

DESARROLLO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE JUGO (ZUMO) DE LIMÓN (*CITRUS LIMON.*)

DEVELOPMENT OF A LABORATORY-SCALE PROCESS FOR THE PRODUCTION OF LEMON JUICE (*CITRUS LIMON.*)

Poul David Arends Gómez¹, Doris Eulalia Gómez Barahona¹, Paul Arends Sánchez¹, Julio Pineda-Insuasti², Alejandro Pineda-Soto².

¹ CITRONSAFT S.A.S., Antonio Ante, Ecuador.

² Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente -CEBA. Ibarra, Ecuador.

Autor para correspondencia: asparends@gmail.com

Recibido: 22/10/24

Aceptado: 22/11/24

Publicado: 22/11/24

RESUMEN

Existe limitado conocimiento sobre la optimización del proceso escala de laboratorio para la producción de jugo de limón, se estudió el proceso de estabilización del jugo por el método de pasteurización, la investigación se realizó con un diseño experimental factorial 2² se consideró como factores de estudio la temperatura y el tiempo, se logró un óptimo de SDT igual a 233,33 ppt cuando se trabaja con 121 °C y 15 min. Se ajustó un modelo matemático empírico que relaciona SDT con los factores estudiados, lo que permite optimizar el proceso. Se recomienda continuar con la investigación en las escalas de banco y piloto.

Palabras clave: Limón, jugo, zumo, extracción, estabilidad.

ABSTRACT

There is limited knowledge about the optimization of the laboratory scale process for the production of lemon juice. The stabilization process of juice by the pasteurization method was studied. The research was carried out with a 22 factorial experimental design, temperature and time were considered as study factors. An optimum TDS equal to 233.33 ppt was achieved when working with 121 °C and 15 min. An empirical mathematical model was adjusted that relates TDS with the studied factors, which allows the optimization of the process. It is recommended to continue with the research on the bench and pilot scales.

Keywords: Lemon, juice, extraction, stability.

INTRODUCCIÓN

Cítricos

En 1737, Linneo agrupó todas las especies de cítricos conocidas por él en el género Citrus. El término latino citrus procede de la palabra griega

kedros, que se utiliza para denominar árboles como el cedro, el pino y el ciprés. El término fue usado para denominar al cidro porque el olor de sus hojas y sus frutos recordaba al del cedro. Este aroma característico procede de aceites esenciales contenidos en glándulas oleíferas situadas debajo de la piel,

características de estas plantas (Medina, 2014).

El origen de los cítricos es un tema controvertido y complejo, para el que existen diferentes hipótesis. En general, todas ellas parecen coincidir en que son originarios de las regiones tropicales y subtropicales del sureste de Asia y el archipiélago

Malayo y que, desde ahí, se dispersaron al resto de continentes.

La parte aérea de los árboles cítricos está formada por el tronco y ramas principales, a su vez con diversas ramificaciones. En estas ramificaciones es donde se asientan hojas, flores y frutos. Muchas variedades presentan espinas en las ramas, que pueden ser de tamaño bastante considerable y que varían en función de la edad del ejemplar. Los árboles pueden alcanzar una altura que oscila entre 3 y 15 metros. En los cítricos cultivados, la parte inferior del tronco se corresponde con el patrón o portainjertos, sobre el que se asienta la variedad.

El fruto cítrico es una baya especializada llamada hesperidio, un fruto dividido en varias secciones o segmentos, cada uno de ellos envuelto por una membrana. Surge como consecuencia del crecimiento del ovario y se caracteriza por tener alrededor de diez unidades carpelares carnosas (gajos) unidas alrededor de un eje central, donde se sitúan las semillas dispuestas en forma radial en el centro del fruto.

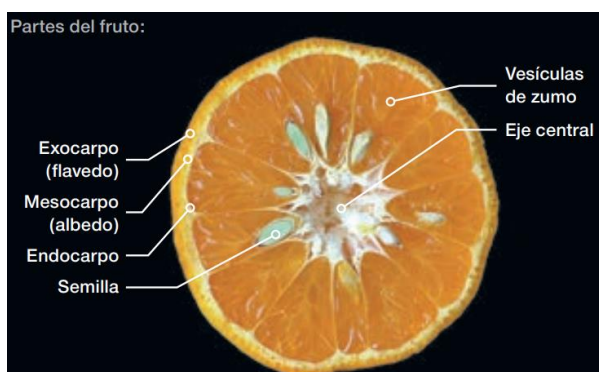


Figura 1. Fruto cítrico

Fuente: Monografías del Jardín Botánico

Las especies de mayor interés desde el punto de vista agronómico son las siguientes:

- Lima mejicana (*C. aurantifolia* (Christm.) Swing)
- Lima Tahití (*C. latifolia* L.)
- Naranja amargo (*C. aurantium* L.)
- Zamboa o pummelo (*C. maxima* (L.) Osb.)
- **Limonero (*C. limon* (L.) Burn.)**
- Pomelo (*C. paradisi* Macf.)
- Mandarina (*C. reticulata* Blanco)
- Naranja dulce (*C. sinensis* (L.) Osb.)
- Clementina (*C. clementina* Hort.)
- Satsuma (*C. unshiu* (Mak.) Marc.)

