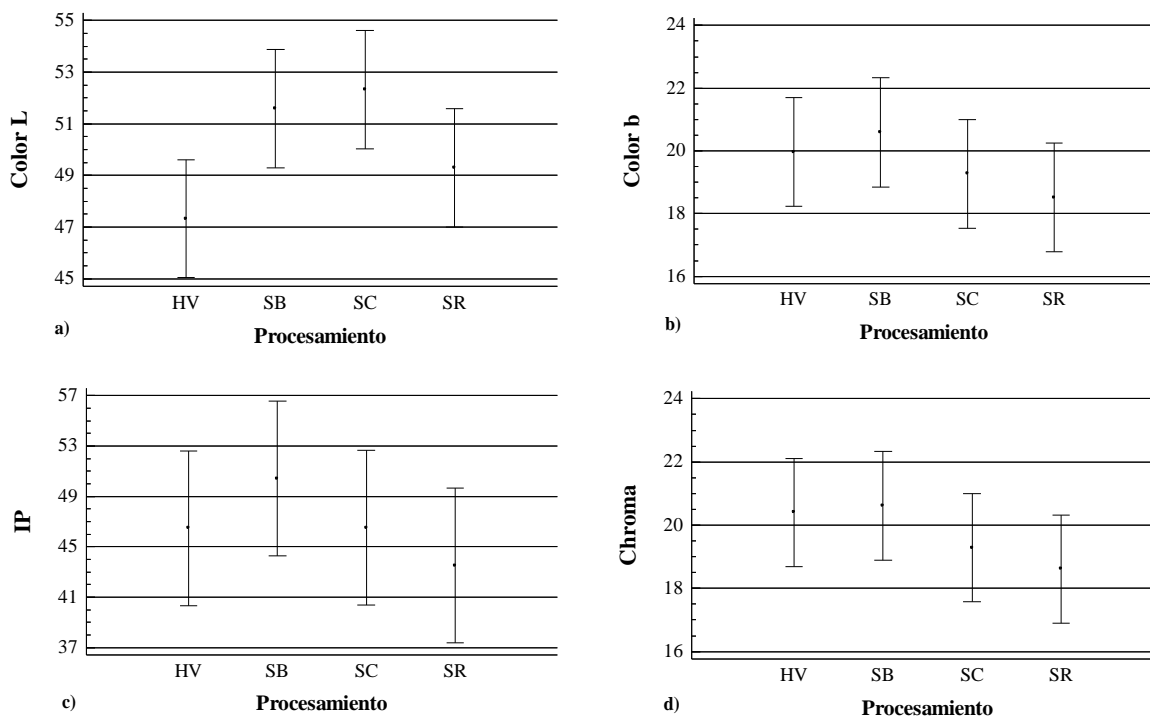


Figura III-6. Valores medios de Color L (a), Color b (b), IP (c) y Chroma (d) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).

Como se pudo observar, las variaciones de color durante el procesamiento de la yerba mate se encuentran principalmente en el parámetro “a” y a su vez, el grado de degradación se vio influenciado por el tipo de procesamiento. De acuerdo a otros autores, el color podría ser usado como un parámetro de calidad en la industria yerbatera, permitiendo diferenciar distintas procedencias, por ejemplo, la yerba brasilera se caracteriza por tener un color verde intenso, relacionado a altos valores de “-a”, mientras que la yerba de los argentinos tiene un color verde pálido cercano al amarillento, es decir valores elevado de “a” (Maccari Junior, 2005; Holowaty, 2017a).

III.2.3.b Cafeína

En la Figura III-7 se observa una reducción significativa en el contenido de cafeína al comparar HV con los distintos tipos de secado. El control HV presentó un valor de 1.72 g/100g ss, mientras que el contenido de cafeína promedio obtenido en los tres sistemas de secado fue de 0,89 g/100g ss, lo que representa una reducción del 47,7% de cafeína. Este comportamiento coincide con lo reportado por otros autores, en cuanto a que el secado afecta

el contenido de cafeína. Bertoni y col. (1993) y Schmalko (2005) encontraron pérdidas promedio de cafeína del 30%. Mientras que en otros trabajos registraron pérdidas de hasta un 20% de cafeína (Schmalko y Alzamora, 2001; Esmelindro y col., 2002).

La cafeína es un importante indicador de calidad en bebidas con propiedades estimulantes, para el caso de la yerba mate, resulta dificultosa su implementación, dado que existen muchas variables que afectan el contenido de cafeína (Maccari Junior, 2005).

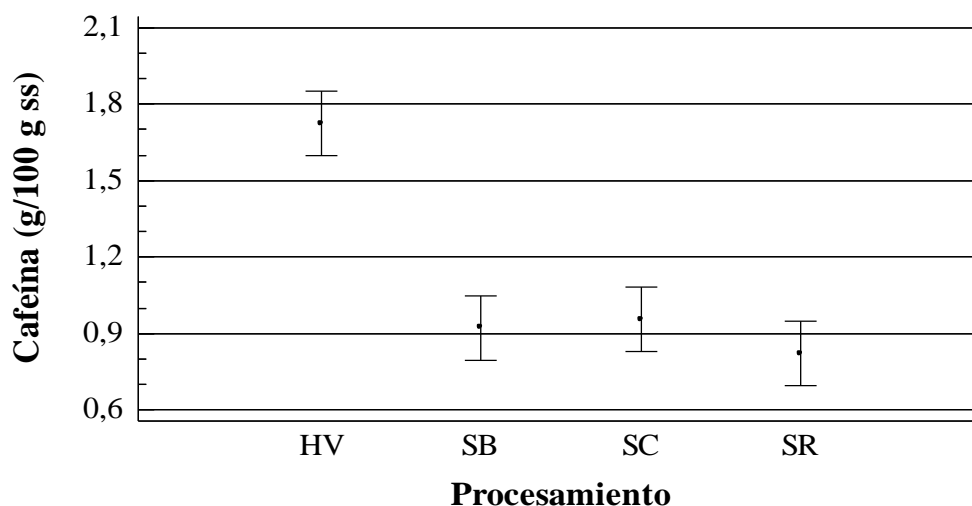


Figura III-7. Valores medios de Cafeína con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).

III.2.3.c Extracto acuoso

En la Figura III-8, se muestran los valores medios y los intervalos de confianza del extracto acuoso, donde se observa que no existen diferencias significativas en los tres tipos de secado respecto al control HV.

El valor promedio de extracto acuoso de todas las muestras, fue de 39,77 g solubles/ 100 g sólidos secos. Similares respuesta obtuvo Holowaty (2017b) quien, evaluando diferentes métodos de zapeado, no encontró diferencias significativas entre los diferentes métodos.

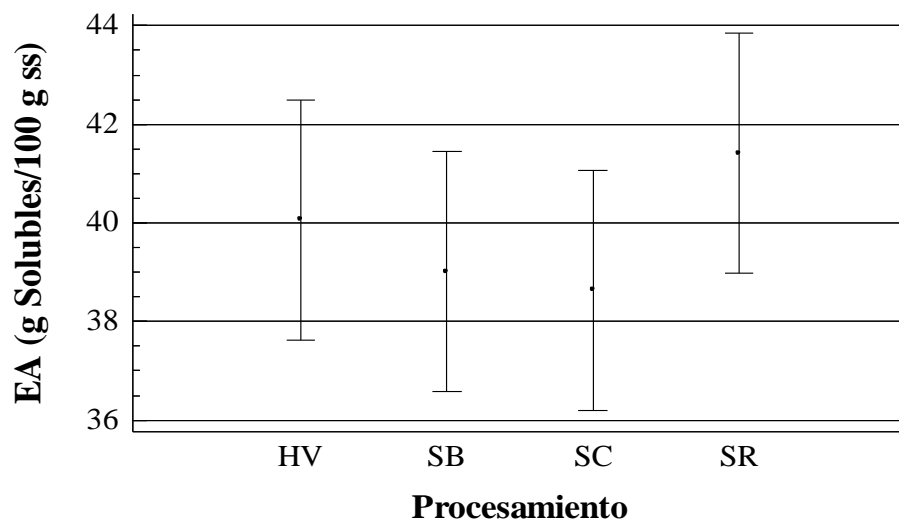


Figura III-8. Valores medios de Extracto acuoso (EA) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).

Pokolenko y Schmalko (2005) al estudiar contenido de cafeína y extracto acuoso y su velocidad de extracción en la yerba mate en diferentes épocas de cosecha, encontraron diferencias significativas entre las diferentes muestras, por lo que atribuyeron estas diferencias, a las variaciones propias de la planta a lo largo del año y a la composición de palo y hoja de las muestras.

