

Formulación de licor producido con arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) Huacho-2021

Formulation of liquor produced with blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) Huacho-2021

Jaqueline Victoria Aroni Mejía¹, Dalila Inocenta Zavaleta Sotelo², Fredy Roman Paredes Aguirre³, Castro Bartolomé Hector Jorge⁴, Rocío del Rosario Cancio Arellano⁵, Lomparte Ramos Fanny del Pilar⁶

RESUMEN

Objetivo: Determinar la formulación adecuada para producir licor a partir del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) tomando en cuenta la dilución, cantidad de azúcar y tiempo de fermentación. **Materiales y métodos:** Se trabajaron con varios lotes de fermentación, para la dilución se trabajó con 20%, 30% y 40% de agua tomando como base al peso de la pulpa del arándano. Para la cantidad de azúcar apropiada se recomienda trabajar con 21°Brix para que las levaduras viníferas actúen de manera óptima, en la investigación los °Brix iniciales del arándano oscilaron entre 10,08° y 10,12°; los cuales llevamos hasta 21 °Brix para poder obtener hasta 12,5% de alcohol; se utilizó un programa en Excel, que al ingresarle parámetros iniciales como masa de pulpa de arándano, °Brix inicial, densidad, pH y acidez; se obtuvo la cantidad de azúcar a agregar o la relación que 1g de azúcar eleva 0,1 °Brix en 1 litro de agua, vino o mosto. Para el tiempo de fermentación se decidió obtener un licor de arándano, con un 12% o 12° de alcohol aproximadamente. **Resultados:** para la dilución, se encontró que la relación adecuada entre el peso del arándano y el agua es del 20%, se obtuvo mejor color y aroma del licor. La cantidad de azúcar a agregar, con un 10,08 °Brix iniciales resultaron 478g. El tiempo necesario para obtener los 12°Brix, a una fermentación con 24,3°C de temperatura resultó 7 días. **Conclusión:** Se ha logrado encontrar la formulación adecuada para producir licor de arándano. Para la dilución fue del 20% por mejor color y aroma. Para el azúcar se logró encontrar la cantidad a agregar al jugo de arándano para llegar a 21°Brix iniciales del mosto. Se emplearon siete (7) días de fermentación para llegar a obtener un licor con 12% de alcohol, como contenido mínimo alcohólico.

Palabras clave: Arándano, azúcar, licor, °Brix, fermentación.

ABSTRACT

Objective: To determine the appropriate formulation to produce liquor from blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) taking into account the dilution, amount of sugar and fermentation time. **Materials and methods:** Several batches of fermentation were used, for dilution 20%, 30% and 40% of water were used based on the weight of the blueberry pulp. For the appropriate amount of sugar, it is recommended to work with 21°Brix so that the viniferous yeasts act optimally. In the investigation, the initial °Brix of the blueberry ranged between 10,08° and 10,12°; which we take up to 21° Brix to be able to obtain up to 12,5% alcohol; An Excel program was used, which when entering initial parameters such as blueberry pulp mass, initial °Brix, density, pH and acidity; the amount of sugar to add was obtained or the ratio that 1g of sugar raises 0.1°Brix in 1 liter of water, wine or must. For the fermentation time, it was decided to obtain a blueberry liqueur, with approximately 12% or 12° of alcohol. **Results:** for the dilution, it was found that the adequate relation between the weight of the blueberry and the water is 20%, better color and aroma of the liquor were obtained. The amount of sugar to add, with an initial 10,08 °Brix, resulted in 478g. The time required to obtain 12°Brix, at a fermentation temperature of 24,3°C, was 7 days. **Conclusion:** It has been possible to find the appropriate formulation to produce cranberry liqueur. For the dilution it was 20% for better color and aroma. For sugar, it was possible to find the amount to add to the cranberry juice to reach an initial 21°Brix of the must. Seven (7) days of fermentation were used to obtain a liquor with 12% alcohol, as a minimum alcoholic content.

Keywords: Blueberry, sugar, liquor, °Brix, fermentation.

Recibido 19/12/2021 Aprobado 10/01/2022

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



¹ Doctora en Ciencias Ambientales. Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. ORCID: 0000-0002-6806-9552. Email: jaroni@unifsc.edu.p

² Doctora en Ciencias de la Educación. Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. ORCID: 0000-0002-0011-680X. Email: dzavaleta@unifsc.edu.p

³ Maestro en Docencia Superior e Investigación Universitaria. Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. ORCID: 0000-0002-3829-9541. Email: fparedes@unifsc.edu.p

⁴ Maestro en Docencia Superior e Investigación Universitaria. Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. ORCID: 0000-0002-2941-2565. Email: hcastro@unifsc.edu.p

⁵ Ingeniera Química. Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. ORCID: 0000-0003-3799-4822. Email: rcancio@unifsc.edu.p

⁶ Maestra en Negocios y Finanzas Internacionales. Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. ORCID: 0000-0003-4221-5627. Email: flomparte@unifsc.edu.p

INTRODUCCIÓN

El cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), anteriormente se realizaba como prueba según MINAGRI (2020) el Perú apenas producía para pruebas y muestras a inicios de la década pasada, sin embargo, su explosivo crecimiento desde el año 2015 ha logrado alcanzar y superar el nivel de producción de Chile, siendo actualmente el tercer mayor productor de arándano del mundo con 146 mil toneladas, a partir del 2019.