El limón

Citrus limon (L.) Burm. f.

Nombre común: Limonero.

Las últimas investigaciones indican que podría tratarse de un cruce directo entre naranja amargo y cidro. El origen del limón es un misterio, pero podría localizarse en el noroeste de la India, norte de Birmania y China.

El limonero es un árbol de tamaño medio a grande, vigoroso, y con hábito de crecimiento abierto. Presenta abundantes espinas pequeñas en las ramas. Las brotaciones jóvenes son de color púrpura intenso. Hojas grandes de color verde pálido, que desprenden un agradable aroma a limón al estrujarlas. Forma del limbo elíptica y margen dentado. Pecíolo no alado o con presencia de alas muy pequeñas. Flores grandes, de pétalos color púrpura, anteras amarillas y en gran porcentaje estaminadas por aborto del pistilo. El fruto es de color amarillo claro, elipsoidal, con un mamelón más o menos pronunciado en la zona apical. Corteza lisa o ligeramente rugosa. Puede presentar cuello en la base del fruto. Pulpa amarilla y jugosa, muy ácida. Eje central sólido o semisólido. Presenta semillas con un grado de poliembriónía bajo.



Figura 2. Citrus limon
Fuente: Monografías del Jardín Botánico

Propiedades y usos

Del limón se usa principalmente el zumo y los aceites esenciales. El primero, como ingrediente para la limonada y otras bebidas refrescantes, así como en repostería y restauración; los aceites, tanto de la hoja como del fruto, en perfumería. En el pasado tuvo gran importancia en la navegación marítima para prevenir el escorbuto, enfermedad provocada por la falta de vitamina C. El jugo de limón es ampliamente conocido como diurético, astringente y febrífugo. La madera es compacta y fácil de trabajar. En México se usa para tallar piezas de ajedrez, juguetes, pequeñas cucharas y otros artículos (Medina, 2014).

El limón fresco es muy bajo en calorías, a la vez que son una buena fuente de potasio y vitamina C. La carencia de vitamina C causa el escorbuto, un estado potencialmente fatal del que raramente se dan casos hoy en día. James Lind, un médico naval británico, demostró en 1747 que el consumo de cítricos aliviaba rápidamente el escorbuto, una enfermedad causada por la falta de vitamina C en el organismo. Se considera que la vitamina C reduce la formación de nitrosamina en el intestino. La nitrosamina es un componente cancerígeno causado por la reacción del nitrito con las aminas en los alimentos. Estudios epidemiológicos indican que el cáncer de estómago es menos frecuente en aquellos cuya dieta es rica en vitamina C, y que también mejora las funciones inmunológicas. Además de la vitamina C, el limón aporta el complejo

vitamínico B, vitamina E, potasio, magnesio, calcio y fósforo, además de, en menor medida, cobre, zinc, hierro y manganeso. Se considera que el limón también contiene fitoquímicos que pueden disminuir la incidencia del cáncer, como los flavonoides, cumarinas, D-limoeno y terpenos (Statista, 2024).

Producción mundial

El principal país productor es México seguido de la India. El limón es probablemente originario del sur de la China donde se rinde culto al fruto siendo un símbolo de la felicidad, y se cultiva en Asia desde hace más de 2.500 años. Una vez extendido el cultivo por la China llegó a la zona del actual Irán. Fueron los árabes a partir del siglo X quienes lo difundieron por la cuenca mediterránea, por el este hacia Grecia y por el oeste hacia España. Actualmente se producen limones en todas las áreas tropicales y templadas del planeta. (Interempresas Media, S.L., 2024).

India encabezó la clasificación mundial de productores de limones y limas en 2021, al registrar un volumen de producción de aproximadamente 3,5 millones de toneladas métricas. México y China se situaron en segunda y tercera posición, respectivamente (Statista, 2024).

