

Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ingeniería
Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos



Tesis para obtener el grado de maestría en ingeniería

**Formulación de un champú con aceites esenciales como
ingredientes activos para tratar la pediculosis**

Lizbeth Adriana Gutierrez Esquivel

Director de Tesis

Dr. José Ramón Ayala Bautista

Codirector de Tesis

Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega

MEXICALI B.C. JUNIO 2024

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 6 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 7 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 7 |
| 1.3. OBJETIVOS | 9 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL..... | 9 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 9 |
| 1.4. HIPÓTESIS | 9 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 10 |
| 2.1. PEDICULUS HUMANUS CAPITIS..... | 10 |
| 2.1.1. TRATAMIENTOS PEDICULICIDAS | 12 |
| 2.1.2. DESPIOJERÍAS EN MEXICALI | 12 |
| 2.2. BIOMASA | 14 |
| 2.2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA..... | 14 |
| 2.3. ACEITES ESENCIALES | 18 |
| 2.3.1. HIDRODESTILACIÓN | 19 |
| 2.3.2. ACEITES ESENCIALES CON ANTECEDENTES PEDICULICIDAS..... | 21 |
| 2.4. CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADA A ESPECTROMETRÍA DE MASAS | 28 |
| 2.5. FORMULACIONES BASE PARA LA ELABORACIÓN DEL CHAMPÚ | 29 |
| 2.6. PRUEBAS DE SEGURIDAD Y EFICACIA | 31 |
| 2.6.1. PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS..... | 32 |
| 2.6.2. REQUISITOS DE ENVASADO Y ETIQUETADO..... | 32 |
| 2.6.3. PRUEBAS REOLÓGICAS..... | 33 |
| 2.6.4. PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS | 34 |
| 2.6.5. ESTUDIOS DE ESTABILIDAD PARA PRODUCTOS COSMÉTICOS | 34 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 35 |
| 3.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL | 35 |
| 3.2. EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES..... | 35 |
| 3.3. ANÁLISIS PRÓXIMO | 38 |
| 3.4. PRUEBAS DE CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADA A ESPECTROMETRÍA DE MASAS..... | 45 |
| 3.5. PRUEBAS PEDICULICIDAS | 46 |
| 3.5.1. PRUEBAS PEDICULICIDAS DE ACEITES ESENCIALES | 48 |
| 3.6. FORMULACIÓN DEL CHAMPÚ | 49 |
| 3.7. DISEÑO DE EXPERIMENTOS..... | 53 |
| 3.8. PRUEBAS ORGANOLÉPTICAS EN FORMULACIÓN FINAL | 55 |
| 4. RESULTADOS | 59 |
| 4.1. RENDIMIENTOS DE LOS ACEITES ESENCIALES | 59 |
| 4.2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS | 60 |
| 4.3. RESULTADOS DE GC-MS..... | 65 |
| 4.4. RESULTADOS DE PRUEBAS DE REPELENCIA Y MORTALIDAD DE LOS ACEITES ESENCIALES | 67 |
| 4.5. RESULTADOS DE FORMULACIÓN | 67 |
| 4.5.1. PRESUPUESTO | 68 |
| 4.6. RESULTADOS DE REPELENCIA Y MORTALIDAD DEL CHAMPÚ | 69 |
| 4.7. RESULTADOS DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS | 71 |
| 4.8. RESULTADOS DE CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS | 78 |
| 5. CONCLUSIÓN | 80 |
| 6. REFERENCIAS | 82 |
| 7. ANEXOS | 95 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. CICLO DE VIDA DE LOS PIOJOS | 11 |
| FIGURA 2. BIOMASA LIGNOCELULÓSICA | 16 |
| FIGURA 3. SISTEMA DE EXTRACCIÓN A ESCALA PILOTO | 36 |
| FIGURA 4. PESADO DE MATERIA PRIMA | 37 |
| FIGURA 5. MATERIAL VOLÁTIL | 38 |
| FIGURA 6. CENIZAS..... | 39 |
| FIGURA 7. CARBONO FIJO | 39 |
| FIGURA 8. EXTRAÍBLES EN ACETONA | 40 |
| FIGURA 9. EXTRAÍBLES CON AGUA..... | 41 |
| FIGURA 10. LIGNINA..... | 43 |
| FIGURA 11. HOLOCELULOSA | 44 |
| FIGURA 12. CELULOSA..... | 45 |
| FIGURA 13. MSD AGILENT SERIE 5975 | 46 |
| FIGURA 14. CLÍNICA ANTIPIOJOS "CRAZY LICE"..... | 47 |
| FIGURA 15. RUTA DE RECOLECCIÓN DE PIOJOS..... | 47 |
| FIGURA 16. MATERIALES..... | 48 |
| FIGURA 17. PRUEBAS DE REPELENCIA Y MORTALIDAD DE ACEITES ESENCIALES..... | 49 |
| FIGURA 18. FORMULACIÓN | 50 |
| FIGURA 19. PRUEBAS DE REPELENCIA DE FORMULACIÓN..... | 51 |
| FIGURA 20. PRUEBAS DE MORTALIDAD DE FORMULACIÓN | 52 |
| FIGURA 21. PRUEBAS DE REPELENCIA Y MORTALIDAD DEL CHAMPÚ | 52 |
| FIGURA 22. CHAMPÚ SCABISAN® Y THE LICE KILLERS..... | 53 |
| FIGURA 23. PRUEBAS SENSORIALES..... | 56 |
| FIGURA 24. PRUEBAS REOLÓGICAS..... | 57 |
| FIGURA 25. PRUEBAS ESTABILIDAD..... | 57 |
| FIGURA 26. PRUEBAS DE ESTRÉS..... | 58 |
| FIGURA 27. PRUEBAS DE TEMPERATURA..... | 59 |
| FIGURA 28. GRAFICAS FACTORIALES..... | 75 |
| FIGURA 29. GRAFICAS DE CONTORNOS | 76 |
| FIGURA 30. SUPERFICIE DE RESPUESTA MORTALIDAD | 77 |
| FIGURA 31. ASPECTO DE MUESTRAS | 79 |
| FIGURA 32. EVOLUCIÓN DE PRUEBAS DE TEMPERATURA | 79 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1. UBICACIÓN DE CLÍNICAS EN MEXICALI | 13 |
| TABLA 2. MATERIAL VEGETAL APTO PARA HIDRODESTILACIÓN | 20 |
| TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS DE TENSOACTIVOS UTILIZADOS | 31 |
| TABLA 4. PARÁMETROS DE HIDRODESTILACIÓN..... | 37 |
| TABLA 5. RESULTADOS DE HIDRODESTILACIÓN | 59 |
| TABLA 6. RESULTADOS DE ANÁLISIS PRÓXIMO DE HOJA DE EUCALYPTUS GLOBULUS..... | 61 |
| TABLA 7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE EUCALYPTUS GLOBULUS..... | 62 |
| TABLA 8. COMPARACIÓN DE PORCENTAJES DE EXTRAÍBLES DE EUCALYPTUS GLOBULUS Y CITRIODORA | 62 |
| TABLA 9. COMPARACIÓN DE EUCALYPTUS GLOBULUS, PELLITA Y CITRIODORA | 63 |
| TABLA 10. COMPARACIÓN DE LIGNINA Y HOLOCELULOSA CON ESPECIES DE PERFIL ENERGÉTICO..... | 64 |
| TABLA 11. GC-MS DE EUCALYPTUS GLOBULUS..... | 65 |
| TABLA 12. REPELENCIA Y MORTALIDAD DE LOS ACEITES ESENCIALES..... | 67 |
| TABLA 13. INGREDIENTES PARA LA FORMULACIÓN DEL CHAMPÚ PEDICULICIDA | 67 |
| TABLA 14. RESULTADOS DE PRUEBAS DE REPELENCIA Y MORTALIDAD DE FORMULACIONES..... | 70 |
| TABLA 15. DISEÑO DE EXPERIMENTOS MORTALIDAD | 72 |
| TABLA 16. DISEÑO DE EXPERIMENTOS REPELENCIA..... | 72 |
| TABLA 17. ANÁLISIS DE VARIANZA MORTALIDAD | 73 |
| TABLA 18. ANÁLISIS DE VARIANZA REPELENCIA..... | 73 |
| TABLA 19. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS | 78 |

Resumen

En Mexicali, B.C., han aumentado los casos de pediculosis, principalmente en niños de educación básica. Los tratamientos actuales en el mercado repercuten en la seguridad e inocuidad del consumidor, al manifestar toxicidad y efectos cancerígenos, además, han disminuido su efectividad por la resistencia que los piojos han desarrollado. Estudios han demostrado que los aceites esenciales poseen propiedades pediculicidas, por lo que se realizó una revisión de patentes de champús pediculicidas a base de aceites esenciales y se seleccionó el material vegetal en función de los resultados. Se realizó la extracción por hidrodestilación a escala piloto de los aceites esenciales de eucalipto y cáscara de naranja con un rendimiento de 4.33 mL/kg y 38.02 mL/kg respectivamente. Se realizó el análisis próximo y de composición química a las hojas de eucalipto bajo los métodos analíticos estándar TAPPI Y ASTM. Se hicieron pruebas de repelencia y mortalidad a 45 muestras; 15 son formulaciones diferentes y el resto réplicas. Los resultados más destacables son 100 % de mortalidad con la fórmula que contiene un 10 % de aceite esencial de eucalipto y la fórmula con 10 % de aceite esencial de cáscara de naranja mostró 100 % de repelencia. Los análisis estadísticos revelaron que a mayor concentración de cáscara de naranja aumenta la repelencia y disminuye la mortalidad, caso contrario con el aceite esencial de eucalipto. La formulación final se propuso con 8 % de aceite esencial en proporción 70/30 a favor del eucalipto, pues las estadísticas analizadas en Minitab y Matlab señalan que esta fórmula logra un 75 % de mortalidad y 60 % de repelencia. La comparación con los champús comerciales Scabisan® y The Lice Killer, comprueba que 11 de las formulaciones analizadas presentan mayor mortalidad y 15 formulaciones son superiores en repelencia. La formulación propuesta no solo presenta una actividad pediculicida superior a la de champús comerciales populares, sino que también es estable y segura para su uso diario en niños.

Abstract

In Mexicali, B.C., cases of pediculosis have increased, primarily among children in basic education. Current market treatments impact consumer safety and innocuousness by manifesting toxicity and carcinogenic effects. Additionally, their effectiveness has diminished due to the resistance developed by lice. Studies have shown that essential oils possess pediculicidal properties. Therefore, a review of patents for pediculicidal shampoos based on essential oils was conducted, and the plant material was selected based on the results. Pilot-scale hydrodistillation was performed to extract essential oils from eucalyptus and orange peel, yielding 4.33 mL/kg and 38.02 mL/kg, respectively. Proximate and chemical composition analyses were performed on eucalyptus leaves using standard TAPPI and ASTM analytical methods. Repellency and mortality tests were conducted on 45 samples, 15 of which were different formulations, and the rest were replicates. The most notable results were 100% mortality with the formula containing 10% eucalyptus essential oil, and the formula with 10% orange peel essential oil showed 100% repellency. Statistical analyses revealed that higher concentrations of orange peel increase repellency and decrease mortality, whereas the opposite is true for eucalyptus essential oil. The final formulation was proposed with 8% essential oil in a 70/30 ratio favoring eucalyptus, as statistics analyzed in Minitab and Matlab indicated that this formula achieves 75% mortality and 60% repellency. Comparison with commercial shampoos Scabisan® and The Lice Killer demonstrates that 11 of the analyzed formulations exhibit higher mortality and 15 formulations are superior in repellency. The proposed formulation not only shows superior pediculicidal activity compared to popular commercial shampoos but is also stable and safe for daily use in children.

Agradecimientos

Extiendo mi más sincero agradecimiento a Dios por bendecir mi camino aun en tiempos oscuros, por darme la fuerza para superar las adversidades y por no dejarme caer. En mi fe me reconforto, encuentro paz y aliento.

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, a la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Ingeniería por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica y profesional, por abrirme las puertas al conocimiento y tener la dicha de construir lazos con personas admirables y de gran calidad humana.

Gracias a mi director de tesis el Dr. José Ramón Ayala Bautista y a mi codirector de tesis el Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega por aportar su conocimiento, habilidades y ser piezas clave en el rumbo de mi proyecto, pero les agradezco principalmente por ser mis mentores, por impulsarme a encontrar mi propósito e inculcarme la cultura del trabajo en equipo, la colaboración y el liderazgo.

Doy gracias a mi núcleo, ellos son mi motor, lo que le da sentido a mi vida, son mi fuerza. Gracias a mi padre Eduardo Gutierrez Hernandez por formar una persona con carácter, por enseñarme que siempre se puede ser mejor, por mantenerme a raya cuando desviaba mi camino, por ser mi ejemplo a seguir, gracias a ti, hoy estoy aquí. Gracias a mi abuelita Alicia Hernandez Madrigal por ser mi pilar, por abrigarme con tu cariño, por estar en los buenos y sobre todo en los malos momentos y por todos los sacrificios que haces por la familia. Gracias a mis hermanos, Eduardo Gutierrez Esquivel y Marely Monserrat Gutierrez Esquivel por ser mis compañeros de vida y de aventuras, gracias hermanitos, ustedes son mi alegría y mi inspiración. Muchas gracias familia.

Finalmente, le agradezco a mi madre Eustolia Esquivel Contreras, mi más preciado tesoro, el amor más puro, noble e incondicional que pueda existir, gracias madre mía, gracias por los valores que me transmitiste, por tus incontables actos de amor, por tus consejos, por creer en mí, por alentarme, por haber construido un gran hogar y una gran familia, eres mi orgullo, mi heroína, la mejor madre y aun que ya no estes aquí, puedo sentirte a mi lado, tus bendiciones me acompañan y tu amor siempre permanecerá dentro de mi corazón, este proyecto te lo dedico a ti. Gracias por todo.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La pediculosis es un padecimiento crónico a nivel mundial. Ortiz, (2019) comenta que en México se encuentran entre 6 y 12 millones de individuos contagiados. Este padecimiento afecta principalmente a niños de 3 a 10 años, al propagarse por medio del contacto directo con la cabeza o cabello de personas infectadas, también en contacto con prendas o accesorios portadores de huevecillos o piojos. Las niñas presentan frecuentemente esta afección por factores asociados al volumen de su cabello y los accesorios que comúnmente comparten entre ellas, otros factores que hacen más propenso al sector infantil es la convivencia en las aulas escolares, ya que los piojos son altamente contagiosos y rápidamente se convierten en plaga.

Los productos pediculicidas que se encuentran actualmente en el mercado son deficientes y dañinos para la salud del consumidor, considerando que su principal uso es en niños, es preocupante que sea común su aplicación. Diversos estudios afirman que los piojos muestran resistencia e inmunidad a los tratamientos convencionales para su exterminio como piretrinas, piretroides, malatión, carbaril y bencilbenzoato, además de confirmar su toxicidad en humanos y algunos de ellos con potencial efecto cancerígeno, por lo que su uso está prohibido en algunos países (Burkhart & Burkhart, 2000; McCage, Ward, & Paling, 2002; Herranz et. al. 2008; Veracx & Raoult, 2012).

1.2. Justificación

El Sistema Educativo Estatal (2023), advierte sobre el aumento de casos de pediculosis en escuelas primarias y preescolares de Mexicali, sobre todo en las colonias populares y las zonas rurales por las condiciones climáticas. Existen nueve despiojarías en la ciudad, lo

que indica que es una problemática constante. Debido al aumento de las plagas de piojos y las consecuencias de utilizar los champús pediculicidas convencionales, se propuso el desarrollo de un champú pediculicida a base de aceites esenciales, con ingredientes orgánicos e inocuos, puesto que pruebas de efectividad pediculida realizadas a algunos aceites esenciales, muestran resultados favorables en la eliminación total o parcial de los piojos de la cabeza.

Algunos de los aceites esenciales que erradicaron en un 100 % los piojos, las ninfas y los huevecillos por medio de pruebas *in vitro* son el timol, obtenido de *Thymus Vulgaris*, la *Melaléuca Alternifolia* y *Asimina Triloba* (McCage et. al. 2002), el aceite esencial de *Callistemon Viminalis* que inhibió en un 100 % las tres etapas del ciclo de vida de los piojos (Yingklang, Priprem, Nualkaew, Sungthong, Pinlaor & Pinlaor, 2022). También se obtuvo un 50 % de eficacia con los aceites de *Curcuma Xanthorrhiza*, *Curcuma Zedoaria* y *Zingiber Zerumbet* en combinación con *Eucalyptus Globulus* (Soonwera, Wongnet & Sittichok, 2018) y una mezcla de *Melaléuca Alternifolia* y *Cinnamomum Zeylanicum* obtuvo una eficacia del 91.9 % contra huevos y piojos (Veal, 1996). En los últimos años se ha explorado esta alternativa con resultados efectivos, incluso en algunos estudios se obtuvieron mejores resultados con los aceites esenciales que con los agentes pediculicidas sintéticos (Soonwera et.al. 2018; Veal, 1996). Sin embargo, es un recurso poco explotado por la industria debido a la pequeña cantidad de aceite esencial que se obtiene de la extracción de un volumen elevado de material vegetal, lo que no hace rentable la producción de formulaciones a gran escala y se opta por seguir utilizando ingredientes sintéticos perjudiciales para la salud.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Formular un champú para tratar la pediculosis utilizando aceites esenciales como ingredientes activos, obtenidos a partir de biomasa residual.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Seleccionar el material vegetal a través de la revisión del estado del arte.
- ✓ Realizar la ruta de revalorización de la hoja de eucalipto.
- ✓ Obtener aceites esenciales con el sistema de extracción por hidrodestilación a escala piloto mediante el aprovechamiento de residuos agroindustriales en Mexicali B.C.
- ✓ Evaluar la efectividad de los aceites esenciales extraídos contra la pediculosis por medio de pruebas *in vitro*.
- ✓ Formular un champú orgánico contra piojos con aceites esenciales como ingredientes activos.
- ✓ Evaluar la actividad pediculicida del champú por medio de pruebas *in vitro*

1.4. Hipótesis

Es posible desarrollar una formulación de champú pediculicida que utilice mezclas de aceites esenciales como ingredientes activos y que sea segura para su aplicación en niños de etapa escolar básica en Mexicali, Baja California.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. *Pediculus Humanus Capitis*

La infestación por *Pediculus humanus capitis* o piojo de la cabeza es un problema que ha acompañado a la humanidad desde la antigüedad. Este padecimiento puede inducir irritación en la piel, infección por fricción, forúnculos, protuberancias en la epidermis, fuerte comezón, alergia, daño del cuero cabelludo, caída de cabello, daño de las fibras capilares, anemia, estigmatización social y angustia psicológica (Medina et. al., 2019).

La pediculosis afecta principalmente a la población infantil, presentando altos índices de contagios en el sector educativo de etapa preescolar y primaria. Mexicali, B.C. cuenta con 1,111 escuelas de educación básica, de las cuales 447 son de nivel preescolar y 464 pertenecen a educación primaria. En 2023, se registraron un total de 175,497 niños inscritos en los niveles educativos de interés (Coordinación de Control Escolar, Información y Estadística Educativa, 2023). Las plagas de piojos tienden a ser más comunes con las altas temperaturas, al aumentar la sudoración en el cuero cabelludo y la secreción de grasa capilar en las personas, se crean las condiciones adecuadas para que los piojos proliferen rápidamente. Estos parásitos se alojan en la cabeza y para disminuir el riesgo de contagio, es necesario el baño diario y la limpieza adecuada del cuero cabelludo, por este motivo los niños son los principales afectados al no tener una conciencia clara sobre la higiene personal y ser dependientes de terceros (Veracx & Raoult, 2012).

Los piojos son artrópodos de seis patas que invaden la piel y el cabello del huésped en busca de sangre para alimentarse. La Figura 1 muestra el proceso de crecimiento de los piojos de la cabeza, el cual consta de tres ciclos (Filvit, 2022).

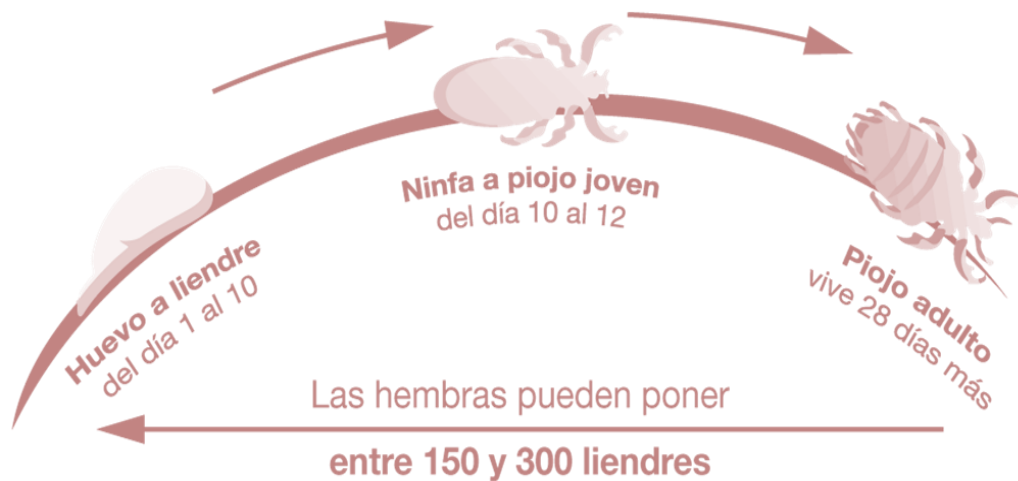


Figura 1. Ciclo de vida de los piojos

Los huevecillos denominados coloquialmente liendres, son la cáscara del huevo formada a base de queratina. Estos miden 1 mm, son color blanco, se encuentran adheridos al cabello gracias a una sustancia no polar denominada pegamento o cemento, requieren de una temperatura de incubación superior a los 22 °C y en promedio eclosionan a los 9 días. El segundo ciclo, son las ninfas, denominadas así al momento de nacer, miden menos de 1 mm, son blanquecinas y si no se alimentan varias veces al día perecen en cuestión de horas. Por último, la etapa adulta, los piojos maduran a las 3 semanas de nacidos, miden entre 3 y 4 mm, son color café, viven de 3 a 4 semanas alimentándose constantemente, solo pueden sobrevivir dos días sin alimento y las hembras ponen más de 7 huevos al día (Herranz & Abad, 2008).

2.1.1. *Tratamientos pediculicidas*

La primera generación de tratamientos antipiojos, desarrollados a partir de los años cuarenta, tiene una acción neurotóxica. Esos tratamientos están compuestos esencialmente por insecticidas organofosforados como el malatión y por piretroides como la piretrina, fenotrina y permetrina. La loción de permetrina al 1 % sigue siendo el tratamiento farmacológico de primera línea para la pediculosis (Feldmeier, 2012).