En la actualidad el Perú se ha consolidado como primer país exportador de arándanos a nivel mundial, logrando enviar en la última campaña 162459 toneladas, producidas principalmente en La Libertad, Lambayeque, Lima, Ica, Ancash, Piura; y Moquegua (SENASA, 2021). La finalidad del proyecto es determinar la formulación adecuada para producir un licor a base de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), En cuanto a la hipótesis general nos planteamos que: Sí es posible determinar la formulación adecuada para producir licor a partir del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.); y las hipótesis específicas: Sí es posible determinar la relación adecuada en peso, entre el arándano y el agua a utilizar en la producción del licor. Sí es posible determinar la relación adecuada en peso, entre el arándano y el azúcar utilizado en la producción del licor y Sí es posible determinar la relación adecuada, que existe entre el tiempo de fermentación y el grado de alcohol.

En los antecedentes encontramos que: Barrera (2020) en su investigación: “Desarrollo de un vino partiendo del fruto *vaccinium Myrtillus* (arándano azul), en la empresa casa vinícola los Frayles S.A.” Se elaboró un vino partiendo del fruto *Vaccinium myrtillus* (Arándano azul) con rendimiento alcohólico de 12,52° G.L %vol. Se consideraron los arándanos azules como materia prima debido a su poder antioxidante, así como otros beneficios para la salud debido a su composición de polifenoles y antocianinas; de igual forma por sus características organolépticas.

Se implementó un lote de 50 litros a partir de la mejor formulación (0,111g de azúcar x litro), donde se obtuvo 44,870 litros de vino de arándanos con grado alcohólico de 12,52° G.L %vol en 60 botellas de 375ml cada una. Para la viabilidad económica obtuvo una rentabilidad del 55% a un precio de venta de \$21,00 antes de impuestos. Guerrero (2021) en su investigación: “Determinación de parámetros para la elaboración de una bebida alcohólica fermentada de arándano”, realiza una investigación experimental, variable independiente (variable 1: Fruto arándano), a diferentes concentraciones (1/4, 1/2, 3/4 y 1 kg) y se midieron los efectos sobre los indicadores en la variable dependiente (variable 2: Bebida Alcohólica Fermentada). Obteniendo como resultado que la concentración óptima de mayor impacto es la muestra de 1kg de arándano. Se realizaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las bebidas alcohólicas fermentadas a través de la fórmula

de refractometría y se determinó el % de grado alcohólico de cada muestra, confirmando así, que la muestra compuesta de 1 kg de arándano y 1 L de agua es la que cumple con los requisitos mínimos requeridos en la Norma Técnica Peruana de Licores (NTP 211.009 – 2012) con un 15% de grado de alcohol. Asimismo, se realizó un análisis hedónico de las 4 muestras (1/4, 1/2, 3/4, 1 kg de fruta y 1 L de agua respectivamente) de la bebida alcohólica fermentada de arándano y según análisis ANOVA se determinó que la muestra que contenía 1 kg de arándano y 1 L de agua tuvo mayor aceptabilidad para el público con respecto a su sabor y color. Falcón (2017) - Perú, en su investigación “Determinación de los parámetros óptimos para la elaboración de una bebida fermentada a partir de arándano (*vaccinium myrtillus* L.), al estado maduro”, busca averiguar cuáles serían los parámetros óptimos para obtener una bebida fermentada con buenas características fisicoquímicas y organolépticas. Su análisis físico químico determinó un pH de 3,8; sólidos totales en °Brix 16,4; acidez 2 gramos/litro. Índice de madurez 8,2; demostrando que el arándano maduro tiene aptitud para la elaboración de bebidas fermentadas por ser rico en nutrientes. Los parámetros óptimos: grado de dilución 1:1, (1 de pulpa de arándano: 1 de agua), el tiempo de fermentación a la temperatura de 20 °C fue de 6 días, el °Brix inicial fue de 22°Brix, pH 3,8; concentración de nutriente 1 gramo por litro, dosis de clarificante 150 gramos por litro. Dosis de levadura única 30 gramos por hectolitro. En cuanto a las pruebas sensoriales la bebida fue evaluada con tres vinos comerciales se obtuvo el segundo lugar en cuanto al sabor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación de tipo Experimental, porque variaremos cantidades de los insumos hasta obtener una dosis adecuada y para ello utilizaremos equipos de laboratorios como el potenciómetro, densímetro, refractómetro y termómetro.

La técnica a ser aplicada es la de trabajo de producción de un licor a nivel de Laboratorio, ya que el estudio de encontrar una formulación adecuada para producir licor a partir del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), tomando en cuenta los siguientes pasos que se muestran en la figura 1.

Para nuestro proyecto se utilizó una población de 50 kg de fruto de arándano de los cuales se tomaron lotes de 1 kg, 1,5 kg, 2 kg y 3 kg para realizar la producción del licor por fermentación. La producción se realizó en el laboratorio de química general y química orgánica código SL01LA43.