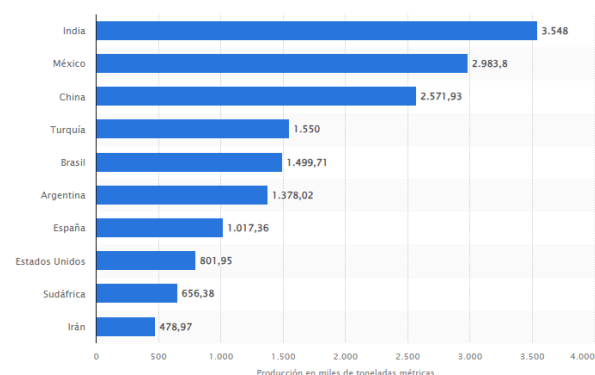


Figura 3. Ranking de los mayores países productores de limones y limas a nivel mundial en 2021 (en miles de toneladas métricas)
Fuente: Statista 2024

Producción Ecuador

En el mundo existen algunas variedades de limón (Citrus limón), entre las que destacan

las siguientes: Verna, Fino o Primofiori, Eureka y Lisbon, que se diferencian entre sí por su contenido de zumo, la textura y grosor de su corteza, su color y la presencia o no de semillas. Sin embargo, las variedades más comercializadas en el mundo son conocidas como limas ácidas, éstas son: el limón Tahití o persa (*Citrus latifolia*) y el limón agrio o mexicano (*Citrus aurantifolia*). La diferencia entre los dos es que el primero no tiene semillas y es menos ácido que el segundo (García, 2014).

En Ecuador se cultivan básicamente el limón "Sutil" para el consumo local y el limón "Tahití" para la exportación. Entre ambas hay 4405 hectáreas, en monocultivo, en 3257 unidades de producción agropecuarias (UPA's). Según el último Censo Agropecuario del año 2002, principalmente en las provincias de Pichincha, Manabí y Guayas; en las dos últimas se concentra la producción de limón Tahití.

Los requisitos del limón, como fruta fresca se definen en la norma técnica ecuatoriana INEN 1757, esta norma establece los requisitos que debe cumplir el limón destinado tanto para consumo en estado fresco, después de su acondicionamiento y envasado, como para procesamiento industrial, que se comercialicen dentro del territorio ecuatoriano. Esta norma se aplica a la variedad de limón Tahití (*Citrus aurantifolia* T.), limón sutil (*Citrus Aurantifolia Swingle*), limón meyer (*citrus lemon*).

Fruto fresco. Producto que, luego de la recolección, no ha sufrido cambio alguno que afecte su maduración natural y mantiene sus cualidades organolépticas. Independiente del calibre y del color, el fruto se clasifica en Grado Extra, Grado I y Grado II. El calibre se determina por el diámetro en cm de la sección ecuatorial y polar de la fruta y la masa expresada en g, se clasifica en pequeño, mediano y grande según la variedad. Respecto a la madurez se clasifica en verde pintón y

maduro dependiendo de la acidez titulable % (ácido cítrico) (INEN, 2008).

Limón Tahítí. (*Citrus aurantifolia* T.) No se conoce el origen específico del limón Tahítí; se presume que es un híbrido entre *Citrus aurantifolia* Swingle y otras especies de cítricos. No es un limón propiamente, sino que corresponde a una variedad de la clasificación botánica de limas ácidas. El fruto es de forma redonda-ovalada. La piel es verde a verde oscuro a la madurez y cambia a amarillo cuando está sobre maduro. La cáscara es fina y la pulpa no contiene semillas.

Limón sutil. (*Citrus Aurantifolia Swingle*) Su forma es redonda con un ápice ligeramente deprimido, de color verde oscuro al principio a verde amarillento o amarillo en la madurez; su piel es delgada y se rompe fácilmente; la pulpa es verdosa, jugosa y muy ácida; las semillas son ovals y poliembriónicas.

Limón meyer. (*citrus lemon*) Es un híbrido entre naranja y limón, su forma es redondeada, de piel lisa y gruesa, de color verde hasta color amarillo en su madurez completa, la pulpa es verde amarillenta jugosa y medianamente ácida, se caracteriza por su alto contenido de pectina.

Derivados

Entre los principales derivados del limón tenemos el jugo (zumo), pulpa, aceites esenciales, D-limoneno y pellets (ZUVAMESA, 2024).

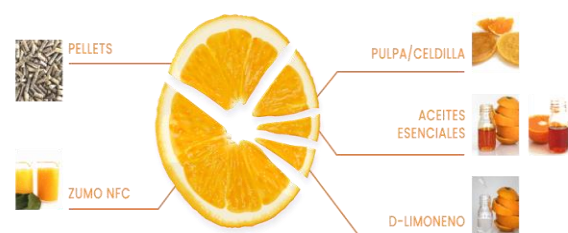


Figura 4. Derivados del limón

Fuente: Zuvamesa

Jugo (zumo) de limón

Según la NTE INEN 2337, el jugo (zumo) de fruta, es el producto líquido sin fermentar, pero susceptible de fermentación, obtenido por procedimientos tecnológicos adecuados, conforme a prácticas correctas de fabricación; procedente de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o, a partir de frutas conservadas por medios físicos (INEN, 2008). El jugo puede ser turbio, claro o clarificado y debe tener las características sensoriales propias de la fruta de la cual procede.

