

Capacidad antioxidante y caracterización fisicoquímica de una bebida refrescante con zumos de bilimbi y sandía.

Antioxidant capacity and physicochemical characterization of a refreshing drink with bilimbi and watermelon juices.

David Wilfrido Moreira Vera ¹/*Quinche Leonardo Félix López ²; Heidi Pierina Loor Vera ³; Luis Miguel Muñoz Mendoza ⁴.

^{1,2,3,4} *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador*

* Correspondencia: dmoreira@espam.edu.ec

Available from: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2024.09.02.8>

Resumen

El propósito de esta investigación fue determinar la capacidad antioxidante y características fisicoquímicas de mezclas de zumos de bilimbi (*Averrhoa bilimbi*) y sandía (*Citrullus lanatus*) y agua en una bebida refrescante. Se utilizó un Diseño de Mezclas Simplex-Centroide con una réplica, resultando 20 unidades experimentales de 1000 cm³. Se evaluó pH, sólidos solubles, viscosidad y la capacidad antioxidante mediante el método ABTS. Los resultados mostraron que los valores de pH oscilaron entre 3,16 y 3,92, los sólidos solubles entre 13,75 % y 15,45 %, y la viscosidad entre 1,60 y 2,30 mPa.s. La capacidad antioxidante varió entre 1504,3 a 2082,85 µmol Equivalente de Trolox/cm³ en la bebida. Los resultados obtenidos indican que la bebida refrescante con una combinación de 23,33 % de zumo de bilimbi, 43,33 % de zumo de sandía y 33,33 % de agua posee los niveles más altos de antioxidantes y cumple con las normativas ecuatorianas vigentes.

Palabras clave. Bebida funcional; bilimbi, capacidad antioxidante, compuestos bioactivos.

Abstract

The purpose of this study was to determine the antioxidant capacity and physicochemical characteristics of mixtures of bilimbi (*Averrhoa bilimbi*) and watermelon (*Citrullus lanatus*) juices and water in a refreshing drink. A simplex centroid mixture design was used with one replication, resulting in 20 experimental units of 1000 cm³. pH, soluble solids, viscosity, and antioxidant capacity were evaluated using the ABTS method. The results showed that the pH values ranged between 3,16 and 3,92, the soluble solids ranged from 13.75% to 15.45%, and the viscosity ranged from 1.60 to

2.30 mPa.s. The antioxidant capacity varied between 1504,3 and 2082,85 $\mu\text{mol Trolox equivalent/cm}^3$. The results obtained indicate that the refreshing drink with a combination of 23,33 % bilimbi juice, 43,33 % watermelon juice, and 33.33 % water has the highest levels of antioxidants and complies with current Mexican regulations.

Keywords. Functional drink, Bilimbi, antioxidant capacity, bioactive compounds

Introducción

Los compuestos bioactivos presentes en frutas han atraído la atención de los consumidores y la comunidad científica teniendo en cuenta las evidencias epidemiológicas sólidas que muestran los beneficios de la ingesta de fruta en la prevención de enfermedades humanas. Los compuestos bioactivos más comunes presentes en frutas tropicales son las vitaminas (C y E), carotenoides, compuestos fenólicos y fibra dietética¹.

Ecuador es un país productor de diversas frutas tropicales, siendo una de ellas la sandía (*Citrullus lanatus*), la cual es una planta herbácea y rastrera perteneciente a la familia de las cucurbitáceas. Su producción se da principalmente en las provincias de Guayas, Santa Elena y Manabí, esto debido a las excelentes condiciones climáticas que presentan dichas provincias para su cultivo. Sin embargo, es importante indicar que el procesamiento en jugos, bebidas, pulpas, néctares que se le da a esta fruta es insuficiente².

De igual manera, el bilimbi o biribiri (*Averrhoa bilimbi*) es un árbol frutal perteneciente a la familia de las oxalidáceas. Esta fruta es cultivada en regiones de clima tropical y subtropical, su desarrollo es mejor en lugares con temperaturas de 25 °C y 1000 cm^3 de precipitaciones promedio por año³.

Las frutas tropicales son excelentes fuentes de vitaminas, fitoesteroles, polifenoles, y antioxidantes. A pesar de que se tiene un amplio conocimiento de los beneficios del consumo de frutas, en la actualidad los consumidores buscan alimentos prácticos y convenientes, que permitan el ahorro de tiempo y aporten un beneficio en su salud⁴.

Las bebidas de frutas, se caracterizan por contener compuestos bioactivos, como el ácido ascórbico, tocoferoles, carotenoides y polifenoles, que generan efectos antioxidantes y anticancerígenos en la salud de los consumidores⁵. Por lo cual, la elaboración de una bebida refrescante con frutas tropicales con compuestos bioactivos, como lo son el bilimbi y la sandía, es una alternativa práctica de consumo de un alimento que aporte beneficios nutricionales a los consumidores.

Una de las propiedades nutricionales que más destacan en la sandía, es su alta capacidad antioxidante, atribuida a la molécula de licopeno, el cual, por su estructura, forma enlaces con los radicales libres, que tiene efectos antioxidantes, antiinflamatorios y quimioterapéuticos sobre las enfermedades

cardiovasculares, neurodegenerativas y algunos tipos de cáncer, la ingesta de licopeno reduce la inflamación y mejora la funcionalidad de lipoproteínas de alta densidad (HDL)⁶

De igual manera, el fruto de bilimbi o biri-biri entre sus compuestos bioactivos destaca su contenido de vitamina C, siendo este 72,9 mg/100 g; contenido de polifenoles que oscilan entre los 50 y 55 mg/100 g, lo cual determina que el fruto tiene un alto poder antioxidante⁷.

Por lo cual, esta investigación se realizará con el propósito de aprovechar las propiedades nutricionales de las frutas tropicales producidas en el país como son el bilimbi y la sandía, para la elaboración de una bebida refrescante a base de frutas, que cumpla con la NTE INEN 2337:2008, que establece los parámetros fisicoquímicos que deben cumplir los “Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales” en el Ecuador⁸.

Por lo antes mencionado, el objetivo de esta investigación es determinar los efectos antioxidantes y fisicoquímicos de las mezclas de zumos de bilimbi, sandía y agua para la elaboración de una bebida refrescante.

Materiales y métodos

Ubicación

La investigación se realizó en el Taller de Frutas y Hortalizas y en el Laboratorio de Bromatología de la Carrera de Agroindustria de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, ubicada en el sitio Limón a 4 km del centro de la ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí-Ecuador. Su ubicación geográfica es 49°35.25' S de latitud y 80°11'10.54" W de longitud⁹. Los análisis de capacidad antioxidante se realizaron en el Laboratorio de la Universidad Técnica de Manabí, extensión Chone, su ubicación geográfica es 41°15.8' S de latitud y 80°07'25.4" W de longitud¹⁰.