III.2.3.d Contenido de polifenoles totales (CPT)

Para el contenido de polifenoles totales se puede observar que no hubo diferencias significativas entre el control HV y SB, pero sí de SC y SR respecto a HV (Figura III-9). Al comparar los tres tipos de secado, se observaron diferencias significativas entre ellos, siendo el SB el que mejores resultados presentó. Esto es particularmente importante puesto que muchos de los beneficios atribuidos al consumo de la infusión de yerba mate están relacionados con los compuestos fenólicos y su conocido efecto como antioxidantes (Bravo y col., 2006). Comparativamente, el contenido de polifenoles totales para SB fue un 11,3% y 28,1% mayor que SR y SC, respectivamente.

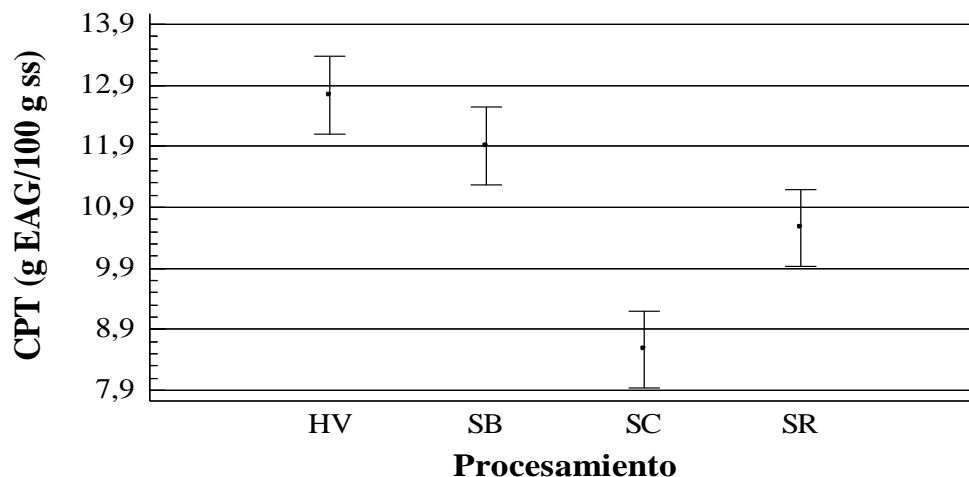


Figura III-9. Valores medios de Contenido de polifenoles totales (CPT) con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).

En un estudio realizado por Holowatty y col. (2006) sobre la variación del CPT durante el procesamiento primario y estacionamiento natural (12 meses), no observaron variaciones significativas del CPT durante las distintas etapas, por lo que sugieren que estos compuestos tendrían una gran estabilidad.

Escalada y col. (2011) estudiaron los efectos de la zona de cultivo, tipo de secado y época de cosecha sobre el contenido de polifenoles totales y sobre la capacidad antioxidante en yerba mate. Los autores concluyen que el origen y el tipo de secado no tienen influencia sobre el CPT de la yerba mate y afirman que esa variación está dada por la época de cosecha, ya que detectaron mayor CPT al inicio de la zafra que al final de la misma. Y sugieren que este comportamiento podría deberse a las distintas condiciones climáticas, fases de desarrollo de la planta u otros factores no identificados que podrían afectar al contenido de polifenoles.

III.2.3.e Cenizas totales

En el contenido de cenizas totales no se registraron diferencias significativas entre el control HV y los tres tipos de secado (Figura III-10). Sin embargo al comparar los distintos tipos de secado entre sí, se observaron diferencias significativas entre SR y SC, siendo el contenido de cenizas totales de SR un 8,1% mayor, respecto de SC. Esto podría atribuirse a una mala

combustión del combustible utilizado, ya que ninguno de los SR usaba chip como combustible, sino que uno utilizaba leña y el otro aserrín.

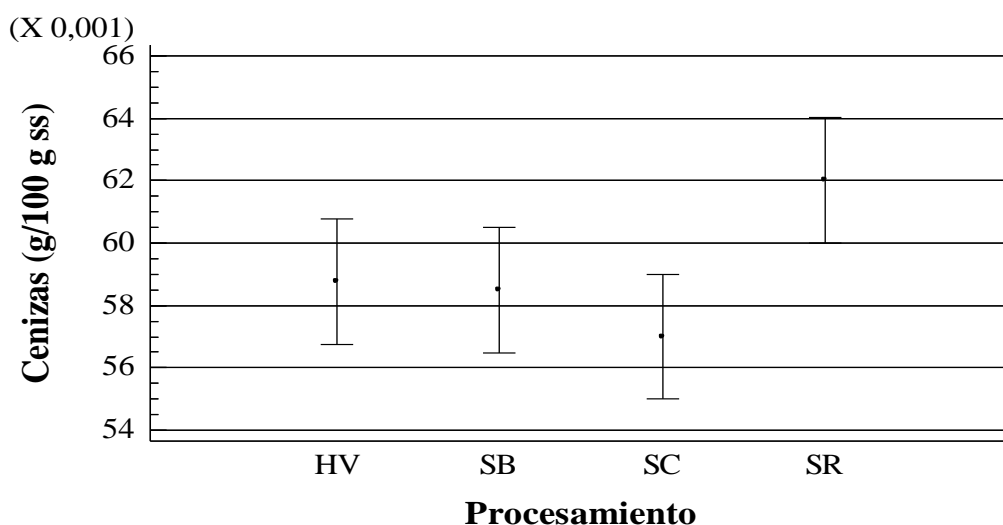


Figura III-10. Valores medios de Cenizas totales con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).

Holowaty y col. (2016) en un estudio comparativo de combustibles para el secado de yerba mate, encontraron que el contenido de cenizas totales en yerba mate procesada con leña fue superior en un 10% respecto a las muestras de chip. Mientras que Esmelindro y col. (2002) al estudiar la influencia de las etapas del procesamiento de la yerba mate sobre la composición fisicoquímica, concluyó que no tiene influencias significativas sobre las cenizas.

III.2.3.f pH

En la Figura III-11, se muestran los valores de pH comparando el control HV con respecto a los tres tipos de secado y no se encontraron diferencias significativas. Pero al realizar la comparación entre los tres tipos de secado, se observó que SR presentó un valor significativamente superior a SC, mientras que SB no tuvo diferencias significativas con ninguno de los anteriores.

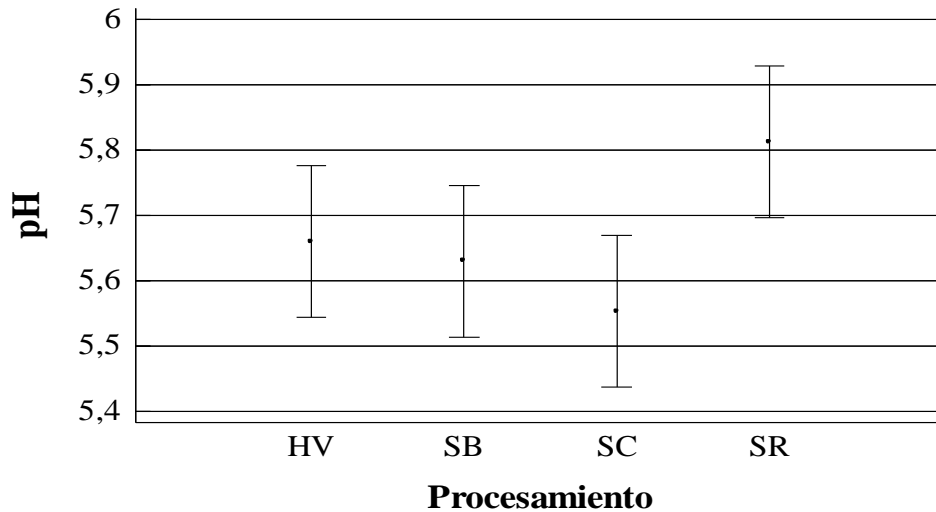


Figura III-11. Valores medios de pH con intervalos de error estándar (95%), según el sistema de procesamiento (HV, SB, SC y SR).

Cuando Holowaty (2017a) evaluó el pH de los extractos obtenidos de los diferentes tipos de estacionamientos de la yerba mate, encontró que únicamente en el estacionamiento natural se observaron diferencias significativas, mientras que en los otros dos métodos, acelerado y mixto, el pH no varió durante el estacionamiento.

III.2.4 Eficiencia

En las siguientes tablas se presentan los valores (kcal/h) y porcentajes de los flujos de calor involucrados en los tres procesos de secado, como así también los valores aportados por la bibliografía (Mujundar, 2007).