La conservación del producto por medios físicos puede realizarse por procesos térmicos: pasteurización, esterilización, refrigeración, congelación y otros métodos adecuados para ese fin; se excluye la radiación ionizante (NTE INEN 2 337).

La conservación de los productos por medios químicos puede realizarse mediante la adición de las sustancias indicadas en la tabla 15 de la NTE INEN 2074. Los productos conservados por medios químicos deben ser sometidos a procesos térmicos. El contenido mínimo de sólidos solubles presentes en el jugo de limón debe ser 4,5 (°Brix).

Propiedades y Usos

Zumo NFC viene del término inglés Not From Concentrate; el zumo es fabricado directamente de exprimir la fruta. Durante el proceso, el zumo se separa de la pulpa, la corteza y las semillas y se envasa en aséptico. El zumo de limón NFC Brix 7 min, acidez 4,5-6,0 (Baorproducts, 2024). El limón es una fuente importante de vitamina C y flavonoides, que tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Su bajo contenido calórico y su capacidad para estimular la digestión hacen del zumo de limón una opción refrescante y saludable.

Usos

Industria de alimentos y bebidas: Aditivo alimentario: El zumo de limón se utiliza como aditivo para proporcionar sabor ácido y mejorar la frescura de diversos productos alimentarios, como salsas, aderezos, bebidas

carbonatadas, helados y productos de panadería.

Industria de la conserva: Conservación de alimentos: El ácido cítrico presente en el zumo de limón actúa como conservante natural, ayudando a preservar frutas, verduras y otros alimentos enlatados. También se usa para evitar la oxidación y el oscurecimiento de frutas y verduras cortadas (Baorproducts, 2024).

Industria de la confitería: El zumo de limón puede utilizarse para dar sabor y acidez a caramelos, chicles y otros productos de confitería.

Industria de la coctelería y bebidas: El zumo de limón es un ingrediente esencial en la preparación de cócteles y bebidas mixtas. Se usa en bebidas alcohólicas como el mojito, la margarita y el daiquiri, así como en bebidas sin alcohol como la limonada y el refresco de limón. Además, también es utilizado para otros usos no alimentarios, como limpieza o farmacéutica.

Procesos

La determinación de la calidad y autenticidad de los zumos de frutas se regulan por el Código de Prácticas (CoP) de la Asociación Europea de Productores de Zumos de Frutas AIJN (por sus siglas en inglés (European Fruit Juice Association)).

El zumo NFC, se trata de un zumo exprimido directamente de limones mediante medios mecánicos, el término NFC hace referencia a las palabras «not from concentrate» que significa que este elaborado a partir de fruta, no a partir de concentrado. Esto indica que el zumo se produce extrayendo el jugo directamente de la fruta y esterilizándolo sin necesidad de un proceso de reducción o concentración en su cadena de producción (AIJN, 2024).

La Guía de Referencia para el Jugo de Limón busca definir varios parámetros de aceptabilidad para el jugo de limón como los parámetros que caracterizan la calidad absoluta y se consideran obligatorios para todos los zumos de limón comercializados en

la Unión Europea y diversos criterios relevantes para la evaluación de la identidad y la autenticidad:

- El jugo de limón se elabora a partir de *Citrus limon* (L.) Burm. Lf.
- El jugo de limón puede ser turbio o transparente. La pulpa de la fruta (células flotantes, pulpa gruesa) se puede volver a agregar al jugo obtenido a partir del concentrado en su cantidad natural.
- Como la mayoría de la fruta se procesa para obtener jugo, los valores en esta guía de referencia se expresan en términos de volumen, por ejemplo, en g o mg/l.
- Están permitidos los tratamientos y procesos regulados por la Directiva de zumos de frutas.
- Para la reconstitución de jugos de frutas concentrados se debe utilizar agua potable.
- El uso de aditivos está regulado por la legislación horizontal de la UE.

Básicamente existen dos técnicas utilizadas en la industria para la extracción de zumos de cítricos, la FMC, desarrollada por la empresa norteamericana Food Machinery Company, y la Zumex, desarrollada por la empresa española Máquinas y Elementos S. A. (Pedro Pássaro, 2012).