Tipo, alcance y enfoque de la investigación

La investigación experimental se identifica porque existe una manipulación intencionada de la variable independiente y se analiza la influencia que tiene sobre la variable dependiente¹¹.

Por lo cual, la presente investigación fue de tipo experimental, considerando como variables independientes las mezclas obtenidas en las combinaciones de zumos de bilimbi, zumo de sandía y agua, de las cuales se evaluó su efecto en las propiedades antioxidantes y fisicoquímicas.

Técnicas analíticas

Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos que se realizaron se presentan en la NTE INEN 2337:2008, la misma que incluye los requisitos que deben cumplir las bebidas de frutas.

Determinación de pH

Se realizó mediante el método potenciométrico que se utiliza para la determinación de pH en productos de vegetales y de frutas, este método de ensayo se especifica en la NTE INEN ISO 1842:2013¹².

Determinación de sólidos solubles (° Brix)

Se realizó mediante el método refractométrico que se utiliza para la determinación de sólidos solubles en productos vegetales y de frutas, este método de ensayo se especifica en la NTE INEN ISO 2173:2013¹³.

Determinación de viscosidad

Se determinó la viscosidad utilizando un viscosímetro rotacional de Marca BDV-8S, el cual funciona por la rotación del husillo, en el cual se sumergió la bebida refrescante para medir su resistencia a una velocidad adecuada. Esta metodología se describe en el Manual del Laboratorio de Bromatología de la Carrera de Agroindustria de la ESPAM MFL.

Análisis de capacidad antioxidante

Los análisis de capacidad antioxidante se realizaron mediante el método ABTS. Este método se basa en la reducción de la coloración verde/azul producida por la reacción del radical ácido 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS•+) con el antioxidante que contiene la muestra. El método ABTS es, por tanto, un método que evalúa la actividad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) de la muestra en estudio¹⁴.

Factores en estudio

Los factores en estudio o variables independientes que se consideraron para la presente investigación son los componentes principales de la bebida refrescante, y son los siguientes:

- X₁: Zumo de bilimbi
- X₂: Zumo de sandía
- X₃: Agua

Diseño experimental

La investigación fue de tipo experimental y se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurión XVI.I para obtener un diseño de mezclas simplex-centroide, con una réplica, mediante el cual se evaluó el efecto de las mezclas en la capacidad antioxidante, características fisicoquímicas y sensoriales de la bebida refrescante, para las mezclas se utilizaron niveles bajos y altos de los tres principales componentes (zumo de bilimbi, zumo de sandía y agua) (ver tabla 1). En el diseño de mezclas los componentes están ajustados para que la sumatoria de los mismos sea 100 % (ver tabla 2).

Tabla 1. Componentes de la mezcla.

Componentes	Bajo	Alto
-------------	------	------

Zumo de bilimbi	20	30
Zumo de sandía	40	50
Agua	30	40

Tabla 2. Tratamientos obtenidos mediante el Diseño de mezclas Simplex-Centroide.

Tratamientos	% Zumo de bilimbi	% Zumo de sandía	% Agua
T1	30,00	40,00	30,00
T2	20,00	50,00	30,00
T3	20,00	40,00	40,00
T4	25,00	45,00	30,00
T5	25,00	40,00	35,00
T6	20,00	45,00	35,00
T7	23,33	43,33	33,33
T8	26,67	41,67	31,67
T9	21,67	46,67	31,67
T10	21,67	41,67	36,67

Unidad experimental

La unidad experimental fue de 1000 cm³ de bebida refrescante de frutas por cada tratamiento (mezcla), que a la vez fue replicado una vez, obteniéndose así un total de 20 unidades experimentales. La bebida se elaboró utilizando las diferentes proporciones de zumo de bilimbi, zumo de sandía y agua obtenidas en el diseño de mezclas Simplex-Centroide, adicionalmente se agregó el 10 % de azúcar y el 0,07 % de goma xantana.

La bebida fue envasada en botellas de vidrio de 311 cm³ para almacenarlas en refrigeración a 4 °C y posteriormente realizar los análisis de capacidad antioxidante y fisicoquímicos.

Variables a medir➤ **Características funcionales**

- Capacidad antioxidante

➤ **Características fisicoquímicas**

- pH
- Sólidos solubles (°Bx)
- Viscosidad

Manejo del experimento

➤ **Extracción de los zumos de bilimbi y sandía**

Clasificación: El bilimbi se obtuvo de una finca ubicada en el sitio “El Bejuco” perteneciente al Cantón Chone, separando los frutos que presentaban magulladuras o cortes, mientras que, la sandía de variedad Crimson Sweet se obtuvo en el mercado municipal de la ciudad de Calceta. Los frutos se clasificaron de acuerdo a su índice de madurez considerando un intervalo de 4 a 5 °Bx y 1,35 a 1,40 % de acidez para el bilimbi, y un intervalo de 7 a 8 °Bx y 0,07 a 0,08 % de acidez en la sandía.

Lavado: Las frutas por separado se lavaron en una solución de agua con hipoclorito de sodio en una concentración de 100 ppm para su correcta desinfección.

Cortado: De forma manual utilizando un cuchillo, se realizaron cortes verticales de aproximadamente 1 cm en los frutos de bilimbi, mientras que, la sandía se cortó por la mitad y luego se realizaron cortes en la parte comestible de la fruta, para separarla de la cáscara.

Licuada: Para obtener los zumos de bilimbi y sandía se licuaron cada una de las frutas por separado en una licuadora industrial marca Montero con capacidad de 10 litros durante 1 minuto a 3000 rpm.

Filtrado: En un tamiz redondo de malla (1 mm) y acero inoxidable de 20 cm de diámetro se filtraron cada uno de los zumos, separando el bagazo obtenido del proceso de licuado.

Almacenamiento: Los zumos de bilimbi y sandía fueron almacenados en refrigeración a 4 °C durante 24 horas, y posteriormente se utilizaron en la elaboración de la bebida refrescante.

➤ **Elaboración de la bebida refrescante**

Recepción: La materia prima y los insumos necesarios se receptaron aplicando buenas prácticas de manufactura, de esta manera se aseguró la calidad del producto final.

Formulación: Para cada formulación se aplicaron las combinaciones obtenidas mediante el diseño de mezclas Simplex-Centroide.

Mezclado: En una olla de acero inoxidable se ubicaron los tres componentes principales de la bebida, que son, zumo de bilimbi, zumo de sandía y agua, luego se llevó a calentamiento hasta obtener los 55 °C, temperatura a la cual se agregaron el azúcar y la goma xantana e inmediatamente se removió hasta obtener una dilución homogénea.

