

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

Título: Uso industrial del follaje verde de pino en la Provincia de Pinar del Río, Cuba

Temática a la que tributa el trabajo: IV Gestión ambiental desde iniciativas o proyectos

Autor (es): Dr. C. Elena Cordero Machado; Dr. C. Uvaldo Orea Igarza; M. Sc. Juan Carlos Díaz Gispert

Dirección de correo electrónico: ecordero@af.upr.edu.cu, ecordero4@gmail.com

Entidad laboral de procedencia: Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba.

Resumen

Grandes volúmenes de follaje en la actualidad son considerados residuos del Aprovechamiento Forestal, su empleo en la obtención de productos, con potencial aplicación en las industrias farmacéutica, alimenticia, química, la cosmética y la perfumería, impulsa las investigaciones hacia un detallado estudio de los parámetros tecnológicos que permitan el escalado para la obtención de estos derivados, facilitando el trabajo de investigación-desarrollo y la interacción universidad-industria. En el presente trabajo se estudió el comportamiento de los parámetros del proceso a escala de banco para la obtención de: ceras, clorofilina de sodio, concentrado provitamínico, concentrado de ácidos grasos y resinosos, aceites esenciales y residuo lignocelulósico del follaje verde de pino. Los métodos utilizados fueron: extracción sólido-líquido, gravimétricos, potenciométricos, espectroscópicos, así como las Normas Internacionales TAPPI, y los métodos estadísticos para el análisis de los resultados. Se realizó la evaluación comercial y análisis de prefactibilidad económica para estos productos mediante técnicas de Marketing. Se determinó el tiempo de cada operación en el proceso de obtención de cada producto; demostrando que la continuidad de la producción se realiza a partir de 3,44 días. Estableciendo un esquema químico y de producción para la obtención de los productos. Los indicadores de calidad de cada producto se mantienen dentro del rango internacional establecido. El análisis de prefactibilidad económica indica que los costos estimados a escala de banco comparados con los precios en el mercado, permite suponer que aun incrementándose los costos a escala industrial, la obtención de estos productos será competitiva en el mercado internacional.

Palabras clave: Follaje, bioactivos, productos, parámetros, tecnología.

Abstract

Large volumes of foliage are currently considered residues of the Forest Harvesting, their use in the procurement of products, with potential application in the pharmaceutical, food, chemical, cosmetic and perfumery industries, it promotes research toward a detailed study of the technological parameters that allow scaling to obtain these derivatives, facilitating the work research-development and University-Industry interaction. This paper studied the behavior of the process at the bank-scale parameters



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

for obtaining: waxes, sodium chlorophyllin, provitamin concentrate, fatty and resinous acid concentrate, essential oils and lignocellulosic residue from green pine foliage. The methods used were: solid-liquid extraction, gravimetric, potentiometric, spectroscopic, TAPPI International Standards Methods, and statistical methods for the analysis of results. Commercial evaluation and economic pre-feasibility analysis for these products were carried out using Marketing techniques. The time of each operation was determined in the process of obtaining each product; demonstrating that the continuity of production is carried out from 3,44 days. Establishing a chemical and production scheme for obtaining the Indicators of quality of products are maintained within the range established internationally. The economic pre-feasibility analysis indicates that the estimated costs of the bank-scale compared to the prices in the market, it allows supposing that even increasing the costs at industrial scale, the obtaining of these products will be competitive in the market International.

Key words: Foliage, bioactive, products, parameters, technology

Introducción

Los resultados alcanzados en la práctica social, por la ciencia, sobre el aprovechamiento del follaje verde para producir sustancias biológicamente activas, garantizan una mejor protección del ecosistema forestal. El empleo del follaje con fines industriales está encaminado a la obtención de preparados para las industrias farmacéutica, alimenticia, química, cosmética, perfumería, entre otras. Países como Rusia (Yagodin, 1989), Estados Unidos (Collins, 1994), Japón (Genechiro, 1995), China (Zheng, 2011; Xiang, 2011; Chen Chen, 2012), Portugal (Moreira, *et al.*, 2019), Wu C, *et al.*, 2020, se han dedicado al estudio del aprovechamiento del follaje verde y han demostrado su utilidad en la elaboración de fármacos, en la medicina veterinaria, en la industria cosmética y como colorantes en alimentos; producciones que abarcan un mercado familiar, regional y nacional.

El follaje se destaca dentro de los Productos Forestales no Madereros más utilizados a escala internacional por las aplicaciones que tienen en la medicina humana y animal, sanidad vegetal y animal, alimentación, decoración etc., disminuyendo la utilización de químicos y acrecentando la conservación del Medio Ambiente. En la actualidad, en Cuba, su utilización se ve restringida a usos tradicionales sin más méritos comerciales o de otra índole, ocasionando contaminación en las áreas de talas debido a su acumulación.

La obtención de productos de alto valor agregado a partir del follaje de especies de pinos constituye un singular aspecto en cuanto a la utilización de los desechos de origen forestal. El conocimiento de la presencia y de la calidad de las sustancias con actividad biológica que se encuentran en el follaje de pinos cubanos, ofrece una alternativa de aprovechamiento del follaje para la extracción y comercialización tanto de



III ENCUESTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

preparado como de productos individuales Cordero, 2001, Díaz, 2007; Mancebo *et al.*, 2016.

Los parámetros del proceso se llevan a escala de banco, facilitando el trabajo de investigación – desarrollo, con el fin de demostrar que la obtención de los productos finales a partir del follaje verde puede ser elaborada a escala industrial y fortalecer la interacción universidad – industria (Douglas, A., 1996; De Silva, T., 1997). Muchas son las entidades pertenecientes a la rama forestal que trabajan con el follaje y su actividad biológica ejemplo fehaciente de esto lo es el Institute of Chemical Industry of Forest Products y Joint Stock Company "Biolat" en Letonia, Solagran (2020) en Rusia.

El *Pinus caribaea* Morelet *var. caribaea*, endémico del occidente de Cuba, es una valiosa especie de rápido crecimiento y gran plasticidad ecológica, que se utiliza con resultados excelentes en los programas de mejoramiento genético forestal, lo que representa un patrimonio de incalculable valor.