La segunda generación de tratamientos antipiojos se basa en un modo de acción mecánico, alegando asfixia y/o deshidratación de parásitos. Los componentes principales de esos tratamientos se derivan de aceites minerales como la dimeticona o ciclopentasiloxano, también de aceites vegetales como aceite de coco y de neem y más recientemente, los aceites esenciales como árbol de té, citronela y eucalipto (Pearlman, 2004).

Los productos que se ofrecen en el mercado no suelen tener un grado aceptable de eficacia, pues es común que no tengan efecto en las liendres, puesto que, las liendres no tienen sistema nervioso en su primera etapa de desarrollo, en consecuencia, requieren dos o más ciclos de tratamiento para erradicar este padecimiento (Heukelbach, 2008).

2.1.2. *Despiojerías en Mexicali*

En Mexicali, Baja California, México, la infestación por *pediculus humanus capitis* es abundante, debido a las condiciones climáticas. Mexicali se caracteriza por temperaturas muy elevadas durante gran parte del año (Servicio Meteorológico Nacional de México, 2024). Esta problemática afecta principalmente a la población infantil por la convivencia en masa en centros escolares y la acumulación de cebo en sus cueros cabelludos, esto crea

las condiciones ideales para el contagio y reproducción de los piojos. Las plagas de piojos son difíciles de exterminar por la reproducción acelerada y los cortos tiempos de eclosión de las liendres. El mercado actual en Mexicali cuenta con clínicas antipiojos, ubicadas en la zona Este de la ciudad, existen actualmente 9 negocios oficiales, dedicados a despiojar personas. Sus datos están disponibles en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de clínicas en Mexicali

| Despiojerías | Dirección | Contacto |
|-----------------------------|--|--|
| Crazy Lice | Francisco L. Montejano 3554 Int. 4 21040 Mexicali, Península de Baja California, México | 686 261 0721 piojitos@crazylice.com |
| Piojos-CHAOPIPI Mexicali | Calle Mariano Matamoras, C. Río San Lorenzo 1001, Prohogar, 21240 Mexicali, B.C. | 6861927939 chaopipis1@gmail.com |
| Clínica Anti-Piojos | Zaragoza sur 2034, colonia nueva 21100 Mexicali, Península de Baja California, México | 686 157 2306 ing_imelda@hotmail.com |
| Lice Pickers MXLI | Taxco 516, Nueva Esperanza, Mexicali, Baja California | 6865116992 |
| Piojo Bye | Calle Río Colorado 338, 1ro de diciembre, 21240 Mexicali, B.C. | 686 312 9787 |
| Cartoon's Lice Care | Palmar de Gibson 32, Palmar de Santa Anita | 6863562599 |
| Help no more piojitos | S y D de 10:00-17:00 | 686 105 9335 |
| Clínica de Piojos | Cerrada de la Península, Mexicali, México, 21240 | |
| Pips Off / No más piojos | Av. República de Brasil 805, Cuauhtémoc Sur, 21218 Mexicali, B.C., México, Baja California. | 686 363 0955 |

2.2. Biomasa

La biomasa es materia orgánica de origen biológico que puede ser aprovechada como fuente de energía renovable (biomasa energética), así como para su reutilización y revalorización en productos (biomasa no energética). La biomasa incluye residuos y desechos de actividades agrarias, forestales, pesqueras y acuícolas, así como residuos industriales y municipales biodegradables (García, 2017). La revalorización de la biomasa puede tener como objetivo la producción de bioproductos, como materiales biodegradables, productos químicos y alimentos. De esta manera, la biomasa puede ser una fuente sustentable y renovable, además de contribuir a la reducción de residuos y a la economía circular (Palomar et al., 2015).

La formación de biomasa se da a partir de la energía solar, la cual se lleva a cabo por el proceso de fotosíntesis. Mediante la fotosíntesis las plantas transforman el agua y el dióxido de carbono (CO₂) en energía, la cual se almacena dentro de ellas y se puede aprovechar, mediante las tecnologías de conversión (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

2.2.1. Caracterización fisicoquímica

Análisis próximo

El análisis próximo o proximal se define como la determinación del porcentaje en peso de los principales componentes de la biomasa, estos métodos analíticos son la determinación de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo. Es importante realizar estas pruebas mediante los métodos estándar de biomasa para asegurar la confiabilidad de los resultados (Bueno, 2012).

La humedad es el contenido de agua que se encuentra en un cuerpo, está tiende a ser inestable porque está relacionada con las condiciones del ambiente que lo rodean, como la temperatura, la velocidad del viento y la humedad del aire. Es importante determinar el contenido de humedad de la biomasa porque al ser tan variable puede comprometer los estudios, por este motivo, el resto de los análisis se ejecutan a partir del peso seco. Un alto contenido de humedad podría indicar una menor densidad energética y una mayor necesidad de energía para su procesamiento (Bridgeman et al., 2008).

El método de material volátil mide la cantidad de sustancias volátiles presentes en la biomasa sin tomar en cuenta el vapor de agua. El material volátil es un precursor que al encontrarse en grandes cantidades puede indicar el potencial de la biomasa para la producción de combustibles líquidos y gases combustibles. Por otra parte, puede indicar la presencia de compuestos orgánicos volátiles que son deseables para la extracción de aceites esenciales (Wang et al., 2019).

La determinación de cenizas representa el porcentaje de residuos que queda después de la oxidación en seco de la biomasa, las cenizas se conforman principalmente de minerales y sales inorgánicas. Un alto contenido de cenizas puede afectar la eficiencia de los procesos de conversión de biomasa y la calidad del producto final por la presencia de impurezas, ya que las cenizas pueden provocar problemas de corrosión y depósitos en los equipos de conversión (ASTM Internacional, 2001).

El carbono fijo es el carbono elemental C. Este método mide la cantidad de carbono que permanece en la biomasa después de la eliminación de la materia volátil y las cenizas. Un alto contenido de carbono fijo sugiere un mayor potencial para la producción de productos químicos y materiales a partir de la biomasa como carbones activados y materiales de construcción (Demirbas, 2004).

Análisis de composición química

El análisis de composición química se refiere a las técnicas utilizadas para determinar la presencia y cantidad de los componentes lignocelulósicos en la biomasa. Estos componentes están interrelacionados, ya que la biomasa lignocelulósica está formada por tejidos, cuya pared celular se constituye por microfibrillas alargadas de celulosa, recubiertas por capas en forma de espiral de hemicelulosa y sobre ellas se encuentra la lignina dispersa en forma de red, ver Figura 2 (Barroso, 2010).

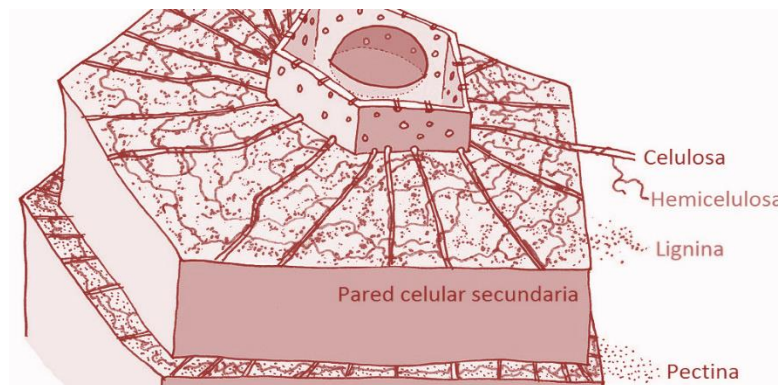


Figura 2. Biomasa lignocelulósica

La determinación de su composición química es esencial para seleccionar la tecnología de conversión más adecuada, ya que permite conocer el potencial energético o no energético y las condiciones de operación necesarias para su transformación (Álvarez et al., 2013).

La biomasa contiene una variedad de compuestos químicos que se conocen como extraíbles. Estos compuestos pueden tener un impacto negativo la calidad y las propiedades, por lo que es importante eliminarlos antes de cualquier proceso de extracción química. Los extraíbles con agua son compuestos orgánicos que pueden ser extraídos mediante la aplicación de agua caliente (Prinsen et al., 2013). Los extraíbles con acetona se refieren a los compuestos orgánicos que se pueden extraer usando acetona. La acetona al ser un solvente polar aprótico, también actúa como solvente no polar y puede extraer una variedad de compuestos como lípidos, ceras y algunos compuestos fenólicos (Afanasjeva et al., 2017).

La lignina, es un polímero con estructura de anillos fenólicos complejos y alto contenido de carbono, es la estructura de la pared celular de las plantas otorgándoles rigidez y resistencia a sus tejidos, es altamente hidrófoba e insoluble en agua y alcohol y muy resistente a la descomposición. Está compuesta por tres alcoholes aromáticos, alcohol *p*-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico (Fang & Smith, 2016).

La holocelulosa es una mezcla compleja de carbohidratos formados por un gran número de azúcares simples, se encuentra unida a la lignina en la pared celular de las plantas. Esta mezcla está compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa. El contenido de holocelulosa puede variar según la especie y las condiciones de crecimiento. Generalmente representa alrededor del 70-75 % del peso seco de la madera (Demirbas, 2010). La holocelulosa es utilizada como biocombustible, mediante procesos de fermentación y/o hidrólisis, también se utiliza en la fabricación de papel y en la industria alimentaria para mejorar la textura y la estabilidad de los alimentos (McKendry, 2002).

La celulosa es un polímero con composición molecular de largas cadenas glucosídicas. De estructura fibrosa, apariencia blanca y muy resistente. La celulosa se forma cuando dos moléculas de glucosa se enlazan químicamente, y forman un enlace reductor con un aldehído. La celulosa no es un material fácilmente accesible como lo es el almidón o el azúcar ya que, se encuentra íntimamente unida a otros materiales como hemicelulosa, lignina y sustancias péptidas (Sharma & Kumar, 2020).

La hemicelulosa es un polisacárido compuesto por la unión con enlaces glucosídicos de monosacáridos, principalmente xilosa, arabinosa, manosa, glucosa, galactosa y xilulosa, además contiene ácidos uránicos, como el ácido glucurónico y galacturónico. De estructura amorfa, aleatoria, ramificada, soluble en soluciones alcalinas débiles y se hidroliza fácilmente con ácidos o bases (Torres et al., 2015).

2.3. Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) son hidrocarburos terpénicos enlazados a otros grupos funcionales aromáticos, se pueden separar físicamente de otros componentes siendo extraídos de las plantas por medio de la destilación con agua, con vapor, en seco o por proceso mecánico en frío (International Organization for Standardization, 2021). Estos compuestos orgánicos tienen la característica de ser volátiles e inflamables ya que cambian de estado líquido a gaseoso a temperatura ambiente. La cualidad aromática de los aceites esenciales es una de las más explotadas por la industria y se debe a las propiedades fisicoquímicas de sus componentes, al ser volátiles les permite desplazarse eficazmente por el aire y ser detectados por los receptores olfativos de la nariz.

Los terpenos constituyen alrededor del 80 % de la composición de los aceites esenciales, irónicamente una característica de esta familia de hidrocarburos es que son inoloros. El aroma característico de los aceites esenciales y sus propiedades se deben a los grupos funcionales pertenecientes a la composición única de cada aceite esencial. Los principales grupos funcionales son alcoholes, éteres, aldehídos, cetonas, ésteres y derivados nitrogenados (Ortuño, 2006).

El sistema inmune de las plantas genera las esencias en el interior de sus glándulas secretoras como la parte cítrica que ayuda a combatir las amenazas medioambientales. Cada especie de planta genera en mayor concentración el aceite esencial en las partes que corren mayor riesgo de ser invadidas por microorganismos, se puede obtener de la corteza, los tallos, las hojas, las raíces, las semillas, y las cáscaras de las frutas (Hill, 2017).

Los aceites esenciales son lipófilos, el comportamiento de las moléculas tiene afinidad por los lípidos, estos son apolares lo que implica que son solubles en disolventes orgánicos, se disuelven fácilmente en los aceites vegetales, grasas y en alcohol, son insolubles en agua, pero pueden mantenerse suspendidos en ella durante breves periodos de tiempo. El método de separación utilizado es la destilación, ya que, al requerir agua en estado líquido o vapor, el aceite esencial puede ser separado fácilmente (Günther, 1948).

2.3.1. Hidrodestilación

Dentro de las operaciones unitarias, existen distintos métodos utilizados para extraer el aceite esencial, el método más recomendable y eficiente depende de las partes a extraer de la planta, de la fragilidad y resistencia de esta.

La hidrodestilación es uno de los métodos de separación más utilizados, debido a la cantidad de aceite esencial que se puede obtener en períodos cortos de tiempo y la gran variedad de plantas que se pueden procesar efectivamente. En la Tabla 2 se mencionan algunas de las plantas más comunes para la obtención de aceites esenciales por el método de hidrodestilación.

Tabla 2. Material vegetal apto para hidrodestilación. Adaptada de Muñoz, (2002)

| Nombre común | Nombre científico | Parte de la planta |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Anís verde | <i>Pimpinella anisum</i> | Fruto |
| Eneldo | <i>Anethum graveolens</i> | Fruto y hojas |
| Espliego | <i>Lavandula latifolia</i> | Flores y hojas |
| Geranio | <i>Geranium</i> | Flores, hojas y tallos |
| Hinojo amargo | <i>Foeniculum vulgare</i> | Fruto |
| Hisopo común | <i>Hyssopus officinalis</i> | Flores y hojas |
| Lavanda | <i>Lavandula angustifolia</i> | Flores y tallos |
| Lima | <i>Citrus × aurantiifolia</i> | Flavedo |
| Limón | <i>Citrus limón</i> | Flavedo |
| Menta | <i>Mentha piperita</i> | Planta entera |
| Mejorana española | <i>Thymus mastichina</i> | Flores y hojas |
| Árbol de té | <i>Melaleuca Alternifolia</i> | Hojas y corteza |
| Eucalipto | <i>Eucalyptus globulus</i> | Hojas y corteza |
| Naranja | <i>Citrus x sinensis</i> | Flavedo |
| Orégano | <i>Origanum vulgare</i> | Flores y hojas |
| Romero español | <i>Rosmarinus officinalis</i> | Flores y hojas |
| Salvia | <i>Salvia officinalis</i> | Flores y hojas |
| Tomillo | <i>Thymus vulgaris</i> | Flores y hojas |
| Toronja | <i>Citrus aurantium</i> | Flavedo |
| Ciprés | <i>Cupressus sempervirens</i> | Tallos |

Derivado del proceso de extracción de aceite esencial se obtiene un subproducto denominado hidrosol, también conocido como agua aromática, se obtiene a partir de la destilación de la mezcla de vapor de agua con aceite esencial, brindando al agua propiedades aromáticas, al contener partículas microscópicas de aceite esencial. El agua aromática es utilizada en la industria alimentaria, perfumería y cosmética (Lipa, 2014).

2.3.2. Aceites esenciales con antecedentes pediculicidas

Una característica clave para la elección de los aceites esenciales es su capacidad para agotar los niveles de Adenosín Trifosfato (ATP) para prevenir que los piojos generen resistencia, estos aceites son capaces de inhibir las enzimas que producen ATP, lo que altera el metabolismo de los piojos y, en consecuencia, provocar su asfixia celular, debilitándolos hasta su muerte. Algunas moléculas presentes en aceites esenciales con esta capacidad son eugenol, cinamaldehído, citronelol, cineol y carvacrol (McCage et. al. 2002).

Revisión de patentes

Se realizó una búsqueda del estado del arte de formulaciones de champús a base de aceites esenciales con actividad pediculicida, implementando herramientas de búsqueda como operadores booleanos y las bases de datos de patentes Scopus, USPTO, Patentscope, Espacenet y Google Patents. Se establecieron criterios de búsqueda donde se tomaron en cuenta únicamente las patentes con formulaciones de champús que exterminan completamente los piojos.

Según las pruebas realizadas para la obtención de la patente US4518593A, es posible crear una composición pediculicida no irritante para su uso en forma de champú que comprende un 74-95 % en volumen de un agente humectante seleccionado del grupo que consiste en amonio, trietanolamina y lauril sulfato de sodio, del 2 al 12 % en volumen de ácido acético y del 0.5 al 3 % en volumen de al menos un extracto o esencia vegetal natural o sintético seleccionado del grupo formado por extractos y aceites esenciales de clavo, lavanda, menta, origanum, romero, lima, enebro, limón, citronela, tomillo, Datura Stramonium, pino, piretro, piretrina y hojas de canela de Ceilán, siendo el pH de la composición inferior a 4.5 (Juvín & Moreau, 1985).

Se realizaron 4 pruebas por el método in vivo sobre pacientes con un rango de edades que comprende de 5-15 años. La formulación se compone de 1 % de alcanfor sintético, 1 % de aceite esencial de citronela, 5 % de ácido acético y 93 % de Texapant ® diluido al 30 % y un pH de 2.1. En todos los casos se logró eliminar en su totalidad la plaga de piojos.

Dos niños de 11 y 13 años con cabello que comprende una colonia considerable de piojos adultos y liendres fueron tratados con el champú. El primer lavado se llevó a cabo un día por la mañana. El champú se usó activamente durante 15 minutos, seguido de un lavado con agua. Un examen de la cabeza mostró que ya no había piojos adultos, y la proporción de liendres se redujo. Se continuaron los lavados con las especificaciones del primer día durante los 2, 4 y 6 días después. Aunque no se observó piojo adulto, el número de liendres disminuyó continuamente. Se hicieron nuevos lavados cada 7 días. Después de tres semanas, las liendres habían desaparecido por completo.

Para los 2 siguientes casos, una niña de 15 años y una niña de 5 años previamente fueron tratadas con polvo de lindano al 0.8 % y polvo con mezcla de 0.4 % de lindano y 10 % de D.D.T. (diclorodifeniltricloroetano) respectivamente, además, se incorporó ayuda de champú normal y peines quita liendres para ambos casos. En ninguno de los dos casos se logró exterminar completamente la plaga. Al cabo de 5 días en tratamiento las dos niñas seguían con liendres adheridas a sus melenas. Se procedió a utilizar el champú piojicida, para la niña de 15 años bastó con la primera aplicación para erradicar la plaga, mientras que con la niña de 5 años se necesitaron 2 aplicaciones (Juvin et al. 1985).

Lee, Dale, Langley & Christensen (2003), formularon un champú pediculicida con una viscosidad que comprende de 350 a 15,000 cps, 10 % en peso de sal de cloruro de sodio, 12 % en peso de poli (oxietileno sorbitano monolaurato) surfactante/agente espumante, 1 % en peso de un acondicionador de proteína hidrolizada, 20 % en peso de una combinación de aditivos de rendimiento que incluyen agente espumante lauril sulfato de sodio, agente de viscosidad cocoamida DEA, agente quelante calcio disódico EDTA, cloruro de bencetonio conservante, humectante, glicerina, fragancias vainillina, aceite de anís y lavanda, fijador de fragancia benzoato de bencilo y el resto es agua purificada.

La composición natural de esta invención tiene la misma efectividad que un producto químico existente en el mercado con actividad pediculicida, cuyo uso tiene efectos adversos. Se demuestra que tanto los piojos adultos como las liendres mueren por la composición natural y no tóxica de esta invención (Lee et al, 2003).

Los terpenos son hidrocarburos insaturados naturales ($C_{10}H_{16}$) que se encuentran en muchos aceites esenciales y resinas vegetales oleofílicas. Eini & Tamarkin, (1993), descubrieron que los terpenoides, especialmente los alcoholes terpenoides (terpenos-ols), terpenoides-ésteres, algunos aldehídos y cetonas de terpenos, en una concentración de entre 0.01- 50 % muestran actividad pediculicida, los estudios revelan que existe mayor efectividad para las concentraciones que oscilan entre el 0.01-10 %. Los aceites esenciales que contienen un alto contenido de terpenos y ésteres, superior al 40 %, también mostraron un alto efecto de repelencia contra piojos.

Diez aceites esenciales fueron probados con piojos, y en paralelo fueron analizados por GC-Mass Spectrography. Ocho de los aceites contienen más del 40 % en concentración de terpenos-ols, los más sobresalientes son los aceites esenciales de Bergamota con 62 %, la Salvia, Estirón y Menta con menos del 50 % y Pino siberiano con 75 %. Todos los aceites mencionados arrojaron un 80 % de repelencia (RC-80) contra piojos al mantener una concentración entre 0.7 % - 1.5 % de aceites esenciales en la formulación de un champú, (Eini et al.,1993).

Found, (2007), propone una composición pediculicida/ovicida que comprende alcohol sesquiterpénico de 0.1 % - 5 % y un portador adecuado en el que el alcohol sesquiterpénico se aísla de un aceite esencial seleccionado del grupo formado por aceite de limón, aceite de verbena, aceite de geranio, aceite de anís, aceite de pachulí, aceite de lavanda, aceite de boronía, aceite de eucalipto, aceite de árbol de té, aceite de laurel, aceite de sándalo, aceite de naranja, aceite de citronela, aceite de pomelo, aceite de jazmín, aceite de canela, aceite de manzanilla, aceite de salvia, aceite de lima y aceite de mandarina.

Las composiciones de la presente invención pueden comprender además otros aceites esenciales como el aceite de sándalo, el aceite de geranio, el aceite de lavanda y el aceite de eucalipto. Estos aceites esenciales pueden ayudar a la actividad pediculicida y/u ovicida de la composición, por ejemplo, ayudando a la composición a penetrar en las paredes de los huevos de piojos ("óvulos"). La composición también se puede mezclar con excipientes, estabilizadores, diluyentes o extensores aceptables de pediculicida convencionales utilizables en el arte. Si se desea, también se pueden agregar adyuvantes como surfactantes, estabilizadores y agentes antiespumantes (Found, 2007).

Zion & Schwartz, (2010), presentan una composición pediculicida no irritante para eliminar los piojos y/o liendres del cabello y/o cuero cabelludo de una persona infectada que comprenda un componente de plataforma, un componente de fase acuosa y un componente de aceite esencial en una relación de volumen de aproximadamente 15:5:1 con pH de 6-6.5. El componente de plataforma aporta jabón de remolacha azucarera, manteca de karité y aceite vegetal de almendras en una proporción por volumen de 6:2:1, el componente de fase acuosa comprende vinagre, una solución acuosa de sal marina y alcohol en una proporción por volumen de 0.5:1:1 y el componente de aceite esencial elegido del grupo que consiste en citronela, pachuli, eucalipto, limón, árbol de té, hierba de limón, anís, ajo, jengibre y cualquier combinación de lo anterior, donde dicha composición pediculicida esté adaptada para matar piojos, aflojarlos, eliminarlos del cabello y cuero cabelludo.