Pasteurización: La bebida se pasteurizó a 65 °C durante 30 minutos para eliminar los microorganismos nocivos que puedan estar presentes en la misma, y de esta manera se aseguró la inocuidad del alimento que será conservado en refrigeración a 4 °C.

Envasado: La bebida pasteurizada fue llenada inmediatamente en envases de vidrio de 311 cm³, los mismos que previamente fueron esterilizados a 122 °C durante 15 minutos, para mantener la calidad e inocuidad de la bebida. Posteriormente, los envases se sellaron utilizando una tapadora manual.

Almacenamiento: La bebida fue almacenada en refrigeración a 4 °C durante 15 días para la conservación y prolongación de su vida útil.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron durante el periodo de almacenamiento (10 días) y los de capacidad antioxidante se realizaron después de cumplir el periodo de almacenamiento.

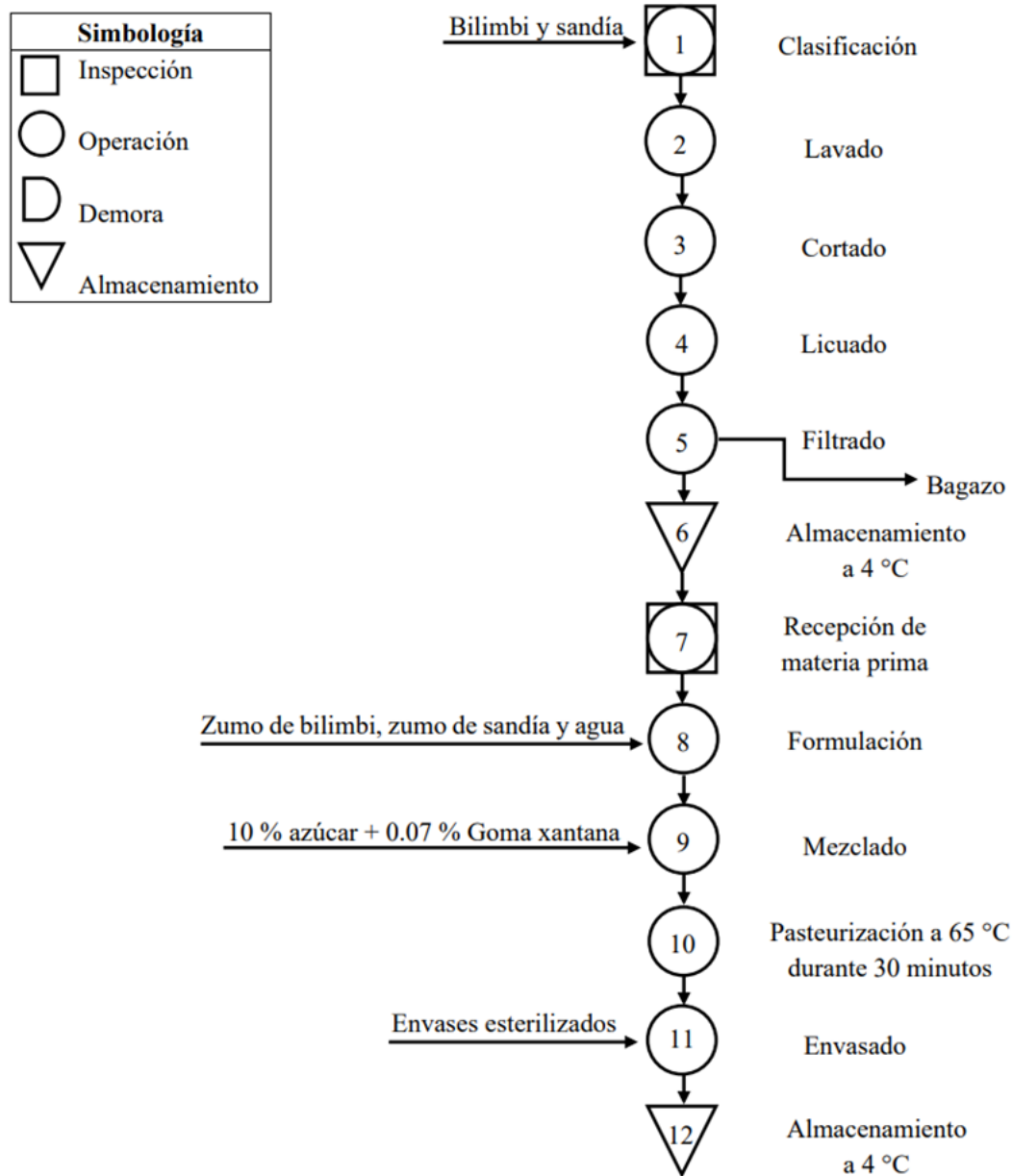


Figura 1. Diagrama de procesos de la bebida refrescante a partir de zumos de bilimbi y sandía.

Evaluación de los parámetros fisicoquímicos

Para realizar los análisis fisicoquímicos de la bebida refrescante, se tomó una botella de vidrio 311 cm³ al azar por cada unidad experimental. Estos análisis se llevaron a cabo durante el periodo de almacenamiento (refrigeración a 4 °C), 10 días después de la elaboración de la bebida refrescante.

Evaluación de la capacidad antioxidante

Para realizar los análisis de capacidad antioxidante, se tomó una botella de vidrio 311 cm³ al azar por cada unidad experimental y se trasladaron al Laboratorio de la Universidad Técnica de Manabí, extensión Chone.

Estos análisis se llevaron a cabo después de cumplir con el periodo de almacenamiento (refrigeración a 4 °C), es decir, 15 días después de la elaboración de la bebida refrescante.

Análisis estadístico

Los análisis de los datos obtenidos se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics centurión XVI.I mediante el diseño de mezclas Simplex-Centroide, de esta manera se obtuvieron las combinaciones ideales de los principales componentes de la bebida refrescante con capacidad antioxidante. Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y capacidad antioxidante se evaluaron mediante gráficos de superficie de respuesta.

Resultados

Capacidad antioxidante de la bebida refrescante a base de mezclas de zumos de bilimbi y sandía

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos después de ajustar los datos de capacidad antioxidante a los diferentes modelos, cada modelo muestra un p-valor que prueba si el modelo es estadísticamente significativo, en este caso el modelo cuadrático es el que presenta un p-valor <0,05, lo que indica que el modelo es estadísticamente significativo, y que trabaja con un nivel de confianza del 95,0 %, resultando el modelo más adecuado para los datos.