En los secaderos de tipo Barbacuá, se obtuvieron valores de eficiencia de 13.98% y 15.33%, respectivamente. Estos valores resultan ser muy bajos respecto a los sugeridos en la bibliografía (55%). Es decir, del total de energía entregada al sistema, la mayor parte se utiliza para precalentar (o mezclar) el aire fresco a la temperatura ambiente, y así lograr una mezcla con los gases de combustión a una temperatura apropiada para realizar el secado de la yerba mate, es decir temperaturas entre 90-120°C. Es importante resaltar que los gases salen agotados y la distribución es menor que lo propuesto por Mujundar (2007). Se observaron temperaturas cercanas a los 50°C en la salida, y valores de humedad superiores a 0,04 kg agua/kg ss, es decir, cercanos a la saturación.

Tabla III-3. Eficiencia y distribución energética en los secaderos barbacuá comparados con la bibliografía.

Distribución Energética	Valores de la Bibliografía (%)	Secaderos Barbacuá (SB)			
		SB 1		SB 2	
		(kcal/h)	%	(kcal /h)	%
Calor Generado		992513,2		687099,0	
Evaporación del Agua=Eficiencia	55,00%	138750,9	13,98%	105346,8	15,33%
Salida con el aire	28,00%	261997,7	26,40%	307770,1	44,79%
Calentamiento del sólido	12,00%	8711,6	0,88%	8598,5	1,25%
Salida con el producto	3,00%	16775,9	1,69%	14954,0	2,18%
Pérdidas de calor*	2,00%	566277,1	57,05%	250429,6	36,45%

*Se asume que el calor perdido es el excedente obtenido por diferencia

En los secaderos a cintas se presentan mayores valores de eficiencia respecto a los obtenidos en los secaderos tipos barbacuá, aunque son menores a los citados en la bibliografía. Las eficiencias fueron de 23,28% para SC1 y de 26,66% para SC2 (Tabla III-4).

Tabla III-4. Eficiencia y distribución energética en los secaderos a cintas comparados con la bibliografía.

Distribución Energética	Valores de la bibliografía (%)	Secaderos a Cintas (SC)			
		SC 1		SC 2	
		(kcal/h)	%	(kcal /h)	%
Calor Generado		1605262,3		1299137,9	
Evaporación del Agua=Eficiencia	55,00%	373686,9	23,28%	346310,3	26,66%
Salida con el aire	28,00%	537141,0	33,46%	509530,7	39,22%
Calentamiento del sólido	12,00%	60109,2	3,74%	21268,3	1,64%
Salida con el producto	3,00%	41869,5	2,61%	45169,6	3,48%
Pérdidas de calor*	2,00%	592455,7	36,91%	376859,1	29,01%

*Se asume que el calor perdido es el excedente obtenido por diferencia

La baja eficiencia se debe a las pérdidas que se generan al hacer ingresar gases de combustión entre 350-380°C se deben mezclar con aire frío proveniente de los oídos (las ventanas pequeñas laterales al secadero), para alcanzar valores de 120°C y con una humedad del aire lo suficientemente baja para que, cuando se encuentra a menores temperaturas, no se saturen las corrientes gaseosas.

Los secaderos rotatorios, poseen un funcionamiento diferente a los anteriormente descritos, sin embargo los valores de eficiencia también son bajos comparados a la bibliografía (Menshutina y col., 2004; Perry y Green, 1997). En la Tabla III-5, se observa que las pérdidas son elevadas, lo cual puede deberse a la ausencia de sistemas de aislación en el exterior del tubo metálico. Las eficiencias alcanzaron valores del 28,03% para SR1 y 32,09% para SR2. En los tres tipos de secado, la humedad final de las hojas de salida fue entre 5 y 5,5% en base seca.

Tabla III-5. Eficiencia y distribución energética en los secaderos rotativos comparados con la bibliografía.

Distribución Energética	Valores de la Bibliografía (%)	Secaderos Rotativos (SR)			
		SR 1		SR 2	
		(kcal/h)	%	(kcal /h)	%
Calor Generado		741156,3		627707,3	
Evaporación del Agua=Eficiencia	65,00%	207754,5	28,03%	201432,2	32,09%
Salida con el aire	20,00%	142417,2	19,22%	156651,7	24,96%
Calentamiento del sólido	10,00%	19601,9	2,64%	1882,3	0,30%
Salida con el producto	3,00%	65125,1	8,79%	35270,5	5,62%
Pérdidas de calor*	2,00%	306257,6	41,32%	232470,7	37,03%

*Se asume que el calor perdido es el excedente obtenido por diferencia

En términos generales se observa que las eficiencias promedio para cada sistema de secanza fueron de 14,76% (SB), 25,37% (SC) y 30,58% (SR), que al compararlos con la bibliografía resultan estar muy por debajo de lo esperado. Cabe aclarar que los valores de eficiencias sugeridos en la bibliografía fueron calculados en condiciones ideales.

La reducción de la eficiencia se debe a las elevadas pérdidas de calor que, para el caso de SB y SC, son atribuidas principalmente al enfriamiento de los gases de combustión para calentar el flujo de aire que ingresa por los oídos y aberturas del secadero. Esto se realiza para evitar que los gases de combustión (con alto porcentaje de humedad) se saturen rápidamente y generen condensado en el techo del secadero. Mientras que en SR esas pérdidas están asociadas a la falta de aislación de los tambores de secado.

Conclusiones

En este trabajo se evaluaron las características fisicoquímicas y microbiológicas de la hoja verde y de la yerba mate canchada obtenida de los tres tipos de secadero de mayor difusión en la región yerbatera. A su vez también se evaluó la eficiencia energética de cada secadero.

En los tres tipos de secado, se observó una disminución de la carga microbiana (BAMT, HyL) luego del tratamiento térmico, debido a las altas temperaturas a la que la yerba es sometida durante el zapeado y al bajo contenido de humedad después del secado.

Los diferentes procesos de secado influyeron en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados.

Los parámetros de color “a” y el matiz, fueron afectados por los tipos de secado. El SR fue el que mejor conservó estos parámetros de color, permitiendo obtener una yerba mate canchada con un color verde de mayor intensidad, respecto a la obtenida en los otros procesamientos. Los restantes parámetros color L, color b, Ip y chroma, no fueron afectados.

Para la determinación del control HV se realizaron pruebas preliminares comparando microondas vs. estufa de vacío, como métodos para disminuir la actividad enzimática y conservar de la mejor manera el contenido de cafeína y polifenoles totales. Estas pruebas permitieron evidenciar que es posible el uso de microondas para la inactivación enzimática, y además tiene la ventaja de requerir menos tiempo de procesamiento, menor costo y mayor practicidad.

Los tres procesos de secado afectaron el contenido de cafeína, provocando una reducción significativa (cerca al 50%), respecto a la del control HV. Mientras que el contenido de polifenoles totales, tuvo una disminución significativa en los sistemas SC y SR respecto al control HV. En tanto que el sistema SB permitió conservar los polifenoles presentes en la HV.

El extracto acuoso no fue afectado por los tipos de secado. Respecto al contenido de cenizas totales y el pH, si bien no variaron respecto a HV, cuando se compararon los tres sistemas de secado entre sí, el SR generó valores más elevados.

En los tres tipos de procesamiento evaluados, se encontraron valores de eficiencia térmica bajos; siendo el SR el de mayor eficiencia térmica (30,5%), seguido por el SC (25,3%) y el SB (14,7%). En el caso de SC y SB, las pérdidas elevadas resultan del ingreso de aire frío que se mezcla con los gases de combustión para mejorar la velocidad de secado, a expensas de una disminución en la eficiencia y aumento del consumo energético. En los secaderos rotatorios se observaron marcadas pérdidas, debido a la ausencia de aislantes térmicos en las paredes del tambor de secado.

Propuestas sobre trabajos futuros

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, se evidenció que los contenidos de cafeína y de polifenoles totales, presentan diferentes valores según los autores. Los mismos afirman que las variaciones se deben a distintos factores como ser: material genético, época de cosecha, lugar de cultivo, variables climáticas, sistema de secado, entre otras.

El INTA desarrolla un programa de mejoramiento genético de la yerba mate (*Ilex paraguariensis* S. H.) desde el año 1974 hasta el presente. Producto de estos años de investigación y experimentación, se pudieron seleccionar materiales genéticos que se destacan por diversas características morfológicas y rendimiento. Es así que cuenta con 12 cultivares inscriptos en el INASE, de libre empleo para el sector yerbatero.

En este contexto, se propone como línea de investigación analizar el contenido de cafeína y polifenoles del material cosechado en cada uno de los cultivares inscriptos durante un período mínimo de 4 años. Estos datos se correlacionarían con los datos meteorológicos registrados durante los años de evaluación.

Además, esta línea de investigación permite incorporar por año, la evaluación de otras variables específicas como ser: distintas épocas de cosecha, estado de madurez de la rama a cosechar, ubicación y orientación de la rama dentro de la planta, distintos tipos de secado, entre otras.

Los resultados obtenidos a partir de estas investigaciones, permitirían caracterizar cada cultivar respecto a estos dos parámetros de calidad (cafeína y polifenoles).