En la actualidad el follaje es considerado un residuo del Aprovechamiento Forestal con grandes potencialidades poco explotada, por lo que el objetivo del presente trabajo consiste en la utilización del follaje verde de especies forestales en la Provincia de Pinar del Río, Cuba, para la obtención de cera, aceites esenciales, clorofilina de sodio, concentrado provitamínico, pasta balsámica, residuo forrajero y pasta clorofila-caroteno.

Poner en práctica metodologías científicas y tecnológicas adecuadas frente a los desafíos que hoy presenta la industria forestal sustentable es un reto.

Desarrollo

1. Principales operaciones para el tratamiento del follaje verde

1.1. Trituración

La preparación de la materia prima (follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet *var. caribaea*) se realiza en un molino de martillo de 14 HP, con tiempo de molida de 0,4 Kg/min, hasta su desfibración para obtener partículas de 7-8 mm según Norma 8770-58 (Yagodin, V. I., 1981).

1.2. Extracción

La extracción continua del follaje verde desfibrado se realiza mediante el método de deflegmación en un reactor a escala de banco, construido con el asesoramiento del Dr. Yagodin, V. I. (1989) e investigadores de la Universidad de Pinar del Río (Díaz, S., 1998) y la colaboración de ingenieros de la Asociación Nacional de Innovadores y Racionalizadores, de Pinar del Río.

El reactor para la extracción de las sustancias biológicamente activas a partir de la biomasa del follaje verde, a escala de banco, tiene una altura de 60 cm por 30 cm de diámetro con un volumen de 0,042 m³ rodeado por una camiseta protectora, con una capacidad de 2 kg de follaje. Para la extracción se utiliza un disolvente apropiado. La relación materia prima: disolvente

- Follaje: bencina 1: 0,7-0,8
- Follaje: bencina 1: 1,5
- Follaje: bencina: agua 1: 1:0,5



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

- Follaje: bencina :agua 1: 1,2:0,3

La temperatura de extracción de 70, 80, 90 y 100 °C, con velocidad de calentamiento de 3 °C /min y enfriamiento de 5-8 °C durante dos, tres y cuatro horas y a 1, 2, 3, 4 y 5 días de almacenado el follaje. El extracto lipídico se colecta a través de un grifo de salida en la parte inferior del equipo.

En la figura 1 se observan los contenidos de lípidos del extracto de follaje donde se puede apreciar una disminución de los mismos con los días de almacenamiento.

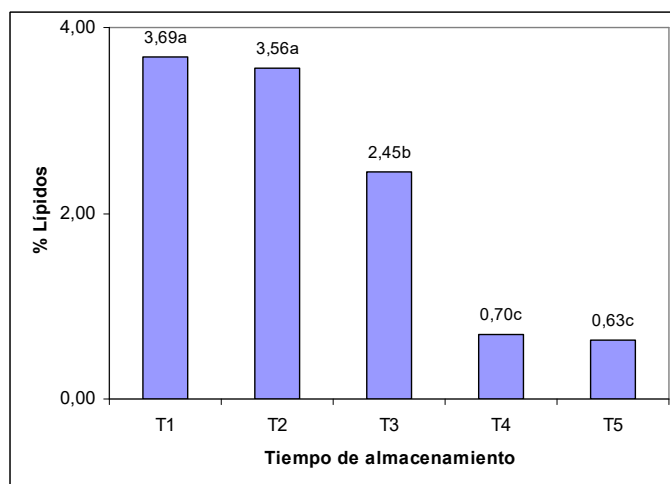


Figura.1 Contenido de lípidos del follaje verde almacenado de *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea*.

El tratamiento estadístico demuestra que no existen diferencias estadísticas significativas para los contenidos de lípidos en el primer, segundo día, mientras que muestran diferencias con el tercero y este con el cuarto y quinto días no existiendo diferencias entre los últimos.

Las variables contenidos de lípidos y tiempo de almacenamiento cumplieron el criterio de normalidad con un nivel de significación del 95%. El tratamiento estadístico demuestra que no existen diferencias estadísticas significativas para los contenidos de lípidos en el primer, segundo día, mientras que muestran diferencias con el tercero y este con el cuarto y quinto días no existiendo diferencias entre los últimos. Los resultados para el follaje almacenado sugieren variaciones en los contenidos de lípidos existiendo una apreciable disminución en su contenido con el tiempo de almacenamiento. Al tercer día los contenidos de lípidos disminuyen en aproximadamente un 66% del primer día de extracción. Estos resultados corroboran los obtenidos por Cordero 2001, quien plantea que durante el almacenaje del follaje ocurren transformaciones de los pigmentos, lo cual se aprecia al aumentar el proceso de feofitinización con los días.

La figura 2 muestra diferentes relaciones de disolvente para 2 kg de follaje que es la capacidad máxima que procesa el extractor a escala de banco, el extracto obtenido presenta los mayores contenidos de lípidos para la mezcla bencina -- agua empleada como disolvente no existiendo diferencias estadísticas significativas entre las dos

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

relaciones con igual disolvente pero si para cuando se emplea la bencina como disolvente.

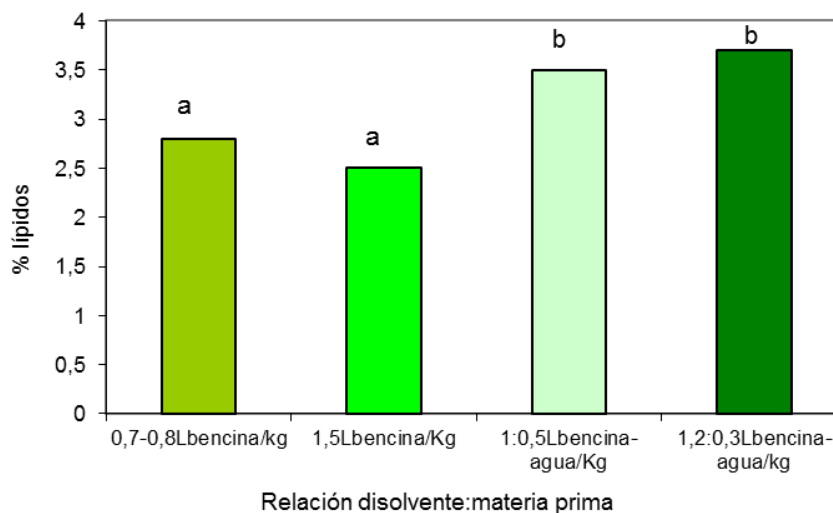


Figura 2. Contenido de lípidos del extracto de follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea* para diferente relación disolvente con 2kg de follaje en el extractor a escala de banco.