Tabla 3. Efectos estimados del modelo completo para capacidad antioxidante.

Fuente	Suma de Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	5,80563E7	1	5,80563E7		
Bloques	10192,6	1	10192,6	0,27	0,6100
Lineal	21814,4	2	10907,2	0,26	0,7706
Cuadrático	378682	3	126227,	5,86	0,0093
Cúbico Especial	41187,3	1	41187,3	2,07	0,1760
Error	238989	12	19915,8		
Total	5,87472E7	20			

En la tabla 4 se presenta el anova ajustado al modelo cuadrático que fue seleccionado anteriormente, en esta se indica que el p-valor de este modelo es <0,05, es decir, que existe una relación estadísticamente significativa entre la capacidad antioxidante y los componentes de la bebida, considerando un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 4. Anova ajustado al modelo cuadrático para capacidad antioxidante.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Cuadrático	410652	6	68442	3,18	0,0382
Error total	280214	13	21554,9		
Total (corr.)	690866	19			

En la tabla 5 se presentan los resultados de ajuste del modelo cuadrático para capacidad antioxidante, en la cual se indica el valor estimado para cada uno de los componentes de la bebida refrescante para obtener la ecuación del modelo cuadrático para este parámetro.

Tabla 5. Resultados de ajuste del modelo cuadrático para capacidad antioxidante.

Parámetro	Estimado	Error Estándar
A: Zumo de bilimbi	1635,93	100,122
B: Zumo de sandía	1536,64	100,122
C: Agua	1535,29	100,122

R-cuadrada = 0.594402

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0.407203

Error estándar del estimado = 146.816

La ecuación del modelo cuadrático ajustado para capacidad antioxidante es:

$$\text{Capacidad antioxidante} = A (1635,93) + B (1536,64) + C (1535,29)$$

La figura 2 (a y b) correspondiente al gráfico de superficie de respuesta estimada y gráfico de contorno de la superficie respectivamente, se obtuvieron mediante la ecuación del modelo cuadrático ajustado para capacidad antioxidante, estas figuras indican que el tratamiento 4 compuesto por 25 % de zumo de bilimbi + 45 % de zumo de sandía + 30 % de agua, se encuentra en el área que alcanzó menor capacidad antioxidante en la bebida refrescante con un valor de 1504,3 μmol Equivalente de Trolox/ cm^3 , mientras que, el tratamiento 7 compuesto por 23,33 % de zumo de bilimbi + 43,33 % de zumo de sandía + 33,33 % de agua, se encuentra en la región con valores más elevados alcanzando un valor de 2082,85 μmol Equivalente de Trolox/ cm^3 .

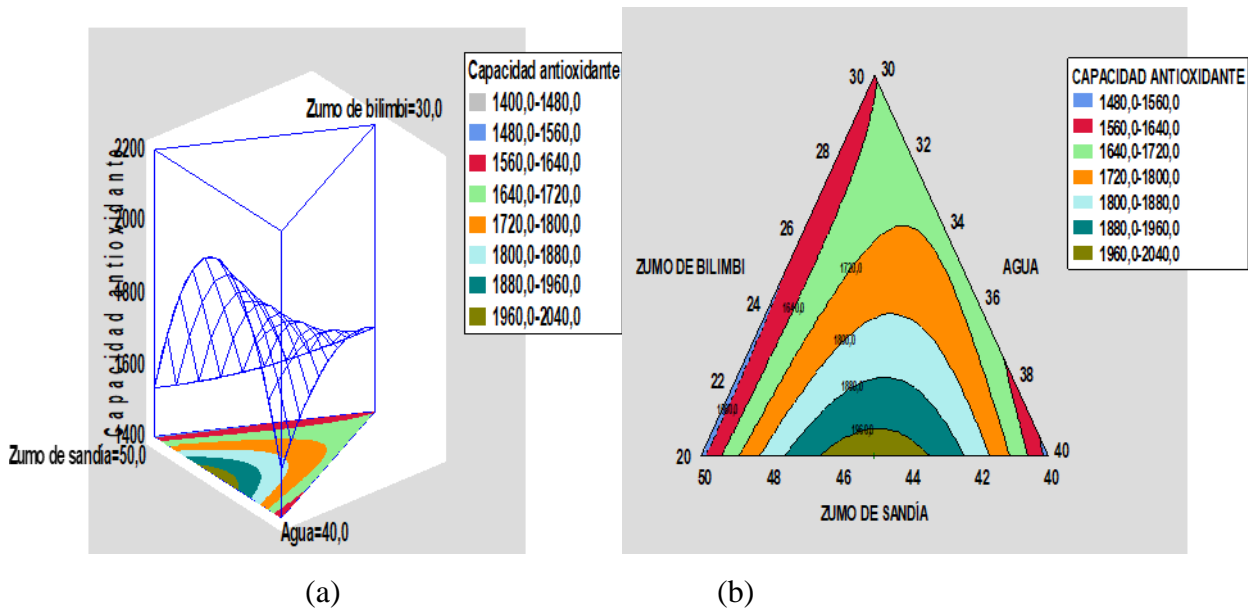


Figura 2. Superficie de respuesta estimada para capacidad antioxidante (a) y contorno (b).

Características fisicoquímicas de la bebida refrescante a base de mezclas de zumos de bilimbi y sandía de acuerdo con la norma técnica NTE INEN 2337

➤ pH

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos después de ajustar los datos de pH a los diferentes modelos, cada modelo muestra un p-valor que prueba si el modelo es estadísticamente significativo, considerando esto, se determina que el modelo cuadrático es el adecuado para los datos porque presenta un p-valor <0,05, lo que indica que el modelo es estadísticamente significativo, y que trabaja con un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 6. Efectos estimados para el modelo completo de pH.

Fuente	Suma de Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	271,437	1	271,437		
Bloques	0,05	1	0,05	0,99	0,3330
Lineal	0,604959	2	0,302479	15,90	0,0002
Cuadrático	0,268755	3	0,0895849	32,74	0,0000
Cúbico Especial	0,00385453	1	0,00385453	1,46	0,2504
Error	0,0317118	12	0,00264265		
Total	272,396	20			

En la tabla 7 se muestra el anova ajustado al modelo cuadrático que fue seleccionado anteriormente, en esta se indica que el p-valor de este modelo es <0,05, es decir, que existe una relación

estadísticamente significativa entre el pH y los componentes de la bebida, considerando un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 7. Anova ajustado al modelo cuadrático para pH.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Cuadrático	0,923738	6	0,153956	56,31	0,0000
Error total	0,0355423	13	0,00273402		
Total (corr.)	0,95928	19			

En la tabla 8 se muestran los resultados de ajuste del modelo cuadrático para pH, en la cual se indica el valor estimado para cada uno de los componentes de la bebida refrescante para obtener la ecuación del modelo cuadrático para este parámetro.