Dolisznyj, (2005) ofrece una composición acuosa para el tratamiento de los piojos y sus huevos que incluye como principios activos una infusión de hojas secas de menta, una infusión de té negro con té de bergamota, ajo y aceite esencial de árbol de té, citronela y de eucalipto, donde el aceite esencial comprende el 3 % de la composición total en peso y los porcentajes de los aceites esenciales antes mencionados son del 50 %, 25 % y 25 % respectivamente, ácido acético presente hasta un máximo del 2.5 % en peso, tensoactivos y un agente espesante seleccionado a partir de carboximetilcelulosa o un poliglicol normalmente hasta un 1 % en peso.

Los aceites esenciales que se encontraron con más frecuencia en el estado del arte son la citronela *Cymbopogon nardus*, el clavo *Syzygium aromaticum* el eucalipto azul *Eucalyptus globulus*, la lavanda *Lavandula*, la menta *mentha*, el tomillo *Thymus*, el romero *Salvia rosmarinus*, la canela *Cinnamomum verum*, la naranja *Citrus sinensis* y el árbol de té *Melaleuca Alternifolia*.

Características del material vegetal

Mexicali, Baja California es una zona desértica con flora limitada debido a las condiciones climáticas, una de las especies vegetales que más abundan en la ciudad es el árbol de eucalipto. El eucalipto es una especie arbórea con abundante follaje de la familia de las mirtáceas (Chahin, 2010) y se puede recolectar fácilmente en áreas públicas sin costo alguno.

Nolazco et al. (2020), llevaron a cabo la extracción de aceite esencial de la hoja de eucalipto azul *Eucalyptus globulus* por el método de Extracción por Microondas Libre de Solventes EMLS y Extracción por Microondas Asistida por Ultrasonido EMAU, resultando tóxico para

bacterias, hongos, patógenos e insectos; lo que podría resultar en su uso potencial como pesticida. Su actividad antimicrobiana se atribuye a la presencia de p-cimeno, limoneno, α -pineno y α -terpineol.

Los cítricos contienen un alto porcentaje de d-limoneno, por lo que es viable considerar la cáscara de naranja como una fuente de material vegetal para su uso en productos pesticidas. Este residuo orgánico abunda en la región al ser utilizados en la industria juguera; cuenta con área de oportunidad para evitar que se procese como desperdicio, brindándole un valor agregado. La cáscara de naranja se obtiene de jugueras locales, asegurando la abundancia del material vegetal para la obtención del aceite esencial.

Un estudio realizado por Juárez et al. (2010) expone la composición química del aceite esencial de naranja, obtenido del pericarpio (cáscara), de la naranja *Citrus sinensis*, utilizando un sistema de hidrodestilación por arrastre de vapor. La composición química se determinó por cromatografía de gases, destacándose en el cromatograma señales espectrales de d-limoneno, β -linalol, decanal y 2(10)-pineno. La determinación de la actividad antibacteriana *in vitro* se realizó por el método de difusión en agar demostrando actividad antimicrobiana significativa.

La citronela *Cymbopogon nardus* pertenece a la familia de las gramíneas, crece en forma de hierba y pasto frondoso con una longitud aproximada de 1 m de altura y con tallos sólidos. Originarias de Sri Lanka y la costa Malabar, la citronela se puede adquirir en viveros locales a un precio promedio \$120 MXN por pieza. El tamaño comercial de la planta suele ser de 60 cm con un tiempo de vida promedio de 2 años.

Zambón et al., (2015) estudió el aceite esencial de citronela *Cymbopogon nardus*, obtenido mediante destilación por arrastre de vapor y fue analizado por cromatografía de gases para conocer su composición química. La cromatografía revela una composición de citronelal, geraniol, citronelol, limoneno, linalool, isopulegol y elemol. Se ha comprobado que el citronelol y el limoneno cuentan con propiedades antimicrobianas, fungicidas, antisépticas, insecticidas, herbicidas y antiinflamatorias (Zambón et al. 2015).

2.4. Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas

La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) es una técnica analítica avanzada que combina la separación de compuestos volátiles mediante cromatografía de gases (GC) y la identificación y cuantificación precisa de estos compuestos utilizando espectrometría de masas (MS). La GC permite separar los componentes de una mezcla basándose en sus afinidades con una fase estacionaria y su volatilidad, mientras que la MS identifica estos componentes mediante la ionización y análisis de sus iones según la relación masa-carga (m/z), generando espectros de masas únicos. La combinación de ambas técnicas ofrece una alta sensibilidad y especificidad, permitiendo detectar y cuantificar compuestos en concentraciones muy bajas y analizar mezclas complejas de forma eficiente. Esto hace que GC-MS sea indispensable para analizar aceites esenciales, ya que permite la identificación y cuantificación detallada de sus componentes volátiles, asegurando la autenticidad y pureza del producto. Además, GC-MS puede detectar posibles adulteraciones y contaminantes en los aceites esenciales, evaluar la composición química para asegurar la consistencia y calidad del producto, y determinar la presencia de compuestos bioactivos, lo cual es crucial para sus aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria.

2.5. Formulaciones base para la elaboración del champú

Según el Diario Oficial de la Federación (2014) un champú es el producto que se utiliza para eliminar el exceso de grasa y partículas acumuladas del cuero cabelludo, el cabello y el cuerpo. Un champú debe cumplir con la función antes mencionada asegurando la utilización de ingredientes no dañinos ni perjudiciales para la salud.

Los componentes generales para la formulación de un champú son los surfactantes o tensoactivos, agentes espesantes, estabilizadores, aditivos, conservadores, agentes antimicrobianos, fragancia, color, ajustador de pH y diluyentes (Klein & Palefsky, 2007). Para la creación de formulaciones nuevas con objetivos cosméticos o médicos como en el caso de la alopecia, pediculosis y caspa, es necesario adicionar otros ingredientes, regularmente en menor porcentaje que los ingredientes base.

Conservador

Los conservantes son ingredientes o sustancias elegidos específicamente por sus propiedades para prevenir la aparición de microorganismos, como bacterias o moho, que pueden contaminar un producto cosmético durante su almacenamiento y su uso por el consumidor (Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, 2010).

Preservaderm 100 es un conservante de amplio espectro que inhibe el crecimiento microbiano, así como de los hongos y levaduras, es libre de parabenos e isotiazolinonas, actúa en pH de 3.5-5.5, su dosificación recomendada es de 0.3-0.4 %, CAS: 6440-58-0, 122-99-6, 100-51-6 y 99-93-4. Su aplicación es apta para cremas, champús, tratamientos capilares, productos faciales y de limpieza.

Concentración de aceite esencial

Según los límites máximos permisibles que estipula la normatividad Europea del Instituto Federal de Evaluación de Riesgos (2008) un producto cosmético puede contener hasta 10 % de aceite esencial, aceite vegetal y/o extractos para considerarse un producto inocuo para el consumidor, por otra parte, la revisión de patentes destaca que se utilizan frecuentemente concentraciones de 0.5-10 %.

Tensoactivos

Los tensoactivos son moléculas anfifílicas con una porción hidrofílica y otra hidrofóbica; se localizan preferentemente en la interfase de fluidos con diferentes grados de polaridad como son aceite-agua o aire-agua. Las propiedades de un tensoactivo son caracterizadas principalmente por cuatro parámetros, concentración micelar crítica, número de agregación, balance hidrofílico-lipofílico y punto de nube.

Estos parámetros indican el potencial del tensoactivo como agente emulsificante y de superficie, determinando su aplicación en diversas áreas, principalmente a nivel industrial y ambiental (Jimenez et al., 2010). En la Tabla 3 se presentan los tensoactivos utilizados en la formulación.

Tabla 3. Características de los de tensoactivos utilizados

| | Coco sulfato sódico | Tegobetaína de coco | Glucósido de decilo |
|-----------------------|--|---|---|
| Carga | Aniónico: cabeza hidrofílica con carga negativa | Anfótero: cabeza hidrofílica con carga negativa y positiva dependiendo del pH de la fórmula | No iónico: cabeza hidrofílica sin carga |
| Propiedades | Espumante y alta capacidad de limpieza | Espumante, espesante, acondicionador y reduce la irritación que causan los tensoactivos aniónicos | Emulsionante, acondicionador y estabilizador |
| Compatibilidad | Incompatibles con tensoactivos catiónicos | Compatibles con todos los tipos de tensoactivos | Compatibles con todos los tipos de tensoactivos |
| Irritación | Irritantes, para evitar irritación se combinan con tensoactivos no iónicos o anfóteros | No irritantes | No irritante |
| Aplicaciones | Tensoactivo primario en champús, jabón líquido y bombas de baño | Tensoactivo secundario en champús y jabón líquido | Tensoactivo secundario en champús, jabón líquido y acondicionadores |

2.6. Pruebas de seguridad y eficacia

La Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos define a los cosméticos por su uso como “artículos previstos para frotarse, verterse, rociarse, atomizarse, introducirse o aplicarse en el cuerpo humano para limpiar, embellecer, aumentar el atractivo o modificar la apariencia” (Food and Drug Administration, 2012). Entre los productos que se incluyen en esta definición están los humectantes para la piel, los perfumes, los lápices labiales, los

esmaltes para uñas, las preparaciones de maquillaje para ojos y rostro, los champús de limpieza, los colorantes para el cabello y los desodorantes, así como cualquier sustancia prevista para usarse como componente de un producto cosmético. El control de calidad de un producto se divide en 3 categorías, microbiológico, fisicoquímico y organoléptico.

El objetivo del control de calidad es corroborar la seguridad y la eficacia de los productos cosméticos, en los próximos apartados se observarán los parámetros puntuales para el aseguramiento del control de calidad del champú.

2.6.1. Pruebas microbiológicas

Las disposiciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-089-SSA1-1994 (1994) establece los métodos para la determinación del contenido microbiano en productos de belleza, para asegurar que están libres de contaminación y son aptos para uso humano. Esta Norma Oficial Mexicana establece los métodos de prueba para determinar el contenido microbiano con el fin de conocer la calidad sanitaria. Es de observancia obligatoria en el territorio nacional para las personas físicas o morales que requieran efectuar estos métodos, sin embargo, esta norma no es aplicable para los champús por la naturaleza de su composición.

2.6.2. Requisitos de envasado y etiquetado

La Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012 (2012) establece los requisitos de información sanitaria y comercial que debe ostentar la etiqueta en productos cosméticos de cualquier capacidad preenvasados y destinados al consumidor final. Esta norma es obligatoria en el Territorio Nacional. La presente norma establece que el champú es un producto cosmético clasificado en el área de aromacología o aromología.

2.6.3. Pruebas reológicas

Gräbner & Hoffmann (2017) explican que los champús, acondicionadores y jabones líquidos deben ser sometidos a análisis fisicoquímicos para estudiar la estabilidad del producto. Las pruebas reológicas aplicables son la medición de pH, viscosidad, densidad y porcentaje de ingredientes funcionales.

El potencial de hidrógeno en un champú tiene que satisfacer lo estipulado por las regulaciones cosméticas, éstas indican que el pH debe ser ligeramente ácido de 5.5 - 6.2, para no provocar afecciones en el cuero cabelludo (Gräbner, et al., 2017).

La viscosidad es un parámetro altamente controlado en la formulación de productos capilares, con rangos aceptables de 2,500 a 13,000 centipoises para asegurar la consistencia, espesor y fluidez deseados. La viscosidad influye en la eficacia de la limpieza, la percepción del usuario, las propiedades de formación de espuma, el llenado en la producción, el embalaje, el almacenamiento y la estabilidad a largo plazo (Sofraser, 2024).

El rango permitido para la densidad de un champú cosmético se encuentra entre 0.95 g/mL y 1.05 g/mL. Si la densidad es demasiado baja, el champú puede separarse o sedimentarse con el tiempo, por otro lado, si la densidad es demasiado alta, el champú puede volverse difícil de verter o dispersar. La densidad del champú afecta directamente la experiencia del usuario, una densidad incorrecta puede hacer que el champú sea difícil de aplicar o enjuagar, lo que puede afectar negativamente la percepción del consumidor sobre el producto (Peña, 2022).

2.6.4. Propiedades organolépticas

Las propiedades organolépticas de las sustancias y productos se refieren a las características sensoriales identificadas por aspecto, olor, sabor y textura que son perceptibles por los sentidos. Las características organolépticas determinan los parámetros de aceptación del producto, al ser lo primero que percibe el consumidor.

2.6.5. Estudios de estabilidad para productos cosméticos

Según Camargo & Moyano, (2018) los estudios de estabilidad permiten comprender y documentar los posibles cambios físicos, organolépticos, químicos y microbiológicos que puedan presentarse en los productos cosméticos al estar expuestos a diversos factores ambientales, como la temperatura, la humedad, la vibración y la luz. Este tipo de estudios permiten definir los ajustes requeridos en la formulación, definir las especificaciones de calidad, seleccionar el material de envase adecuado, determinar el tiempo de vida útil, las condiciones de uso, almacenamiento y transporte más apropiadas para garantizar la seguridad, funcionalidad y apariencia del producto. Las alteraciones que pueden afectar al producto pueden ser extrínsecas cuando son causadas por factores externos como temperatura ambiental, humedad relativa ambiental, intensidad de la luz, aireación (oxígeno, anhídrido, carbónico y otros gases), radiaciones, vibraciones, efectos mecánicos, microorganismos o mal uso del producto, también existen factores intrínsecos que están relacionados con la propia naturaleza de la formulación, principalmente provienen de la interacción entre los ingredientes.

3. METODOLOGÍA

3.1. Selección del material vegetal

Partiendo de las plantas más estudiadas con efecto pediculicida, se realizó un análisis para elegir los posibles aceites esenciales a utilizar. En la elección de los aceites esenciales se tomaron en cuenta 3 factores. El factor 1 fue la disponibilidad en la zona geográfica del material vegetal, el factor 2 fue el tamaño de la planta y el factor 3 fue el costo. Estos factores se establecieron para adquirir fácilmente la cantidad de material vegetal necesaria a precios que se ajusten al presupuesto. Las plantas seleccionadas como candidatas fueron el eucalipto, la naranja y la citronela. Se incorporó al estudio el eucalipto de hoja redonda *Eucalyptus baueriana* para realizar pruebas exploratorias.

3.2. Extracción de aceites esenciales

Recolección del material vegetal

La cáscara de naranja se recolectó del establecimiento “Haz tu jugo”, de manera gratuita, al ser un residuo sin valor para este local. Las dos especies de eucalipto se recolectaron en las áreas verdes del Campus UABC Central y la citronela se adquirió a un costo de \$80 MXN por pieza en un vivero local de Mexicali.

Método de extracción

Se efectuaron todas las corridas en el sistema de extracción a escala piloto del Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos del Instituto de Ingeniería, presente en la Figura 3.

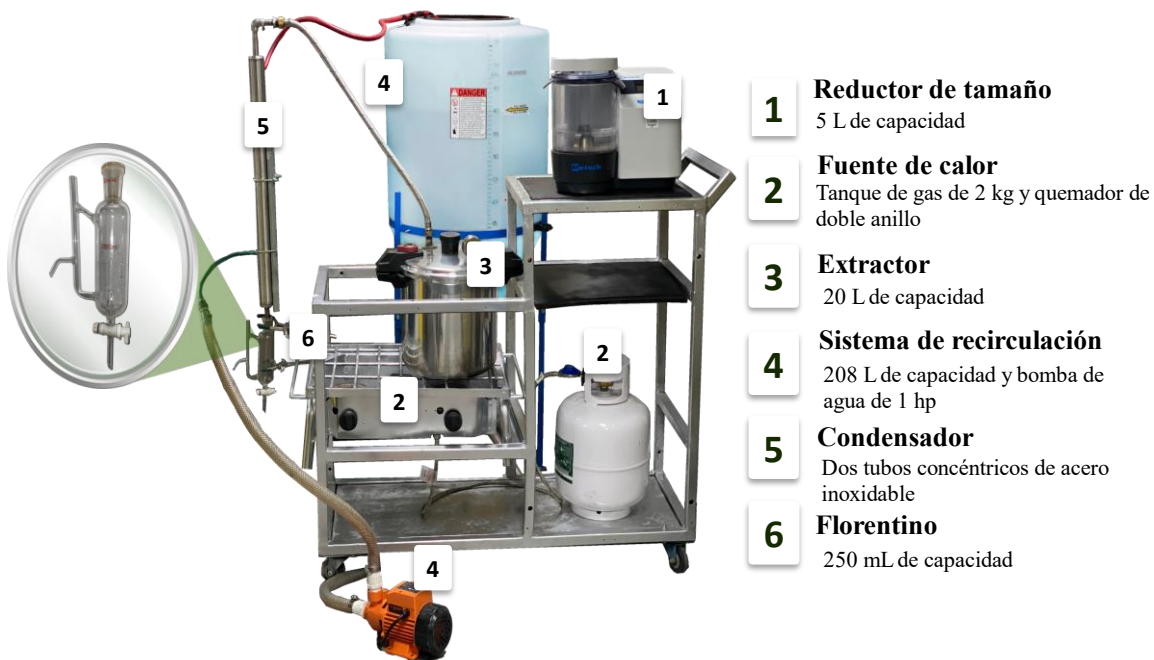


Figura 3. Sistema de extracción a escala piloto. Adaptada de Armenta et al., 2023

La extracción por hidrodestilación comenzó pesando el material vegetal en una balanza granataria (ver Figura 4), se aplicó reducción de tamaño por molienda o corte (1). La materia prima en presencia de agua purificada se llevó a ebullición en el extractor (3), colocado sobre una parrilla de gas (2) utilizada como fuente de calor. La mezcla de vapor de agua y aceite esencial pasó por el condensador (5) donde se llevó a bajas temperaturas con ayuda de agua fría en recirculación (4). La mezcla se transformó en una emulsión líquida inestable, compuesta por aceite esencial e hidrosol, cayendo por goteo en el florentino de 250 mL (6). Finalmente, la emulsión se separó con facilidad al ser inmisible, por diferencia de densidad en un embudo de decantación de 250 mL, resultando aceite esencial como producto y agua aromática como subproducto.



Figura 4. Pesado de materia prima: A) Cáscara de naranja, B) Eucalipto, C) Citronela

En la Tabla 4 se presentan los parámetros de operación implementados con cada especie vegetal. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Tabla 4. Parámetros de hidrodestilación

| Material vegetal | Reducción de tamaño | Carga de material vegetal (kg) | Volumen de agua (L) |
|-----------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| <i>Citrus sinensis</i> | Molienda en húmedo con molino de cuchillas Grindomix GM 300 a 2,000 rpm por 15 s, agregando 1.600 L de agua purificada* | 4 | 7.600 |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | Corte de 5 cm con tijeras de acero inoxidable | 1 | 7.190 |
| <i>Cymbopogon nardus</i> | Corte de 10 cm con tijeras de acero inoxidable | 0.470 | 3.600 |
| <i>Eucalyptus baueriana</i> | Corte de 3 cm con tijeras de acero inoxidable | 0.910 | 6.450 |

* Se consideró en el volumen de agua total.

3.3. Análisis próximo

Contenido de humedad

Para la prueba de humedad se realizó el método analítico estándar ASTM E871-82 (2019). Se comenzó con la reducción de tamaño, procurando un tamaño de partícula uniforme de 10 mm². Se pesaron 5 g de muestra y se colocó dentro de un crisol previamente tratado con el método TP-510-42621, (2008). Se colocó la muestra en un horno tipo mufla a 45 °C durante 48 h. La muestra se enfrió a temperatura ambiente en un desecador y se midió la masa.

Contenido de material volátil

Para calcular el porcentaje de material volátil se utilizó el método ASTM E872-82 (2013). Se incorporó una tapa de porcelana para evitar pérdidas de material vegetal, la tapa fue previamente tratada como se expresó anteriormente en el tratamiento del crisol para la prueba de humedad. La muestra anteriormente sometida a la prueba de humedad se ingresó a un horno tipo mufla a 950 °C durante 7 min, se enfrió sobre una superficie de cerámica hasta llegar a 25 °C para pasar a un desecador, finalmente, se midió la masa en una balanza analítica. El porcentaje de material volátil se calculó por la diferencia de masa y diferencia porcentual considerando el porcentaje de humedad. El método se realizó por triplicado. Ver

Figura 5.

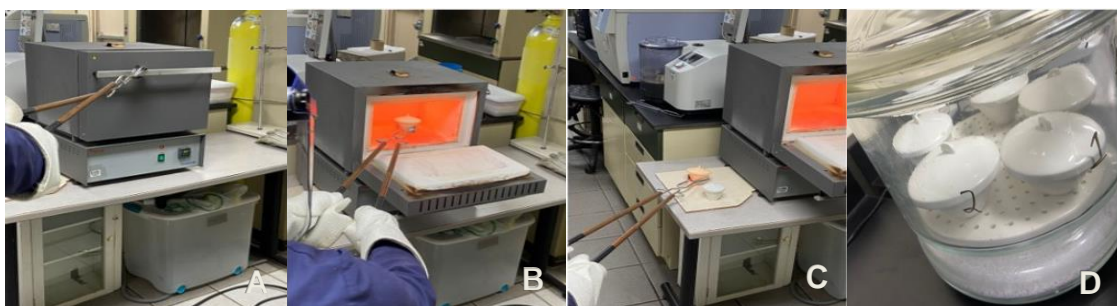


Figura 5. Material volátil: A) Mufla, B) Aplicación de calor, C) Enfriamiento, D) Desecado

Contenido de cenizas

Para el análisis de cenizas se utilizó el método ASTM D1102-84 (2001). La muestra resultante de la determinación de material volátil se ingresó a un horno tipo mufla a 580 °C durante 4 h, se enfrió sobre una superficie de cerámica para pasar a un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se midió la masa en una balanza analítica. Para el porcentaje de cenizas se calculó el cociente de la masa de las cenizas y la masa del material sometido a la prueba de material volátil. El método se realizó por triplicado. Ver Figura 6.

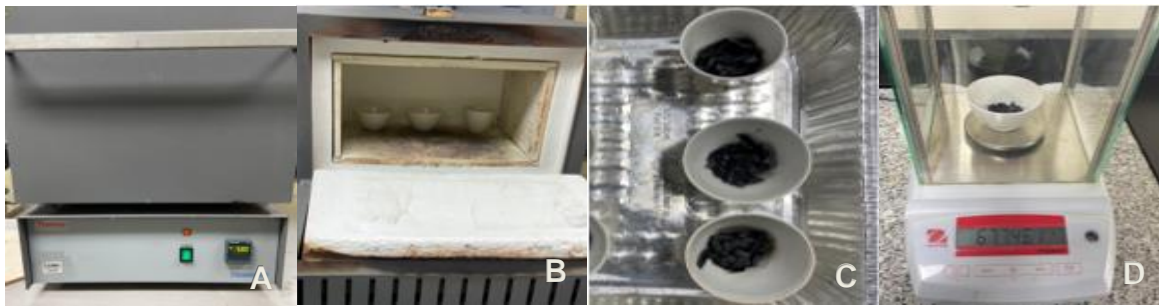


Figura 6. Cenizas: A) Mufla a 580 °C, B) Mufla por 4 h, C) Reposo, D) Pesaje

Contenido de carbono fijo

Para la determinación del carbono fijo no existe un método. El porcentaje de carbono fijo se calculó restando el porcentaje de humedad, material volátil y cenizas del 100 % de la masa de la muestra (Coronado, M., et al 2020), ver Figura 7.