FLUJOGRAMA OBTENCIÓN DEL LICOR DE ARÁNDANO

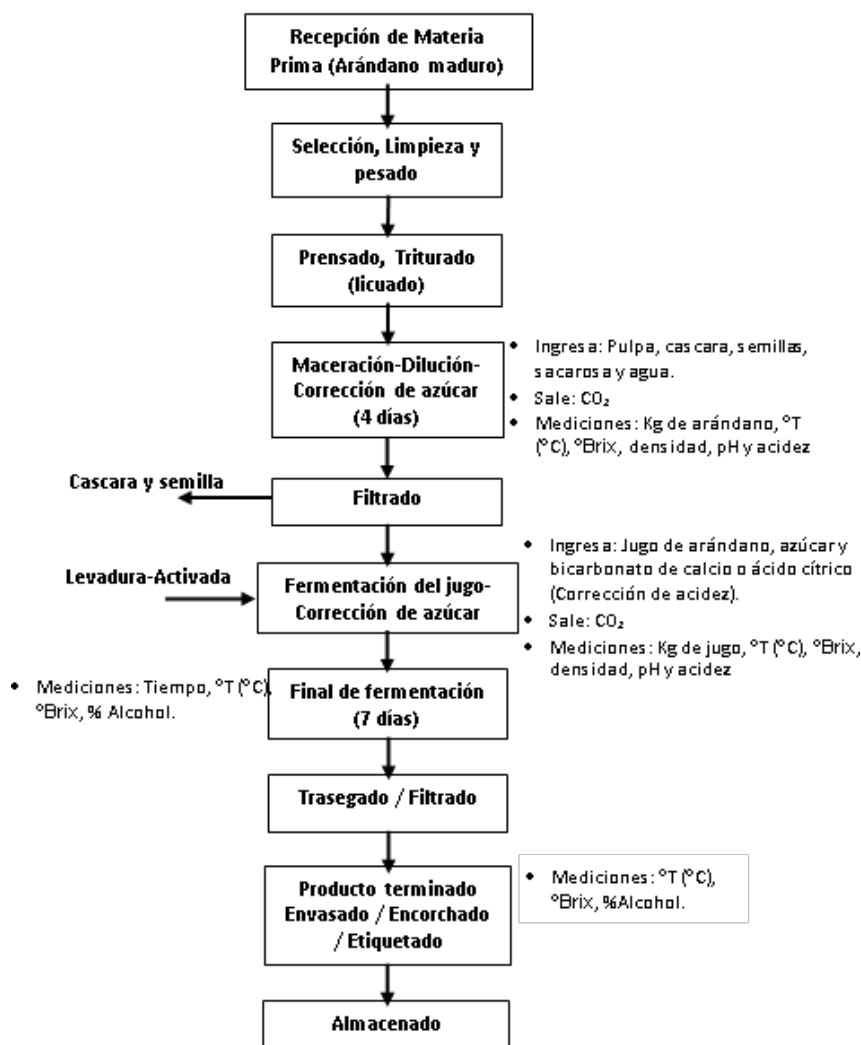


Figura 1. Diagrama de flujo para la producción del licor de arándano

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Los parámetros iniciales del arándano fueron de un pH entre 3,05 y 3,6, la acidez entre 12,16g Ácido cítrico/L y 13,51g Ácido cítrico/L. Para poder encontrar la relación adecuada de pulpa y agua, probamos las relaciones en

porcentaje de agua: pulpa, de 40%, 30% y 20%, muy a pesar que con fines de comercialización se puede llegar hasta una relación del 75% de agua: pulpa; pero se comprobó que a solo 20% de agua se obtiene un mejor color y un mejor aroma. Realizando un análisis cualitativo se observó lo siguiente:

Tabla 1

Resultados obtenidos entre la relación de pulpa y agua.

RELACIÓN % AGUA	OBSERVACIÓN
40	Demasiado diluído
30	Diluído
20	Adecuado, mejor color y aroma

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la CITE Agroindustrial, Huaura (2020)

Para poder encontrar la cantidad adecuada de azúcar a agregar tomamos en cuenta lo siguiente. Los °Brix iniciales del arándano, se encuentra en promedio a 10,08 °Brix, esto no es suficiente para obtener un buen grado de alcohol y se tiene que corregir hasta 21°Brix agregando azúcar, con la ayuda de un refractómetro.

Realizando un análisis cuantitativo se corrigió la cantidad de azúcar y se encontró la cantidad de agua a agregar utilizando el Excel como se muestran en la siguiente tabla para 3 kg de pulpa.

Tabla 2

Parámetros de producción con 3 kg. de pulpa de arándanos

PARÁMETRO DE LA FRUTA			MACERACIÓN CON AGUA			VOLUMEN DEL MOSTO	
FRUTA	AZÚCAR (°Brix)	ACIDEZ (g/L)	LÍMITE DE AGUA	DE	VOLUMEN	PESO MOSTO (Kg)	3,3L
ARÁNDANO	10,08	1,35	20%		0,6 L	PESO DE COLADO (Kg)	0,6 Kg
DATOS DE LA FRUTA			AGREGAR AGUA (JUGO)			AJUSTES (MOSTO)	
PESO DE PULPA		3,0 kg	AGUA AGREGADA		0,6 L	MASATOTAL	3 Kg mosto
ACIDEZ inicial		1,35 g/L	ACIDEZ final		5,5 g/L	AJUSTE ACIDEZ	14,7 g Ácido
°Brix inicial		10,08 °Brix	°Brix final		21 °Brix	AJUSTE AZÚCAR	0,478 kg Azúcar

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la CITE agroindustrial, Huaura (2020)

Tabla 3

Receta para 3 kg. de pulpa de arándanos

Dilución con agua al 20%		Volumen 3,3 L	
Pulpa (Kg)	Agua (L)	Azúcar (Kg)	Acidez
3,0	0,60	0,478	14,7 g Ácido

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la CITE agroindustrial, Huaura (2020)

El tiempo de maceración considerado para que se pueda extraer el color fue de 4 días y los días de fermentación 7 días. Para detener la fermentación medimos diariamente los °Brix con el refractómetro hasta llegar aproximadamente a 8° y así obtener un licor con un contenido del 12% de alcohol.