Los resultados demuestran que se produce un incremento en los porcentajes de lípidos del extracto obtenido de follaje verde empleando como disolvente bencina - agua, esto puede estar relacionado a que la combinación de un solvente de baja polaridad como la bencina con el agua, puede facilitar que se efectúe una mejor extracción, debido a que la influencia de la polaridad del agua puede provocar la ruptura del enlace pigmento - proteína y su disolución en el disolvente de baja polaridad. Esto concuerda con lo publicado por Yagodin, V. I. (1981), quien señala que disolventes como el hexano y la bencina no extraen las clorofilas del complejo que no ha sido desnaturalizado, provocando la extracción parcial de las clorofilas del complejo.

Los resultados indican que el mejor sistema de solventes resulta la bencina - agua, para la extracción del follaje verde. La separación de la bencina – agua se lleva a cabo en un embudo separador, las propiedades de solubilidad y densidad facilitan la fácil separación de la bencina y el agua. El extracto lipídico es sometido a un tratamiento químico de forma individual con el objetivo de obtener los productos: clorofilina de sodio, concentrado provitamínico, aceites esenciales y concentrado de ácidos grasos y resinosos, a partir de este solvente universalmente empleado y que extrae la fracción lipídica.

1.2.1. Temperatura de extracción.

Los resultados indican (figura 3, Anexo 1) que los mayores contenidos de pigmentos y lípidos en el extractor son para temperaturas de 70 y 80 °C, siendo estas las mejores temperaturas para efectuar la extracción de las sustancias presentes en el follaje verde.

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

1.2.2. Tiempo de extracción.

En la figura 4 (Anexo 1) se observan los contenidos de lípidos del extracto obtenido del follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* empleando dos, tres y cuatro horas para la extracción. Los resultados estadísticos demuestran que las variables que intervienen en el análisis: contenido de lípidos y tiempo de extracción cumplieron con el criterio de normalidad con un nivel de significación del 95%, realizándose la prueba de comparación de medias por Duncan. Los resultados demostraron que no existen diferencias significativas entre las tres y cuatro horas de extracción para el mayor porcentaje de lípidos, si existiendo diferencias estadísticas con dos horas.

En la tabla 1 (Anexo 1) aparece el tiempo del proceso de extracción en el reactor a escala de banco, con las siguientes características de trabajo dadas en minutos, donde esta es una de las operaciones de mayor duración.

Los resultados obtenidos en el proceso de extracción indican que para 2,4 L de bencina por cada 2 kilogramo de follaje, se obtiene 1,48 L del extracto lipídico, en el que están contenidos: ceras, pigmentos verdes, carotenoides, vitaminas liposolubles, ácidos grasos y resinosos, fitosteroles y fosfolípidos, entre otros compuestos de baja polaridad, resultados que concuerdan con los publicados por Yagodin, V. I. (1989).

2. Tratamiento químico del extracto a escala de banco.

Para el tratamiento químico del extracto se siguieron los pasos planteados por Yagodin, V. I. (1981) y Baranova, R. (1992), citados por Díaz (2007) y Cordero (2010) para extractos de coníferas y llevada a las condiciones de banco en nuestro laboratorio:

1. Enfriamiento y reposo para la sedimentación de las ceras.

2. Saponificación del extracto libre de ceras con álcalis al 30%, línea para obtener pasta clorofila caroteno. Línea para obtener otros productos para lo cual se separara la fracción no saponificable de la acuosa, las que son procesadas individualmente. Destilación de la disolución de las sustancias no saponificables, obteniendo la fracción constituida por (aceites esenciales y concentrado provitamínico).

3. La fracción acuosa de las sustancias saponificadas es acidificada con ácido sulfúrico al 15%. Las clorinas insolubles en agua y bencina se separan de los ácidos grasos y resinosos, para lograr una buena separación de estas de la fracción de ácidos grasos y resinosos se le adiciona bencina en proporción 1:2 con agitación. Después de reposar la disolución, se separan las clorinas por decantación, se secan a temperatura ambiente en un lugar fresco y oscuro, y el sólido se tritura hasta un polvo de color verde negruzco.

4. Las clorinas son tratadas con disolución de álcalis al 30% para la obtención de la clorofilina de sodio.

5. La solución de bencina que contiene los ácidos grasos y resinosos es destilada y se neutraliza con disolución de álcalis (NaOH al 30%).

6. El residuo de follaje es secado y molido constituyendo un suplemento alimenticio para el ganado.

2.1. Saponificación del extracto.



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Los extractos con concentraciones comprendidas entre 6-7% alcanzaron el valor de pH en un tiempo de 15-20 min., para concentraciones mayores aumentó el tiempo para lograr este. Un comportamiento semejante tuvo el proceso completo de saponificación (tabla 2, Anexo 2).

La toma de muestra para el control de pH se realizó cada cierto tiempo mediante papel indicador de pH y un pH-metro, además comprobamos si se realiza una buena saponificación adicionando una muestra en un tubo de ensayo con agua agitando moderadamente y observando la separación de dos capas.

En la tabla 3 (Anexo 2) se muestra las observaciones en el proceso de saponificación empleando agitación a 50, 100 y 200 rpm. Los resultados demuestran que las condiciones de agitación son importantes para lograr que ocurra una buena saponificación. Una agitación fuerte del extracto provoca una emulsión haciendo que el proceso de saponificación no sea el esperado.