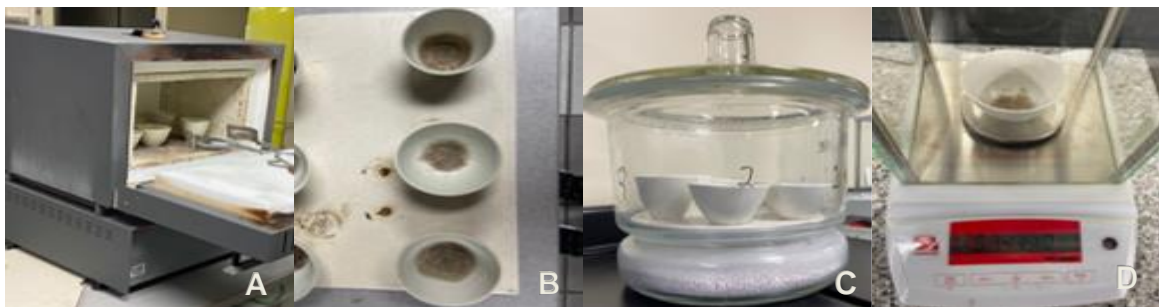


Figura 7. Carbono fijo: A) Mufla, B) Reposo, C) Desecado, D) Pesaje

Extraíbles con acetona

En la Figura 8 se muestra el procedimiento utilizado para el análisis de extraíbles con acetona, basado en la norma TAPPI T-264, (2007). Se utilizó una muestra libre de humedad tratada previamente. Se pesó el material vegetal, se dispuso en un cartucho de extracción y se tapó con papel filtro, se montó el sistema de extracción Soxhlet, conectando el condensador a un dispositivo de enfriamiento con bomba, para la recirculación de agua fría a 10 °C. Se añadieron 200 mL de acetona al matraz y se colocó el cartucho en el sifón en posición vertical en el sistema de extracción sobre una parrilla a 400 °C por 8 h. Se supervisó la cantidad de sifones producidos, cuidando que fueran por lo menos 4 veces por hora. Se llevó la muestra a un desecador durante 1 día para posteriormente llevarla a 105 °C durante 4 h, se enfrió y se registró la masa libre de extraíbles. El análisis se realizó por triplicado.



Figura 8. Extraíbles en acetona

El porcentaje de extraíbles con solvente se determinó mediante la Ecuación 1.

$$Ec. (1) \% \text{ Extraíbles con acetona} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde

m_1 = masa libre de humedad

m_2 = masa final, después de extracción con acetona

Extraíbles con agua

En la Figura 9 se muestra la primera parte del análisis de extraíbles con agua, se utilizó como referencia la norma TAPPI T-207, (1999). Se pesaron aproximadamente 2 g de muestra en un matraz de 250 mL y se añadieron 200 mL de agua purificada. Se montó el equipo de extracción, y se calentó en baño maría a 100 °C, durante 4 h. Pasado este tiempo, se filtró la muestra a través de un embudo Büchner con la ayuda de una bomba de vacío y un filtro No. 5, pesado previamente, el residuo filtrado se llevó a 105 °C durante 4 h. Finalmente se enfrió en un desecador y se pesó. El análisis se realizó por triplicado.



Figura 9. Extraíbles con agua

El porcentaje de extraíbles con agua se determinó mediante la Ecuación 2.

$$\text{Ec. (2) \% Extraíbles con agua} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde

m_1 = masa sin extraíbles con acetona

m_2 = masa final, después de extracción con agua

Determinación de lignina

La extracción de lignina se llevó a cabo como se muestra en la Figura 10, basado en la norma ASTM D-1106, (2001). Se preparó una solución de 20 mL de ácido sulfúrico al 72 %. Se tomaron 15 mL y se añadieron a un vaso de precipitado de 250 mL con 1.0340 g de material vegetal libre de extraíbles previamente pesado en una balanza analítica. Se colocaron en una parrilla a 400 rpm por 1 min, posteriormente a 200 rpm por 2 h. Transcurrido el tiempo, se pasó la muestra a un matraz Erlenmeyer de 1 L y se adicionaron 560 mL de agua desionizada caliente para cambiar la concentración a 3 %. Se montó el equipo de extracción a 108 °C durante 4 h. Terminada la extracción, se dejó sedimentar la muestra durante 2 h, se añadieron 500 mL de agua fría para diluir la solución y se filtró la muestra a través de un embudo Büchner con la ayuda de una bomba de vacío y un filtro No. 5 pesado previamente, finalmente, se secó a 105 °C por 4 h. La prueba se realizó por triplicado.

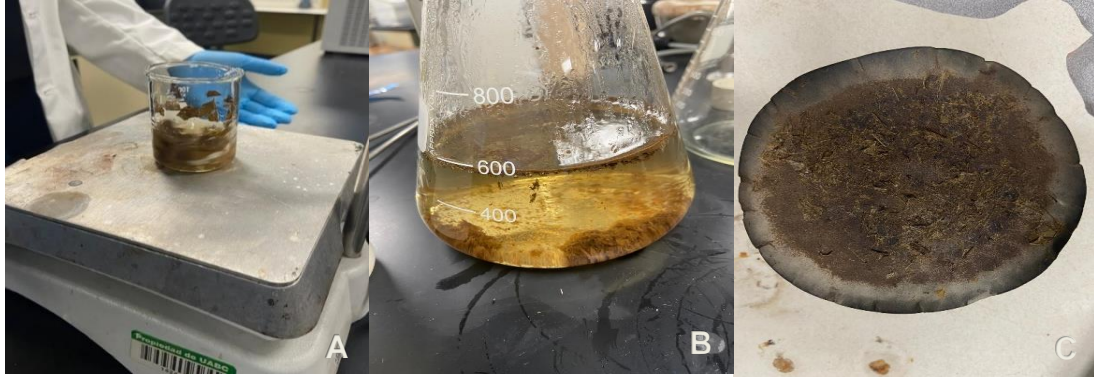


Figura 10. Lignina: A) Agitación magnética, B) Reposo, C) Post mufla

El porcentaje de lignina se determinó mediante la Ecuación 3.

$$\text{Ec. (3) \% Lignina} = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

Donde

m_1 = masa libre de humedad y extraíbles totales

m_2 = masa final de la determinación de lignina

Determinación de holocelulosa

La Figura 11 muestra el procedimiento de determinación de holocelulosa, la cual se basó en la norma ASTM D-1104, (1985). Se dispuso la muestra en un matraz de 300 mL junto con 0.22 mL de ácido acético, 1 g de clorito de sodio y agua. La mezcla se calentó en baño maría a 75 °C. Después de cada hora sucesiva, se añadió con agitación 0.22 mL de ácido acético y 1 g de clorito de sodio, hasta que la muestra quedó completamente separada de impurezas dando una tonalidad amarillenta en el matraz. Se dejó enfriar la muestra y se filtró la holocelulosa en un embudo Büchner hasta que se eliminó el color amarillo y el olor a dióxido de cloro. Pasado el tiempo de filtrado se observó que el color de la holocelulosa era blanco. Se dejó secar a 105 °C durante 4 h, se colocó en el desecador durante 1 h y se pesó.

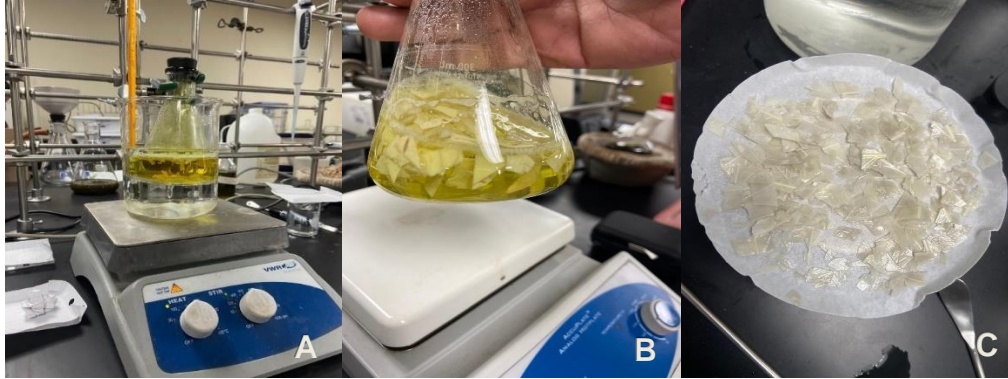


Figura 11. Holocelulosa: A) Calentamiento, B) Agitación, C) Filtrado

El porcentaje de holocelulosa se determinó mediante la Ecuación 4.

$$Ec. (4) \% \text{ Holocelulosa} = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

Donde

m_1 = masa libre de humedad y extraíbles totales

m_2 = masa final de la determinación de holocelulosa

Determinación de celulosa

Se colocó una muestra de 1.5 g de holocelulosa en un matraz de 250 mL, se adicionaron 10 mL de hidróxido de sodio al 17.5 %, se agitó y se dejó reposar por 5 min, posteriormente, se agregaron 5 mL de hidróxido de sodio a la misma concentración cada 5 min por 15 min y se agitó el matraz en cada adición. La muestra reposó por 30 min, se agregaron 33 mL de agua desionizada a 20 °C y se dejó reposar por 1 h. Pasado el tiempo, se añadieron 100 mL de hidróxido de sodio al 8.3 %, se agitó, enseguida se agregaron 15 mL de ácido acético al 10 % y se agitó rigurosamente. Se filtró en embudo Büchner conectado a bomba de vacío con filtro No. 5, se secó en horno a 105 °C por 4 h, se enfrió a temperatura ambiente por 1 min y se pesó (Rowell, 2012). Ver Figura 12. El análisis se realizó por triplicado.

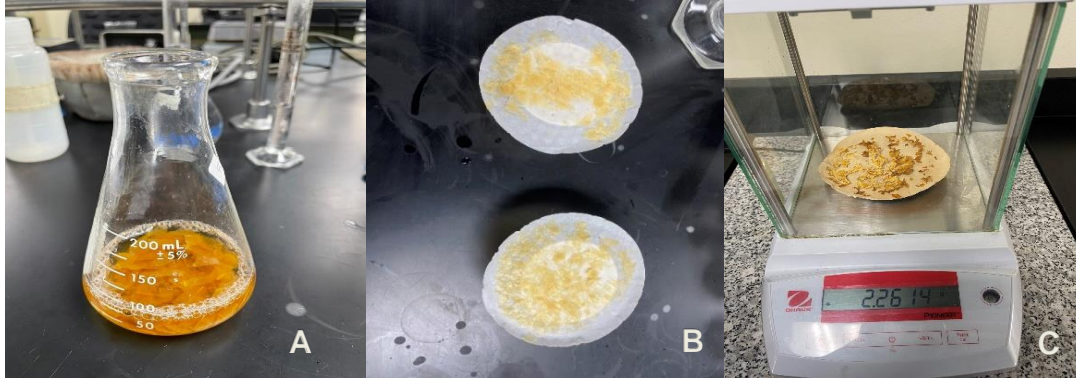


Figura 12. Celulosa: A) Adición de NaOH, B) Celulosa, C) Pesaje

El porcentaje de celulosa se determinó mediante la Ecuación 5. El porcentaje de hemicelulosa se calculó por diferencia de porcentajes entre holocelulosa y celulosa como se muestra en la Ecuación 6.

$$Ec. (5) \% Celulosa = \frac{(m_C) (\% Holocelulosa)}{m_H}$$

$$Ec. (6) \% Hemicelulosa = \% Holocelulosa - \% Celulosa$$

Donde:

m_C = Masa final de la determinación de celulosa

m_H = Masa final de la determinación de holocelulosa

3.4. Pruebas de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas

La determinación de los componentes químicos del aceite esencial de hojas de eucalipto se hizo mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). El aceite esencial se caracterizó usando un sistema GC-MS modelo 7890A Network GC de Agilent Technologies, ver Figura 13. Los espectros de masas se consiguieron por ionización por impacto de electrones a 70 eV de energía. La temperatura de inicio fue de 50 °C durante

2 min, y se elevó la a razón de 5 °C/min hasta alcanzar los 250 °C. El gas portador fue helio, con una presión de entrada en la cabeza de la columna de 12.667 psi. Las muestras se prepararon disolviendo 20 microlitros de AE en 980 microlitros de diclorometano. De la solución resultante, se tomó 1 microlitro para inyección (Jaramillo et al., 2022).

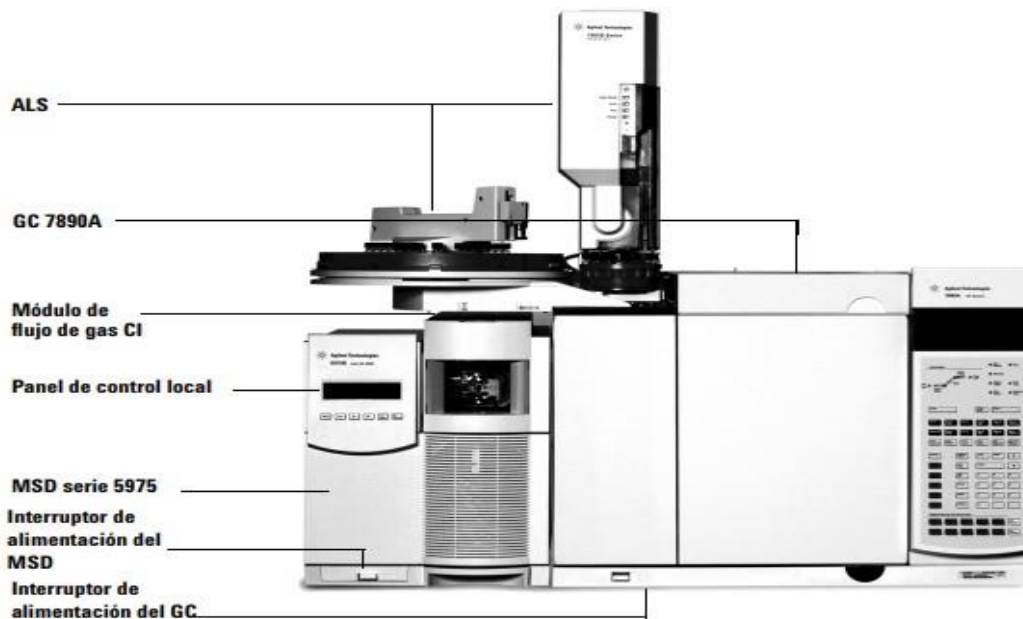


Figura 13. MSD Agilent serie 5975. Adaptada de Agilent Technologies, (2010)

3.5. Pruebas pediculicidas

La clínica antipiojos “Crazy Lice”, ver Figura 14 se dispuso a colaborar con la donación de muestras de piojos y ninfas durante el periodo de pruebas *in vitro*. Se entregó un oficio emitido por la institución, al propietario, solicitando de su colaboración. El establecimiento se ubica en la calzada Francisco L. Montejano, 3554 Int. 4, C.P. 21280, Mexicali, Baja California, México, a 1 km del Instituto de Ingeniería de la UABC, aproximadamente 3 min de distancia en vehículo.



Figura 14. Clínica antipiojos "Crazy Lice"

Se seleccionó esta clínica por la cercanía del punto de partida, para no comprometer el estado físico de los piojos. En la Figura 15 se muestra el mapa con la ruta más recomendada por el software ArcGIS.

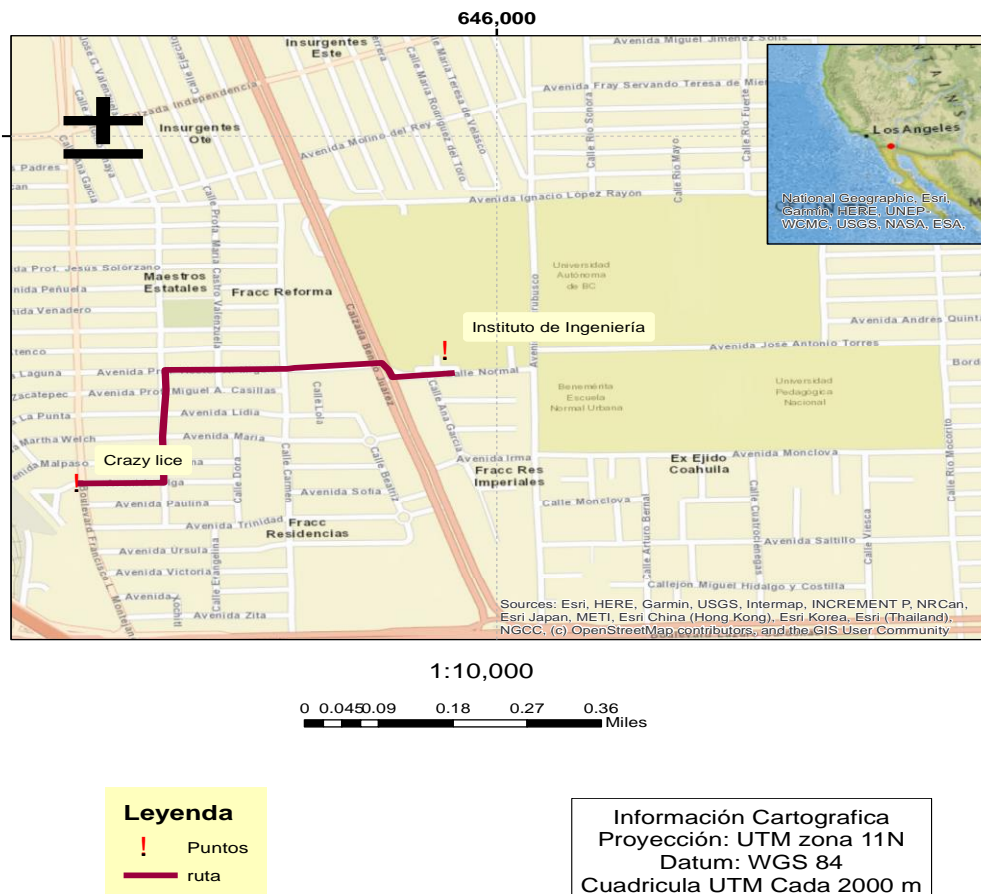


Figura 15. Ruta de recolección de piojos. Creada en ArcGIS

3.5.1. Pruebas pediculicidas de aceites esenciales

Las pruebas *in vitro* para el estudio de la eficacia de los aceites esenciales en piojos jóvenes y adultos comenzaron con la recolección de piojos. Las pruebas fueron inmediatas para evitar debilitar o estresar a los artrópodos. Los piojos se transportaron en frascos con trozos de 6 cm² de cofia de polipropileno en la boquilla a manera de filtro, para evitar la salida de estos, puesto que, se mantuvo la tapa abierta para evitar la asfixia. Se lograron obtener piojos con tamaños de 1-5 mm, posteriormente, se colocaron 3 piojos de tamaños diferentes en cada caja Petri con su tapa, donde se estudió la repelencia y la mortalidad de los piojos ante los aceites esenciales de *Citrus sinensis*, *Eucaliptus globulus*, *Cymbopogon nardus* y agua como blanco. Estas pruebas exploratorias se realizaron con los aceites esenciales sin diluir, a estos aceites esenciales se les identificara como “aceites esenciales puros”. Todas las pruebas se realizaron por triplicado, ver Figura 16.



Figura 16. Materiales

Pruebas de repelencia

Se colocó papel filtro No. 3 en cada caja Petri y se adicionaron 0.5 mL de aceite esencial puro, cubriendo el 30 % del papel filtro. Los piojos se colocaron en el área libre de aceite esencial y se estudió su comportamiento (Abdel-Ghaffar et al., 2010).

Pruebas de mortalidad

En las pruebas de mortalidad, se colocó papel filtro en las cajas Petri, se agregó 1 mL de aceite esencial puro sobre la superficie, se colocaron los piojos directamente sobre el aceite esencial, se observó su comportamiento y se registró el tiempo desde la aplicación hasta su deceso (Soonwera et al., 2018). Ver Figura 17.



Figura 17. Pruebas de repelencia y mortalidad de aceites esenciales

3.6. Formulación del champú

Se preparó una mezcla con 4 g de glicerina y 0.5 g de goma xantana y se mezcló hasta verse homogénea. En un vaso de precipitado se adicionaron 60 g de agua desionizada, se agregó la mezcla y se agitó por 8 s con un batidor eléctrico, se colocó la muestra en una parrilla de calentamiento a 50 °C en agitación constante, se adicionaron 5 g de Coco sulfato sódico y se

mezcló lentamente, evitando crear burbujas. Se agregaron 7.3 g de glucósido de decilo y se mezcló. Con un gotero se agregaron 0.4 g del conservante preservaderm 100 y se mezcló lentamente. Se adicionaron 8 g de tegobetaína de coco y se mezcló por 1 min. Se añadieron 2.4 g de aceite esencial de cáscara de naranja y 5.6 g de *Eucalyptus Globulus*. Finalmente se agregó agua desionizada como vehículo c.s. hasta obtener 100 g totales de formulación.

Para ajustar el pH, previamente se preparó una solución de ácido cítrico al 50 % en caso de obtener un pH mayor a 5.5 en la formulación, también se preparó una solución de bicarbonato de sodio al 33 % para ajustar el pH de la formulación en caso de ser menor a 5. Una vez lista la fórmula, se midió el pH con tiras reactivas y no fue necesario adicionar ajustador de pH, al encontrarse en 5.5. Todos los utensilios plásticos fueron sanitizados y los materiales de cristal fueron esterilizados en horno a 105 °C por 1 h. Ver Figura 18.



Figura 18. Formulación: A) Mezclado, B) Calentamiento, C) Pesado, D) Envasado

El porcentaje en masa de los tensoactivos se determinó como se presenta en las Ecuaciones 7, 8 y 9. La fracción tensoactiva de masa total no debe exceder del 15 %.

$$Ec. (7) S_n = \frac{T_n (\%_p)}{100\%}$$

$$Ec. (8) S_3 = S_t - S_1 + S_2$$

$$Ec. (9) S_3 = \frac{T_3(\%_p)}{100\%} \rightarrow T_3 = \frac{S_3(100\%)}{(\%_p)}$$

Donde:

T_n = Masa total del tensoactivo

S_n = Fracción tensoactiva de la masa

S_t = Fracción tensoactiva de la masa total

$\%_p$ = Pureza del tensoactivo

La masa de cada componente se calculó como se muestra en la Ecuación 10.

$$Ec. (10) m_n = \frac{m_t (\%_c)}{100\%}$$

Donde:

m_n = Masa del ingrediente

m_t = Masa total de la fórmula

$\%_c$ = Concentración del ingrediente

Pruebas pediculicidas del champú

Las pruebas *in vitro* de repelencia y mortalidad en piojos fueron realizadas con la formulación a concentraciones de 2 %, 6 % y 10 % de mezclas de aceite esencial de eucalipto y cáscara de naranja. Las mezclas se utilizaron en las siguientes proporciones 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 y 100/0, respectivamente. Ver Figura 19.