Bibliografía

Argüello, B.; Scipioni, G. P. (2015). Composición Química I: Polifenoles y Metilxantinas. En: La Yerba Mate: Tecnología de la Producción y Propiedades. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. Capítulo 9, p. 205-227.

Arndt, G. M.; Ricci, M. F.; Tetzlaff, J. G.; Holowaty, S. A. (2017). Estudio de la eficiencia térmica en tres tipos de secaderos de yerba mate. Anais do VII Congresso Sul-Americano da Erva-Mate. Erechim, RS, Brasil. 16-18 de Mayo. ISBN 978-85-7892-121-7.

Badui Dergal, S. (2012). Química de los Alimentos. Editorial: Pearson-Addison Wesley. Quinta edición. México. Capítulo 7, p. 379-394.

Bertoni, M. H.; Vigo, M. S.; Gomez, R. G.; Prat Kricun, S. D.; Känzig, R. G. y Cataneo, P. (1991). Hojas frescas de *Ilex paraguariensis* (St. Hil).-I-Composición química general en función del grado de desarrollo (joven, intermedia, maduro) y de la época de cosecha para tres clones. Anales de la Asociación Química Argentina 79, p. 269-276.

Bertoni, M. H.; Vigo, M. S.; Gomez, R. G.; Prat Kricun, S. D.; Känzig, R. G. y Cataneo, P. (1992a). Hojas frescas de *Ilex paraguariensis* (St. Hil).-II-Composición química general de harinas de extracción en función del grado de desarrollo (joven, intermedia, maduro) y de la época de cosecha para tres clones. Anales de la Asociación Química Argentina 80, p. 75-81.

Bertoni, M. H.; Prat Kricun, S. D.; Känzig, R. G. y Cataneo, P. (1992b). Hojas frescas de *Ilex paraguariensis* (St. Hil).-III-Influencia de las distintas etapas del proceso tradicional de elaboración de la Yerba Mate (zapecado, secado + canchado y estacionamiento) sobre la composición de la hoja fresca del Clon 44/75, cosecha 1988. Anales de la Asociación Química Argentina 80, p. 403-501.

Bertoni, M. H.; Prat Kricun, S. D.; Känzig, R. G. y Cattaneo, P. (1993). Hojas frescas de especies de *Ilex* (Aquifoliaceae)-IV-Composición química general de hojas de *I. dumosa* e *I. brevicuspis* de “Yerba Mate” sobre algunos valores de composición. Anales de la Asociación química Argentina 81, p.1-8.

Bravo, L.; Goya, L. y Lecumberri, E. (2006). LC/MS characterization of phenolic constituents of mate (*Ilex paraguariensis*, St. Hil.) and its antioxidant activity compared to commonly consumed beverages. En: Food Research International N°40. p. 393–405.

Cañete, L. A.; Argüello, B.; Pucciarelli Román, A. B. (2017). Estudio de la flora microbiana de la yerba mate durante las etapas de su elaboración. Revista de Ciencia y Tecnología del Universidad Nacional de Misiones. Año 19. N° 27. p. 51–57.

Cañete, L. A.; Duce, J. A. (2015). Calidad Higiénico-Sanitaria. En: La Yerba Mate: Tecnología de la Producción y Propiedades. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. Capítulo 14, p. 329-337.

Chaves, M. G.; Maiocchi M. G.; Sgroppo S. C. y Avanza J. R. (2002). "Poder antioxidante de infusiones de *Ilex paraguariensis* (St. Hill). Revista Información Tecnológica -Vol. 13 N°2. p. 1-8.

Comisión Reguladora de la Producción y Comercio de la Yerba Mate. (1971). La Yerba Mate. Buenos Aires. 40p.

De Bernardi, L. y Prat Kricun, S. D. (2001). Cadena alimentaria de la yerba mate- *Ilex paraguariensis*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. N° de páginas.

Duce, J. A.; Bordenave, S. A. e Ybarra, L. R. (2012). Investigación sobre la presencia de *Bacillus cereus* en yerba mate elaborada. Revista de Ciencia y Tecnología del Universidad Nacional de Misiones. Año 14. N° 17. p. 5–8.

Escalada, M. A.; Schmalko, M. E. y Känzig, R. G. (1998). El extracto acuoso como una medida del contenido de palos de la Yerba Mate. Revista de Ciencia y Tecnología del Universidad Nacional de Misiones. Año 1. N° 1. p. 40–44.

Esmelindro, M. C.; Toniazzo, G.; Waczuk, A.; Dariva, C. y de Oliveira, D. (2002). Caracterização físico-química da erva-mate: Influência das etapas do processamento industrial. Ciência e Tecnología de Alimentos 22(2), p. 199–204.

Frankel, A. M. (1983). Industrialización. En: La Yerba Mate Producción, Industrialización, Comercio. Editorial Albatros. Buenos Aires. 176p.

Gros, E.; Pomilio, A.; Seldes, A. M. y Burton, G. (1985). Introducción al estudio de los productos naturales. Monografía N° 30 Serie Química. Cap. “fenilpropanos”; Cap. “Alcaloides”. Secretaría General de la OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 47p.

Grupo de Trabajo Yerba Mate y Té. (1997). Manejo de la planta de yerba mate. En: 3° Curso de capacitación en producción de Yerba Mate. INTA-EEA Cerro Azul, Misiones, p. 57-60.

Hess, D. (1980). Fisiología Vegetal: fundamentos moleculares y bioquímicos-fisiológicos del metabolismo y el desarrollo. Ediciones Omega S.A., Barcelona. Capítulo “fenoles”, p. 143; Capítulo “terpenoides”, p. 123; Capítulo “alcaloides”, p. 173.

Holovatty, S.; Arguello, B. y Malec, L. (2006). Variación del contenido de polifenoles durante el procesamiento de la Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*), Libro de actas del 4° Congreso Sudamericano de Yerba Mate. p. 127-131.

Holowaty, S. A.; Aguerre, Y. S. y Schmalko, M. E. (2014). Eficiencia térmica en secaderos de yerba mate. En: Memorias Del VI Congreso Sudamericano De Yerba Mate Y II Simposio Internacional de Yerba Mate Y Salud, p. 4-13. Disponible en: <http://www.congresos-rohr.com/yerbamate2014/#trabajosLibres>. Capturado el: 18/05/2016.

Holowaty, S. A.; Martinez, M. C.; Brignardello, A. E. y Schmalko, M. E. (2016). Estudio comparativo: secado de yerba mate con leña de bosque implantado vs chip de madera. Revista de Ciencia y Tecnología del Universidad Nacional de Misiones. Año 18. Suplemento N° 1. p. 59–64.

Holowaty, S. A. (2017a). Modificaciones fisicoquímicas en la yerba mate utilizando diferentes métodos de estacionamiento. Tesis de la Maestría en Tecnología de los Alimentos. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. 121p.

Holowaty, S. A. (2017b). Optimización de recursos energéticos en el procesamiento de la yerba mate. Tesis de Doctorado en Ciencias Aplicadas. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. 156p.

Holowatty, S.; Argüello, B. y Malec, L. (2006). Variación del contenido de polifenoles durante el procesamiento de la yerba mate (*ILEX PARAGUARIENSIS*). En Actas de 4º Congreso Sudamericano de la Yerba Mate. Posadas, Misiones. 5-8 de Noviembre p. 127-131. ISBN 987-23223-0-9.

Horianski, M. A.; Castrillo, M. L.; Tayagui, A. y Jerke, G. (2012). Calidad microbiológica de yerba mate canchada. Revista de Ciencia y Tecnología 17, p. 30-33. Disponible en: <http://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php?option=content&task=category§ionid=6&id=61>. Capturado: 20/05/2016.

INYM. (2017). Superficie cultivada por departamento. Instituto Nacional de la Yerba Mate. Posadas Misiones. Disponible en: <http://www.inym.org.ar/publicaciones/superficie-cultivada-por-departamento/>. Capturado el 17/07/17.

INYM. (2016). Datos estadísticos de las distintas zonas productoras argentinas. Instituto Nacional de la Yerba Mate. Posadas Misiones. Disponible en: <http://www.inym.org.ar/wp-content/uploads/2017/01/estadisticas-inym-diciembre-2016.pdf>. Capturado el 17/07/17.

INYM. (2007). Resolución Inym 37/2007. Suspensión De Actividades De Cosecha Y Secanza. Disponible en: <http://www.inym.org.ar/normativa/res-inym-372007-suspension-de-actividades-de-cosecha-y-secanza/> . Capturado 14/09/17.

IRAM N° 20503. (1995). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma N° 20503. Yerba Mate: Determinación de la pérdida de masa a 103°C.