Tabla 8. Resultados de ajuste del modelo cuadrático para pH.

Parámetro	Estimado	Error Estándar
A: Zumo de bilimbi	3,17774	0,0356582
B: Zumo de sandía	3,81683	0,0356582
C: Agua	3,58319	0,0356582

R-cuadrada = 0,962949

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,945849

Error estándar del estimado = 0,0522879

La ecuación del modelo cuadrático ajustado para pH es:

$$pH = A (3,17774) + B (3,81683) + C (3,58319)$$

Las figuras 3 (a y b) correspondiente al gráfico de superficie de respuesta estimada y gráfico de contorno de la superficie respectivamente, se obtuvieron mediante la ecuación del modelo cuadrático ajustado para pH, estas figuras indican que el tratamiento 1 compuesto por 30 % de zumo de bilimbi + 40 % de zumo de sandía + 30 % de agua, fue el que obtuvo menor pH en la bebida refrescante con un valor de 3,16, lo cual es favorable para prevenir el crecimiento de bacterias, obteniendo un producto más estable microbiológicamente; mientras que el tratamiento 6 compuesto por 20 % de zumo de bilimbi + 45 % de zumo de sandía + 35 % de agua, fue el que obtuvo mayor pH en la bebida refrescante con un valor de 3,92, lo que puede ser un factor que permita el desarrollo de microorganismos patógenos.

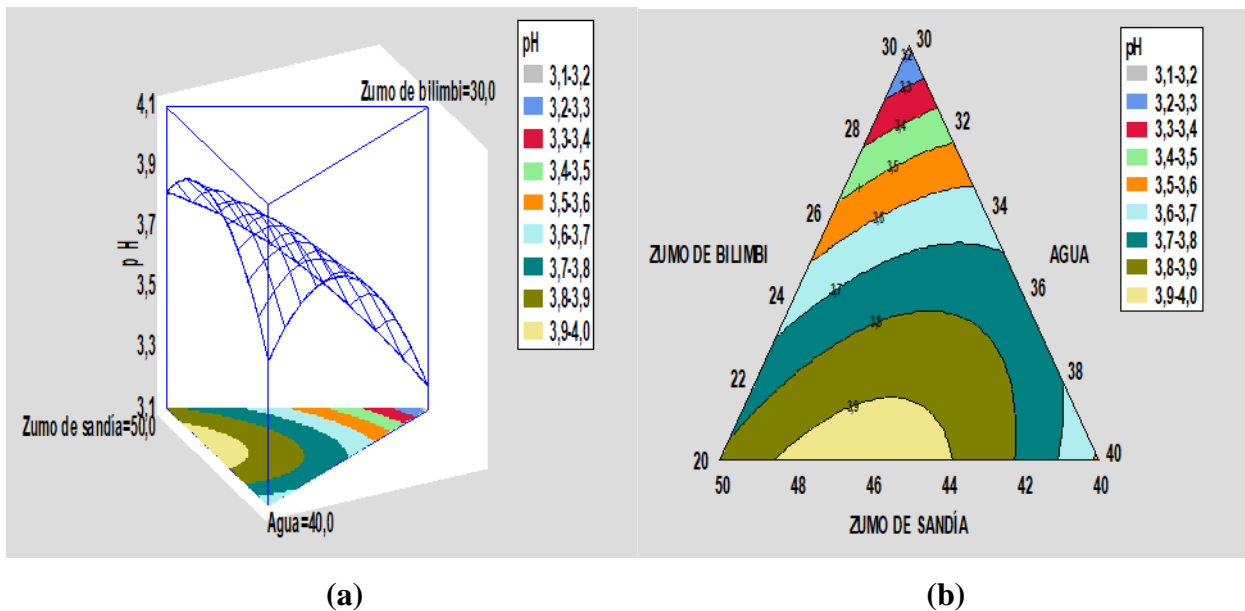


Figura 3. Superficie de respuesta estimada para pH (a) y contorno (b).

➤ **Sólidos solubles (°Bx)**

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos después de ajustar los datos de sólidos solubles (°Bx) a los diferentes modelos, cada modelo muestra un p-valor que prueba si el modelo es estadísticamente significativo, en este caso el p-valor de todos los modelos es >0,05, lo que indica que ningún modelo es estadísticamente significativo.

Tabla 9. Efectos estimados para el modelo completo de sólidos solubles

Fuente	Suma Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	4263,2	1	4263,2		
Bloques	0,002	1	0,002	0,01	0,9440
Lineal	1,12662	2	0,563312	1,51	0,2509
Cuadrático	2,48635	3	0,828784	3,09	0,0644
Cúbico Especial	0,242537	1	0,242537	0,90	0,3621
Error	3,24249	12	0,270207		
Total	4270,3	20			

En la tabla 10 se presentan los resultados del modelo completo para sólidos solubles, en la cual se pueden observar los estadísticos de error estándar de los estimados, la R-cuadrada y la R-cuadrada ajustada, para cada uno de los modelos, de acuerdo con esto, se determina que el modelo más adecuado es el que maximiza la R-cuadrada ajustada, siendo este el modelo cuadrático.

Tabla 10. Resultados del modelo completo para sólidos solubles

Modelo	ES	R-cuadrada	R-cuadrada ajustada
Lineal	0,61091	15,90	0,13
Cuadrático	0,517763	50,92	28,26
Cúbico Especial	0,519815	54,33	27,69

En la tabla 11 se presenta el anova ajustado al modelo cuadrático que fue seleccionado anteriormente, en esta se indica que el p-valor de este modelo es $>0,05$, es decir, que no existe una relación estadísticamente significativa entre los sólidos solubles y los componentes de la bebida, considerando un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 11. Anova ajustado al modelo cuadrático para sólidos solubles

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Cuadrático	3,61382	6	0,602304	2,25	0,1043
Error total	3,48618	13	0,268167		
Total (corr.)	7,1	19			

En la tabla 12 se presentan los resultados de ajuste del modelo cuadrático para sólidos solubles, en la cual se indica el valor estimado para cada uno de los componentes de la bebida refrescante para obtener la ecuación del modelo cuadrático para este parámetro.