Los resultados del tiempo de esta operación aparecen en la tabla 4 (Anexo).

2.3. Acidificación de las sustancias saponificadas.

Los productos saponificados (lavados) se acidifican adicionando lentamente ácido sulfúrico al 17 % y densidad 1,118 g/mL, calculados por el volumen de NaOH consumidos en la saponificación. El proceso se efectúa en un baño a 60 - 70°C y con agitación constante hasta alcanzar un pH entre 1 - 3, el control del pH se realiza después de la adición del H₂SO₄, durante el proceso se observa un cambio en la consistencia del extracto al formarse una sustancia pastosa oscura con un olor característico, al concluir se le adiciona 1/3 de bencina para el lavado de los ácidos, se deja en reposo durante 16 horas.

Los resultados demuestran que después del reposo la mezcla se divide en tres capas: clorinas (sólidas), ácidos grasos y resinosos (soluble en bencina) y agua residual.

En la tabla 5 (Anexo 3) se muestra el tiempo del proceso de acidificación de la fracción acuosa.

Los resultados en minutos desde el proceso de extracción de las sustancias biológicamente activas, el tratamiento químico del extracto hasta la obtención de los productos aparece en la tabla 6 (Anexo 3). Los resultados demuestran que las operaciones de extracción y reposo - lavado son las que demoran el proceso con 3,85 y 52,33 horas respectivamente. El proceso completo con 61,42 horas.

Desde la extracción de las sustancias biológicamente activas hasta la obtención de cada producto, el proceso tiene una duración de 3,44 días, a partir del cual en un proceso industrial tendrá continuidad la producción.

En la tabla 7 (Anexo 4) se muestra un resumen del comportamiento de los parámetros en las principales operaciones en el proceso de obtención de la clorofilina de sodio. El solvente empleado fue la mezcla bencina - agua que extrae mayor cantidad de sustancias contenidas en el follaje verde, tanto polares como de baja polaridad y dada la diferencia de solubilidad del agua y la bencina resulta muy fácil la separación de las capas no miscibles, lo que coincide con Yagodin, (1987), quien plantea que resulta cinco veces más económico su utilización que cuando se utiliza solo bencina, además



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

facilita que en el proceso extractivo disminuya la temperatura de extracción de 70 – 80 °C, si lo comparamos con Díaz, 2007 y Cordero 2010, quienes emplean temperaturas de 80 – 90 °C, estos resultados son debidos a que se forma una mezcla azeotrópica (bencina – agua) con una menor temperatura de ebullición, lo que favorece el proceso de deflegmación. El mejor tiempo de extracción es de tres horas ya que el extracto está expuesto a menos horas a estas temperaturas y al riesgo de la evaporación del disolvente, lo que resulta más económico.

Estos resultados nos indican que al llevar este proceso a escala piloto cada operación debe realizarse por secciones de trabajo facilitando de esa forma una continuidad del proceso:

1. Sección de trabajo para la elaboración de la materia prima (trituration de follaje).
2. Sección para la extracción.
3. Sección para la sedimentación y saponificación.
4. Sección para la obtención de la clorofilina de sodio y ácidos grasos y resinosos.
5. Sección para la destilación de los aceites esenciales y obtención del concentrado provitamínico.
6. Sección para la elaboración del residuo lignocelulósico para obtener un suplemento alimenticio.

3. Principales indicadores de calidad de los productos obtenidos del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Según las normas de calidad de los productos del follaje verde. Cordero, 2001; Díaz, 2007.

En la tabla 8 (Anexo 4) se muestran los indicadores de calidad de la clorofilina de sodio obtenida de follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet. El producto consiste en una pasta con un valor de pH de 8,6 y la humedad de 54,9 %. Los contenidos derivados de clorofila solubles en agua alcanzan valores de 34,2 %. Estos indicadores se corresponden con las normas establecidas para este producto, ya que según Baranova, R., (1992) citado por Cordero 2001, los valores de humedad no deben exceder el 60 %, los valores del pH deben estar en un rango de 8,0 a 10,0 y los contenidos de derivados de clorofila solubles en agua deben ser superior al 25 %.

Comparando estos valores con los obtenidos por Santos, (2003) en *Pinus tropicalis* Morelet, los resultados son semejantes con excepción en el contenido de derivados de clorofila solubles en agua, siendo superiores en el *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* con un 34,2 % lo que podría estar relacionado a menores contenidos de clorofila en el follaje de *Pinus tropicalis* Morelet, corroborado por Díaz (2007) al determinar los contenidos de clorofila en la pasta clorofila-caroteno para estas dos especies.

El concentrado de ácidos grasos y resinosos obtenido, consiste en una masa cremosa, resinosa de color verde y soluble en agua en forma de emulsión.

Los indicadores de calidad del concentrado de ácidos grasos y resinosos (tabla 9, Anexo 4) la humedad toma valores de 40,0 %, el pH de la disolución es de 9,1 y el contenido de derivados de clorofilas de 832,6 mg/%. Estos resultados tienen correspondencia con las normas estándar planteadas por (Uchcova, E. B., 1983). Los



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

indicadores tienen valores semejantes a los obtenidos por Cordero (2001) en *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* de la región de Guane, y ligeramente superiores a los obtenidos por Díaz (2009) en follaje de *Pinus. tropicalis* Morelet.

De la fracción no saponificable se obtienen los aceites esenciales. Estos aceites son un líquidos de aspecto grasiento, olor característico a conífera y poco solubles en agua. En la tabla 10 (Anexo 5) se muestran los principales indicadores de calidad de los aceites esenciales obtenidos del follaje verde de *Pinus. caribaea* Morelet var. *caribaea*.

Los aceites esenciales del *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*, tienen una densidad de 0,8541 g. mL⁻¹. El índice de refracción es de 1,4395 y el de acidez 2,09 mg KOH.g⁻¹, si comparamos estos resultados con las normas estándar para este producto (Kripianov, A. I., 1985), la densidad se encuentra cercano al rango establecido que es de 0,8250 g.cm⁻³, el índice de refracción semejante a los planteados en norma (56-258-85) de 1,4550.