Para poder obtener el porcentaje de alcohol finalizada la fermentación, trabajando cada lote a 20% de agua de dilución, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\% \text{Alcohol} = (\text{°Brix inicial} - \text{°Brix final}) \times 0,9$$

Utilizando la fórmula para cuatro lotes se obtendrán:

- Lote N°1: $(21 - 8,01) \times 0,9 = 11,69\%$
- Lote N°2: $(21 - 7,92) \times 0,9 = 11,77\%$
- Lote N°3: $(21 - 7,88) \times 0,9 = 11,81\%$
- Lote N°4: $(21 - 7,66) \times 0,9 = 12,01\%$

Como se puede observar los datos obtenidos se ha logrado producir un licor de arándano con un °Brix final entre 7,66 y 8,01° y un promedio de 12% de alcohol.

Para poder encontrar el tiempo adecuado de fermentación utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* hidratada, se tomó en cuenta a Fuentes (2021) quien señala que la levadura tiene que activarse a 35°C y teniendo en cuenta a Falcón (2017) quien utiliza 30g de

levadura para 1 Hectolitro de dilución. Para nuestro caso tomando como ejemplo a 3 L de mosto utilizamos 0,9 gramos de levadura

Una vez realizada la fermentación se encontró los siguientes resultados tomando como referencia el lote N°4.

Tabla 4

Resultados obtenidos entre el tiempo de fermentación, los °Brix y el %Alcohol, del lote N°4.

Días	°Brix	% Alcohol
4	10,64	9,32
6	8,07	11,64
7	7,66	12,01

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la CITE agroindustrial, Huaura (2020).

Tiempo de fermentación Vs %Alcohol

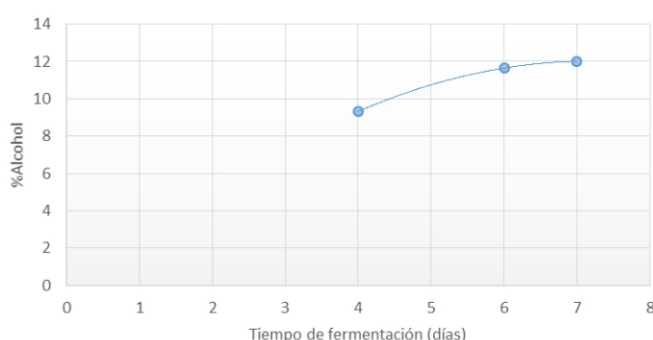


Figura 2. Relación entre el Tiempo de fermentación y el %Alcohol del lote N°4.

Fuente: Elaboración propia

Como se podrá observar en la tabla 1, la relación adecuada entre el peso del arándano y el agua es del 20% de agua tomando como 100% de pulpa de arándano. La cantidad de azúcar se obtuvo utilizando un programa en Excel como se muestra en la tabla 2, ingresando los datos de kg de pulpa de arándano, °Brix inicial, pH y acidez; en nuestro caso para llevar hasta 21°Brix se corrigió la cantidad de azúcar adicionándole 478g. El tiempo apropiado de fermentación como se muestra en la tabla 4, es de 7 días para lograr obtener un licor de arándano con 12% alcohol aproximadamente.

DISCUSIÓN

En cuanto a la factibilidad de producción de bebida a partir de todo el fruto de arándano Barrera (2020) señala que utilizando un lote de 50L obtuvo 44,870L de vino de arándano con grado alcohólico de 12,52 %V alcohol, que representan un 89,74% de producto final respecto al volumen de mosto inicial; mientras que en nuestra investigación de un lote de 3,029L se obtuvo 2,9L de licor de arándano al 12%V alcohol, representando un 95,74% de producto final respecto al volumen de mosto inicial; resaltando que nuestro producto final no se clarifico y solo se paralizó la fermentación a un grado de alcohol apropiado para un licor, pero aun así se puede obtener una buena utilidad pues una botella de 750 ml de vino de arándano se comercializa desde 30 hasta 50 soles o como asevera Barrera (2020) que pudo lograr un precio aceptable de \$ 21,00 antes de impuestos, además Feliciano y Calixto (2015) encuentra de 377 encuestados un porcentaje del 86% de aceptabilidad a comprar el vino de arándano en s/ 15.00. En cuanto a la dilución Guerrero (2021) resalta que una dilución 1:1 (1 kg de arándano / por cada litro de agua), es la única que cumple con la Norma Técnica Peruana de Licores 211.009 – 2012; mientras que para la investigación se utilizó una dilución del 20% de agua tomando como base el peso del arándano con la finalidad que se mejore en el color y el aroma que le concede el arándano al licor. En cuanto a los días de fermentación estamos muy cercanos a Falcón (2017) quien resalta que su tiempo de fermentación es de 6 días a una temperatura de 20°C con un °Brix inicial de 22, en nuestro caso fueron necesarios 7 días para obtener un licor a 12% de alcohol aproximadamente y la diferencia puede deberse porque cortamos la fermentación a un °Brix apropiado para obtener los grados de alcohol requeridos y porque el investigador inicia con un °Brix mayor. Se ha logrado encontrar la formulación adecuada para la producción de un licor de arándano el cual puede ser consumido con fines medicinales, apoyándonos en lo investigado por Aldaba (2016) quien señala que los antioxidantes fenólicos encontrados en el arándano azul (Blueberry) ayudan a prevenir y disminuir los procesos oxidativos que intervienen en diferentes patologías. Garriazo e Ingaruca (2019) aseveran que el extracto alcohólico del fruto de arándano proveniente de cañete Lima presenta lactonas, triterpenos, flavonoides, compuestos fenólicos y actividad oxidante. Rojas (2019) quien señala que, la nutricionista Ana Rodríguez-Mateos, de la Universidad de King's (Reino Unido), principal