Tabla 12. Resultados de ajuste del modelo cuadrático para sólidos solubles

Parámetro	Estimado	Error Estándar
A: Zumo de bilimbi	14,2407	0,353152
B: Zumo de sandía	15,5225	0,353152
C: Agua	14,8771	0,353152

R-cuadrada = 0.508989

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,282369

Error estándar del estimado = 0,517849

La ecuación del modelo cuadrático ajustado para sólidos solubles ($^{\circ}$ Bx) es:

Sólidos solubles ($^{\circ}$ Bx) = A (14,2407) + B (15,5225) + C (14,8771)

La figura 4 (a y b) correspondiente al gráfico de superficie de respuesta estimada y gráfico de contorno de la superficie respectivamente, se obtuvieron mediante la ecuación del modelo cuadrático ajustado para sólidos solubles ($^{\circ}$ Bx), en las mismas se observa que el tratamiento 2 compuesto por 20 % de zumo de bilimbi + 50 % de zumo de sandía + 30 % de agua, y el tratamiento 5 compuesto por 25 % de zumo de bilimbi + 40 % de zumo de sandía + 35 % de agua, se ubicaron en el área con mayor porcentaje de sólidos solubles con un valor de 15,45 $^{\circ}$ Bx en ambos tratamientos, sin embargo, estos valores superan a los límites permitidos en la NTE INEN 2304. Por otro parte, el tratamiento 7

compuesto por 23,33 % de zumo de bilimbi + 43,33 % de zumo de sandía + 33,33 % de agua, obtuvo un porcentaje de 14,85 °Bx, correspondiente a la región del rango de 14,8 a 15,1 °Bx, valores que se encuentra dentro de los límites permitidos por la normativa vigente.

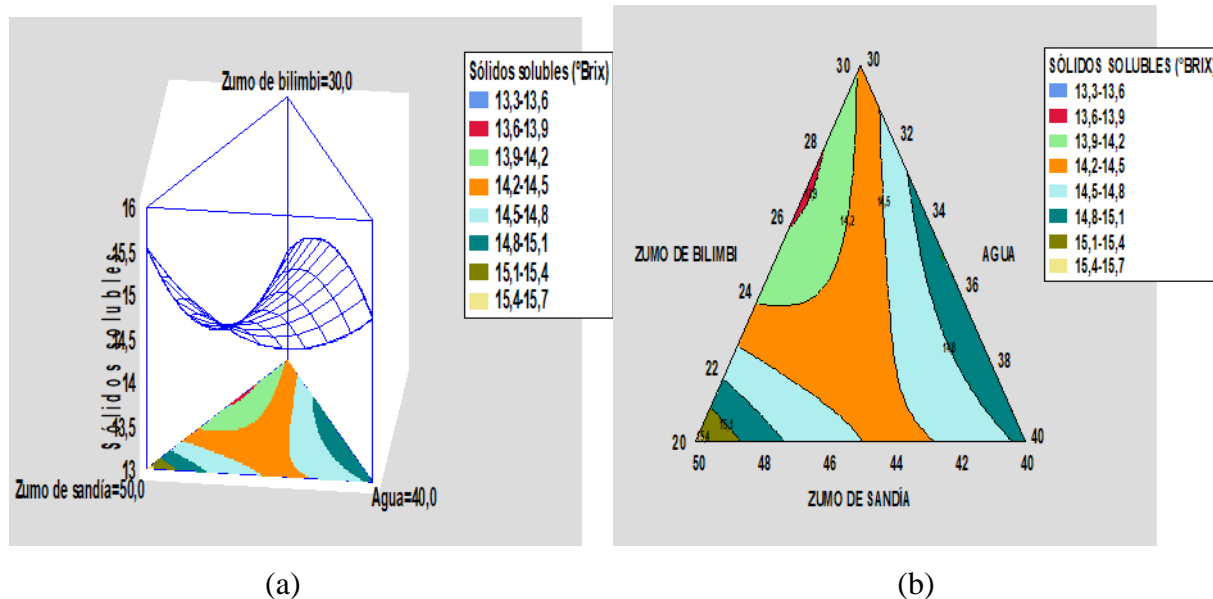


Figura 4. Superficie de respuesta estimada para sólidos solubles (a) y (b).

➤ Viscosidad

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos después de ajustar los datos de viscosidad a los diferentes modelos, cada modelo muestra un p-valor que prueba si el modelo es estadísticamente significativo, en este caso el p-valor de todos los modelos es >0,05, lo que indica que ningún modelo es estadísticamente significativo.

Tabla 13. Efectos estimados para el modelo completo de viscosidad.

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	61,25	1	61,25		
Bloques	0,018	1	0,018	0,36	0,5586
Lineal	0,0605554	2	0,0302777	0,57	0,5772
Cuadrático	0,0150494	3	0,00501646	0,08	0,9708
Cúbico Especial	0,00078484	1	0,00078484	0,01	0,9172
Error	0,83561	12	0,0696342		
Total	62,18	20			

En la tabla 14 se muestran los resultados del modelo completo para viscosidad, en la cual se pueden observar los estadísticos de error estándar de los estimados, la R-cuadrada y la R-cuadrada ajustada, para cada uno de los modelos, de acuerdo con esto, se determina que el modelo más adecuado es el que maximiza la R-cuadrada ajustada, en este caso todos los modelos serian adecuados; sin embargo,

si se considera el valor máximo de la R-cuadrada se determina que el modelo más adecuado para los datos es el cúbico especial.

Tabla 14. Resultados del modelo completo para viscosidad.

Modelo	ES	R-cuadrada	R-cuadrada ajustada
Lineal	0,230684	8,45	0,00
Cuadrático	0,25365	10,07	0,00
Cúbico Especial	0,263883	10,15	0,00

En la tabla 15 se presenta el anova ajustado al modelo cúbico especial que fue seleccionado anteriormente, en esta se indica que el p-valor de este modelo es >0,05, es decir, que no existe una relación estadísticamente significativa entre la viscosidad y los componentes de la bebida, considerando un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 15. Anova ajustado al modelo cúbico especial para viscosidad.

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Cúbico Especial	0,0944192	7	0,0134885	0,19	0,9810
Error total	0,835581	12	0,0696317		
Total (corr.)	0,93	19			

En la tabla 16 se muestran los resultados de ajuste del modelo cúbico especial para viscosidad, en la cual se indica el valor estimado para cada uno de los componentes de la bebida refrescante para obtener la ecuación del modelo cúbico especial para este parámetro.

Tabla 16. Resultados de ajuste del modelo cúbico especial para viscosidad.

Parámetro	Estimado	Error Estándar
A: Zumo de bilimbi	1,80307	0,180375
B: Zumo de sandía	1,68944	0,180375
C: Agua	1,85307	0,180375

R-cuadrada = 0,101526

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,0

Error estándar del estimado = 0,263878

La ecuación del modelo cúbico especial ajustado para viscosidad es:

$$\text{Viscosidad} = A (1,80307) + B (1,68944) + C (1,85307)$$

La figura 5 (a y b) correspondiente al gráfico de superficie de respuesta estimada y gráfico de contorno de la superficie respectivamente, se obtuvieron mediante la ecuación del modelo cúbico especial para

viscosidad, en las cuales se observa que no existe mayor diferencia del resultado de viscosidad entre las diferentes proporciones de los componentes.