La fracción no saponificable después de separado el solvente y los aceites esenciales constituye el concentrado provitamínico, este producto es de aspecto grasiento, de color verde anaranjado y olor específico a coníferas. Los indicadores de calidad aparecen en la tabla 11 (Anexo 5).

El producto presenta un valor de humedad de 9,10 %, el contenido de carotenos es 286,4 mg/% y un 2,9 % de sustancias volátiles. Estos resultados comparados con la norma estándar para el producto planteadas por Andrieva, T. B. (1985), tienen correspondencia ya que el contenido de carotenoides debe estar entre 200-300 mg/%, sustancias volátiles no mayores al 3 % y la humedad debe estar entre 8-9 %. Comparado con los valores obtenidos en *Pinus. tropicalis* Morelet Díaz (2009), observamos que son ligeramente inferiores los contenidos de carotenoides.

Los indicadores de calidad de las ceras obtenidas de la sedimentación y purificación del extracto para obtener los productos mediante los tratamientos químicos se encuentran en la tabla 12 (Anexo 5). Las ceras obtenidas a partir del follaje verde de *Pinus. caribaea* Morelet son un polvo verde con olor a conífera, representan de un 9-10% del extracto total (Cordero, 2001) y (Díaz, 2003). Estas ceras presentan un punto de fusión entre 58,0-62,0 °C, con un índice de acidez que oscila entre 50,0 y 52,0 mgKOH.g⁻¹ e índice de éster entre 162,0 y 166,0 mg KOHg⁻¹, mientras que las sustancias volátiles se hallan entre 1,0 y 1,5 %. Los valores obtenidos para cada indicador se corresponden con las normas establecidas (Yagodin, 1981).

La tabla 13 (Anexo 5) muestra los rendimientos de los productos obtenidos del follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Los resultados demuestran que con las condiciones planteadas en la tabla 7 (Anexo 4) en cada una de las operaciones del proceso de obtención de los productos, se produce un incremento en los porcentajes de clorofilina de sodio y del concentrado de ácidos grasos y resinosos, comparados con los de Cordero (2001) quien obtuvo rendimientos de 0,73 y 1,44 respectivamente. Estos resultados deben estar relacionados a la influencia de la polaridad del agua en la ruptura del enlace pigmento - proteína provocando una mayor extracción de las clorofilas del complejo.

3.1. Usos de los productos obtenidos del follaje de pinos.



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

La clorofilina de sodio es un producto obtenido de los extractos con solventes de baja polaridad, se utiliza en la medicina debido a que restablece los glóbulos rojos y eleva los leucocitos en la sangre después de la irradiación en enfermos de cáncer (Chaturvedi D., *et al.*, 2019). Una dosis de 0,25 a 0,5 mg/kg de peso, elimina la leucopenia. Las valiosas cualidades de este derivado de clorofila radican en su poder cicatrizante, antimicrobiano, epitelizante, lo cual sirve de base para su uso en dermatología y como medio antiúlceroso; en cosmética, como aditivo de pastas dentales, jabones, talcos, champú y cremas. Controla las alteraciones nerviosas y cualidades antimicrobianas

La pasta balsámica es utilizada en cosmética como emulsionante biológicamente activo y en veterinaria para pomadas útiles en las lesiones de la piel.

El concentrado provitamínico se utiliza en cosmética y alimentación animal como aditivo bioactivo. Resultados interesantes se han obtenido disolviendo concentrados de carotenos en glucosa al 5%, lo que ha sido utilizado como agente farmacéutico activo análogo al taxol el cual es ampliamente empleado como agente anticancerígeno. La actividad de los vegetales como fuente de vitamina A es debida a su contenido de β -caroteno, estos presentan una poderosa acción fisiológica, jugando un importante rol en la dieta de los animales y para colorante en los alimentos, así como constituyen un potencial agente preventivo del cáncer. La vitamina E tiene poder antioxidante se considera la vitamina de la fertilidad, la D tiene actividad antirraquítica, la vitamina F está vinculada con la observación del efecto terapéutico de los ácidos linoleico y linolénico en el tratamiento de arteriosclerosis, enfermedades de la piel y quemaduras.

Los aceites esenciales constituidos por el pineno, mirceno, sabineno y limoneno, de las coníferas son utilizados en medicina por sus propiedades terapéuticas, en la industria de perfumería, por sus propiedades aromáticas, fungicidas, antibacterial (Neis *et al.*, 2019; Gao *et al.*, 2018).

Las ceras son utilizadas como ingrediente biológico en la industria de la cosmética para la confección de creyón labial, sombra para los ojos, etc.

El residuo lignocelulósico se emplea como suplemento en la alimentación animal para aves y ganado (Yakimenko V., 2018).

4. Evaluación comercial a escala de banco de los productos obtenidos del follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*.

Para la evaluación comercial se aplicó la herramienta matriz FODA, son las iniciales de cuatro elementos de análisis, que significan: F: Fortalezas, O: Oportunidades, D: Debilidades y A: Amenazas. (Ackoff, 1997).

Las Fortalezas son elementos positivos que la organización o el producto poseen.

Las Debilidades son elementos negativos que la organización o el producto tienen.

Las Oportunidades son elementos o factores que la organización podría aprovechar para lograr sus objetivos.

Las Amenazas son elementos o factores que afectarían negativamente a la organización



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

Las Fortalezas y las Debilidades son situaciones internas y tienen que ver con: Producción, Abasto, Comercialización, Organización Social, Organización Administrativa, Decisión y Control. Las Oportunidades y las amenazas son situaciones externas, que tienen que ver con Tendencias Económicas, Políticas y Tecnológicas, Competencia, Factores Ambientales, Clientes, Usuarios y Consumidores.