Tecnología FMC

Es el tipo de extractor más utilizado a escala industrial, en la extracción de zumos de cítricos para la elaboración de concentrados. El principio de funcionamiento se basa en la separación instantánea de los elementos constituyentes del fruto (piel, membrana, semillas y otros productos no deseables) que, de permanecer demasiado tiempo en contacto con el zumo, pueden tener una influencia adversa para la calidad final del producto. La extracción rápida evitará que pasen al zumo sustancias procedentes de las semillas, membranas y corteza que pueden producir amargor y sabores extraños. Como resultado se obtiene un zumo de gran calidad. El proceso se realiza muy rápidamente, ya que estos extractores pueden alcanzar casi 100 ciclos por

minuto. La selección del tamaño de las copas se hace en función del rango de tamaños de la fruta a procesar (Pedro Pássaro, 2012).

Tecnología Zumex

Este tipo de máquinas extractoras se utilizan principalmente para la obtención de zumo fresco a pequeña y mediana escala. Su principio de funcionamiento, es bastante simple y se basa en partir el fruto por la mitad y hacer pasar las mitades entre dos cilindros giratorios que presionan el fruto y extraen el zumo.

Patentes

La patente WO2015097542A1 OMPI (PCT), sobre producto y proceso de estabilización del zumo de limón, establece el proceso de estabilización del jugo de limón es a través de un proceso mediante el cual el limón después de ser desinfectado es cortado para la extracción del jugo de limón, no sin antes ser separado sus aceites naturales contenidos dentro de sus cáscaras al igual se separan sus semillas, para posteriormente ser expuestas a un rango de tiempo y temperatura determinado, para luego ser enfriado a unas temperaturas determinadas generándose un choque térmico, para así agregarle los estabilizantes y antioxidantes para así pasar a ser envasado (Colombia Patente nº WO2015097542A1, 2015).

Según la patente ES2363018T3 para extraer zumo de un material vegetal triturado que contiene glucósidos terpénicos, caracterizado el proceso por las etapas de: a) Triturar un material vegetal que comprende glucósidos terpénicos; b) Blanquear el material vegetal triturado en agua acidificada, con un pH inferior a 4,5 y una temperatura de al menos 85 °C, para obtener un extracto de zumo y un residuo de sólidos vegetales; c) Separar el extracto de zumo del residuo de sólidos vegetales; d) Mezclar una enzima seleccionada del grupo que consiste en pectinasa, amilasa, y mezclas de las mismas, tanto con el extracto de zumo como con el residuo de sólidos vegetales; e) Separar el extracto de zumo de la

etapa (d) para obtener un zumo dulce; f) Separar el residuo de sólidos vegetales que comprende la enzima, para obtener un extracto adicional de zumo y un residuo adicional de sólidos vegetales, en donde el extracto adicional de zumo se añade al extracto de zumo de la etapa (e) antes de separar el extracto de zumo para obtener un zumo dulce (EEUU Patente nº ES2363018T3, 2007).

El zumo de limón que incluye sólidos insolubles en agua, en el que la mediana del diámetro de los sólidos insolubles en agua es de entre 25 mm y 180 mm, inclusive, en el que el diámetro medio de partícula de los sólidos insolubles en agua es de entre 21 mm y 140 mm, inclusive, y en el que el zumo de limón es un zumo de limón al 100%, tal cual o concentrado y reconstituido, en el que zumo de limón al 100% significa un zumo de limón que puede obtenerse aplastando fruta de limón y preparando zumo exprimido o colado, con eliminación de la piel y las semillas, o un zumo de limón que puede obtenerse diluyendo una forma concentrada del zumo de limón para restablecerlo a la forma de zumo exprimido (Japón Patente nº WO/2017/115656, 2017).

Una bebida que contiene zumo de limón que comprende: (a) al menos un componente de aroma seleccionado entre el grupo que consiste en linalol, nonanal y decanal y (b) 1 ppb o más de al menos un fenilpropeno seleccionado entre el grupo que consiste en safrol, metileugenol y miristicina; presentando la bebida un contenido de zumo de fruta no menor de un 1 % y no mayor de un 30 % (Japón Patente nº WO/2016/104139, 2016).

Un método de clarificación de zumo de limón o similares, método que comprende tratar el zumo de limón a clarificar con enzimas pectolíticas producidas microbially en una cantidad que corresponde a una actividad pectolítica que comprende una actividad de pectinesterasa comprendida en el intervalo que va desde 5 PEU/kg de zumo hasta 75 PEU/kg de zumo y una actividad de poligalacturonasa comprendida en el intervalo

que va desde 300 PGU7kg de zumo hasta 4500 PGU/kg de zumo, y sílice coloidal de una cantidad correspondiente a entre 0,45 y 3 g de SiO₂ sólida/kg de zumo, en cualquier orden o simultáneamente, a una temperatura comprendida en el intervalo que va desde 10 a 50°C, almacenar el zumo de limón así tratado durante un período comprendido en el intervalo de 10 minutos a 5 horas, separar el zumo almacenado así tratado del precipitado y recoger el zumo clarificado (Dinamarca Patente nº 1535983, 1978).