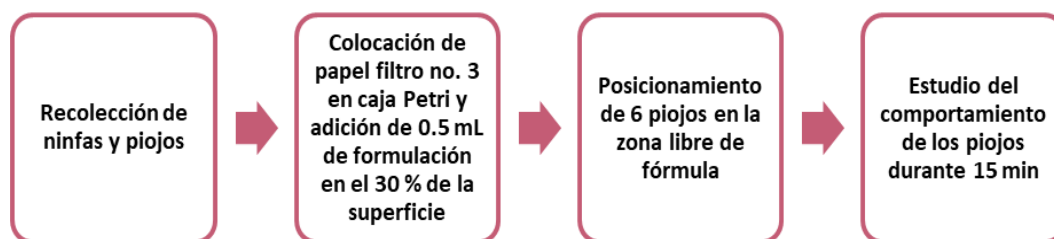


Figura 19. Pruebas de repelencia de formulación

En la Figura 20 se presenta el método utilizado en las pruebas de mortalidad en ninfas, piojos jóvenes y piojos adultos.

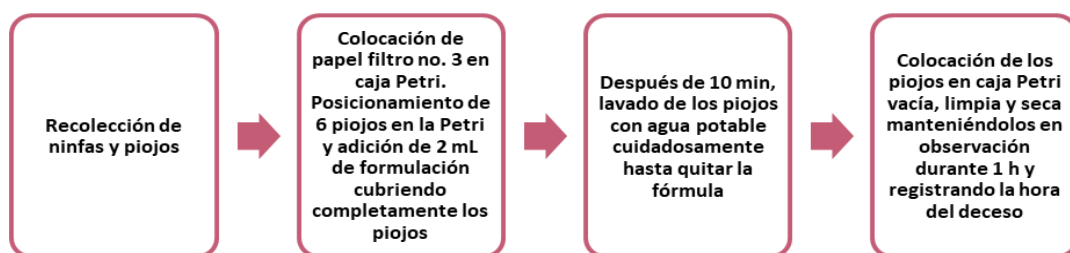


Figura 20. Pruebas de mortalidad de formulación

La prueba también se realizó con agua como blanco, con champú sin aceite esencial y con otros champús pediculicidas que se encuentran actualmente en el mercado. Ver Figura 21.



Figura 21. Pruebas de repelencia y mortalidad del champú

Se utilizó un champú orgánico “The Lice Killer” a base de aceites vegetales, ácidos orgánicos y extractos de plantas y un champú químico “Scabisan®” hecho con permetrina al 1 %. Las compañías sugieren dejar actuar los productos durante 15 min y 10 min respectivamente, seguido del uso de peine para piojos, mejor conocido como lendrera. Todas las pruebas se realizaron por triplicado. Ver Figura 22.



Figura 22. Champús Scabisan® y The Lice Killers

Los porcentajes de repelencia y mortalidad se calcularon según los criterios descritos en la Ecuación 11.

$$Ec. (11) \%_{AP} = \frac{(n_2)(\%_T)}{n_1}$$

Donde:

$\%_{AP}$ = Porcentaje de actividad pediculicida

$\%_T$ = Porcentaje total

n_1 = Número de piojos iniciales

n_2 = Número de piojos finales

3.7. Diseño de experimentos

Se desarrolló un diseño de experimentos de dos factores, concentración de aceites esenciales en fórmula y tipo de mezcla de aceites esenciales utilizados, con dos variables de respuesta, mortalidad y repelencia. Cada prueba se realizó por triplicado. Se utilizaron tres niveles de concentración para el primer factor de 2 %, 6 % y 10 % y cinco tipos de mezclas para el segundo factor, donde varía la concentración entre el aceite esencial de eucalipto y naranja, con relaciones de 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 y 100/0, respectivamente.

La primera variable de respuesta, mortalidad, se eligió porque el principal propósito del champú es eliminar los piojos. Sin embargo, también se consideró la repelencia como segunda variable de respuesta, ya que una formulación que repele a los piojos ayuda a prevenir o reducir la infestación del huésped. Los resultados de las pruebas exploratorias indicaron que la formulación necesita al menos un 60 % de efectividad en repelencia y un 70 % en mortalidad para ser considerada exitosa. El primer factor se consideró ya que la finalidad del diseño es conocer si existe una concentración de aceite esencial menor al 10 % que presente una efectividad similar. El segundo factor se propuso para reducir el porcentaje de aceite esencial de eucalipto en la fórmula, debido a que la obtención de este aceite requiere más tiempo y recursos, ya que su rendimiento es muy bajo. Por el contrario, el aceite esencial de cáscara de naranja tiene un rendimiento muy alto, lo que disminuye significativamente los costos de producción. Además, al mezclar ambos aceites esenciales, buscamos una fórmula más balanceada en términos de repelencia y mortalidad, puesto que, el aceite esencial de eucalipto es muy efectivo en términos de mortalidad, mientras que el de cáscara de naranja destaca en repelencia. El resto de los parámetros de la formulación se mantuvieron constantes, de acuerdo con regulaciones cosméticas que estipulan el rango permitido de viscosidad, densidad, sales tensoactivas y conservadores.

Las extracciones de aceite esencial se realizaron utilizando material vegetal de la misma fuente. Para las extracciones de AE de eucalipto se tomó la hoja de los mismos árboles, en la misma estación del año y procurando climas similares, respecto a los parámetros de extracción, todas las variables se mantuvieron constantes. Para la extracción de AE de cáscara de naranja se acudió al establecimiento “Haz tu jugo” en todas las ocasiones, el mismo día

de la semana y a la misma hora. Los aceites esenciales fueron extraídos inmediatamente después de la recolección de la materia prima, para asegurar la frescura de las hojas y las cáscaras y para evitar la volatilización de la esencia. Los aceites esenciales se almacenaron en frascos de vidrio ámbar y en refrigeración a 2 °C. Los frascos fueron previamente tratados con el método TP-510-42621, (2008). Respecto al equipo de extracción, se lavó rigurosamente cada componente para evitar contaminación cruzada.

Las pruebas de repelencia y mortalidad se realizaron en un ambiente controlado, cada réplica se realizó bajo los siguientes parámetros, los piojos fueron recolectados en la clínica antipiojos “Crazy Lice”, elegida por la cercanía de aproximadamente 3 min en vehículo. La dinámica iniciaba con la desparasitación de la persona portadora e inmediatamente se disponían los piojos en tubos Falcón de 15 mL, se colocaba una malla en la boquilla y la tapa abierta, asegurando la oxigenación del área. El traslado de los piojos se realizó en vehículo y con aire acondicionado durante el trayecto. Las pruebas se realizaron 2 días por semana durante 6 meses en un horario de 02:00 pm a 08:00 pm, utilizando 6 piojos por prueba y haciendo cada prueba por triplicado.

3.8. Pruebas organolépticas en formulación final

Se realizaron pruebas organolépticas a la formulación. La primera prueba fue el aspecto, se observó visualmente la muestra, utilizando la luz natural como medio de control para determinar el color, la opacidad y la uniformidad. En cuanto al olor, se determinó mediante el olfato, en un ambiente neutro, libre de perfume y aromatizantes, la prueba se realizó colocando diferentes cantidades de producto en recipientes inertes y se procedió a catar en

ciclos de 3 s y reposo de 30 s. En las pruebas de textura se situó una capa fina de 0.3 mL de producto entre los dedos pulgar, índice y medio y se frotaron entre si con movimiento circular. Así mismo, se realizó prueba de lavado de manos, cabello y cuerpo para para evaluar su textura, consistencia, homogeneidad, qué tan espesante, pegajoso, manejable y uniforme es (Peña, 2022; ONUDI, 2018; Lodeiro, 2008) ver Figura 23.



Figura 23. Pruebas sensoriales

Para la determinación de pH se utilizaron tiras reactivas para determinar el potencial de hidrogeno. La densidad del champú se determinó pesando 100 mL de muestra en una probeta. El porcentaje de espuma se midió realizando una disolución al 50 % con agua desionizada y se mezcló con agitador eléctrico por 2 min, se registró la altura de la solución y de la espuma, así como la apariencia y duración de las burbujas (Peña, 2022), ver Figura 24.

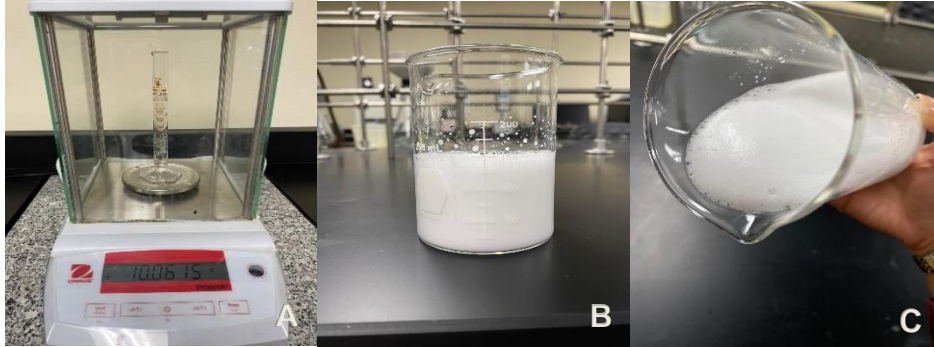


Figura 24. Pruebas reológicas

Pruebas de seguridad y eficacia

Para las pruebas de fotosensibilidad la fuente de iluminación fue la luz solar captada a través de ventanas. Se colocaron dos muestras del producto frente a una ventana durante 4 semanas para observar si ocurría un cambio en la formulación al ser afectada por los rayos ultravioleta.

Para las pruebas de estabilidad se utilizaron 6 muestras, las primeras dos se colocaron en una lugar fresco y seco, el segundo dúo de muestras en una zona húmeda y expuesta al agua, el tercer dúo de muestras se colocó en un área oscura y sin acceso a la luz. Se observó el comportamiento diario de las muestras durante 4 semanas con la finalidad de estudiar el comportamiento de la fórmula (Camargo & Moyano, 2018), ver Figura 25.



Figura 25. Estabilidad: A) Fotosensibilidad, B) Fresco y seco, C) Húmedo, D) Oscuro

Prueba de estrés

Se colocaron dos muestras en un vehículo, cada una dentro de un contenedor para controlar los movimientos. La primera muestra se colocó en la cajuela, la segunda en una puerta trasera y se alternó cada día su posición, colocándola también dentro la bolsa del asiento del copiloto. Las muestras se sometieron a la prueba durante 7 días en trayectos de 4 h por día, resguardando las muestras en una zona fresca y seca terminando cada trayecto (Camargo et al., 2018). Ver Figura 26.

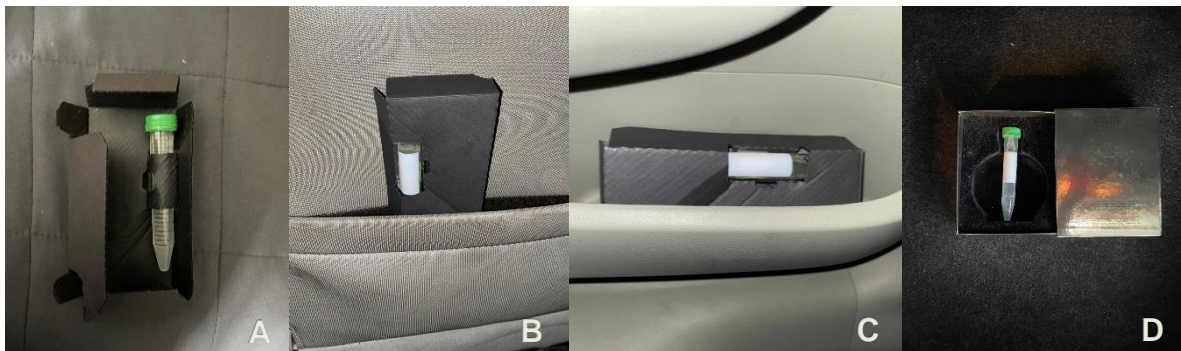


Figura 26. Pruebas de estrés: A) Contenedor, B) y C) Dentro del vehículo, D) Cajuela

Pruebas de temperatura

Esta prueba se realizó sometiendo dos muestras a cambios bruscos de temperatura y humedad durante ciclos de tiempo definidos, bajo condiciones de temperatura controladas que varían entre los 35 °C y 52 °C por calentamiento en parrilla eléctrica a baño maría y enfriamiento en refrigerador y congelador con temperaturas de -8 °C a 7 °C (Klein, 2007). Ver Figura 27.

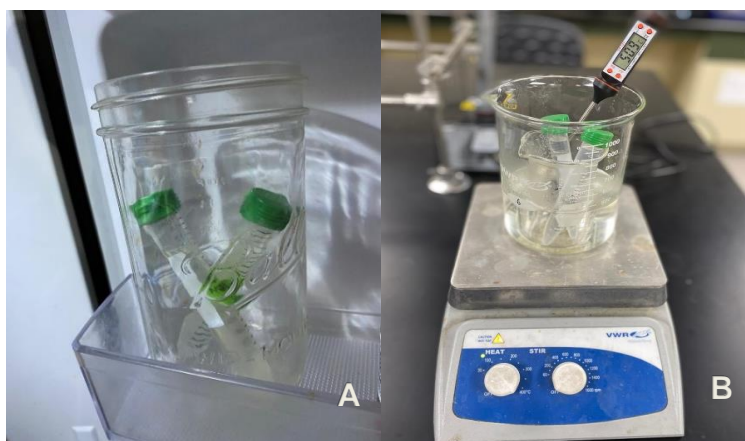


Figura 27. Pruebas de temperatura: A) Refrigeración a 4 °C, B) Baño maría

4. RESULTADOS

4.1. Rendimientos de los aceites esenciales

En la Tabla 5, se registraron los rendimientos de las extracciones por hidrodestilación de aceite esencial de cuatro especies vegetales, cáscara de naranja, eucalipto azul, citronela y eucalipto de hoja redonda.

Tabla 5. Resultados de hidrodestilación

| Espece | Rendimiento (mL/kg) | Desviación estándar |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Citrus sinensis</i> | 37.68 | 0.8768 |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 4.33 | 0.2494 |
| <i>Cymbopogon nardus</i> | 3.66 | 0.1876 |
| <i>Eucalyptus baueriana</i> | 5.67 | 0.3589 |

El rendimiento de la cáscara de naranja supera al resto de las especies vegetales en un 87.92 %, el costo por mililitro es de \$0.468 MXN. La cáscara de naranja al provenir de un fruto es

más adecuada para extraer su aceite por medio de la hidrodestilación (Armenta et al., 2023). El común denominador del resto de especies es que son hojas y aunque es posible procesarlas con este método, no es el más eficiente. Sin embargo, realizando la comparativa con otros autores, los rendimientos obtenidos con el hidrodestilador a escala piloto son mayores. Alarcón et al., (2019) obtuvo un rendimiento de 0.72 mL/kg de AE de *Eucalyptus globulus* con el método de arrastre de vapor y 1.21 mL/kg con hidrodestilación asistida por microondas, en otro caso, Lipa et al., (2021) obtuvo 1.99 mL/kg y 0.56 mL/kg, respectivamente. El costo por mililitro de aceite esencial de *Eucalyptus globulus* extraído en el hidrodestilador es de \$16.38 MXN.

Analizando la relación rendimiento-costo se optó por descartar la citronela del resto de las pruebas y de la formulación final, así mismo, se descartó el eucalipto de hoja redonda, pues realizando un estudio de zona se observó que no es un eucalipto común en el campus UABC central, ni en zonas públicas.

4.2. Resultados de análisis fisicoquímicos

Análisis próximo

En la Tabla 6 se encuentran los resultados del análisis próximo de las hojas de *Eucalyptus globulus*. Se optó por no realizar las pruebas a la cáscara de naranja, pues la caracterización fisicoquímica completa se realizó anteriormente.

Tabla 6. Resultados de análisis próximo de hoja de *Eucalyptus globulus*

| Análisis | Promedio (%) | Desviación estándar |
|------------------|---------------------|----------------------------|
| Humedad | 61.2598 | 0.3039 |
| Material Volátil | 30.3263 | 0.2242 |
| Cenizas | 6.0040 | 0.2271 |
| Carbono fijo | 2.4097 | 0.0881 |

Algunos tipos de plantas que son conocidas por contener aceites esenciales tienden a retener más humedad en sus tejidos, entre 50 % y 90 %, esto por la presencia de glándulas secretoras. Un alto contenido de humedad puede indicar la presencia de aceite esencial en mayor proporción en las hojas de eucalipto (Dörnemann et al., 2018).

Un contenido bajo de material volátil y carbono fijo posiciona al eucalipto como no combustible, mientras que, el contenido de cenizas bajo no impacta en el proceso de combustión, mantenimiento de los equipos ni en las emisiones contaminantes, estos resultados sugieren evitar las rutas termoquímicas. Los resultados fueron comparados con el estudio de Adams et al., 2007.

Análisis de composición química

En la Tabla 7 se presentan los resultados del análisis de composición química de hojas de *Eucalyptus globulus*.

Tabla 7. Resultados del análisis de composición química de *Eucalyptus globulus*

| Análisis | Promedio (%) | Desviación estándar |
|------------------------|---------------------|----------------------------|
| Extraíbles con acetona | 11.2288 | 0.6186 |
| Extraíbles con agua | 33.0398 | 0.6659 |
| Extraíbles totales | 44.2687 | 0.9716 |
| Lignina | 30.6632 | 0.3992 |
| Holocelulosa | 69.3367 | 0.7414 |
| Celulosa | 62.0946 | 0.6336 |
| Hemicelulosa | 7.2420 | 0.1340 |

Los resultados de los análisis de extraíbles de hojas de *Eucalyptus globulus* en Mexicali, Baja California, se compararon con la misma especie de eucalipto, ubicada en Morelia, Michoacán (Rutiaga-Quñones et al., 2018), así mismo se comparó con la especie *Eucalyptus citriodora*, ubicado en cuba (Orea-Igarza et al., 2006). Ver Tabla 8.

Tabla 8. Comparación de porcentajes de extraíbles de *Eucalyptus globulus* y *citriodora*

| Análisis | Resultados propios | Resultados encontrados en la literatura | |
|------------------------|----------------------------|--|------------------------------|
| | <i>Eucalyptus globulus</i> | <i>Eucalyptus globulus</i> | <i>Eucalyptus citriodora</i> |
| Extraíbles Agua (%) | 33.0398 | 12.60 | 14.60 |
| Extraíbles Acetona (%) | 11.2288 | 15.00 | 24.60 |
| Extraíbles Totales (%) | 44.2687 | 27.60 | 39.20 |

Los resultados de extraíbles con acetona son bajos en el rango comparativo, mientras que los extraíbles con agua son considerablemente superiores. El contenido de extraíbles totales se cataloga como alto. Un alto contenido de extraíbles con agua es un indicativo de la existencia de aceite esencial, aunado a ello, se observó rastro de aceite en el agua residual utilizada en la extracción. Estos resultados favorecen la extracción de aceite esencial con una tecnología de conversión física. No se recomienda la obtención de extractos por su bajo contenido de extraíbles con acetona.

La Tabla 9 contiene la comparación de los resultados del presente trabajo con respecto a los encontrados en el estado de la técnica de la determinación de lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa. El porcentaje de lignina de *Eucalyptus globulus* tiene un valor más elevado que el documentado de *Eucalyptus pellita* y *Eucalyptus citriodora*, no obstante, el contenido de holocelulosa es ligeramente menor y el porcentaje de celulosa es muy similar. Respecto al porcentaje de hemicelulosa, el *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus pellita* contienen valores cercanos, a diferencia del *Eucalyptus citriodora* con un porcentaje mayor considerablemente.

Tabla 9. Comparación de *Eucalyptus globulus*, *pellita* y *citriodora*

| Análisis | Resultados propios | Resultados encontrados en la literatura | |
|------------------|----------------------------|---|------------------------------|
| | <i>Eucalyptus globulus</i> | <i>Eucalyptus pellita</i> | <i>Eucalyptus citriodora</i> |
| Lignina (%) | 30.6632 | 21.30 | 20.62 |
| Holocelulosa (%) | 69.3367 | 78.70 | 79.50 |
| Celulosa (%) | 62.0946 | 60.00 | 62.92 |
| Hemicelulosa (%) | 7.2420 | 7.60 | 17.32 |

El *Eucalyptus globulus* utilizado, como se mencionó anteriormente, se ubica en Mexicali, Baja California, cuyo clima se identifica como BWH en la clasificación climática de Köppen por ser un clima seco, desértico y cálido, mientras que, las otras dos especies coexisten en Cuba, cuyo clima se clasifica como AW al ser sabana tropical.

En la Tabla 10, se presenta la comparación del contenido de lignina y holocelulosa de *Eucalyptus globulus* contra el de vara de algodón *Gossypium hirsutum L* y paja de trigo *Triticum aestivum L*, ubicadas en el valle de Mexicali, Baja California (Torres, 2015) y utilizadas en la rama energética.

Tabla 10. Comparación de lignina y holocelulosa con especies de perfil energético

| Análisis | Resultados propios | Resultados encontrados en la literatura | |
|------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| | <i>Eucalyptus globulus</i> | <i>Gossypium hirsutum L</i> | <i>Triticum aestivum L</i> |
| Lignina (%) | 30.6632 | 22.33 | 20.81 |
| Holocelulosa (%) | 69.3367 | 76.62 | 78.72 |

El contenido de holocelulosa es más bajo que el de ambas especies, sin embargo, se considera un valor similar. El contenido de lignina está dentro del promedio, por lo que puede ser aplicable la tecnología de conversión biológica, con hidrólisis enzimática, sacarificación y fermentación alcohólica con el fin de producir bioetanol, no obstante, los rendimientos son muy bajos y poco rentables, pues el contenido de lignina aun estando dentro de lo aceptable, sigue siendo una limitante.

4.3. Resultados de GC-MS

En la Tabla 11 se presentan los resultados de la cromatográfica de gases acoplada a espectrometría de masas del aceite esencial de hojas de *Eucalyptus globulus*.