Se evaluó la eficiencia económica y productiva de las empresas respecto a sus potencialidades reales de producción de follaje, para la obtención de estos productos a partir del comportamiento de indicadores económicos. Partiendo de la premisa de que las plantas (equipamiento para obtener productos con actividad biológica a escala industrial) están montadas, o sea, solo son valores de producciones y no se les sustrae el costo de la misma como valor acumulativo (año tras año). Es de destacar que el cálculo de indicadores como valor de producción ($V = U_f * \text{Precio}$), costo de producción ($CP = U_f * \text{Costo unitario}$), ganancia ($\text{Valor de producción} - \text{Costo de producción}$), rentabilidad ($R = (\text{Ganancia PM} / \text{Costo de PM}) * 100$) y Costo x peso ($= CP / VP$), fueron determinados por datos preliminares, los que no demuestran valores exactos, ya que no es nuestro objetivo y pueden estar sometidos a cambios de acuerdo con las particularidades de cada empresa, solo expresan una idea del potencial existentes en los pinares de la región. Además debemos enfatizar que los datos como precio, costo, costo unitario de los productos en cuestión, fueron obtenidos a escala de banco (Cordero, 2001, Díaz, 2007) y comparados con los obtenidos por otros autores, de productos similares y que en la actualidad están en el mercado internacional, tomados por la similitud de su composición, forma de obtención y especies utilizadas. Esto permite suponer que aun incrementándose los costos en condiciones de producción a escala industrial, la obtención de estos productos sería competitiva en el mercado.

Los resultados obtenidos mediante una matriz DAFO, ubican a los productos en el cuadrante IV (Fortalezas y Oportunidades), las fortalezas son situaciones internas que están dadas por el abasto de follaje existente después de la tala del árbol, resultados obtenidos en tesis de maestría, diplomado, doctorados, patentes concedidas y solicitadas. Las oportunidades son situaciones externas que están incidiendo en ellas la demanda de los productos naturales, uso de materia prima considerada desecho, poder de negociación con los clientes (Suchel, industria farmacéutica, MINBAS) influencia favorable sobre el medio ambiente. Por lo que indica que tienen determinadas fortalezas que le permiten aprovechar las oportunidades, o sea, se debe seguir con la idea de continuar con el desarrollo de los productos.

Además se evaluó la eficiencia (relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados) económica y productiva de las empresas respecto a sus potencialidades reales de producción de follaje, para la obtención de estos productos a partir del comportamiento de indicadores económicos como ganancia, rentabilidad y costo por peso.

Conclusiones

- El comportamiento de los parámetros para el proceso de extracción del follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* evidencia que el tiempo de almacenaje de dicho follaje para realizar la extracción debe ser en un intervalo de 5 días, la relación



III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

sólido / líquido (bencina: agua: materia prima) 1,2 : 0,3 : 1, tiempo de extracción de 3h, temperatura 70 – 80 °C. para un porcentaje de lípidos de 2,8 – 3 en el extracto.

- El establecimiento del tiempo de cada operación a escala de banco en el proceso de obtención de los productos a partir del follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*, demuestra que las operaciones de extracción y reposo-lavado son las que retardan el proceso con 3,85 y 52,33 horas respectivamente. El proceso completo con 61,42 horas, equivalentes a 3,44 días, a partir del cual tendrá continuidad la producción de los productos.
- Los resultados de las principales operaciones, el tiempo de realización y el comportamiento de los parámetros en cada proceso, los indicadores de calidad y rendimiento de cada producto demuestran las potencialidades de este residuo para su uso industrial, lo que permitirá realizar su escalado y el diseño de una planta piloto para el procesamiento del follaje verde y continuar la obtención de productos con fines de actividad biológica.
- ◆ La evaluación comercial de los productos obtenidos del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* mediante la matriz FODA ubica a los productos en el cuadrante IV (Fortalezas y Oportunidades), por lo que se debe seguir con la idea de continuar con el desarrollo de dichos productos. Los costos estimados a escala de banco, comparados con los precios en el mercado, permite suponer que aún incrementándose los costos a escala industrial, la obtención de estos productos será competitiva en el mercado internacional.

Bibliografía

1. Andrieva, T. V., 1985. Normas estándar para el concentrado provitamínico de coníferas, N°199.
2. Baranova, R., 1992. Normas estándar para la clorofilina de sodio de coníferas.
3. "Biolat" Joint Stock Company. [En línea] [consultado el: 10 de marzo de 2020.] disponible en <http://www.biolat.lv>.
- chlorophyll-carotene-paste. [En línea] [consultado el: 10 de marzo de 2020.] disponible en <http://www.biolat.lv/products/chlorophyll-carotene-paste.aspx>.
- Auasma. [En línea] [consultado el: 10 de marzo de 2020.] disponible en <http://www.biolat.lv/products/auasma.aspx>
- fitoekols-if. [En línea] [consultado el: 10 de marzo de 2020.] disponible en <http://www.biolat.lv/products/fitoekols-if.aspx>.
- sodium-chlorophyll. [En línea] [consultado el: 10 de marzo de 2020.] disponible en <http://www.biolat.lv/products/sodium-chlorophyll.aspx>.
4. Chaturvedi D., Singh K., Sing K., V., 2019. Therapeutic and pharmacological aspects of photodynamic product chlorophyllin Eur. J. Biol. Res.; 9(2): 64-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2638869>.
5. Chen, C., Chen, J-h., Cheng, H-y., Li, X., Shi, Q., Zheng, Li., Wang, X-r., 2012. Primary study on preparation of sodium copper chlorophyllin from *Enteromorpha prolifera*. Chinese Journal of Marine Drugs ISSN 1002-3461, CN37-1155/R, N 1.

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

Disponible en: http://en.cnki.com.cn/Journal_en/E-E057-HYYW-2012-01.htm [Consulta: 12 de noviembre de 2019.]