autora de la investigación concluye que si se consume a diario el arándano, las antocianinas, flavonoides y fenoles que contiene pueden favorecer a la función de los vasos sanguíneos y se podría reducir el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares hasta un 20%.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Lic. Oliver Diógenes Romero Iribarren, por su conocimiento especializado compartido en la capacitación y al Dr. Máximo Tomas Salcedo Meza, por autorizar el uso del Laboratorio de Química general y Química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, para la realización de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldaba et al. (2016). *Funcionalidad del arándano azul (Vaccinium corymbosum L.). Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología*. Zacatecas, México.
- Barrera M. J. (2020). *Desarrollo de un vino partiendo del fruto Vaccinium myrtillus (arándano azul), en la empresa casa vinícola los Frayles S.A.* (Tesis pre grado). Fundación Universidad de América. Bogotá.
- Falcón R. (2017). *Determinación de los parámetros óptimos para la elaboración de una bebida fermentada a partir de arándano (Vaccinium Myrtillus L.) al estado maduro*. Huaraz. Perú
- Feliciano F. y Calixto D. (2015). *Aceptabilidad del vino de arándano (Vaccinium meridionale), elaborado con los parámetros óptimos en la ciudad de Huánuco*. Perú.
- Fuentes M. (2021). *Obtención de un vino a partir de la pulpa de arándanos azules aplicando dos presentaciones de levaduras (hidratada y deshidratada) a diferentes temperaturas de activación (30°C y 35°C)*. (Tesis pre grado). Fundación Universidad Agraria del Ecuador.
- Garriazo R. e Ingaruca S. (2019). *Extracto hidroalcohólico del fruto de Vaccinium corymbosum (arándano), proveniente de Cañete*. Lima
- Guerrero Z. D. D. (2021). *Determinación de parámetros para la elaboración de una bebida alcohólica fermentada de arándano*. (Tesis de pre grado). Universidad Nacional de Piura. Perú.
- La Rosa R. (2020). *Consumo de arándanos y función cognitiva en adultos con Parkinson*. Lima Perú.
- Rojas (2019). Arandanosperu.pe – Prueban que arándanos azules ayudan a reducir presión arterial. <https://arandanosperu.pe/2019/03/14/prueban-que-arandanosazules-ayudan-a-reducir-presion-arterial>

Tratamiento con humedales artificiales de aguas residuales canalizadas para su uso en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión - 2022

Constructed wetland treatment of channeled wastewater for use in University National Jose Faustino Sanchez Carrion - 2022

Miguel Ángel Inga Sotelo¹, Denisse Jesús Vélez Chang²

1

RESUMEN

Objetivo: Consiste en aplicar un tratamiento con humedales artificiales a las aguas residuales del cauce que pasa en las proximidades de la universidad de Huacho, estas aguas residuales se conducen al medio marino, una fracción convenientemente separada del canal se le puede tratar con humedales artificiales utilizando cultivos con capacidad depuradora, que contribuye a la oxigenación del sustrato y a la biodegradación de los nutrientes y en la parte subterránea se desarrollan una población de microorganismos, que promueven los principales procesos que se encuentran involucrados para biodegradar y eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. **Material y Métodos:** El volumen de agua residual depositado en el compartimiento, se calculó para un tiempo de residencia de 5 días, para luego pasar este mismo volumen de agua al siguiente compartimiento y este al tercer y último compartimiento por cinco días de tiempo de residencia en cada compartimiento, completando 15 días de tiempo total para biodegradar el afluente con características ligeras de contaminación como es el caso de las aguas del cauce referido líneas arriba. **Resultados:** La tabulación de la información experimental resultante se presentan en 03 tablas que muestran la separación de sólidos disueltos y también los de naturaleza coloidal, estos últimos está directamente relacionados con la turbidez y el TDS que presenta las muestras de agua residual, y en el caso de los sólidos orgánicos removidos se reflejan en los resultados de DBO. **Conclusión:** El producto obtenido del tratamiento con humedales artificiales, es un agua que previamente clorada para eliminar la baja población de coliformes fecales y totales se podría dar uso como agua de riego para el campus de la universidad.

Palabras clave: Humedales artificiales; Aguas residuales.

ABSTRACT

Objective: It consists of applying a treatment with artificial wetlands to the residual waters of the channel that passes in the vicinity of the Huacho University, these residual waters are conducted to the marine environment, a conveniently separated fraction of the channel can be treated with artificial wetlands using crops with purifying capacity, which contributes to the oxygenation of the substrate and the biodegradation of nutrients and in the underground part a population of microorganisms develops, which promote the main processes that are involved to biodegrade and eliminate the contaminants present in the residual water. **Material and methods:** The volume of residual water deposited in the compartment was calculated for a residence time of 5 days, to then pass this same volume of water to the next compartment and this to the third and last compartment for five days of residence time. in each compartment, completing 15 days of total time to biodegrade the tributary with slight contamination characteristics, as is the case of the waters of the channel referred to above. **Results:** The tabulation of the resulting experimental information is presented in 03 tables that show the separation of dissolved solids and also those of a colloidal nature, the latter is directly related to the turbidity and the TDS that the residual water samples present, and in the case of the organic solids removed are reflected in the BOD5 results. **Conclusion:** The product obtained from the treatment with artificial wetlands is a water that was previously chlorinated to eliminate the low population of fecal and total coliforms and could be used as irrigation water for the university campus.