IRAM N° 20507. (1995). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma N° 20507. Yerba Mate: Determinación de las cenizas insolubles en ácido.

IRAM N° 20512. (2000). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma N° 20512: Yerba Mate: Determinación del Contenido de Cafeína.

IRAM N° 20510. (2005). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma N° 20510: Yerba Mate: Determinación del Extracto Acuoso.

IRAM N° 20517. (2007). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma N° 20517: Yerba Mate canchada y yerba mate elaborada: Análisis microbiológicos.

IRAM N° 20533. (2013). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma N° 20533: Yerba mate: Determinación de las sustancias características. Método colorimétrico mediante el uso del reactivo de Folin-Ciocalteu para la determinación del contenido de polifenoles totales.

Jerke, G.; Horianski, M. A.; Bargardi, S. y Martínez, M. L. (2011). Evaluación de la calidad microbiológica de yerba mate compuesta. Revista de Ciencia y Tecnología del Universidad Nacional de Misiones. Año 1. Suplemento N° 15. p. 4–10.

Känzig, R. G.; Schmalko, M. E. y Núñez, J. C. (2015). El procesamiento primario. En: La Yerba Mate: Tecnología de la Producción y Propiedades. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. Capítulo 4, p. 91-107.

Känzig, R. G. (1996). Transformación Primaria. Resúmenes del 3° Curso de capacitación en producción de Yerba Mate. INTA-EEA Cerro Azul, Misiones, p. 133-143.

Kotik, B. E. (1994). Molinería de la Yerba Mate. Resúmenes del 2° Curso de capacitación en producción de Yerba Mate. INTA-EEA Cerro Azul, Misiones, p. 109-112.

Kudra, T. (2004). Energy Aspects in Drying. Drying Technology, v. 22, N° 5, p. 917-932.

Lysiak, E. (2008). El sistema agroindustrial de la Yerba Mate. Economía de los cultivos industriales: Algodón, Caña de azúcar, Maní, Tabaco, Té y Yerba Mate. Ediciones INTA. Buenos Aires. 120p.

Maccari Junior, A. (2005). Analise do pre-processamento da Erva-Mate para chimarrao. Cap. 4: Fatores que afetam a qualidade da Erva-Mate para chimarrão. Tesis de doctorado de la Universidad Estadual de Campinas. Brasil. 215p.

Maiocchi, M. (2017). Composición química. Conocer mejor lo que nos gusta tanto. En: Yerba Mate. Reseña Histórica y Estadística. Producción e Industrialización en el siglo XXI. Editorial: Consejo Federal de Inversiones (CFI). Buenos Aires. Capítulo 5, p.77-92.

Mayol, R. M. (1997). En: Anais de I Congresso Sul-Americano Da Erva-Mate, II Reuniao Tecnica Do Cone Sul Sobre A Cultura Da Erva-Mate, Colombo: Embrapa-Cnpf. Curitiba, Brasil. p. 337-350.

Marucci, R. S.; Jerke, G.; Naidich, A. y Knass P. (2000). Micoflora presente en yerba mate envasada comercializada en la ciudad de Posadas provincia de Misiones, Argentina. 2º Congresso Sul Americano da Erva Mate. III Reuniao Técnica da Erva mate. Encantado. Brasil. Libro de resúmenes. p. 166.

Menshutina, N. V.; Gordienko, M. G.; Voynovsky, A. A. y Kudra, T. (2004). Dynamic analysis of drying energy consumption. *Drying Technology* 22, 2281–2290.

Mujundar, A. S. (1995). *Handbook of Industrial Drying*. 2nd Edition. Marcel Dekker, Inc. New York.

Nuñez, J. C. y Känzig, R. G. (1995). Secanza de la Yerba Mate. *Erva-Mate: Biología e Cultura no Cone Sul*, Editora da Universidade- Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – Brasil, p. 175-180.

Peralta, J. M. y Schmalko, M. E. (2007). Modeling heat and mass transfer in the heat treatment step of yerba maté processing. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 24 (1), p. 73-82.

Perry, R. H. y Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7º Edition Mc Graw Hill.

Pokolenko, J. J. y Schmalko, M. E. (2005). Contenido de cafeína y extracto acuoso y su velocidad de extracción en la yerba mate en diferentes épocas de cosecha. *Revista de Ciencia y Tecnología del Universidad Nacional de Misiones*. Año 7. Suplemento N° 7b. p. 49–53.

Prat Kricun, S. D. (2015). La cosecha. En: *La Yerba Mate: Tecnología de la Producción y Propiedades*. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. Capítulo 2, p. 55-68.

Prat Kricun, S. D. (2006). Buenas prácticas de manufactura en la transformación primaria. *Yerba Mate Guía para la aplicación de Buenas Práctica Agrícolas y Buenas Práctica de Manufactura*. SAGPyA. Buenos Aires. 102p.

Quiñones, M.; Miguel, M. y Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. En: *Nutrición Hospitalaria*. 27(1). p.76-89. ISSN 0212-1611

Ramallo, L. A., Schmalko, M. E.; känzig, R. G. (1998). Variación del contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) durante la elaboración de la yerba mate. *Revista de Ciencia y Tecnología* 1, p. 25-29, Capturado el: 26/05/2016.

Sarasola, R. M. (1998). *Las Voces de la Yerba Mate. Breve vocabulario ilustrado*. Editorial Universitaria. Universidad Nacional de Misiones. Posadas. 110p.

Schmalko, M. E.; Maciel, S. y Delfederico, L. E. (2003). Estudio de la Eficiencia Energética de un Secadero de yerba mate. 3° Congresso Sul-Americano da Erva Mate; Chapecó, Brasil 16 al 19 de Noviembre. Disponible en CD.

Schmalko, M. E. (2005). Estudio y modelado del procesamiento primario de la Yerba Mate. Tesis de Doctorado de la Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. N° de páginas.

Schmalko, M. E.; Scipioni, P. G. y Ferreyra, D. J. (2005). Effect of Water Activity and Temperature in Color and Chlorophylls Changes in Yerba Maté Leaves. *International Journal of Food Properties* 8, p. 313-322.

Schubert, A.; Zanin, F. F.; Pereira, D. F. y Athayde, M. L. (2006). Variação anual de metilxantinas totais em amostras de *Ilex paraguariensis* St. - Hil. (ervamate) em Ijuí e Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. *Quimica Nova*. 29 (6), p. 1233-1236.

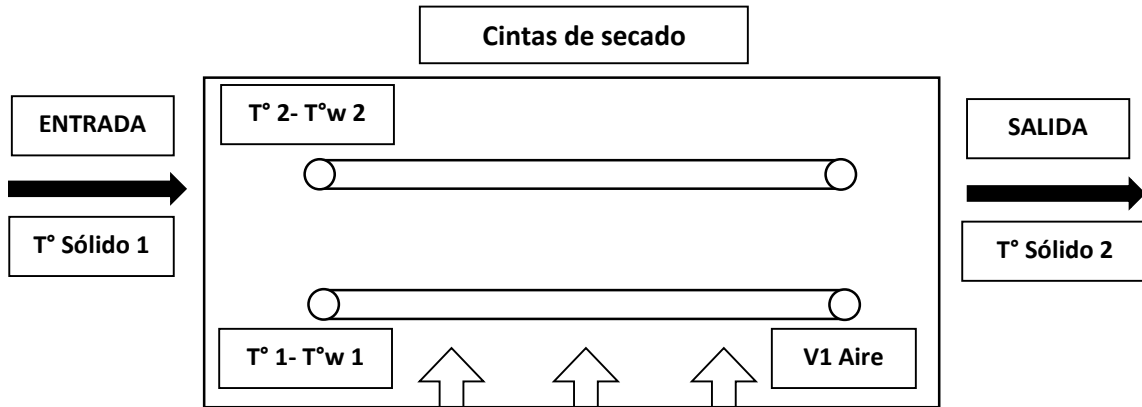
Sistema Argentino de Información Jurídica. (2012). Decreto Reglamentario De La Ley VII - Nro.106. Disponible en: <http://www.saij.gob.ar/1226-local-misiones-decreto-reglamentario-ley-xvi-nro-106-instituye-marco-regulatorio-recursos-dendroenergeticos-renovables-ambito-provincia-misiones-n20120001226-2012-08-24/123456789-0abc-622-1000-2102nvorpced>. Capturado el 26/05/2016.

Woniaczuk, M. I. y Schmalko, M. E. (2005). Estudio de la Variabilidad de los Parámetros de Calidad de la Yerba Mate Elaborada en Diferentes Establecimientos. X Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Mar del Plata 18 al 20 de Mayo.

Anexos

Anexo 1: Planilla para la toma de los datos de eficiencia en los distintos secaderos.

Etapas: SECADERO



Tipo de secadero: Cintas (SC1).