6. Cordero, E., 2001. Influencia de la Epoca del año en el contenido de sustancias extraíbles y rendimiento de los productos con actividad biológica que se obtiene del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* *Eucalyptus citiodora* Hook y *Eucalyptus saligna* Smith. Tesis Doctoral, Universidad de Pinar del Río, Cuba.
7. Cordero E., Carballo L., Orea U., 2010. Procedimiento para la extracción de sustancias con fines de actividad biológica del follaje verde. Patente CN23554, Clasificación (Int.Cl.B) C 118 1/10, B 01D 11/02.
8. Collins, P., Hughes, S., 1994. Cours derived from nature, application techniques; Journal of the science of food and agriculture; 64(3); p. 394 –395.
9. Díaz, S., Alexandrini, M., 2003. Procedimiento para la obtención de cera conífera, pasta clorofila-caroteno y residuo forrajero a partir del follaje de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Certificado N° 22886. Resolución N° 1000.
10. Díaz, A. S., Díaz, A. M., 2007. "Comportamiento del follaje de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* en el desarrollo de una metodología para la obtención de cera conífera, pasta clorofila-caroteno y residuo forrajero a escala de banco." Revista Cubana de Química **19**(1).
11. Díaz, M., Cordero, E., Orea U., Santos A., Orea I., 2009. Uso del follaje de *Pinus tropicalis* Morelet, para la obtención de productos con fines de actividad biológica."CIGET Pinar del Río Vol.11 No.2 abril-junio (trimestral) IISSN 1562-3297.
12. Douglas, A., and Eun- Kyoung, S., 1996. Plants as Sources of Drugs. Agricultural materials as renewable resources. American Chemical Society. p.179- 183.
13. De Silva, T., 1997. Industrial utilization of medicinal plants in developing countries. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
14. Gao, Y., Wang, Y., Li, J., Shang, S., Song, Z., 2018. Improved application of natural forest product terpene for discovery of potential botanical fungicide. Ind. Crops Prod. 126, 103 –112.
15. Genechiro, S.; Atsusshi, Y., 1995. Fharmaceutical containing lipopolysacharides for treatment of rheumatism; medicinal aromatic plants. Abstracts 17(3).
16. Mancebo Dorvigny, B., Regalado Veloz, A.I., Hernández, E.L., Díaz Aguirre, S., Cordero Machado, E. y Sánchez Perera, L.M., 2016. Actividad citostática, citotóxica, antibacteriana y cicatrizante de extractos de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* (pino macho). Revista Cubana de Plantas Medicinales, vol. 21, no. 1, pp. 96-107. ISSN 1028-4796.
17. Moreira, S. A., Alexandre, M.C., Pintado M., Saraiva J. A., 2019. Effect of emergent non-thermal extraction technologies on bioactive individual compounds profile from different plant materials. Food Research International 115, 177–190. Journal homepage:www.elsevier.com/locate/foodres.
18. Neis, F.A., de Costa, F., de Araújo, A.T., Fett, J.P., Fett-Neto, A.G., 2019. Multiple industrial uses of non-wood pine products. Ind. Crops Prod. 130, 248 –258.
19. Santos, A., Trabajo de Diploma “Metodología para la obtención de productos con fines de actividad biológica a partir del follaje verde de *Pinus tropicalis* Morelet”, 2003.
20. Solagran. 2020. Report of Solagran’s Russian division. August.
21. Uhcova, E. V., 1984. Normas estándar para la pasta balsámica conífera.

III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020

22. Wu C., Tao P., Li J., Gao, Y., Shang S., Song Z., 2020. Antifungal application of pine derived products for sustainable forest resource exploitation. *Ind. Crops Prod.* 143, 111892.
23. Xiang Hong-ping, Ge Xin, Zhang Ya-ping, Ge Jian-fang. 2011. Study on Preparation and Physicochemical Property of Sodium Copper Chlorophyllin. *The Food Industry*, ISSN: 1004-471X, -01.
24. Yagodin V. I. 1989. Conferencias impartidas en la Universidad de Pinar del Río.
25. Yagodin, V. I., 1981. Fundamentos de química y tecnología para el tratamiento del follaje. Editorial Academia Forestal de Leningrado.
26. Yagodin, V. I., Hundashova, G., 1989. On the preservation of green pigments in the dryng process of needles; Harvesting and utilization of tree foliage. IUFRO, Projet Group P 3 05 00 meeting, Riga, p. 14- 19.
27. Yagodin, V. I., 1987. Tecnología rápida y sin desperdicio para el tratamiento extractivo del follaje. *Hidrólisis y Lesojimia*, N° 7, p. 18
28. Yakimenko V., Kapustina A., 2018. The production of biologically active feed additives based on grain-coniferous mixtures. *Plant Archives* Vol. 18 No. 2, pp. 1515-1520 e-ISSN: 2581-6063 (online), ISSN:0972-5210.
29. Zheng Guang-yao, LI Jiao, BO-ying Cai, Li Hai-Tao., 2011. Effects of pasta chlorophyl caroteno of pine needles in the experimental gastric ulcer. [En línea] 13 de Marzo de 2019. Disponible en: http://www.forinchem.com/en/news_info.asp?nid=93.664. [Consulta: 23 de Abril de 2019].

Anexo 1

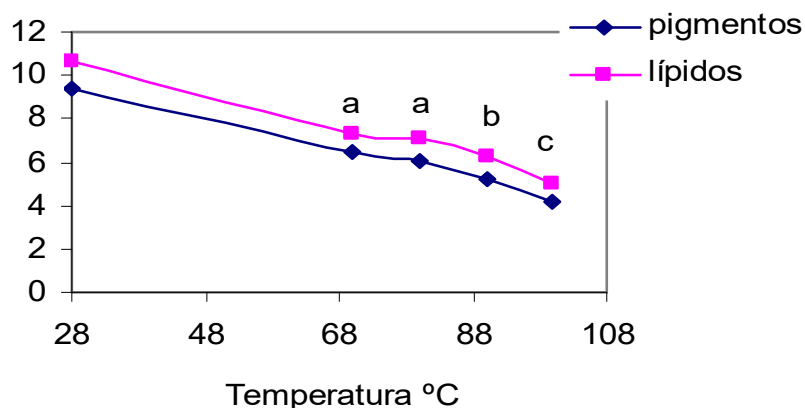


Figura 3 Influencia de la temperatura en el contenido de pigmentos totales y lípidos.