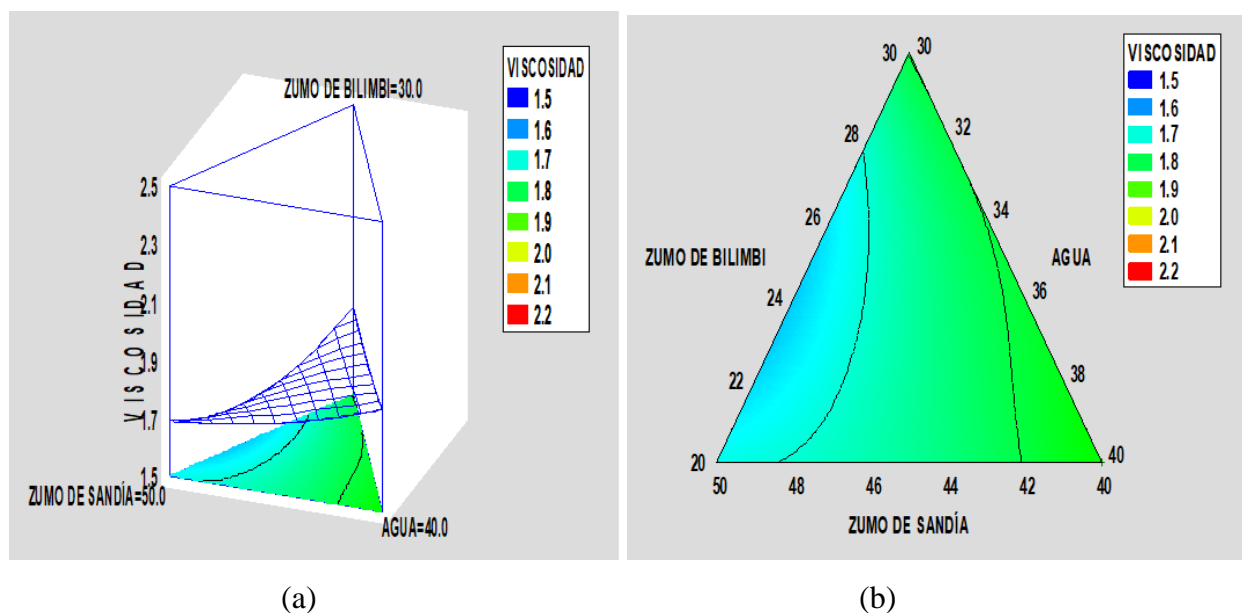


Figura 5. Superficie de respuesta estimada para viscosidad (a) y contorno (b).

Mejores tratamientos

En la tabla 17 se muestran los promedios de los resultados obtenidos en los análisis de capacidad antioxidante y fisicoquímicos de los mejores tratamientos.

Tabla 17. Promedios de los resultados de capacidad antioxidante y características fisicoquímicas de los mejores tratamientos.

Tratamientos	Capacidad antioxidante (µmol Trolox Equivalente/cm ³ de bebida)		pH de	Sólidos solubles (°Brix)	Viscosidad (mPa.S)
T1	1660.45		3.16	14.30	1.85
T6	1992.65		3.92	14.80	1.65
T7	2082.85		3.78	14.85	1.60
T10	1599.30		3.82	13.80	2.30

Valores óptimos

En la tabla 18 se presentan los valores óptimos obtenidos mediante el análisis de los datos en el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.I para cada una de las variables evaluadas. En la misma se observa la formulación óptima para maximizar los valores de capacidad antioxidante y viscosidad en la bebida refrescante, mientras que, se busca mantener el pH en 3.5 para prevenir el desarrollo de microorganismos y mantener los sólidos solubles en 15°Brix con el propósito de cumplir con la NTE INEN 2337.

Tabla 18. Formulación óptima de los componentes de la bebida para las diferentes variables evaluadas

Variables evaluadas	Meta	Formulación óptima de los componentes de la bebida			Valor óptimo
		Zumo de bilimbi (%)	Zumo de sandía (%)	Agua (%)	
Capacidad antioxidante (μmol Equivalente de Trolox/cm³)	Maximizar	20	45.0036	34.9964	2008.0
pH	Mantener el pH 3.5	26.5898	43.0196	30.3906	3.5
Sólidos solubles (° Bx)	Mantener los sólidos solubles en 15 ° Bx	24.9056	40.0817	35.0127	15.0
Viscosidad (mPa.s)	Maximizar	20	40	40	1.85307

Discusión

Considerando los resultados obtenidos en el análisis de capacidad antioxidante de la bebida refrescante, se establece que los mejores tratamientos son los que presentan mayores valores en este parámetro, siendo estos el T6 y T7 con un promedio de 1992.65 μmol Trolox Equivalente/cm³ de bebida y 2082.85 μmol Trolox Equivalente/cm³ de bebida, respectivamente.

Estos valores difieren con los reportados en una investigación en la cual se evaluó la capacidad antioxidante de una bebida funcional a base de carambola y granadilla, resultando como formulación óptima la combinación de 50% zumo de carambola y 50 % zumo de granadilla, obteniéndose un valor de 53.80 ± 0.85 μmol Trolox Equivalente/cm³ de capacidad antioxidante¹⁵. De igual manera, se determinó la capacidad antioxidante de una bebida refrescante y funcional elaborada a partir de pulpa de piña y gel de sábila, alcanzando un valor de 10.495 ± 0.193 μmol Trolox/100 cm³ de capacidad antioxidante a los 15 días de almacenamiento¹⁶.

Sin embargo, también se reportan resultados de 783.52 μmol Trolox/100 cm³ de capacidad antioxidante en una bebida funcional a base de tuna blanca y uvilla¹⁷. Además, en una bebida a base

de sábila y Jamaica se alcanzaron valores de 1858.6 mg Trolox/100 cm³ y 1892.6 mg Trolox/100 cm³ de capacidad antioxidante, en formulaciones de sábila al 5 % + Jamaica al 0.9 % y sábila al 7 % + Jamaica al 0.9 %, respectivamente¹⁸. Siendo estos resultados los más cercanos a los obtenidos en esta investigación.