Se identifica que existe limitado conocimiento sobre el proceso de producción del jugo de limón y su estabilización sin el deterioro o pérdida de sus propiedades nutricionales y principios activos de alto valor.

El objetivo de la investigación es desarrollar un proceso a escala de laboratorio para la producción de jugo (zumo) a partir del limón, mediante análisis de procesos, que permita el máximo aprovechamiento de las materias primas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudió a escala de laboratorio un proceso para la producción de jugo (zumo) de limón NFC (Not From Concentrate) a partir de fruta fresca de limón bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2337. El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de procesos químicos del Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente (CEBA), localizado en la ciudad de Ibarra, Ecuador a 2200 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 18 °C.

Materia prima

Como materia prima se utilizó la fruta fresca de limón meyer sin marca, suministrado por la empresa CITRONSAFT S.A.S., Antonio Ante, Ecuador, el cual se clasificó en Grado I, calibre grande (NTE INEN 1 757). (Figura 5).



Figura 5. Limón fresco. CITRONSAFT S.A.S

Diseño experimental y análisis estadístico

Como unidad experimental se estableció una muestra de 125 ml de jugo de limón fresco, como factores de estudio se seleccionó la temperatura de pasteurización en los niveles de 65 °C y 121 °C y el tiempo de pasteurización los niveles de 5 min y 15 min. Como parámetros de operación se estableció el grado I de la fruta, calibre grande, el pH y los azúcares (°Brix). La variable de respuesta seleccionada fue SDT (ppt). Como factores de ruido se identifica la cantidad de luz, la temperatura del ambiente y el clima.

Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS, para planificar un diseño experimental factorial multinivel estándar 2², con tres replicas, completamente aleatorio, con un total de 12 tratamientos. El diseño se ejecutó en 3 bloques y el orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado para aportar protección contra el efecto de variables ocultas.

Diseño Factorial Multinivel

Clase de diseño: Factorial Multinivel

Diseño Base

Número de factores experimentales: 2
 Número de bloques: 3
 Número de respuestas: 3
 Número de corridas: 12
 Grados de libertad para el error: 6
 Aleatorizar: Sí

| Factores | Bajo | Alto | Niveles | Unidades |
|-------------|------|-------|---------|----------|
| Temperatura | 65,0 | 121,0 | 2 | (°C) |
| Tiempo | 5,0 | 15,0 | 2 | (min) |

| Respuestas | Unidades |
|------------|----------|
| SDT | (ppt) |

Procedimiento Experimental

En la figura 6, se presenta el diagrama de flujo del proceso experimental.

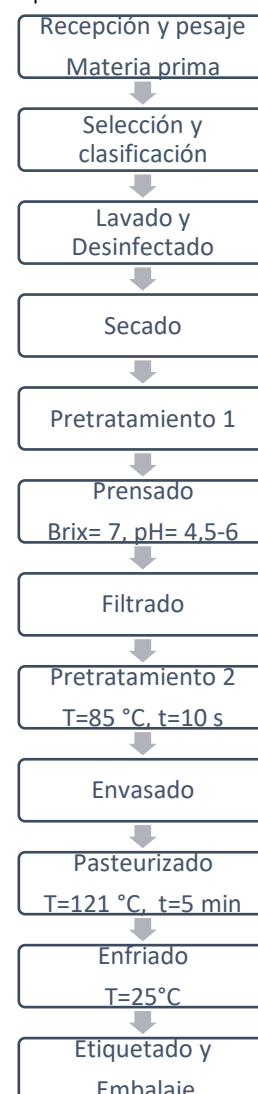


Figura 6. Diagrama de bloque producción de jugo (zumo) de limón NFC.

Se procedió a la recepción y pesaje de la materia prima en balanza digital marca TRUPER (figura 7).



Figura 7. Recepción y pesaje materia prima.

La selección y clasificación de la materia prima se realizó utilizando un calibrador universal (figura 8), se seleccionó el limón Grado I y calibre grande (NTE INEN 1 757).



Figura 8. Selección y clasificación

La fruta fresca se lavó con agua y detergente y se enjuagó con abundante agua para eliminar restos de detergente, se procedió al desinfectado con una solución de dióxido de cloro (ClO_2) grado alimento de marca BIODIVERSITY con una concentración de 50 ppm, se escurrió y se secó a temperatura ambiente (figura 9).



Figura 9. Lavado, desinfectado, escurrido y secado de la fruta.

La fruta fresca se sometió a un proceso de prensado manual en exprimidor de marca INDALRO (figura 10).



Figura 10. Exprimidor de limón.