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

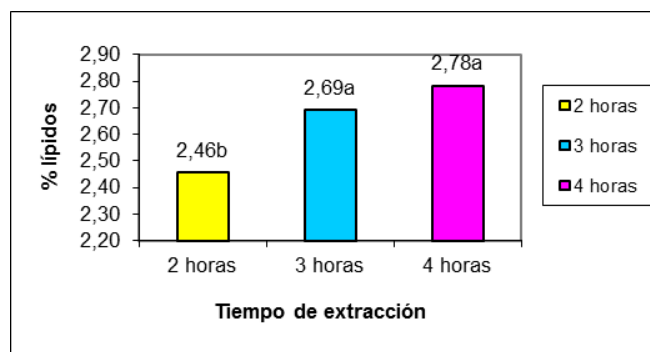


Figura 4. Contenido de lípidos el follaje verde de *Pinus caribaea* Morelet *var caribaea* para diferentes tiempos de extracción.

Tabla 1. Tiempo del proceso de extracción en el reactor a escala de banco en (min).

Operaciones para la extracción	Tiempo (min.)
	\bar{X}
Creación de las condiciones para el inicio de la extracción.	11,7
Carga de la materia prima y disolvente	10,7
Calentamiento de la bencina	9,1
Extracción	140,6
Sedimentación	36,8
Vertimiento del extracto	6,3
Sedimentación	10,8
Vertimiento del extracto	5
Proceso completo del extractor	231

Anexo 2

Tabla 2. Observaciones del pH en el proceso de saponificación del extracto lipídico de follaje de *Pinus caribaea* Morelet *var. caribaea*.

pH	Separación clara de dos capas	No se aprecia claramente la separación de dos capas
8		X
9		X
10	X	
11	X	

Tabla 3. Control de la velocidad de agitación en el proceso de saponificación del extracto lipídico de follaje de *Pinus caribaea* Morelet *var. caribaea*.

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

Agitación rp/m	Separación clara de dos capas	No se aprecia claramente la separación de dos capas
50	x	
100		x
200		x

Tabla 4. Tiempo del proceso de saponificación a escala de banco en (min).

Operaciones	Tiempo (min)
Creación de las condiciones para el inicio de la saponificación.	11,0
Calentamiento del extracto	5,0
Adición de NaOH	31,6
Agitación	31,6
Adición de agua	2,3
Agitación	5,0
Proceso completo	86,7

Anexo 3

Tabla 5. Tiempo del proceso de la acidificación a escala de banco en (min).

Operaciones	Tiempo (min)
Creación de las condiciones para el inicio de la acidificación.	11,6
Calentamiento del extracto	5,15
Adición de H ₂ SO ₄	20,0
Agitación	20,0
Adición de bencina	2,6
Agitación	5,0
Proceso completo	64,36

Tabla 6. Tiempo del proceso de obtención a escala de banco de: clorofilina de sodio, concentrado de ácidos grasos y resinosos concentrado provitamínico, aceites esenciales, ceras y residuos lignocelulósicos en (min)

Operaciones	Tiempo (min)
Trituración del follaje	60
Extracción	231
Obtención de ceras	20
Saponificación	86,7

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

Acidificación	64,36
Obtención de la clorofilina de sodio	43,4
Obtención del concentrado de ácidos grasos y resinosos.	45
Obtención de aceites esenciales y concentrado provitamínico	55
Proceso para jornada de trabajo	605,46
Reposo y lavado	3139,8
Proceso completo	3745,26

Anexo 4

Tabla 7. Comportamiento de los parámetros en las principales operaciones del proceso de obtención de los productos a escala de banco.

Parámetros	Proceso de Extracción	Proceso de Saponificación	Proceso de Acidificación
Tiempo (h)	3h	1,4h	1h
Temperatura °C	70 - 80	60 - 70	60
Relación sólido — líquido	Bencina — agua materia prima. 1,2:0,3:1		
pH	4,47	10 - 12	Menor de 3
% de lípidos	2,8-3	6 - 7%	
Agitación (rp/min)		Lenta (50rp/min)	Lenta (50rp/min)

Tabla 8. Principales indicadores de calidad de la clorofilina de sodio obtenido del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*

Indicadores	Contenido
Humedad	54,9
pH de la disolución	8,6
Contenido de derivados de clorofila solubles en agua. %	34,2

Tabla 9. Principales indicadores de calidad del concentrado de ácidos grasos y resinosos obtenido del follaje de *Pinus. caribaea* Morelet var. *caribaea*.



**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

Indicadores	Contenido
Humedad	40,0
pH de la disolución acuosa	9,1
Contenido de derivados de clorofila mg/%	832,6

Anexo 5

Tabla 10. Principales indicadores de calidad de los aceites esenciales obtenido del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*.

Indicadores	Contenido
Densidad a 20°C g. mL ⁻¹	0,8541
Índice de refracción a 20°C	1,4395
Índice de acidez mg KOH.g ⁻¹	2,09

Tabla 11 Principales indicadores de calidad del concentrado provitamínico obtenido del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*.

Indicadores	Contenido
Humedad	9,10
Contenido de carotenoides mg/%	286,4
Contenido de sustancias volátiles %	2,9

Tabla 12. Principales indicadores de calidad de las ceras obtenidas del follaje verde de *Pinus. caribaea* Morelet var. *caribaea*

Indicadores	Contenido
Punto de fusión °C	58,0 – 62,0
Índice de acidez (mgKOH.g ⁻¹ de cera)	50,0 – 52,0
Índice de éster (mgKOH.g ⁻¹ de cera)	162,0 – 166,0
sustancias volátiles %	1,0 – 1,5

Tabla 13. Rendimiento de los productos obtenidos del follaje verde de *Pinus. caribaea* Morelet var. *caribaea*.

Productos %	Rendimientos
Ceras	0,50
Concentrado provitamínico	1,51
Clorofilinas de sodio	0,80
Concentrado de ácidos	1,92
Grasos y resinosos	
Aceites esenciales	0,42

**III ENCUENTRO CIENTÍFICO NACIONAL
DE
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE 2020**