T°1: 311°C

T°2: 75°C

T°w1: 59°C

T°s2: 97,7°C

T°s1: 64°C

T°w2: 40°C

V1 Aire: 27 m/10 seg

(12 boquillas- 30 cm de diámetro)

Tipo de secadero: Cintas (SC2).

Etapas: SECADERO

T°1: 392.5

T°2: 50 °C

T°w1: 69°C

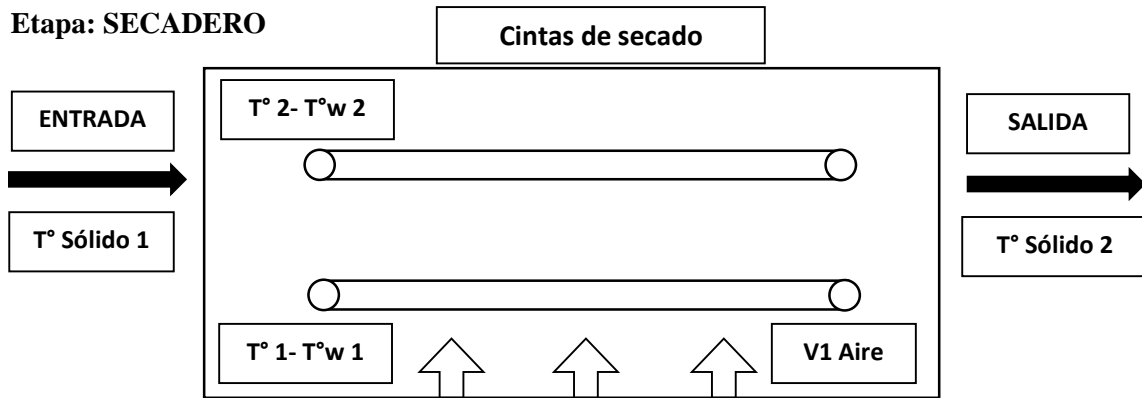
T°s2: 68.5 °C

T°s1: 35°C

T°w2: 32 °C

V1 Aire: 25 m/5 seg. (12 boquillas- 30 cm de diámetro)

Etapa: SECADERO



Tipo de secadero: Barbacué (SB1)

T°1: 360 °C

T°2: 53°C

T°w1: 70°C

T°s2: 80°C

T°s1: 63°C

T°w2: 29°C

V1 Aire: 85 m/15 seg. (12 boquillas- 30 cm de diámetro)

Tipo de secadero: Barbacué (SB2)

T°1: 424°C

T°2: 66°C

T°w1: 68°C

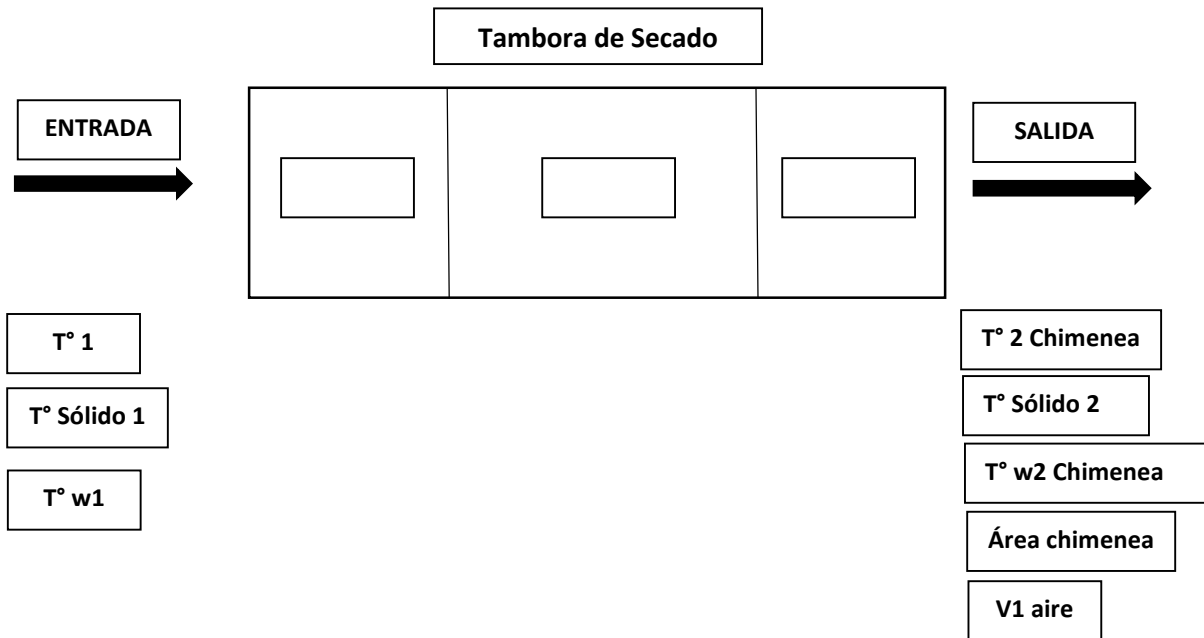
T°s2: 100°C

T°s1: 76,5°C

T°w2: 37°C

V1 Aire: 10 m/5 seg (8 boquillas- 30x35 cm)

Etapas: SECADERO



Tipo de secadero: Rotativo – Tubos (SR1).

T°1: 350°C

T°2: 79°C

T°s1: 61,5°C

T°s2: 74°C

T°w1:

T°w2: 47°C

V1 aire: 6-10-15 m/10 seg

Área Chimenea: chapa 2.37x0.77

Tipo de secadero: Rotativo – Tubos (SR2).

T°1: 272°C

T°2: 79.8°C

T°s1: 69.2°C

T°s2: 71°C

T°w1:

T°w2: 50°C

V1 aire: 23/25m/seg

Área Chimenea: 0.61x0.61: 0.372 m²

Anexo 2: Diagrama psicrométrico

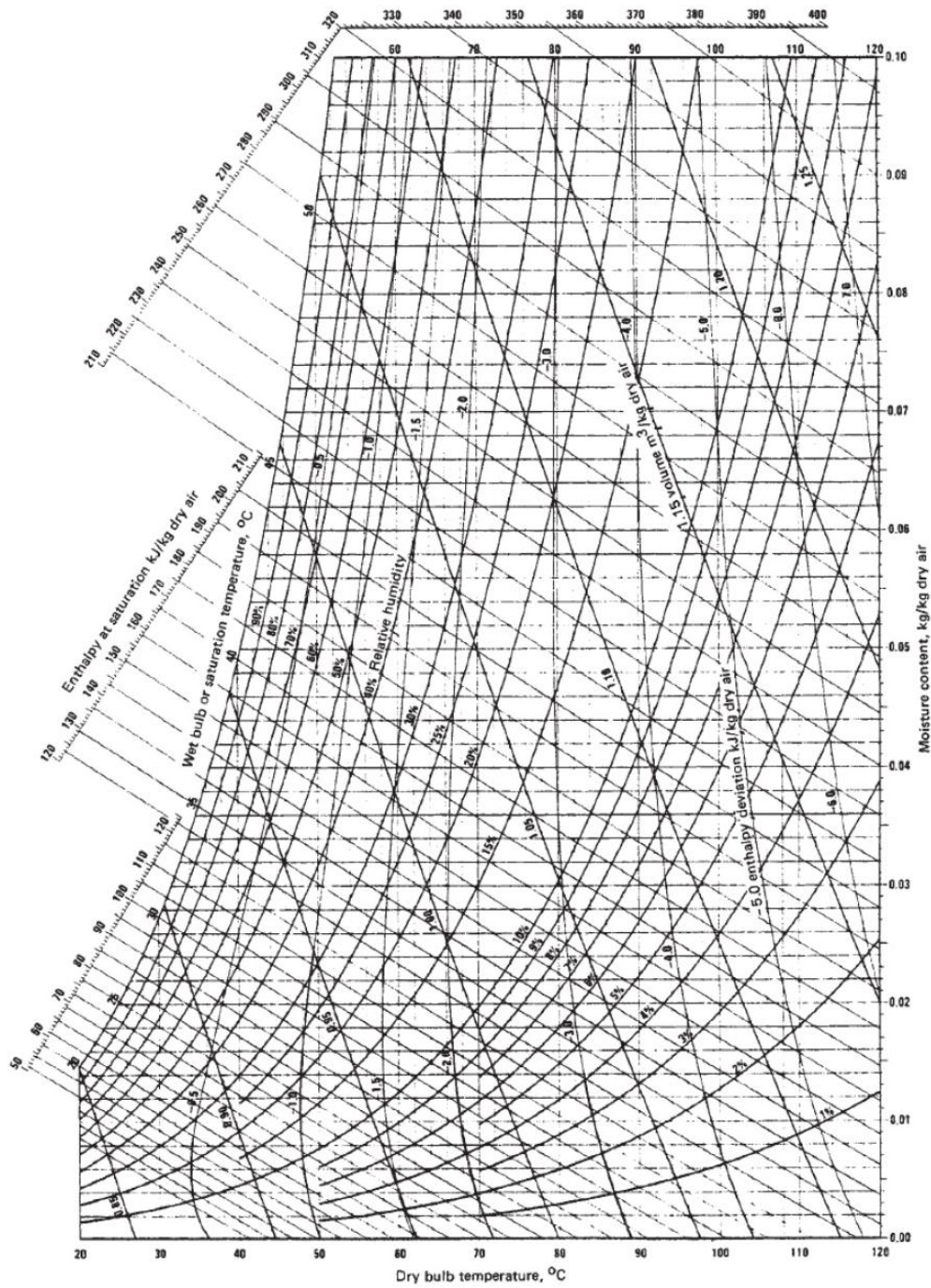
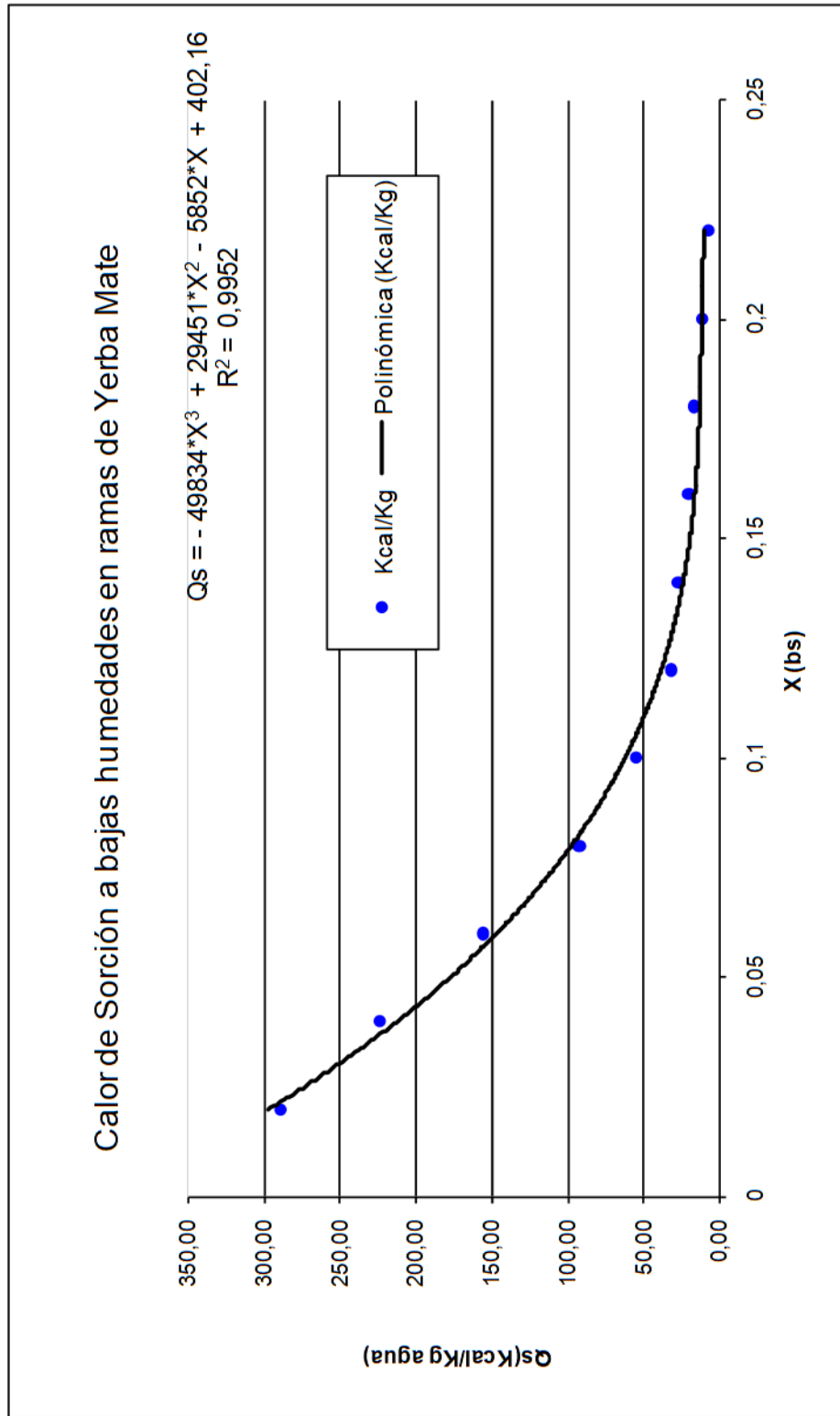


FIG. 12-36 Psychrometric chart: properties of air and water-vapor mixtures from 20 to 120°C. (Carrier Corp.)

Anexo 3: Calor de sorción en ramas a bajas humedades.



Anexo 4: Publicaciones

Arndt, G. M.; Molina, S. P.; Holowaty, S. A.; Schmalko M. E. (2017). Calidad fisicoquímica del producto elaborado en tres sistemas de transformación primaria de yerba mate. Anais do VII Congresso Sul-Americano da Erva-Mate. Erechim, RS, Brasil.16-18 de Mayo. ISBN 978-85-7892-121-7. Disponible en la web:

http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS_ERVA_MATE_2017.pdf

CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL PRODUCTO ELABORADO EN TRES SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN PRIMARIA DE YERBA MATE

Guillermo M. Arndt; Sandra P. Molina; Santiago Holowaty; Miguel E. Schmalko.

Resumen: La transformación primaria de la yerba mate comprende una serie de pasos secuenciados: zapecado, secado, canchado, embolsado y almacenamiento en los noques o cámaras de estacionamiento. Los sistemas de secado que más se utilizan son el Secadero Barbacuá (SB), Secadero a Cintas (SC) y secadero Rotativo (SR). Estos se caracterizan por tener una amplia variabilidad, en cuanto a la estructura, los sistemas de secado que utilizan, la forma de operarlos, la temperatura del aire y/o el tiempo de residencia. Las distintas condiciones operativas de cada sistema, llevó a pensar si las propiedades fisicoquímicas y parámetros de calidad se ven afectados de diferente manera según el tipo de secado al que fue sometida la yerba mate. El objetivo fue comparar la calidad fisicoquímica de yerba mate canchada obtenida de los tres sistemas de secado. El trabajo se llevó a cabo en seis secaderos de yerba mate, los cuales fueron seleccionados de la Zona Centro-Sur de la Provincia de Misiones, siendo dos SB, dos SC y dos SR. En cada establecimiento se tomaron muestras de yerba mate canchada, con ellas se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: Humedad, pH, Color, Cenizas totales, Extracto acuoso, Polifenoles totales (CPT) y Cafeína. Se analizaron los resultados obtenidos mediante comparaciones de medias. Solamente se encontraron diferencias significativas en el contenido de polifenoles. Los mayores valores de CPT se registraron en el SB, seguido por SR y SC. En los parámetros de color b y Chroma se aprecia que el SB registra los mayores valores, con diferencias significativas, respecto a los otros tipos de secado (SC y SR). No se encontraron diferencias significativas en los parámetros extracto acuoso, cafeína y pH del extracto obtenido en forma de mateada. Los valores de cenizas totales no difieren entre SB y SC, pero son significativamente menores que las determinadas en SR.

Palabras clave: *Ilex paraguariensis*. Sistemas de secado. Polifenoles. Cenizas.