Las muestras de jugo de limón extraído se filtraron través de un papel de filtro de celulosa gruesa de 0,3 micras con la ayuda de una bomba de vacío marca QUALITY QVP-500 (figura 11), a cada muestra filtrada se le calculó la eficiencia de extracción.



Figura 11. Filtrado de jugo de limón

El jugo de limón filtrado fue envasado en frasco de vidrio de color natural de 125 ml (figura 12).



Figura 12. Envasado jugo de limón

Las muestras de jugo de limón envasadas se pasteurizaron en pasteurizador de vapor automático marca STURDY, de acuerdo al diseño experimental (figura 13).



Figura 13. Pasteurización jugo de limón.

Luego de la pasteurización las muestras de jugo de limón se enfriaron a temperatura ambiente y se etiquetaron y almacenaron para estudio de caracterización y estabilidad. (figura 14).



Figura 14. Enfriado y etiquetado

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se presenta la matriz de resultados experimentales, como se puede observar se logra un mínimo de SDT de 224 ppt cuando se trabaja con 65 °C y 5 min de y un máximo de 233 ppt, cuando se trabaja 121°C y 15 min.

Tabla 1. Matriz de Resultados Experimentales

| BLOQUE | Temperatura (°C) | Tiempo (min) | SDT (ppt) |
|--------|------------------|--------------|-----------|
| 1 | 65 | 15 | 229 |
| 1 | 121 | 15 | 233 |
| 1 | 121 | 5 | 230 |
| 1 | 65 | 5 | 224 |
| 2 | 121 | 5 | 230 |
| 2 | 65 | 15 | 228 |
| 2 | 121 | 15 | 234 |
| 2 | 65 | 5 | 225 |
| 3 | 121 | 15 | 233 |
| 3 | 65 | 5 | 225 |
| 3 | 121 | 5 | 231 |
| 3 | 65 | 15 | 228 |

Fuente: Elaboración autor.

Análisis de Varianza para SDT

En la tabla 2 se presenta el análisis de varianza para SDT, el ANOVA particiona la variabilidad de SDT en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 2. Análisis de Varianza para SDT

| Fuente | Suma de Cuadrados | G | Cuadrado Medio | Razón n-F | Valor -P |
|----------------|-------------------|---|----------------|-----------|----------|
| A: Temperatura | 85,3333 | 1 | 85,3333 | 204,80 | 0,0000 |
| B: Tiempo | 33,3333 | 1 | 33,3333 | 80,00 | 0,0001 |
| AB | 0,333333 | 1 | 0,333333 | 0,80 | 0,4055 |
| bloques | 0,166667 | 2 | 0,083333 | 0,20 | 0,8240 |
| Error total | 2,5 | 6 | 0,416667 | | |

| | | | | | |
|---------------|---------|---|--|--|--|
| Total (corr.) | 121,667 | 1 | | | |
| | | 1 | | | |

Coefficiente de regresión para SDT

En la tabla 3 se presenta el coeficiente de regresión para SDT,

Tabla 3. Coeficiente de regresión para SDT

| Coeficiente | Estimado |
|----------------|-------------|
| constante | 215,869 |
| A: Temperatura | 0,107143 |
| B: Tiempo | 0,444048 |
| AB | -0,00119048 |

Fuente: elaboración propia

La ecuación de regresión o modelo ajustado a los datos es la siguiente:

$$SDT = 215,869 + 0,107143 * Temperatura + 0,444048 * Tiempo - 0,00119048 * Temperatura * Tiempo$$

Optimización de la Respuesta

En la tabla 4, se muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza los valores de SDT sobre la región indicada.

Meta: maximizar SDT

Valor óptimo = 233,333

Tabla 4. Optimización

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|-------------|------|-------|--------|
| Temperatura | 65,0 | 121,0 | 121,0 |
| Tiempo | 5,0 | 15,0 | 15,0 |

Fuente: Elaboración autor-

En la figura 15, se presenta el Diagrama de Pareto Estandarizada para SDT, como se puede observar, la temperatura y el tiempo son significativos, por lo cual dichos factores deben conservarse en el modelo matemático empírico.

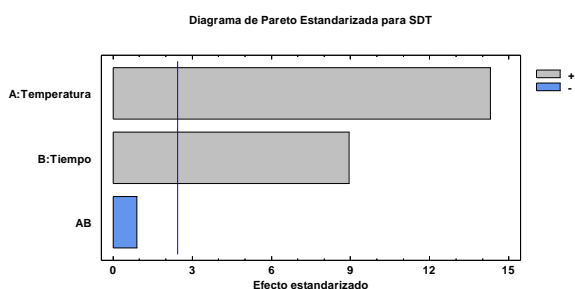


Figura 15. Pareto Estandarizada para SDT

En la figura 16, se presenta la Superficie de Respuesta Estimada para SDT, en la cual se puede observar que el punto máximo logrado de SDT equivalente a 233 ppt se logra con 121 °C y 15 min.