Tabla 11. GC-MS de *Eucalyptus globulus*

| Compuesto | Concentración (%) | CAS |
|--|-------------------|-------------|
| N,N-dimethyl-Guanidine | 0.0198 | 006145-42-2 |
| 5,5-Dimethyl-1-vinylbicyclo[2.1.1]hexane | 0.0430 | 016626-39-4 |
| (1S)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene | 1.2372 | 007785-26-4 |
| Camphene | 0.0551 | 000079-92-5 |
| Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)- | 0.0943 | 018172-67-3 |
| .beta.-Myrcene | 0.0609 | 000123-35-3 |
| E,E-2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene | 0.0311 | 000460-01-5 |
| 1-ethyl-2,4-dimethyl-Benzene | 18.9446 | 000874-41-9 |
| 1,8-cineol | 71.0404 | 000470-82-6 |
| trans-.beta.-Ocimene | 0.2040 | 003779-61-1 |
| 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)- | 0.0992 | 003338-55-4 |
| .gamma.-Terpinene | 2.7201 | 000099-85-4 |
| N,N-Dimethyl-dimethylphosphoric amide | 0.0284 | 050663-05-3 |
| N-(3,5-Dinitropyridin-2-yl)-L-aspartic acid | 0.0311 | 035899-60-6 |
| 2-chloro-Acetamide | 0.0359 | 000079-07-2 |
| Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol, 6,6-dimethyl-2-methylene-, [1S-(1.alpha.,3.alpha.,5.alpha.)]- | 0.2662 | 000547-61-5 |

| | | |
|--|--------|--------------|
| Pinocarvone | 0.0956 | 030460-92-5 |
| 4-hydroxy-3-Pyridinecarboxylic acid | 0.0515 | 000609-70-1 |
| .alpha.,.alpha.-dimethyl-4-methylene-Cyclohexanemethanol | 0.0348 | 007299-42-5 |
| Terpinen-4-ol | 0.9139 | 000562-74-3 |
| (-)-Globulol | 0.7270 | 000489-41-8 |
| Terpineol | 0.5491 | 1000411-59-6 |
| Thymol | 0.4180 | 000089-83-8 |
| 3-Methyl-4-isopropylphenol | 0.3559 | 003228-02-2 |
| cis-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol | 0.2401 | 1000374-16-8 |
| Otros | 1.7026 | - |

El aceite esencial de hojas de *Eucalyptus globulus* está constituido principalmente por 71.04 % de 1,8-cineol, 18.94 % de 4-Ethyl-m-xylene, 2.72 % de γ -Terpinene y 1.23 % de L- α -Pinene (Armenta, et al. 2023). El 1,8-Cineol o Eucalyptol ha demostrado tener actividad pesticida contra los piojos. Varios estudios han investigado el efecto de este compuesto en el control de piojos, y se ha observado que puede actuar como un agente eficaz en el tratamiento, tanto en la eliminación de los piojos adultos como en la prevención de la eclosión de las liendres. Se considera que su acción se debe a su capacidad para alterar la permeabilidad de la membrana celular y perturbar el sistema nervioso de los insectos (Priestley, Burgess, Williamson, Lethwaite & ElSohly, 2006). Por otra parte, γ -Terpinene también ha mostrado actividad pesticida contra los piojos. Se ha demostrado que este componente tiene propiedades insecticidas y repelentes contra los piojos. Puede afectar el sistema nervioso de los insectos y provocar su muerte (Gómez, López, Martínez & Villalobos, 2014).

4.4. Resultados de pruebas de repelencia y mortalidad de los aceites esenciales

En la Tabla 12, se presentan los resultados de las pruebas exploratorias de repelencia y mortalidad de piojos de 1-5 mm, considerados los más pequeños como ninfas, los medianos como piojos jóvenes y los grandes como piojos adultos, utilizando los aceites esenciales de cáscara de naranja, hojas de eucalipto y hojas de citronela puros.

Tabla 12. Repelencia y mortalidad de los aceites esenciales

| Aceite Esencial | Repelencia (%) | Mortalidad (%) | Tiempo promedio de mortalidad (min) |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Agua purificada | 0 | 0 | - |
| <i>Citrus sinensis</i> | 33.33 | 100 | 3.73 |
| <i>Eucalyptus Globulus</i> | 66.66 | 100 | 2.66 |
| <i>Cymbopogon nardus</i> | 100 | 100 | 3.26 |

4.5. Resultados de formulación

En la Tabla 13 se presenta la formulación final con los ingredientes utilizados, así como la concentración de cada uno y su función en la fórmula.

Tabla 13. Ingredientes para la formulación del champú pediculicida

| Ingredientes | INCI | % p/p | Función de los ingredientes |
|--|------------------------|--------------|--|
| Agua | Aqua | c.s. al 100 | Diluyente |
| Tegobetaína de coco CAPB (30 % activo) | Cocamidopropil Betaina | 8.0 | Tensoactivo anfótero/espesante/espumante |

| | | | |
|---|---|-----------------|-------------------------------|
| Glucósido de decilo (50 % activo) | Decyl glucoside | 7.3 | Tensoactivo no iónico |
| Coco sulfato sódico SCS (95 % activo) | Sodium Coco Sulfate | 5.0 | Tensoactivo aniónico |
| Glicerina vegetal | Glycerin | 4.0 | Humectante |
| Goma xantana | Xanthan gum | 0.5 | Espesante/estabilizador |
| Aceite esencial de cáscara de naranja | Citrus sinensis peel oil | 2.4 | Activo pediculicida/Fragancia |
| Aceite esencial de <i>Eucalyptus Globulus</i> | Eucalyptus globulus leaf oil | 5.6 | Activo pediculicida/Fragancia |
| Preservaderm 100 | DMDM Hidantoína, Fenoxietanol, Alcohol Bencílico e Hidroxiacetofenona | 0.04 | Conservador |
| Ácido cítrico | Triethyl Citrate | c.s. a pH 5-5.5 | Ajustador de pH |
| Bicarbonato de sodio | Sodium bicarbonate | c.s. a pH 5-5.5 | Ajustador de pH |

4.5.1 Presupuesto

El presupuesto para la formulación considera solo la materia prima y los materiales de empaque, el costo por cada 100 mL es de \$47.029 MXN a pequeña escala, con una capacidad de 48 piezas.

| Artículo | Proveedor | Precio unitario (\$ MXN) |
|---|---------------------------|---------------------------------|
| Agua desionizada | Agua Fina | 0.400 |
| Tegobetaína de coco CAPB (30 % activo) | Gardenia Naturals | 0.560 |
| Glucósido de decilo (50 % activo) | Gardenia Naturals | 2.029 |
| Coco sulfato sódico SCS (95 % activo) | Gardenia Naturals | 1.345 |
| Glicerina vegetal | Gardenia Naturals | 0.596 |
| Goma xantana | Arelez | 0.412 |
| Aceite esencial de cáscara de naranja | UABC | 0.468 |
| Aceite esencial de <i>Eucalyptus Globulus</i> | UABC | 16.38 |
| Preservaderm 100 | Gardenia Naturals | 0.056 |
| Ácido cítrico | Gardenia Naturals | 0.010 |
| Bicarbonato de sodio | Pharmalife | 0.002 |
| Envase | ULINE | 20.9 |
| Etiqueta | CDM Comunicación Integral | 0.281 |

4.6. Resultados de repelencia y mortalidad del champú

En la Tabla 14 se presentan los resultados de las pruebas de repelencia y mortalidad de ninfas y piojos adultos, utilizando agua potable (blanco), champú sin ingredientes activos (placebo) y los champús con mezclas de aceite esencial de hojas de eucalipto y cáscara de naranja, representados por la proporción de AE de eucalipto en cada mezcla, sí como la concentración total de aceite esencial en la formula, donde “a” equivale a 2 %, “b” a 6 % y “c” a 10 %.

Tabla 14. Resultados de pruebas de repelencia y mortalidad de formulaciones

| Formulación | Mortalidad (%) | Repelencia (%) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Blanco | 0 | 0 |
| Placebo | 0 | 0 |
| Lice Killer | 0 | 0 |
| Scabisan® | 38.8889 | 0 |
| 0 % a | 14.2857 | 61.9048 |
| 0 % b | 44.4444 | 83.3333 |
| 0 % c | 77.7778 | 94.4444 |
| 30 % a | 16.6667 | 44.4444 |
| 30 % b | 33.3333 | 55.5556 |
| 30 % c | 61.1111 | 83.3333 |
| 50 % a | 22.2222 | 38.8889 |
| 50 % b | 55.5556 | 50.0000 |
| 50 % c | 77.7778 | 72.2222 |
| 70 % a | 27.7778 | 33.3333 |
| 70 % b | 66.6667 | 44.4444 |
| 70 % c | 83.3333 | 72.2222 |
| 100 % a | 27.7778 | 5.5556 |
| 100 % b | 94.4444 | 38.8889 |
| 100 % c | 100.0000 | 38.8889 |

La comparación realizada bajo los mismos parámetros y en igualdad de condiciones en el champú orgánico “The Lice Killer” y el champú químico “Scabisan®” revela que el champú orgánico es completamente ineficaz en las pruebas *in vitro* tanto en términos de repelencia como de mortalidad. En contraste, el champú químico alcanzó un 38.88 % de mortalidad. Las pruebas con el blanco y el placebo fueron exitosas, registrando un 0 % en todas las réplicas realizadas.

Respecto a las mezclas, la mayor efectividad en las pruebas de mortalidad se obtuvo con la mezcla 100 % c. El mejor resultado en las pruebas de repelencia lo obtuvo la mezcla 0 % c y las mezclas donde se obtuvo el mejor balance entre repelencia y mortalidad fueron la mezcla 50 % b y la mezcla 50 % c, en los dos casos existe una diferencia del 5.5557 % a favor de la mortalidad, sin embargo, la mezcla 50 % c es 22.222 % más efectiva.

4.7. Diseño de experimentos

En las Tablas 15 y 16 se presentan los resultados obtenidos con las variables de respuesta de mortalidad y repelencia respectivamente, tras la aplicación de los factores. La nomenclatura utilizada para definir las mezclas de aceite esencial de eucalipto y cáscara de naranja se basa en la proporción del aceite esencial de eucalipto presente en cada muestra.

Tabla 15. Diseño de experimentos con variable de respuesta mortalidad

| Concentración AE Mezclas | Concentración AE Fórmula | | |
|--------------------------|--------------------------|--------|--------|
| | 2 % | 6 % | 10 % |
| 0 % | 28.57 | 33.33 | 66.67 |
| | 14.28 | 50.00 | 83.33 |
| | 0.00 | 50.00 | 83.33 |
| 30 % | 33.33 | 50.00 | 66.67 |
| | 0.00 | 16.67 | 50.00 |
| | 16.67 | 33.33 | 66.67 |
| 50 % | 16.67 | 33.33 | 83.33 |
| | 33.33 | 66.67 | 66.67 |
| | 16.67 | 66.67 | 83.33 |
| 70 % | 33.33 | 66.67 | 83.33 |
| | 33.33 | 50.00 | 83.33 |
| | 16.67 | 83.33 | 83.33 |
| 100 % | 33.33 | 100.00 | 100.00 |
| | 33.33 | 83.33 | 100.00 |
| | 16.67 | 100.00 | 100.00 |

Tabla 16. Diseño de experimentos con variable de respuesta repelencia

| Concentración AE Mezclas | Concentración AE Fórmula | | |
|--------------------------|--------------------------|--------|--------|
| | 2 % | 6 % | 10 % |
| 0 % | 71.42 | 66.67 | 100.00 |
| | 57.14 | 83.33 | 100.00 |
| | 57.14 | 100.00 | 83.33 |
| 30 % | 50.00 | 50.00 | 66.67 |
| | 33.33 | 66.67 | 83.33 |
| | 50.00 | 50.00 | 100.00 |
| 50 % | 50.00 | 66.67 | 66.67 |
| | 16.67 | 33.33 | 83.33 |
| | 50.00 | 50.00 | 66.67 |
| 70 % | 50.00 | 33.33 | 66.67 |
| | 16.67 | 33.33 | 83.33 |
| | 33.33 | 66.67 | 66.67 |
| 100 % | 16.67 | 50.00 | 50.00 |
| | 0.00 | 33.33 | 33.33 |
| | 0.00 | 33.33 | 33.33 |

Análisis ANOVA

Se realizó el análisis ANOVA de repelencia y mortalidad, ver Tabla 17 y 18, con un nivel de confianza de 95 % y un nivel de significancia de 0.05. Los resultados fueron realizados en el software estadístico Minitab.

Tabla 17. Análisis de varianza mortalidad. Elaborada en Minitab

| Fuente | GL | SC Sec. | Contribución (%) | SC Ajuste | MC Ajuste | Valor F | Valor p |
|---------------------------------|-----------|----------------|-------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Mezclas | 4 | 7147 | 17.97 | 7147 | 1786.8 | 12.74 | 0.000 |
| Fórmula | 2 | 26094 | 65.60 | 26094 | 13047.0 | 91.09 | 0.000 |
| Interacción Mezclas/ Fórmula | 8 | 2242 | 5.64 | 2242 | 280.2 | 1.96 | 0.088 |
| Error | 30 | 4297 | 10.80 | 4297 | 143.2 | | |
| Total | 44 | 39780 | 100.00 | | | | |

La Tabla 18 refleja a través del P valor que los factores de concentración de aceite esencial y de tipos de mezclas son significativos, al presentar un P valor menor a 0.05.

Tabla 18. Análisis de varianza repelencia. Elaborada en Minitab

| Fuente | GL | SC Sec. | Contribución (%) | SC Ajuste | MC Ajuste | Valor F | Valor p |
|---------------------------------|-----------|----------------|-------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Mezclas | 4 | 12812 | 44.89 | 12812 | 3202.9 | 18.06 | 0.000 |
| Fórmula | 2 | 9397 | 32.93 | 9397 | 4698.5 | 26.49 | 0.000 |
| Interacción Mezclas/ Fórmula | 8 | 1010 | 3.54 | 1010 | 126.2 | 0.71 | 0.679 |
| Error | 30 | 5321 | 18.64 | 5321 | 177.4 | | |
| Total | 44 | 28540 | 100.00 | | | | |

La tabla de repelencia presenta las mismas características, pues la interacción entre la concentración de AE en la fórmula y los tipos de mezclas no afectan la repelencia ni la mortalidad, en cambio los factores por separado sí son significativos. El análisis de varianza para repelencia y mortalidad indica que los dos factores establecidos son significativos, por lo tanto, deben ser considerados en el diseño de experimentos.

Gráficas factoriales

En la Figura 28 se presentan las gráficas de interacción de repelencia en la parte superior y de mortalidad en la parte inferior. Las concentraciones de aceite esencial en la fórmula se encuentran representadas por colores, azul para el 2 %, rojo para el 6 % y verde para el 10 %. La gráfica de repelencia muestra un patrón en ascendencia, conforme el aceite esencial de eucalipto disminuye en la fórmula, la repelencia del champú aumenta.

Un hallazgo sobresaliente es la existencia de tres combinaciones que presentan 33.88 % de repelencia, estas son la mezcla 100 % c, la mezcla 100 % b y la mezcla 50 % a, lo que indica que esta última mezcla puede provocar la misma efectividad en menor concentración, el resultado puede deberse a la interacción de la mezcla de aceite esencial de eucalipto y cáscara de naranja en proporciones iguales.

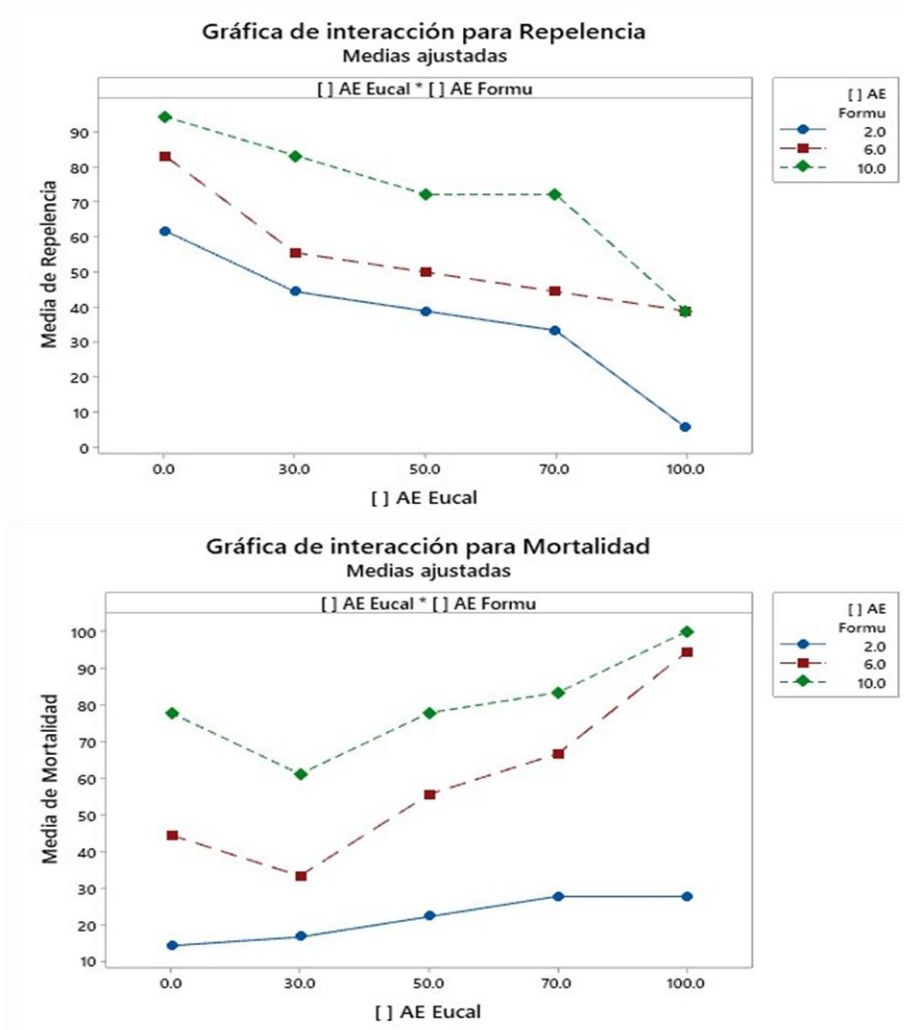


Figura 28. Gráficas factoriales. Diseñada por Minitab

En la gráfica de mortalidad, se aprecia el patrón contrario, entre más aceite esencial de eucalipto existe en las mezclas, mayor es la mortalidad. En este caso, la concentración de aceite esencial en fórmula al 2 % es muy inferior al resto, por lo cual se considera descartable. Las mezclas 100 % b y 100 % c fueron similares, obteniendo mortalidades de 100 % y 94.44 %, respectivamente. Un factor que se ha mostrado constante es el grado de efectividad de repelencia y mortalidad que presentan las mezclas con el aumento de la concentración de aceite esencial en fórmula.

Gráfica de contornos

Las gráficas de contornos de repelencia y mortalidad muestran que la tendencia entre ellas es inversa. Es evidente que el aceite esencial de eucalipto tiene un efecto de mortalidad superior al de cáscara de naranja, caso contrario con la repelencia puesto que, el aceite esencial de cáscara de naranja presenta un efecto superior al del eucalipto. Este diseño fue realizado en Minitab, ver Figura 29.

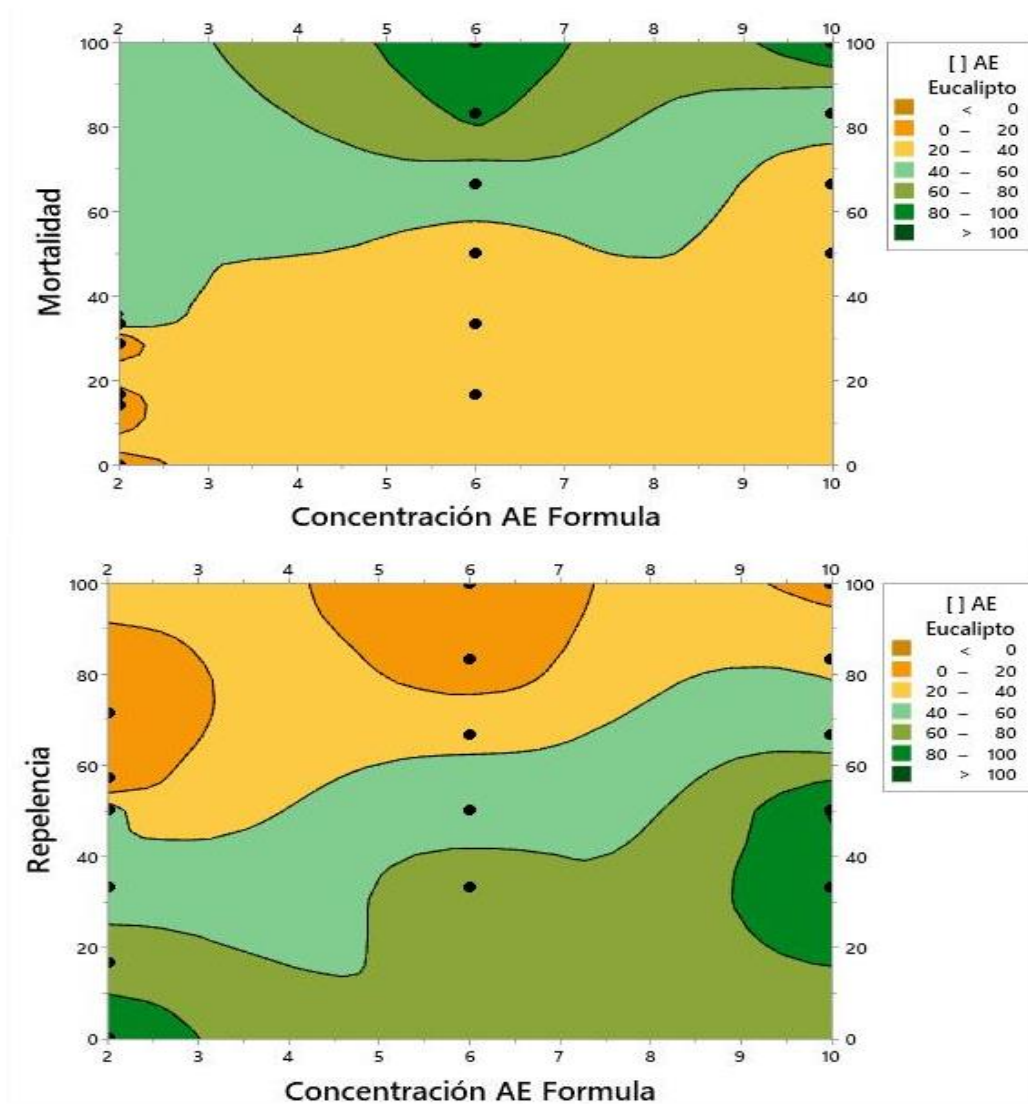


Figura 29. Gráficas de contornos

Gráficas de superficie de respuesta

La gráfica de superficie de respuesta de mortalidad se presenta en la parte superior y la gráfica de repelencia en la parte inferior de la Figura 30. El comportamiento de estas gráficas es congruente con las gráficas de interacción y de contornos.