Arndt, G. M.; Ricci, M. F.; Tetzlaff, J. G.; Holowaty, S. A. (2017). Estudio de la eficiencia térmica en tres tipos de secaderos de yerba mate. Anais do VII Congresso Sul-Americano da Erva-Mate. Erechim, RS, Brasil.16-18 de Mayo. ISBN 978-85-7892-121-7. Disponible en la web: http://www.uricer.edu.br/site/publicacoes/ANAIS_ERVA_MATE_2017.pdf

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN TRES TIPOS DE SECADEROS DE YERBA MATE

Guillermo M. Arndt; Marcelo F. Ricci; Jonatan G. Tetzlaff; Santiago A. Holowaty

Resumen: La diferencia en los métodos de procesamiento radica en el sistema de secado adoptado en la etapa, posterior al zapeado, que es similar en todos los establecimientos industriales: las ramas de yerba mate cosechadas se someten a inactivación enzimática, dentro de tambores rotatorios, horizontales con aspas internas, flujo paralelo, con elevada temperatura y corto tiempo de residencia. El objetivo del trabajo fue estudiar la eficiencia térmica y la distribución energética de los equipos utilizados en la etapa de secado en tres establecimientos industriales. Los sistemas adoptados por cada uno fueron diferentes: Secado continuo en cinta, Secado continuo en tambor rotatorio, y secado por lotes (denominado Barbacué). Los tiempos de residencia son diferentes en todos los casos. Se determinaron variables requeridas para la realización de balances de masa y energía en las entradas y salidas de los equipos sólidos y gases, en estado estacionario. La eficiencia y la distribución energética de cada secadero se realizaron en relación a la energía calórica que ingresaba al sistema. La eficiencia se describió como la cantidad de agua evaporada en relación al calor aportado al sistema. Los resultados se compararon con datos de sistemas eficientes obtenidos de la bibliografía. Se determinaron valores de eficiencia bajos en relación a la bibliografía. El secado en cinta mostró valores de 23,3 % de eficiencia, el secadero rotatorio alcanzó valores más bajos, de 19,5 % mientras que el sistema barbacué no superó el 14 % de eficiencia. Los calores de pérdidas fueron elevados, ya que una parte importante de la energía aportada por los gases de combustión al sistema, se utiliza para precalentar aire y enriquecer las corrientes gaseosas. Los porcentajes de corrientes gaseosas de salida resultaron elevados, con un alto contenido de humedad y baja temperatura, lo que no permitiría la posibilidad de reutilizar parte de estas corrientes para recirculación o precalentamiento.

Palabras clave: yerba mate, secado, eficiencia térmica.

Arndt, G. M. (2017). Calidad del producto obtenido y eficiencia de secado en tres sistemas de transformación primaria de yerba mate. I Jornada de divulgación sobre investigación, desarrollo e innovación tecnológica en la elaboración de yerba mate. Oberá. 07 de Noviembre. Disponible en la web: <http://www.inym.org.ar/secaderos-de-yerba-hacia-una-mayor-eficiencia-y-calidad/>

CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO Y EFICIENCIA DE SECADO EN TRES SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN PRIMARIA DE YERBA MATE

Ing. Agr. Guillermo Arndt – Equipo Yerba Mate y Té - E.E.A. INTA, Cerro Azul.

Los sistemas de secado que más se utilizan en el procesamiento de la yerba mate son el secadero Barbacué (SB), secadero a Cintas (SC) y secadero Rotativo (SR). Estos se caracterizan por tener una amplia variabilidad, en cuanto a la estructura, los sistemas de secado que utilizan, la forma de operarlos, la temperatura del aire y/o el tiempo de residencia. Las distintas condiciones operativas de cada sistema, llevó a plantear si las propiedades fisicoquímicas y parámetros de calidad microbiológicos se ven afectados de diferente manera según el tipo de secado al que fue sometida la yerba mate, como así también la eficiencia de cada sistema. El objetivo fue caracterizar y comparar los tres sistemas de secado de yerba mate desde el punto de vista de la eficiencia energética y calidad del producto elaborado. El trabajo se llevó a cabo en seis secaderos de yerba mate, dos de cada tipo, los cuales fueron seleccionados de la Zona Centro-Sur de la Provincia de Misiones. En cada establecimiento se tomaron muestras de yerba mate canchada, con ellas se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: Humedad, pH, Color, Cenizas totales, Extracto acuoso, Polifenoles totales (CPT) y Cafeína. Se analizaron los resultados obtenidos mediante comparaciones de medias. Para los análisis microbiológicos se tomaron muestras de Hoja verde (HV) y Yerba mate canchada (YMC) en cada secadero y se realizaron los métodos propuestos por la norma IRAM 20517 (2007) para bacterias y hongos.

Para evaluar la eficiencia de cada secadero, se determinaron variables requeridas para la realización de balances de masa y energía en las entradas y salidas de los equipos sólidos y gases, en estado estacionario. La eficiencia y la distribución energética de cada secadero se realizaron en relación a la energía calórica que ingresaba al sistema. La eficiencia se describió como la cantidad de agua evaporada en relación al calor aportado al sistema. Los resultados se compararon con datos de sistemas eficientes obtenidos de la bibliografía.

Al comparar los diferentes sistemas de secado se encontraron diferencias significativas en el contenido de polifenoles. Los mayores valores de CPT se registraron en el SB, seguido por SR y SC. En los parámetros de color b y Chroma se aprecia que el SB registra los mayores valores, con diferencias significativas, respecto a los otros tipos de secado (SC y SR). No se encontraron diferencias significativas en los parámetros extracto acuoso, cafeína y pH del extracto obtenido en forma de mateada. Los valores de cenizas

totales no difieren entre SB y SC, pero son significativamente menores que las determinadas en SR.

Analizando los resultados microbiológicos obtenidos, se observó una reducción general de la carga microbiana durante el procesamiento de la yerba mate, lo que podría deberse a las elevadas temperaturas a la que es sometida durante el zapeado y bajo contenido de humedad después del secado.

Se determinaron valores de eficiencia bajos en relación a la bibliografía. El secado en cinta mostró valores de 23,3 % de eficiencia, el secadero rotatorio alcanzó valores más bajos, de 19,5 % mientras que el sistema barbacuá no superó el 14 % de eficiencia. Los calores de pérdidas fueron elevados, ya que una parte importante de la energía aportada por los gases de combustión al sistema, se utiliza para precalentar aire y enriquecer las corrientes gaseosas. Los porcentajes de corrientes gaseosas de salida resultaron elevados, con un alto contenido de humedad y baja temperatura, lo que no permitiría la posibilidad de reutilizar parte de estas corrientes para recirculación o precalentamiento.

Arndt, G. M.; Molina, S. P.; Holowaty, S. A. (2018). Caracterización fisicoquímica de la yerba mate obtenida por tres tipos de secado. Libro de resúmenes de las Jornadas Científico Tecnológicas 2018 y Jornadas Científico Tecnológicas 45 aniversario de la Universidad Nacional de Misiones. Posadas. 9, 10 y 11 de Mayo. Disponible en la web: <http://jct.unam.edu.ar/images/Libro-de-resumenes-JCT-45--ANIVERSARIO-UNaM-2018.pdf>

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA YERBA MATE OBTENIDA POR TRES TIPOS DE SECADO

ARNDT, Guillermo M.; MOLINA, Sandra P.; HOLOWATY, Santiago A.

Equipo Yerba Mate y Té - E.E.A. INTA, Cerro Azul; FCEQyN – UNaM, Posadas.

Eje Temático: Ingeniería – Tecnología de los Alimentos

Resumen: Los sistemas utilizados en la etapa de secado de la yerba mate son del tipo Barbacué (SB), Cintas (SC) y Rotativo (SR). Dentro de cada uno de ellos, existe una gran variabilidad en cuanto a estructura, operatividad, variables de proceso, tiempo de residencia, etc. Estas diferencias, llevaron a plantear si las propiedades fisicoquímicas son afectadas por el sistema de secado. El objetivo del presente trabajo fue comparar los parámetros fisicoquímicos de calidad de yerba mate elaborada por los tres métodos de secados, respecto a un patrón comparativo de hoja verde (HV). En todos los casos se esperarían cambios por el efecto de la temperatura y el tiempo de tratamiento. Se pretende establecer en qué medida el tipo de secado afecta los atributos de calidad fisicoquímica.

Se seleccionaron seis secaderos en la zona Centro-Sur de Misiones. En cada uno de ellos se tomaron muestras de yerba mate canchada sin estacionamiento. Para establecer un patrón comparativo (HV), se tomaron muestras de hoja verde, que fueron sometidas a un tratamiento térmico (inactivación enzimática mediante microondas). En todas las muestras se determinó, el contenido de humedad, pH, color, cenizas totales, extracto acuoso, polifenoles totales (CPT) y cafeína. Se realizó un análisis de varianza y las comparaciones de medias con el test de Fisher.

Los resultados mostraron que el contenido de cafeína no presentó diferencias significativas entre los tratamientos de secado (BC, SC SR). Las diferencias fueron significativas entre el patrón HV y los tres tratamientos.

En cuanto al CPT, el SB presentó valores significativamente mayores a los demás tratamientos de secado, pero sin diferencias respecto al patrón HV. El extracto acuoso, las cenizas totales y el pH no difirieron entre los tratamientos de secado y tampoco respecto al patrón HV. El color a mostró diferencias significativas entre los tres tipos de procesamiento

y respecto al patrón, al igual que el parámetro HUE, siendo el SR el método de secado que conserva mejor el color verde de las muestras. En cambio los parámetros color L, color b, IP y chroma, no presentaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de secado y con respecto al patrón.

Se concluye que los sistemas de secado evaluados provocan modificaciones de los parámetros de calidad. El SR se caracteriza por conservar mejor el color verde, mientras que el SB mantiene mejor el contenido de polifenoles totales.

Palabras Calve: *Yerba Mate, Secado, Calidad Fisicoquímica.*