Keywords: Constructed wetlands; Sewage water

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el aumento de la densidad de habitantes, el problema de desabastecimiento del recurso agua se hace más notorio para cubrir las diferentes necesidades de este recurso valioso en diferentes usos de este valioso líquido según sus

diferentes categorías de calidad, se plantea la necesidad de realizar investigaciones que propongan soluciones que permitan reciclar o reusar el agua con rendimientos de remoción de impurezas satisfactorios y óptimos de acuerdo a el uso que se le va dar y así también proteger los cuerpos de agua que disponemos, tales como lo son los ríos lagos, lagunas, escorrentías y el medio marino.

Recibido 16/01/2022 Aprobado 26/02/2022

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



¹Miguel Ángel Inga Sotelo, ORCID: 0000-0003-3940-120X. miguelinga_5@hotmail.com. Ambientales de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
²Denisse Jesús Vélez Chang, ORCID: 0000-0003-2969-9786. Egresada de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

El continuo incremento de la densidad poblacional genera mayores volúmenes de aguas residuales domésticas con alto contenido de materia orgánica y agentes patógenos que son arrojados sin ningún tratamiento hacia los cuerpos de agua, posteriormente estos alteran los ecosistemas acuáticos y ocasionan un impacto negativo a la biota acuática.

Una alternativa para depurar aguas contaminadas de origen urbano predominantemente es por medio de la utilización de los humedales artificiales en sus diferentes diseños que se pueda aplicar según la disponibilidad y condiciones del lugar donde se les puede construir. Los humedales artificiales se han implementado para tratar aguas domésticas municipales.

Hoy en día se da lugar a una contaminación indiscriminada de los cuerpos de agua ha impactado negativamente hacia el medio ambiente y la salud de la población, frene a esta problemática se realiza investigaciones para encontrar propuestas técnicas con evidencia científica, que permitan encontrar opciones de remediación para reducir o eliminar el daño ambiental.

Una de las alternativas de solución que se está aplicando es la implementación de las plantas de tratamiento de aguas residuales llamadas "PTAR" que se han instalado principalmente en la ciudad de Lima, generan efluentes menos tóxicos, pueden ser usadas para diversos usos de la actividad humana. Normalmente las plantas de tratamiento son insostenibles ya que tienen un alto costo de energía eléctrica, altos costos de mantenimiento, consumo de insumos químicos por lo que son viables parcialmente técnica y económicamente, tienen el inconveniente adicional de tipo ambiental de generar una importante cantidad de lodos, otra opción que se dispone es el uso de los humedales artificiales.

Una importante alternativa para tratar las aguas residuales son los humedales artificiales al respecto Arias. y Brix (2003) nos indica que el uso de lagunajes, de sistemas de infiltración, de humedales artificiales de toda la variedad de sistemas, pues producen efluentes de buena calidad, al mismo tiempo que presentan bajos costos de inversión, operación y mantenimiento y no requieren personal altamente capacitado. El uso de humedales para depurar aguas se ha incrementado durante los últimos veinte años y, hoy por hoy, son una opción de tratamiento de aguas residuales reconocida y recomendada. Se ha demostrado que son una opción para reducir materia orgánica. (p.18).

Respecto a los humedales artificiales Llagas y Guadalupe (2006) explican que estos son una forma de sistemas naturales de depuración, explican que están siendo considerados con el propósito del tratamiento del agua residual y control de la contaminación del agua. El interés en los sistemas naturales está basado en la conservación de los recursos asociados con estos sistemas como opuesto al proceso de tratamiento convencional de aguas residuales que es intensivo respecto al uso de energía y químicos. Los wetlands son

uno de los muchos tipos de sistemas naturales que pueden usarse para el tratamiento y control de la contaminación. Según U.S. EPA (1983), Un wetland se construye específicamente con el propósito de controlar la contaminación y manejar los residuos, en un lugar donde existe un wetland natural.

Otro trabajo que nos evidencia la gran capacidad de remoción de contaminantes por acción de algunas plantas, nos explica Romero *et al* (2009) que el tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36 % de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. Los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento. En el presente trabajo se evalúa el porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales. El sistema fue diseñado con tres módulos instalados de manera secuencial. En el primero se integraron organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, en el segundo, organismos de la especie *Typha domingensis* (Pers.) Steudel y en el tercero las dos especies. (p.157).

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestra.

La muestra del universo seleccionado está representada por una cantidad total de agua a tratar de por 75L de agua residual distribuidos en tres compartimientos de 25 litros c/u de agua residual para hacer los análisis necesarios y las corridas experimentales con el humedal artificial construido que se dispuso en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Materiales, equipos, reactivos

A fin de desarrollar el presente trabajo de investigación se necesitaron los siguientes equipos y materiales:

Equipos:

Humedal artificial construido con material de vidrio, con 3 divisiones, cada una ellas con las dimensiones siguientes: 0,30 m de altura, 0.40 m de largo y 0.30 de ancho. Comunicadas en la parte inferior por una placa permeable entre las divisiones que constituyen el humedal artificial.

Phmetro PEN Type Ph Meter.

Turbidímetro Hanna

Materiales:

- Burela 200 ml.
- Tubos de prueba
- Pera de separación
- Vasos Erlenmeyer de 50 y 250ml.
- Plantas Juncos colectadas del humedal natural próximo a la playa de Paraíso, que en una cantidad de 8 plantas por división se instalaron para la experimentación, con un tiempo de 20 días previos a la experimentación se instalaron en el humedal artificial.

Procedimiento experimental.