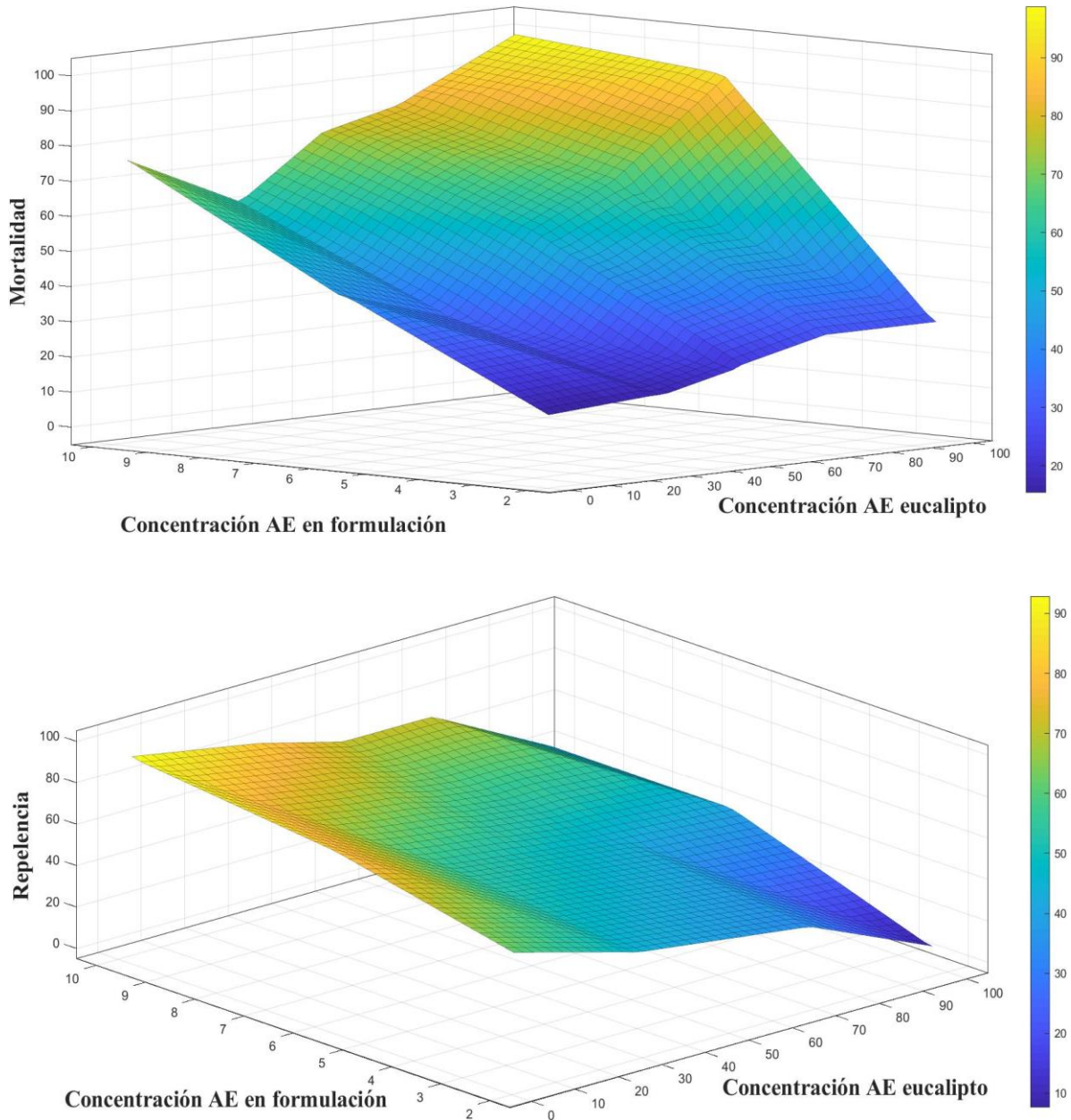


Figura 30. Superficie de respuesta mortalidad. Diseñada por Matlab

Se tomaron cinco puntos dispersos en cada gráfica para obtener información de las concentraciones y mezclas que se apegan más a las necesidades de la formulación. Se encontraron dos valores que representan un excelente equilibrio entre la repelencia y la mortalidad requerida. Los valores se ajustaron en función del 75 % de mortalidad y 60 % de repelencia, el valor promedio entre estos resultados es 8.0729 % de concentración total de aceite esencial en la fórmula y 69.1477 % de aceite esencial de eucalipto sobre 30.8523 % de AE de cáscara de naranja. Debido a estos resultados, se eligió una concentración total de aceite esencial en fórmula de 8 % compuesta por una mezcla 70/30, donde el 70 % es aceite esencial de hojas de eucalipto y el 30 % es aceite esencial de cáscara de naranja.

4.8. Resultados de características organolépticas

En la Tabla 19, se desglosan las características organolépticas de la formulación pediculicida.

Tabla 19. Características organolépticas

| Característica | Descripción |
|-----------------------|---|
| Olor | Cítrico, naranja, hierbas, eucalipto, fresco, mentolado |
| Color | Blanquecino, traslucido |
| Turbidez | Homogéneo |
| Textura | Agradable, humectante, cremoso |
| Consistencia | Gel espumoso |
| Índice de espuma | 0.9111 |
| pH | 5.3 |
| Densidad | 1.0615 g/mL |

En cuanto a las pruebas de estabilidad, las muestras no mostraron cambios en su formulación ni en su apariencia durante el periodo inicial de cuatro semanas, que es el intervalo establecido en la literatura (Peña, 2022). Debido a la estabilidad observada, se decidió extender la prueba hasta observar un cambio físico, lo cual ocurrió al paso de 5 meses. Al finalizar este periodo, las muestras expuestas a humedad y agua presentaron un cambio de tonalidad, volviéndose más opacas y amarillas. Las Figuras 31, A y 31, B fueron las muestras iniciales y las Figuras 31, C y 31, D fueron las muestras finales.

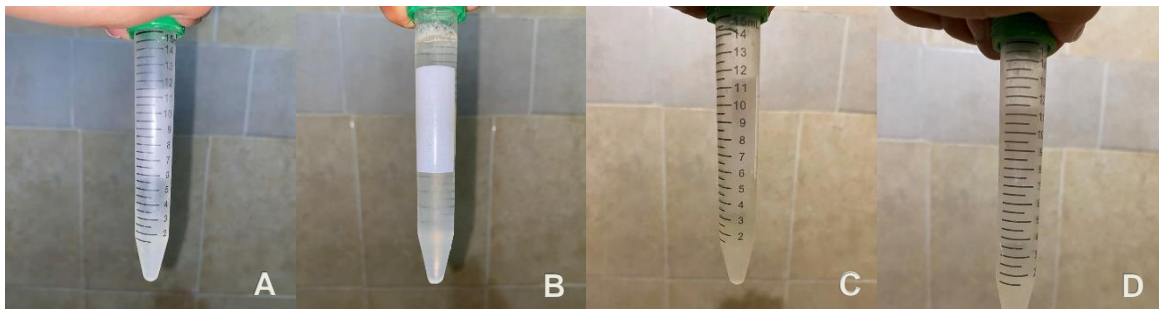


Figura 31. Aspecto de muestras: A) y B) muestras iniciales, C) y D) muestras finales

En la Figura 32 se muestra el cambio de apariencia de las muestras tras ser sometidas a pruebas de temperatura de 52 °C. La muestra presentó burbujas dispersas en toda la formulación, las cuales se disiparon al momento de enfriarse a temperatura ambiente.



Figura 32. Evolución de pruebas de temperatura: A) Muestra inicial, B) Muestras expuestas

A pesar de las condiciones extremas aplicadas en las muestras, la formulación mantuvo su integridad y superó con éxito las pruebas de estabilidad.

5. CONCLUSIÓN

Las pruebas pediculicidas *in vitro* de las 15 formulaciones de champú propuestas, posicionan la fórmula con concentración del 10 % de aceite esencial de eucalipto como la más efectiva obteniendo un 100 % de mortalidad, por otra parte, la fórmula con una concentración del 10 % de aceite esencial de cáscara de naranja es la más repelente, presentando una efectividad del 100 %. Las fórmulas 50/50 al 6 % y 10 % presentan una interacción más balanceada entre repelencia y mortalidad, siendo la fórmula al 10 % la más efectiva.

El análisis de los resultados obtenidos con los programas estadísticos Minitab y Matlab muestra una tendencia inversa entre los aceites esenciales estudiados. A medida que aumenta la concentración del aceite esencial de cáscara de naranja, se observa una mayor repelencia, pero una menor mortalidad. En contraste, una mayor concentración de aceite esencial de eucalipto está asociada con una mayor mortalidad, pero una menor repelencia. Tras analizar las gráficas de interacción y de superficie de respuesta, se identificó una formulación que cumple con una efectividad del 75 % de mortalidad y 60 % de repelencia. Esta formulación contiene una concentración total de aceite esencial de 8 % con proporción 70/30 donde 70 % es de eucalipto y 30 % es cáscara de naranja. Esta formulación se propone como la final debido a su balance óptimo entre efectividad y costos.

Un aspecto crítico a considerar es el costo y el rendimiento de los aceites esenciales. La extracción del aceite esencial de eucalipto es 35 veces más costosa que la de cáscara de naranja y tiene un rendimiento 88.5 % menor. Incorporar el aceite esencial de cáscara de naranja en la formulación ayuda a reducir los costos de producción. Gracias a la combinación de ambos aceites, se logró disminuir la concentración total de aceite esencial en un 2 %, esto reduce el uso de recursos y el tiempo de producción, sin comprometer la efectividad pediculicida.

Las pruebas exploratorias de repelencia realizadas al aceite esencial puro de cáscara de naranja fueron significativamente menos efectivas que las aplicadas a la formulación del champú. Este comportamiento, podría deberse a la interacción del aceite esencial de cáscara de naranja con el resto de los ingredientes de la formulación. Un hallazgo significativo es que ambos aceites esenciales, tanto puros como diluidos al 10 %, lograron una efectividad del 100 % en repelencia y en mortalidad.

Al comparar la efectividad del champú químico Scabisan® y el champú orgánico The Lice Killer, se observaron resultados significativos. Scabisan® mostró una mortalidad del 38.88 % y The Lice Killer no tuvo efectividad en ninguna de las pruebas. En general, las fórmulas evaluadas presentaron mejores resultados en las pruebas de mortalidad y la repelencia en comparación con los champús comerciales, ofreciendo una alternativa más efectiva y segura para el control de piojos, especialmente considerando los posibles efectos nocivos para la salud asociados con el uso de la permetrina al 1 % presente en Scabisan®.

En conclusión, la formulación propuesta no solo presenta una actividad pediculicida superior a la de champús comerciales populares, sino que también es estable y segura para su uso diario en niños, al contener ingredientes inocuos y un porcentaje de tensoactivos suave. Se recomienda iniciar pruebas *in vivo* para confirmar su actividad pediculicida en condiciones reales.

6. REFERENCIAS

1. Álvarez, P & Peña, J. (2018). Evaluación de la eficacia cosmética *in vivo* de fórmulas cosméticas elaboradas con aceites esenciales de *Aristeguietia Glutinosa* y *Ocotea Quinox*. Universidad Politécnica Salesiana. X (1), 14-21.
2. International Organization for Standardization. (2021). Aromatic natural raw materials — Vocabulary (ISO Standard No. 9235:2021).
3. Norma Oficial Mexicana. (1994). Bienes y servicios. Métodos para la determinación del contenido microbiano en productos de belleza. (NOM-089-SSA1-1994).
4. Norma Oficial Mexicana. (2012). Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario y comercial. (NOM-141-SSA1/SCFI-2012).
5. Food and Drug Administration. (2012). Cosmetics. (Section 201).
6. Diario Oficial de la Federación. (2014). Reglamento de control sanitario de productos y servicios. (Artículo 190; 191 & 192).
7. Ortuño, M. (2006). Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes. España. AIYANA. Klein
8. Hill, D. (2017). Introducción a los aceites esenciales. En Manual de Química de Aceites Esenciales (p.3). México. DōTERRA.

9. Peredo, H., Palou, E. & López, A. (2009). Aceites esenciales: Métodos de extracción. Programa de Maestría en Ciencias de Alimentos. Universidad de las Américas Puebla. 3(1), 24-32.
10. Bayramoglu, B., Sahin, S. & Sumnu, G. (2008). Solvent-free microwave extraction of essential oil from oregano. *Journal of food Engineering*. 88(4), 535-540.
11. Günther, E. (1948). *The Essential Oils: History and origin in Plants Production Analysis*. Krieger Publishing. New York, 1(1), 235-240.
12. Kimbaris, A., Siatis, N., Daferera, D., Tarantilis, P. & Polissiou, M. (2006). Comparison of distillation and ultrasound assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*). *Ultrasonics Sonochemistry*. 13(1), 54-60.
13. Kim, J.; Marshall, M.; Cornell, J.; Freston, J.; Wei, C. 2006. Antibacterial activity of carvacrol, citral and geraniol against *Salmonella typhimurium* in culture medium and on fish cubes. *Journal of Food Science*. 60(4), 1364-1368
14. Cora, Zimmermann, Mónica, Érika, & Miralles. (2011). Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 43(1), 237-245.
15. Inouye, S., Takizawa, T., & Yamaguchi, H. (2001). Antibacterial activity of essential oils and their major constituents against respiratory tract pathogens by gaseous contact. *Journal of antimicrobial chemotherapy*. 47(5), 565-573.
16. Selvakumar, P., Naveena, E. & Prakash, S. (2012). Studies on the antidandruff activity of the essential oil of *coleus amboinicus* and *eucalyptus globulus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2(1), 715-719.

17. Satchell, A., Saurajen, A., Bell, C., & Barnetson, R. (2002). Treatment of dandruff with 5% tea tree oil shampoo. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 47(6), 852–855.
18. Ruiz, C., Díaz, C. & Rojas, R. (2015). Composición química de aceites esenciales de 10 plantas aromáticas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 81(2), 81-94.
19. Silva, P., Galindo, P. & Álvarez, R. (2017). Aceites esenciales libres y encapsulados como potenciales antioxidantes en piel. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 48(2), 7-15.
20. Klein, K. & Palefsky, I. (2007). Shampoo Formulation. *Handbook for Cleaning/Decontamination of Surfaces*. USA. Elsevier. 1(2), 277-304.
21. Gräbner, D. & Hoffmann H. (2017). Rheology of Cosmetic Formulations. *Cosmetic Science and Technology*. Germany. Elsevier. 1(27), (471-488).
22. Muñoz, F. *Plantas medicinales y aromáticas: Estudio, cultivo y procesado*. 4ª Reimpresión. Ediciones Mundi-Prensa. España, 2002.
23. Herranz, B., & Abad, E. (2008). Pediculosis de la cabeza. *Pediatría Atención Primaria*, X(38), 75-96.
24. Ortiz, M., (2019) *Mezquinos y piojos; prevención y tratamiento*. Fundación Mexicana para la Dermatología.
25. Lozano. (2006). *Esencia Árbol del té, Aceite esencial, Melaleuca alternifolia*. Esencias Lozano.
26. Yingklang, M., Priprem, A., Nualkaew, N., Sungthong, B., Pinlaor, P. & Pinlaor S., (2022). Biochemical constituents and insecticidal activities of *Callistemon viminalis*

- essential oil against adults and eggs of *Pediculus humanus capitis* (Phthiraptera: Pediculidae). *Phytomedicine Plus*. 2(1), 100-156.
27. McCage, C., Ward, S. & Paling, C., (2002). Development of a paw paw herbal shampoo for the removal of head lice. *Phytomedicine*. X(9). 743–748.
 28. Soonwera, M., Wongnet, O. & Sittichok, S., (2018). Ovicidal effect of essential oils from Zingiberaceae plants and *Eucalyptus globulus* on eggs of head lice, *Pediculus humanus capitis* De Geer. *Phytomedicine*. 47(1). 93-104.
 29. Veal, L. (1996). The potential effectiveness of essential oils as a treatment for head lice, *Pediculus humanus capitis*. *Complementary Therapies in Nursing & Midwifery*. X(2), 97-101.
 30. Veracx, A., & Raoult, D. (2012). Biology and genetics of human head and body lice. *Trends in Parasitology*. 28(12). 563-571.
 31. Johnson, H., Gordon, J., & McLaughlin J. (1996). Monthly Variations in Biological Activity of *Asimina triloba*. *J. Janick*. X(1), 609-614.
 32. Coordinación de Control Escolar, Información y Estadística Educativa. (2023). Estadística de Educación Básica según Municipio. Gobierno de Baja California.
 33. Sistema Educativo Estatal. (2023). Plagas de piojos en escuelas primarias de Mexicali. Gobierno de Baja California.
 34. Camargo, C. & Moyano, L. (2018). Recomendaciones para el Desarrollo de Estudios de Estabilidad de Productos Cosméticos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. X(1), 31-68.

36. Vivas, L. (2014). Estandarización de pruebas epicutáneas o patch test con aplicación repetida en humanos (HRIPT) empleada en la determinación de la sensibilidad cutánea a matrices cosméticas mediante la técnica Shelanski. ICESI. X(1), 14-22.
37. Juvin, P. & Moreau P. (1985). Insecticide composition for use in the form of a shampoo. (U.S. Patent No. US4518593A). S E R T O G. [United States Patent: 4518593 \(uspto.gov\)](#)
38. Lee, R., Dale, S., Langley, W. & Christensen J. (2003). Pediculicidal compositions, a kit, and methods of use. (U.S. Patent No. US6607716B1). Tech Labs Inc and Tec Laboratories Inc. [US6607716B1 - Pediculicidal compositions, a kit, and methods of use - Google Patents](#)
39. Eini, M. & Tamarkin, D. (1993). Lice repellent compositions. U.S. Patent No. US5227163A). Clilco Ltd. [Espacenet – search results](#)
40. Found, J. (2007). Pediculicide/ovicide composition. (W.O. Patent No. WO2007056813A1). Symbion Pty Ltd. [WO2007056813 PEDICULICIDE/OVICIDE COMPOSITION \(wipo.int\)](#)
41. Zion, B. & Schwartz, Y. (2010). Natural compositions for the treatment of lice and nits. (W.O. Patent No. WO2010134060A1). [Espacenet – search results](#)
42. [Dolisznyj](#), H. (2005). Headlice treatment composition. (U.K. Patent No. GB2405586A). [Global Dossier - United States Patent and Trademark Office \(uspto.gov\)](#)
43. Nolzco, D., Villanueva, E., Hatta, B. & Tellez, L. (2020). Extraction and chemical characterization of essential oil from Eucalyptus obtained by microwave and ultrasound. Revista de Investigaciones Altoandinas. 22(3). 2313-2957.

44. Juárez, R., Castro, J., Jaúregui, F., Lizano J., Carhuapoma, M., Choquesillo, F., Félix, M., Cotillo, A., López, P., Jaramillo, R., Córdova, I., Ruíz, R., & Ramos, J. (2010). Chemical composition, antibacterial activity of essential oil *Citrus sinensis* L. (Sweet orange) and formulation of a pharmaceutical form. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. 13(1). 9-13.
45. Zambón, N., Chamorro, R. & Casuscelli, C. (2015). Optical Purity Study of Citronellal present in the Essential Oils obtained from Citronella and of Lemon Eucalyptus. *Información tecnológica*. 26(4). 29-36.
46. Instituto de Ingeniería. (2022). Formato de compromisos D-01. Universidad Autónoma de Baja California.
47. Nhuchhen, D., & Salam, P. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. 99(1), 55-63.
48. Garzon, G. (2018). Evaluación del Proceso de Pirolisis de Material Lignocelulosa Proveniente del Eucalipto en Atmosfera de Dióxido de Carbono. Tesis de Maestría Universidad Libre Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
49. Coronado, M., Montero, G., Montes, D., Valdez, B., Ayala, J., Garcia, C., Carrillo, M., León, J. & Moreno, A. (2020). Physicochemical Characterization and SEM-EDX Analysis of Brewer's Spent Grain from the Craft Brewery Industry. *Sustainability*, 12(18), 7744.
50. D 1102 – 84 (2001), Standard Test Method for Ash in Wood. American Society for Testing and Materials.
51. D 1107 – 96 (2001). Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood. American Society for Testing and Materials.

52. TAPPI T-264 cm-07. (2007) Preparation of wood for chemical analysis. Standard Specific Interest Group for this Test Method Tappi.
53. TAPPI T 212 om-12 (R2018). One Percent Sodium Hydroxide Solubility of Wood and Pulp. Standard Specific Interest Group for this Test Method Tappi.
54. Khatri, V., Meddeb-Mouelhi, F., Adjallé, K., Barnabé, S., & Beauregard, M. (2018). Determination of optimal biomass pretreatment strategies for biofuel production: investigation of relationships between surface-exposed polysaccharides and their enzymatic conversion using carbohydrate-binding modules. *Biotechnology for biofuels*, 11(1), 1-16.
55. Sluiter, Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass, National Renewable Energy Laboratory, 2008.
56. Bueno, J. (2012). Biomasa. Caracterización de un recurso energético. Universidad de Oviedo. 94-98.
57. Friedl. (2005). Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica Chimica Acta*. 544(1), 191-198.
58. Telmo. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource Technology*. 101(1) 3808-3815.
59. Jiménez L. (1991). Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. 70(1), 947-950.
60. Ayala, J. R., Montero, G., Coronado, M. A., García, C., Curiel-Álvarez, M. A., León, J. A., Sagaste, C.A. & Montes, D. G. (2021). Characterization of orange peel waste and valorization to obtain reducing sugars. *Molecules*, 26(5), 1348.

61. Álvarez, A., Pizarro, C. & Folgueras, M., (2013). Caracterización química de la biomasa y su relación con el poder calorífico. Universidad de Oviedo.
62. García, C., Montero, G., Coronado, M. A., Valdez, B., Stoytcheva, M., Rosas, N., Torres, R. & Sagaste, C. (2017). Valorization of Eucalyptus leaves by essential oil extraction as an added value product in Mexico. *Waste and biomass valorization*, 8, 1187-1197. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9695-x>
63. Palomar, L. T., Bautista, A. G. A., Alpirez, G. M., Díaz, L. C., Ramos, R. T., Uscanga, E. R. & Velázquez, Á. G. (2015). Determinación simplificada del contenido de Lignina en paja de trigo por método volumétrico y su caracterización química. *Ciencia y tecnología*.
64. Torres Ramos, R. (2015). Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas del Valle de Mexicali. Universidad Autónoma de Baja California, Proyecto de Tesis.
65. TAPPI T-264 cm-07. (2007) Preparation of wood for chemical analysis. Standard Specific Interest Group for this Test Method Tappi.
66. TAPPI, T- 207 cm-99. (1999) Water solubility of wood and pulp. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Tappi.
67. Prinsen, P. (2013). Caracterización química y estructural de lignina y lípidos de materiales lignocelulósicos de interés industrial.
68. Afanasjeva, N., Castillo, L., & Sinisterra, J. (2017). Biomasa Lignocelulósica. Parte I: Transformación de biomasa. *J. Sci. Technol. Appl*, 3, 27-43.
69. Rutiaga-Quiñones, G. (2018). Composición química de cuatro eucaliptos, de una plantación experimental en morelia, México. (10), 11.