En cuanto a las características fisicoquímicas de la bebida refrescante, la NTE INEN 2337:2008, indica que el pH debe ser inferior a 4.5, considerando los resultados obtenidos en este parámetro, todos los tratamientos se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa; sin embargo, se determinó que el tratamiento 1 al presentar un valor de 3.16 siendo el pH más bajo era el mejor tratamiento. El pH es un factor que se debe tener en cuenta para el control del desarrollo de los microorganismos, si bien la mayoría de bacterias y hongos se desarrollan en pH igual o mayores a 6.0, algunas también crecen en pH bajos (1.0-3.0)¹⁹.

En la investigación de una bebida funcional elaborada con zumos de carambola y granadilla, se obtuvo un valor de 3.76 de pH¹⁵. De manera similar, se alcanzó un valor de 3.8 de pH en la bebida funcional a base de sábila y Jamaica¹⁸. Estos valores son similares a los obtenidos en los diferentes tratamientos evaluados de esta investigación.

La NTE INEN 2304:2017, indica que los sólidos solubles (°Brix) de los refrescos o bebidas no carbonatadas debe ser de máximo 15°Brix, observando los resultados obtenidos en este parámetro, se establece que los tratamientos 2, 3 y 5 superan el límite máximo de la normativa vigente; los demás tratamientos presentan valores menores; sin embargo, se determinó a los tratamientos 6 y 7 con valores de 14.80 °Brix y 14.85 °Brix respectivamente.

Los valores obtenidos difieren con los reportados en la investigación de una bebida de zumos de carambola y granadilla, en la cual se obtuvo un valor de 13.0 °Brix¹⁵. Por su parte, en la bebida elaborada a base de tuna blanca y uvilla se alcanzó un valor de 12.5 °Brix¹⁷.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el parámetro de viscosidad, se establece que el tratamiento 10 es el mejor, siendo el que presenta mayor viscosidad con un valor de 2.3 mPa.s. Este valor es diferente al obtenido en un néctar mix de cítricos con sábila, el cual alcanzó un valor de 1.133 mPa.s de viscosidad.

Conclusiones

Se determinó que la capacidad antioxidante de la bebida refrescante bilimbi y sandía oscila entre rangos de 1504.3 a 2082.85 µmol Equivalente aTrolox/cm³ de bebida, siendo los tratamientos 6 y 7 los de mayor valor obtenido, con 1992.65 µmol Equivalente de Trolox /cm³ de bebida y 2082.85 µmol Equivalente de Trolox /cm³ de bebida, respectivamente.

Las propiedades fisicoquímicas de la bebida refrescante incluyen un pH que varía entre 3.16 y 3.92, valores que se encuentran dentro del rango aceptable según la NTE INEN 2337. En sólidos solubles estos oscilan entre 13.75 y 15.45 °Brix, algunos de los cuales superan el límite máximo establecido por la normativa vigente. Por último, la viscosidad se sitúa entre 1.60 y 2.30 mPa.s.

Referencias

1. Cárdenas, G., Arrazola, G., & Villalba, M. Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Revista de la Facultad de Ingeniería INGENIUM*. 2016;17(33):29-40.
2. Pacherre, L. G. Comercialización de los frutos de sandía (*Citrullus lanatus*, L.) en la Costa Ecuatoriana. Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo. 2022.
3. Nunes, J., Pinheiro, H., Ceres, D., Landulfo, R., & Morais, L. Chemical composition, vitamins, and minerals of family farming biribiri (*Averrhoa bilimbi* L.) in the Middle Doce River region, Minas Gerais, Brazil. *Ciencia Rural*. 2022; 52(3).
4. Flores, C. Efecto de la concentración de extracto de hojas de Moringa (*Moringa oleífera*) y Chía (*Salvia hispánica* L.) sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de una bebida funcional. Tesis de grado. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú. 2022.
5. Sánchez, N., Sepúlveda, J., & Rojano, B. Desarrollo de una bebida láctea con extractos de curuba (*Passiflora mollissima bailey*) como antioxidante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2013; 11(1), 164-173.
6. Solano, D., & Coello, J. Elaboración y Análisis proximal de la harina de sandía en 2 variedades diferentes (*Citrullus lanatus*, *Charleston Gray* y *Crimsoon Sweet*). Universidad de Guayaquil, Guayaquil. 2020.
7. Nunes, E. Caracterización fisicoquímica, polifenoles y actividad antioxidante en frutos de biribiri (*Averrhoa bilimbi* L.). Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Piauí, Teresina. 2017.
8. NTE INEN 2337. Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos. 2008.
9. Google Maps. Carrera de Agroindustria de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. 2023. Latitud 49°35.25' S; longitud 80°11'10.54" W.
10. Google Maps. Universidad Técnica de Manabí: Extensión Chone. 2023. Latitud 41°15.8' S; longitud 80°07'25.4" W.
11. Ramos, C. Diseños de investigación experimental. *Revista CienciAmérica*. 2021; 10(1).
12. NTE INEN 1842. Productos vegetales y de frutas – Determinación de pH (IDT). 2013.

13. NTE INEN ISO 2173. Productos vegetales y de frutas – Determinación de sólidos solubles – Método refractométrico (IDT). 2013.
14. Zenil, N., Colinas, M., Bautista, C., Vázquez, T., Lozoya, H., & Martínez, M. Fenoles totales y capacidad antioxidante estimada con los ensayos DPPH/ABTS en rosas en soluciones preservantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2014; 5(6).
15. Arauzo, J. Capacidad antioxidante y polifenoles de una bebida funcional de carambola (*Averrhoa carambola L.*) y granadilla (*Passiflora ligularis*). Universidad Nacional del Centro de Perú, Junín-Perú. 2021.
16. Pezo, J. Capacidad antioxidante de una bebida refrescante y funcional, elaborada a partir de pulpa de piña (*Ananas comosus*) variedad Golden y sábila (*Aloe Vera L.*). Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa-Perú. 2023.
17. Ticsihua, J., & Orejon, T. Evaluación del efecto de concentración en una bebida funcional a partir de tuna blanca (*Opuntia ficus*) y aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*. 2022; 6(18), 383-392.
18. Pérez, D. Desarrollo de una bebida a base de sábila (*Aloe Vera*) y jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas-Perú. 2021.
19. Cervantes-Martínez, J., Orihuela-Equihua, R., & Rutiaga-Quiñones, J. Acerca del desarrollo y control de microorganismos en la fabricación de papel. *Conciencia Tecnológica*. 2017; (54), 54-58.

/ **Received:** 23 May 2024 / **Accepted:** 13 June 2024 / **Published:** 15 June 2024 /

Citation: Moreira, D. Q, Félix, Loor, H.; Muñoz, L. Capacidad antioxidante y caracterización fisicoquímica de una bebida refrescante con zumos de bilimbi y sandía. *Bionatura*. 2024;9(2) DOI: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2024.09.02.8>.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).