Las experimentaciones con las muestras de aguas residuales se realizaron en campo, así también en laboratorio, previa analítica de estas muestras en sus características físicas y químicas, para ello se utilizó los equipos disponibles de uso portátil y en mesa, se tabularon los resultados para su procesamiento y luego registro de resultados y luego evaluarlos, en el caso de la información de análisis microbiológica se evaluó en laboratorios certificados.

Los resultados obtenidos se contrastaron teniendo en cuenta las muestras de aguas residuales antes y después de su tratamiento, del humedal artificial preparado.

El trabajo de investigación se orientó para verificar la operatividad del prototipo del humedal artificial con un flujo horizontal en 03 etapas para ello se analizó y confrontó las propiedades más representativas de la calidad del agua tratada y las del agua sin tratar con el propósito de disminuir en un porcentaje significativo y comparable a la experimentación de los pares que con el mismo diseño u otros se ha logrado resultado.

La investigación también tiene por objetivo mejorar la calidad del agua de regadío con respecto a la presencia de sólidos disueltos, coloidales y en suspensión que dan al agua una apariencia medianamente turbia que se verifica por su contenido de sólidos con tendencia a naturaleza inorgánica y ligeramente de naturaleza orgánica que se evidenció por su bajo nivel de DBO₅ y también baja cantidad de microorganismos característicos como son los coliformes totales.

Aparte del objetivo de mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de regadío utilizando los humedales artificiales con flujo subsuperficial horizontal en tres etapas, existen otras correlaciones con las variables de operación del sistema que requieren pruebas experimentales para alcanzar una optimización en el diseño total del sistema de tratamiento del agua residual y que son los siguientes:

a. Pretratamiento utilizando mallas con granulometría necesaria para retirar las partículas sólidas en suspensión, también se puede hacer esta remoción de sólidos en suspensión utilizando una cesta con un fondo

perforado de aberturas finas que permita una separación del material particulado y fibras u otros sólidos en suspensión.

b. Tratamiento primario, si el agua residual presenta alta concentración de sólidos de naturaleza orgánica se requiere un tratamiento previo que puede ser por lodos activados o un tanque sedimentador a fin de reducir este alto contenido de DBO₅, pero en ese caso el agua residual a tratar presenta un bajo fin contenido de materia orgánica.

c. Mecanismo de medición del flujo volumétrico que está en función a la capacidad de rendimiento del humedal artificial subsuperficial con flujo horizontal en tres etapas, a su vez esta capacidad del sistema de humedal depende del caudal, de la carga orgánica e inorgánica, el tiempo de residencia del agua residual en el humedal artificial, área del humedal disponible, número y variedad de plantas que se usa. La finalidad del control de todas estas variables es evitar la formación excesiva de lodos en los recipientes del humedal artificial, usualmente acontece esta situación cuando se le carga demasiado al humedal perdiendo eficiencia en su capacidad de remover sólidos que fomentan la turbidez del líquido a depurar.

En el tratamiento del agua residual con la muestra tomada del cauce de aguas residuales, se realizó el retiro del material en suspensión y disuelto con el auxilio una malla N°80, a continuación se empezó con la prueba inicial experimental con una muestra del agua residual se probó con el sistema instalado con 03 compartimientos de vidrio comunicados entre sí a través ros del fondo de estas unidades divisorias con el auxilio de válvulas cuyo manejo es según los tiempos de sedimentación y degradación que realizan las plantas con capacidad depuradora, para este propósito se seleccionó el junco, con un promedio de 20 plantas en cada unidad divisoria.

Luego de realizar pruebas iniciales para la determinación de los tiempos de residencia, para una cantidad fija de agua residual a tratar en este caso fue de 25 litros para cada compartimiento, en el sistema de humedal artificial construido, el tiempo total calculado fue de 15 días, como tiempo de residencia del afluente hasta que se logró obtener un efluente con un porcentaje de depuración óptimo, previamente se analizó el agua según se muestra los resultados fisicoquímicos antes y después del tratamiento de depuración con el humedal artificial diseñado para un tiempo de residencia de cinco días por cada compartimiento, en la tabla 1, se muestran los resultados de salida en el compartimiento 01, que corresponde al término del quinto día de depuración, cuyos resultados se ilustran en la tabla 1

RESULTADOS

Tabla 1

Prueba experimental de depuración con humedal artificial con un efluente del primer compartimiento.

Características Físicoquímica	Pretratamiento	Postratamiento
DBO ₅ (mg/l)	2,00	1,5
TDS (mg/l)	25	15
Turbidez NTU total	19,00	12,5
N- total (mg/l)	1,7	1,4

Fuente: Elaboración propia

En el segundo compartimiento de depuración del humedal artificial se verificó los siguientes resultados que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Prueba experimental de depuración con humedal artificial con un efluente del segundo compartimiento.

Características Físicoquímica	Pretratamiento	Postratamiento
DBO ₅ (mg/l)	1,5	0,55
TDS (mg/l)	15	7,5
Turbidez NTU total	12,5	7,5
N- total (mg/l)	1,4	0,8

Tabla 4

Correlación de variación del % de remoción del parámetro físicoquímico con respecto al compartimiento del humedal artificial.

	% Remoción de la característica físicoquímica			
Características Físicoquímica	División 1	División 2	División 3	TOTAL
Turbidez (NTU)	34,2	40	66,67	86,84
TDS (mg/l)	40	50	44	83,2
DBO ₅ (mg/l)	25	63,33	100	100
N- total (mg/l)	17,6	42,86	50	76,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

En el tercer compartimiento de depuración con humedal artificial se verificó los siguientes resultados.