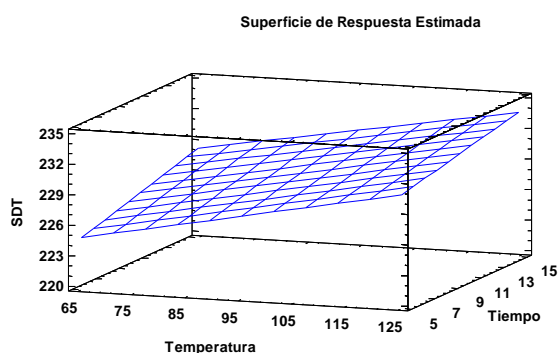


Figura 16. Superficie de respuesta estimada

Análisis químico

En la tabla 5, se presenta el análisis químico de una muestra del Jugo de Limón producido a escala de laboratorio. Se observa un perfil

nutricional muy importante para varias aplicaciones.

Tabla 5. Análisis químico Jugo de Limón

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|--------------------------|---------|-------------|
| Sólidos solubles (20 °C) | °Brix | 6,50 ± 0,67 |
| Sólidos totales | % | 7,39 ± 0,39 |
| Proteína | % | 0,16 |
| Grasa | % | 0,00 |
| Ceniza | % | 0,15 |
| Fibra | % | 0,00 |
| Carbohidratos totales | % | 6,88 |
| Azúcares | % | 0,95 |
| Fructosa | % | 0,89 |
| Glucosa | % | 0,86 |
| Sacarosa | % | < 0,12 |
| Lactosa | % | < 0,12 |
| Sodio | mg/100g | 4,84 |
| Colesterol | mg/100g | 0,00 |
| Grasa saturada | % | 0,00 |
| Densidad | g/ml | 1,0204 |

CONCLUSIONES

El jugo (zumo) de limón es de alta importancia en la industria alimenticia, gastronomía y farmacéutica debido a sus propiedades nutraceuticas. Se logra un óptimo de SDT igual a 233,33 ppt cuando se trabaja con 121 °C y 15 min.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Centro Ecuatoriano de Biotecnología del Ambiente y CITRONSAFT S.A.S. Por su cooperación en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIJN. (13 de 10 de 2024). *Code Of Practice lemon*. Obtenido de <https://aijn.eu/>
2. Baorproducts. (13 de 10 de 2024). *Zumos NFC para fabricantes y distribuidores*. Obtenido de www.baorproducts.es
3. BEJARANO, F. M. (2015). *Colombia Patente n° WO2015097542A1*.
4. Ekanayake, A., & Kester, J. J. (2007). *EEUU Patente n° ES2363018T3*.
5. García, B. (2014). *ESTUDIO DE MERCADO Y PREFACTIBILIDAD DEL CULTIVO DE LIMON TAHITI (Citrus aurantifolia) EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA*. Guayaquil.
6. ICHIMURA, A. (2016). *Japón Patente n° WO/2016/104139*.
7. INDUSTRIAS, N. (1978). *Dinamarca Patente n° 1535983*.
8. INEN. (2008). *NTE INEN 1757. FRUTAS FRESCAS. LIMÓN. REQUISITOS*. Quito.
9. INEN. (2008). *NTE INEN 2337. JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE*. Quito.
10. Interempresas Media, S.L. (13 de 10 de 2024). *Limón, Citrus limon / Rutaceae*. Obtenido de <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Origen-produccion-limon.html>

11. Medina, G. A. (2014). *Monografías botánicas. Jardín Botánico de la Universitat de València. Volumen 2: Los cítricos*. Valencia: METODE.
12. Norihiko, T. (2017). *Japón Patente nº WO/2017/115656*.
13. Pedro Pássaro, J. L. (2012). *Industrialización de cítricos*. Colombia: Editorial lasallista.
14. Statista. (13 de 10 de 2024). *Ranking de los mayores países productores de limones y limas a nivel mundial en 2021*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas>
15. ZUVAMESA. (13 de 10 de 2024). *Sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.zuvamesa.com/es/sostenibilidad/>

Información de revisión por pares: Revista Biorrefinería agradece a los revisores anónimos por su contribución a la revisión por pares de este trabajo utilizando <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

Acceso abierto: Todos los artículos publicados por Revista Biorrefinería son accesibles en línea de forma gratuita y permanente inmediatamente después de su publicación, sin cargos de suscripción ni barreras de registro.

Nota del Editor: Revista Biorrefinería se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Copyright: © 2024 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).