Características Físicoquímica	Pretratamiento	Postratamiento
DBO ₅ (mg/l)	0,55	0
TDS (mg/l)	7,5	4,2
Turbidez NTU total	7,5	2,5
N- total (mg/l)	0,8	0,4

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se presentan en las 3 tablas anteriores muestran la separación de sólidos disueltos está directamente relacionados con la turbidez y el TDS que presenta las muestras de agua residual, y en el caso de los sólidos orgánicos removidos se reflejan en los resultados con los datos experimentales; DBO₅ y, N-total.

Al inicio del presente trabajo de investigación se logró conseguir la información de la caracterización del efluente que se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Resultados de análisis microbiológico y DBO₅.

Características microbiológicas y DBO ₅	NMP/1000 ML
Numeración de coliformes fecales	1,8
Numeración de coliformes totales	1,8
DBO ₅ (m/l)	2

Fuente: UNJFSC

DISCUSIÓN

Los resultados respecto a la caracterización del agua residual del cauce de aguas residuales que discurren en las proximidades de la universidad nacional de Huacho, registraron un nivel de contaminación leve, dando la viabilidad técnica de aplicar un tratamiento utilizando los humedales artificiales, el cual tiene sus limitaciones para recibir aguas residuales con alta carga contaminante, así mismo los caudales de alimentación tampoco pueden ser muy altos para poder tratar el agua residual con el sistema de tratamiento por etapas y por cantidades determinadas de agua residual a tratar, como es el caso del presente estudio de investigación. Estos resultados se presentan en las Tablas 1, 2, 3 y 5.

Antes de iniciar el trabajo de investigación con el humedal artificial subsuperficial con flujo horizontal en 3 etapas instalado, se retiró con el auxilio de una malla N° 80 el material sobrenadante que se encuentra en el agua residual.

En cuanto al tratamiento con el humedal artificial se hicieron pruebas experimentales iniciales con el objetivo de determinar el volumen de agua residual y el tiempo de retención apropiados para una operatividad adecuada a la capacidad natural depuradora de los juncos instalados en un número de 20 plantas por cada división del recipiente de vidrio, el objetivo de realizar estas pruebas previas fue para determinar el volumen apropiado de agua residual y el tiempo de residencia del agua residual con las plantas los cuales fueron de 25 litros y 5 días por cada división respectivamente, Con estos parámetros de diseño se evitaba la formación de lodos que saturan el sistema de biodegradación natural, y así lograr un promedio de rendimiento aceptable de remoción de los sólidos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual.

Apreciando la Tabla 4, se observa que en promedio las velocidades de degradación son mayores cuanto más

diluido se encuentra el agua residual, este comportamiento de la cinética de degradación se verifica en la tabla 4, donde las características fisicoquímicas se degradan con porcentajes de remoción que son más altos conforme se progresa en el sistema de 3 divisiones conectadas del humedal artificial, el análisis a este resultado es que al inicio del tratamiento, la mayor carga contaminante que resiste y asimila es el primer grupo de juncos que está en el primer compartimiento del humedal artificial, el segundo grupo de plantas recibe una agua residual con menos carga contaminante por lo que su actuación biodegradadora es más eficiente y se adecua óptimamente a su capacidad natural depuradora, tal como se observa y analiza en los resultados de la tabla 4. Estas aguas ya tratadas con un inicial tratamiento de cloración se adecuan para su utilización como aguas de regadío para áreas verdes que tiene el campus universitario de la Universidad Nacional de Huacho.

CONCLUSIONES.

La conclusión a que se puede arribar, que el agua residual tratada obtenida cumple con los parámetros básicos para calificar un tipo de agua para su utilización como agua de regadío, esto se corrobora por los resultados de la analítica fisicoquímica y microbiológica en sus principales características que se muestran en la tabla 5, por otro lado la contaminación microbiológica encontrada es baja teniendo en cuenta que es una medición ocasional, que puede cambiar en función a las coordenadas geográficas donde se tomó la muestra y con la estación del año.

Los sólidos sobrenadantes se retiraron con el apoyo de una malla N° 80, quedando el agua preparada para el siguiente tratamiento, que es con el humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal con 3 divisiones.

Con los resultados, que se muestran en la tabla 4, donde se observa el porcentaje de remoción por división del humedal artificial para las condiciones de operación que se estableció para el humedal artificial, encontrando que conforme discurre el agua residual por las divisiones del humedal artificial, el agua va mejorando en sus características fisicoquímicas indicadoras de calidad en la depuración de ésta, notándose que en la primera división es donde se registra un mayor porcentaje de eliminación de carga contaminante.

El volumen de agua residual depositado en la primera división fue de 25 litros para un tiempo de residencia de 5 días, para luego discurrir esta cantidad de agua a la próxima y de esta a la tercera y última división por cinco días más por cada división, haciendo un tiempo total de 15 días, para biodegradar el agua residual hasta características aceptables para ser utilizada como agua de regadío.

El agua obtenida se le trata previamente con hipoclorito de sodio, hasta alcanzar una concentración aproximada en el rango de 1-1.5 ppm, para poder eliminar la carga microbiológica presente, antes de ser utilizada como

agua de regadío en la universidad nacional de Huacho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, C. y Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

Ciencia e Ingeniería Neogranadina, núm. 13, p.p. 17 - 24

Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Llagas W. & Guadalupe e, 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Rev. Inst. Investig. Fac. minas metalcienc. geogr., vol.9, no.17, p.85-96. ISSN 1561-0888.

Romero, M., Colin, A., Sánchez, E. y Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3). 157-167