70. Orea-Igarza, U., Cordero-Machado, E., Pérez Díaz, N., & Gómez Marín, R. (2006). Composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos, a tres alturas del fuste comercial. Parte 2 *Eucalyptus pellita* F. Muell. *La Revista Forestal Venezolana*, 50, 53.
71. Orea-Igarza, U., Cordero-Machado, E., Pérez Díaz, N., & Gómez Marín, R. (2006). Composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos, a tres alturas del fuste comercial: Parte 1: *Eucalyptus citriodora* var. *citriodora*. *La Revista Forestal Venezolana*, 50, 45.
72. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). ¿Qué es la energía de biomasa? Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-la-energia-de-biomasa?idiom=es>
73. Fang, Z., & Smith, R. L. (Eds.). (2016). *Production of biofuels and chemicals from lignin* (1a ed.). Springer.
74. Sharma, S., & Kumar, A. (Eds.). (2020). *Lignin: Biosynthesis and Transformation for Industrial Applications* (1a ed.). Springer Nature.
75. Demirbas, A. (2010). *Biomass resources for energy and industry*. Springer Science & Business Media.
76. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, 83(1), 37-46.
77. American Society for Testing and Materials ASTM International. D 1106-96 Standard Test Method for Acid Insoluble Lignin in Wood; ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2001.
78. American Society for Testing and Materials ASTM International. D 1104-56 Method of Test for Hollocelulose in Wood; ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 1985.

79. Montero, G., Coronado, M. A., Torres, R., Jaramillo, B. E., García, C., Stoytcheva, M., Vázquez, A. M., León, J. A., Lambert, A. A., & Valenzuela, E. (2016). Higher heating value determination of wheat straw from Baja California, Mexico. *Energy (Oxford, England)*, 109, 612–619. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.011>.
80. Durand, R. Bouvresse, S. Berdjane, Z. Izri, A. Chosidow, O. & Clark, J.M. (2012). Insecticide resistance in head lice: Clinical, parasitological, and genetic aspects. *Clin. Microbiol. Infect.* 18, 338–344.
81. Pearlman, D.L. (2004). A simple treatment for head lice: Dry-on, suffocation-based pediculicide. *Pediatrics.* 114, 275–279.
82. Heukelbach, J.; Pilger, D.; Oliveira, F.A.; Khakban, A.; Ariza, L.; Feldmeier, H. (2008). A highly efficacious pediculicide based on dimeticone: Randomized observer blinded comparative trial. *BMC Infect. Dis.* 8, 115.
83. Leal Cardoso, J. H., Noronha Coelho de Souza, A., Militão de Souza, F., Sa Preire, S., & Pinçon, C. (2020). Treatment of head louse infestation with a novel mixture made of semi-crystalline polymers and plant extracts: Blind, randomized, controlled, superiority trial. *Cosmetics*, 7(2), 25. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7020025>.
84. Abdel -Ghaffar, F., Semmler, M., Al-Rasheid, K., Klimpel, S., & Mehlhorn, H. (2010). Comparative in vitro tests on the efficacy and safety of 13 anti-head-lice products. *Parasitology Research*, 106(2), 423–429. <https://doi.org/10.1007/s00436-009-1680-x>.
85. Soonwera, M., Wongnet, O., & Sittichok, S. (2018). Ovicidal effect of essential oils from Zingiberaceae plants and *Eucalytus globulus* on eggs of head lice, *Pediculus humanus capitis* De Geer. *Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 47, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.04.050>.

86. Barroso C. Miguel, “Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería”, Universidad Politécnica de Madrid, Proyecto de Tesis. p. 74-77, 2010.
87. Irle, M. A., Barbu, M. C., Reh, R., Bergland, L., & Rowell, R. M. (2012). 10 Wood Composites. Handbook of wood chemistry and wood composites, 321.
88. Filvit. (2022). Ciclo de vida de los piojos. Recuperado de <https://filvit.es/wp-content/uploads/2022/05/ciclo-de-vida-de-los-piojos-OK.png>
89. Servicio Meteorológico Nacional. (2024). Valores extremos históricos. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-extremas/valores-extremos-historicos>
90. Sofraser. (2024). Gestión de la viscosidad del champú. Recuperado de <https://www.sofraser.com/es/sin-categorizar/gestion-de-la-viscosidad-del-champu/>
91. Personal Care Products Council (PCPC). (2008). CTFA International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook, 12th Edition. Washington, DC: Personal Care Products Council.
92. Lodeiro, J. G., Castro, M., Lamas, D. G., & Mosquera, V. (2008). Shampoo Formulation: A Review on the Recent Cosmetology Approaches. International Journal of Cosmetic Science, 30(6), 401-422. DOI: 10.1111/j.1468-2494.2008.00454.x
93. Personal Care Products Council (PCPC). (2008). CTFA International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook, 12th Edition. Washington, DC: Personal Care Products Council.

94. Lodeiro, J. G., Castro, M., Lamas, D. G., & Mosquera, V. (2008). Shampoo Formulation: A Review on the Recent Cosmetology Approaches. *International Journal of Cosmetic Science*, 30(6), 401-422. DOI: 10.1111/j.1468-2494.2008.00454.x
95. Alarcón, M. E. T., Conde, C. G., & Mendez, G. L. (2019). Extracción, caracterización y actividad antioxidante del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill. *Revista Cubana de Farmacia*, 52(1).
96. Lipa Huamaní, F. G. (2014). Estudio comparativo en el proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalipto Glóbulus Labill*) mediante el método de destilación por arrastre de vapor y el método de hidrodestilación asistido por radiación microondas.
97. Priestley, C. M., Burgess, I. F., Williamson, E. M., Lethwaite, H., & ElSohly, H. N. (2006). Insecticidal and Repellent Effects of Tea Tree Oil on *Lucilia cuprina*. *Veterinary Parasitology*, 137(1-2), 55-66.
98. Gómez, E., López, P., Martínez, J. F., & Pascual-Villalobos, M. J. (2014). Efficacy of *Eucalyptus globulus* Oil Against *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) and *Dermestes maculatus* (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Medical Entomology*, 51(4), 829-834.
99. Juergens, U. R., et al. (2003). Anti-inflammatory Activity of 1,8-Cineol (Eucalyptol) in Bronchial Asthma: A Double-blind Placebo-controlled Trial. *Respiratory Medicine*, 97(3), 250-256.
100. Cox, S. D., et al. (2000). The Mode of Antimicrobial Action of the Essential Oil of *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree Oil). *Journal of Applied Microbiology*, 88(1), 170-175.

101. Burits, M., & Bucar, F. (2000). Antioxidant Activity of *Nigella sativa* Essential Oil. *Phytotherapy Research*, 14(5), 323-328.
102. Dorman, H. J., & Deans, S. G. (2000). Antimicrobial Agents from Plants: Antibacterial Activity of Plant Volatile Oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308-316.
103. Peña-Corona, S. I., Juárez-Rodríguez, I., Vargas-Estrada, D., & Arvizu-Tovar, L. O. (2022). Evaluación de la calidad en champú comercial no medicado para perros en la Ciudad de México.
104. Medina, Á., López, D., & Vásquez, L. R. (2019). Pediculosis capitis grave en una niña inscrita en una guardería. *Biomédica*, 39(4), 631-638.
105. Feldmeier, H. (2012). Pediculosis capitis: new insights into epidemiology, diagnosis and treatment. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: Official Publication of the European Society of Clinical Microbiology*, 31(9), 2105–2110. <https://doi.org/10.1007/s10096-012-1575-0>

7. ANEXOS

Cursos



Academia de la OMPI

CERTIFICADO

Por el presente se certifica que

**LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ
ESQUIVEL**

ha completado satisfactoriamente
el curso de enseñanza a distancia titulado

CURSO GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

impartido del 04 de octubre al 17 de noviembre de 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Saadallah", is positioned above the printed name and title.

Sherif Saadallah
Director Ejecutivo
Academia de la OMPI



XrcIE85wRA



4 cursos

Experimental Design Basics
Factorial and Fractional Factorial Designs
Response Surfaces, Mixtures, and Model Building
Random Models, Nested and Split-plot Designs



Dec 9, 2022

LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL

completó con éxito el programa especializado en línea sin créditos

Design of Experiments

Learn modern experimental strategy, including factorial and fractional factorial experimental designs, designs for screening many factors, designs for optimization experiments, and designs for complex experiments such as those with hard-to-change factors and unusual responses. There is thorough coverage of modern data analysis techniques for experimental design, including software. Applications include electronics and semiconductors, automotive and aerospace, chemical and process industries, pharmaceutical and bio-pharm, medical devices, and many others.

Douglas C. Montgomery
Regents' Professor of Engineering, ASU
Foundation Professor of Engineering School of Computing, Informatics, and Decision Systems Engineering

The online specialization named in this certificate may draw on material from courses taught on-campus, but the included courses are not equivalent to on-campus courses. Participation in this online specialization does not constitute enrollment at this university. This certificate does not confer a University grade, course credit, or degree, and it does not verify the identity of the learner.

Verifica este certificado en:
<https://coursera.org/verify/specialization/NEWRXSX75C4L>



Sep 26, 2022

LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL

completó con éxito

Experimental Design Basics

un curso en línea sin crédito autorizado por Arizona State University y ofrecido a través de Coursera

Douglas C. Montgomery
Regents' Professor of Engineering, ASU Foundation Professor of Engineering School of Computing, Informatics, and Decision Systems Engineering

COURSE
CERTIFICATE



Verify at:
<https://coursera.org/verify/5A7U7UK0JGV2>
Coursera confirmó la identidad de esta persona y su participación en el curso.



Oct 24, 2022

LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL

completó con éxito

Factorial and Fractional Factorial Designs

un curso en línea sin crédito autorizado por Arizona State University y ofrecido a través de Coursera

Douglas C. Montgomery
Regents' Professor of Engineering, ASU Foundation Professor of Engineering School of Computing, Informatics, and Decision Systems Engineering

COURSE
CERTIFICATE



Verify at:

<https://coursera.org/verify/SDG5MREPV4G>

Coursera confirmó la identidad de esta persona y su participación en el curso.



Nov 19, 2022

LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL

completó con éxito

Response Surfaces, Mixtures, and Model Building

un curso en línea sin crédito autorizado por Arizona State University y ofrecido a través de Coursera

Douglas C. Montgomery
Regents' Professor of Engineering, ASU Foundation Professor of Engineering School of Computing, Informatics, and Decision Systems Engineering

COURSE
CERTIFICATE



Verify at:

<https://coursera.org/verify/9BVL3AS67ESB>

Coursera confirmó la identidad de esta persona y su participación en el curso.



Dec 9, 2022

LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL

completó con éxito

Random Models, Nested and Split-plot Designs

un curso en línea sin crédito autorizado por Arizona State University y ofrecido a través de Coursera

Douglas C. Montgomery
Regents' Professor of Engineering, ASU Foundation Professor of Engineering School of Computing, Informatics, and Decision Systems Engineering

COURSE
CERTIFICATE



Verify at:

<https://coursera.org/verify/ELKHEERJX6BS>

Coursera confirmó la identidad de esta persona y su participación en el curso.



MÁS ALLÁ
DEL ÉXITO

Tu camino
a la trascendencia

CERTIFICADO PARTICIPANTE

«MÁS ALLÁ DEL ÉXITO»

Otorgado a:

LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL

Por su participación en el movimiento de liderazgo y crecimiento personal
Más allá del éxito por el Dr. John C. Maxwell.

«La vida de cada persona es una historia.
Tú determinas cuán grandiosa será la tuya».
- John C. Maxwell

Dr. John C. Maxwell
Fundador

John Griffin
Director de Programas
Globales



EQUIP



AVISO SOBRE LA CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN

Estimada(o): **LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL**

CURP: **guel971222mbctsz08**

La Unidad del Sistema para la Carrera de las Maestras y los Maestros (USICAMM), le informa que ha concluido el Curso de habilidades digitales.

Este aviso no es un documento probatorio, solo establece que usted concluyó el Curso. Para obtener el documento oficial probatorio de que lo concluyó satisfactoriamente, es necesario que gestione la *Constancia de participación* del Curso, considerando que es un requisito para participar en el proceso de admisión en educación básica, ciclo escolar 2024-2025.

Fecha: **9 de abril de 2024, 19:01**

IMPORTANTE

- Para gestionar la *Constancia de participación* del Curso debe ingresar a la Ventanilla Única de Servicios (VENUS) con su CURP en: <http://proyecto-venus.uscmm.gob.mx:8080/venus/>
- Esta gestión podrá realizarla a partir del 7 de junio del presente año.
- Recuerde descargar la Constancia y conservarla para el uso a que haya lugar.

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTOR: GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA
TÍTULO: EL ÁRBOL Y LA LUNA
RAMA: PICTORICA
TITULAR: GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

El presente certificado se expide con fundamento en el Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, así como de otras leyes para crear la Secretaría de Cultura, publicado el 17 de diciembre de 2015 en el Diario Oficial de la Federación; artículos 26 y 41 Bis, fracción XVIII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; artículos 2, 208, 209 fracción III de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículo 69-C de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, de aplicación supletoria de acuerdo con lo establecido por la Ley Federal del Derecho de Autor en su artículo 10; artículo 84 de la Ley General de Mejora Regulatoria; artículos 2, apartado B, fracción IV, 26 y 27 del Reglamento Interior de la Secretaría de Cultura; artículos 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I, 9, 16 y 17 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor; ACUERDO por el que se establecen los Lineamientos para el uso de la Firma Electrónica Avanzada en los actos y actuaciones de los servidores públicos del Instituto Nacional del Derecho de Autor, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de mayo del año dos mil veintiuno; y Acuerdo por el que se establecen las reglas para la presentación, substanciación y resolución de las solicitudes de registro de obras, fonogramas, videogramas y edición de libros en línea ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor, publicado el 8 de diciembre de 2021 en el Diario Oficial de la Federación.

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su elaboración, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7 y 9, fracción I, de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y artículo 12 de su Reglamento.

Número de Registro: 03-2022-120100045200-01

Ciudad de México, a 01 de diciembre de 2022

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



Fzr9N2mDegQYHRw9+sEiaMASbs+E7cTYhdY1AiDfI2DeYnV/xDUAV/T58zCwqBa5HaU514UftwqZhSsZgxZ
TFiQ6gpC0nkvMab5C1Drrd2BN3f7vVnYAPTYNfY3zrw1k/0GknhpfnZJKWHR0K+kKKG5yJ8sLA4NwI6kr+OU
FAVNzvfOHbQn9TIGx8R62aQA89eMBLgVwbYEsQIAK6AY5Gx9uoDXrArr1hXa1wNd5neSPRtw/Dp3HOAf
fRxyTsNUVeCzRvVzW7Z3C6u9AgMneE1ZlaEdDguCNI DUJU0zBEgg2EDxLVpCt4z4SM/wFR3IZ5pUvjGAH
zBSQVg==



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
DUARTE JARAMILLO LAURA
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES
URBANO NILA ANDRES

TÍTULO: ACEITES ESENCIALES COMO INGREDIENTES ACTIVOS PARA EL PADECIMIENTO DE LA PEDICULOSIS

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-121310472600-01

Ciudad de México, a 15 de diciembre de 2022

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
DUARTE JARAMILLO LAURA
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA
MONTES NUÑEZ DANIELA GUADALUPE LUCIA
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES
SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO
URBANO NILA ANDREA

TÍTULO: EXTRACTOS Y ACEITES ESENCIALES: ESTUDIO DE SU IMPORTANCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-121310594400-01

Ciudad de México, a 15 de diciembre de 2022

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
DUARTE JARAMILLO LAURA
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES
URBANO NILA ANDREA

TÍTULO: SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE CASCARA DE NARANJA RESIDUAL EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-120711222700-01

Ciudad de México, a 14 de diciembre de 2022

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
DUARTE JARAMILLO LAURA
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES
TORRES RAMOS RICARDO
URBANO NILA ANDREA

TÍTULO: BIOGAS A PARTIR DE ESTIERCOL BOVINO

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-121311005900-01

Ciudad de México, a 15 de diciembre de 2022

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR



 **Universidad Autónoma de Baja California**
Instituto de Ciencias Agrícolas



XXVI Congreso Internacional
en Ciencias Agrícolas

Gestión del agua y seguridad alimentaria ante el escenario de cambio climático

otorgan la presente
CONSTANCIA

A: Gutierrez-Esquivel, Lizbeth A.; Ayala-Bautista, José R.;
Coronado-Ortega, Marcos A.; Urbano-Nila, Andrea

Por su participación como **PONENTE ORAL** con el tema:

**ESSENTIAL OIL OF *Eucalyptus*: A NATURAL SOLUTION FOR TREATING
PEDICULOSIS;**

"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER"
Mexicali, Baja California, 26 y 27 octubre de 2023


Dr. Daniel González Mendoza
Director del Instituto de Ciencias Agrícolas


Dra. Silvia Mónica Avilés Marín
Presidenta del Comité Organizador



 Facultad de
Ingeniería y
Negocios
San Quintín



COMITÉ DE TURISMO Y CONVENCIONES
MEXICALI

Otorga el presente
RECONOCIMIENTO

**A: LIZBETH ADRIANA
GUTIERREZ ESQUIVEL**

Por haber participado en la Segunda edición del
Festival Aeroespacial "Mexicali en las alturas" el día 26 de
Noviembre del 2022 en la ciudad de Mexicali, Baja California.



NANCY PAOLA MINOR IBARRA
Directora general del Comité de
Turismo y Convenciones de Mexicali



*La Escuela Secundaria No. 100
Otorga el presente*



RECONOCIMIENTO

A: PROFRA. LIZBETH ADRIANA GUTIERREZ ESQUIVEL

*Como agradecimiento por su participación y apoyo en la
Coordinación del "CONCURSO INTERNO DE CIENCIAS".*

*... "Si una persona es perseverante, aunque sea
dura de entendimiento, se hará inteligente y
aunque sea débil se transformará en fuerte"*

Mexicali, Baja California, a 15 de Abril del 2024.



PROFRA. LIZETTE ROJAS LOPEZ
DIRECTORA DE LA ESCUELA

ATENTAMENTE





PROFR. VICTOR ANTONIO ORTEGA PUENTE
SUBDIRECTOR DE LA ESCUELA



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE · CORDOBA · MONTECILLO · PUEBLA · SAN LUIS POTOSÍ · TABASCO · VERACRUZ



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

"2023, Año de Francisco Villa, el revolucionario del pueblo"

San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México a 05 de septiembre del 2023
AGRO: 128-B/2023
Asunto: aceptación

Dra Gutierrez-Esquivel, Lizbeth A.;

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Calle Normal s/n Blvd. Benito Juárez Col. Insurgentes Este, Parcela 44, Mexicali, Baja California, México. C.P. 21100

PRESENTE

Estimada Dra. Gutierrez-Esquivel, Lizbeth A.:

Por este medio, confirmo que el artículo: **Essential Oil of Eucalyptus: A Natural Solution for Treating Pediculosis**; de los autores: **Gutierrez-Esquivel, Lizbeth A.; Ayala-Bautista, José R.; Coronado-Ortega, Marcos A.; Urbano-Nila, Andrea**; fue sometido a arbitraje doble ciego, y es aceptado para su publicación en el **Año 16, Vol. 16, Núm. 10 del año 2023 en la Revista Agro Productividad**. La revista sigue desarrollando cambios de forma gradual, con el fin de aumentar la visibilidad nacional e internacional, y se viene ajustando a partir de septiembre 2018 a los estándares del CRMICYT-Conacyt. Está incorporada a los índices Conacyt, EBSCO, CENGAGE LEARNING, INC., Google Académico además de Zoological Records en Master Journal List de Clarivate Analytics (antes ISI), PERIODICA-Biblat, CABI y CAB Abstracts, Latindex (Directorio y Catálogo), REDIB, SIBDI, MIAR, I2OR, DIMENSIONS, CORE, Scilit, CiteFactor, AgEconSEARCH, BASE, BAC, EBSCO host (Fuente Académica Plus), AURA, Electronic Journals Library (EZB), Refseek, OpenAire, ZEITSCHRIFT DATENBANK, Scite, Jisc, LENS.ORG, SIDALC, LivRe, Sudoc, Kindcongress, Wizdom y recientemente Red de Bibliotecas y Archivos del CSIC España.

Atentamente

DR. JORGE CADENA IÑIGUEZ
Director AGRO Productividad
Editorial Colegio de Postgraduados

C.c.p. expediente

Essential Oil of Eucalyptus: a natural solution for treating pediculosis

Gutiérrez-Esquivel, Lizbeth A.^{1*}; Ayala-Bautista, José R.¹; Coronado-Ortega, Marcos A.¹; Urbano-Nila, Andrea¹

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Calle Normal s/n Blvd. Benito Juárez Col. Insurgentes Este, Parcela 44, Mexicali, Baja California, México. C.P. 21100

* Correspondence: lizbeth.gutierrez12@uabc.edu.mx

ABSTRACT

Objective: Pediculosis is a condition caused by the infestation of *Pediculus Humanus Capitis*. The pesticides used in current formulations exhibit toxicity and carcinogenic effects on consumers. This study aimed to investigate the pediculicidal activity of the essential oil from *Eucalyptus globulus* leaves, with the intention of adding it as an active ingredient in pediculicidal formulations to replace harmful chemicals.

Design/methodology/approach: *In vivo* tests were conducted to assess the repellency and mortality of the essential oil obtained through hydrodistillation. The major components were determined through gas chromatography-mass spectrometry analysis. Additionally, proximate, and chemical composition analyses were performed on the eucalyptus leaves using ASTM E871, ASTM E872, ASTM D1104, TAPPI T264, TAPPI T207, ASTM D1106, and ASTM D1104 methods.

Results: A repellency of 66.66% and 100% mortality within 2.26 minutes were obtained in the *in vivo* tests. The yield of hydrodistilled essential oil was 4 mL/kg, primarily composed of 71.04% 1,8-cineole, 18.94% 4-Ethyl-m-xylene, 2.72% γ -Terpinene, and 1.23% L- α -Pinene. Furthermore, the composition of eucalyptus leaves was determined as 61.25% moisture, 30.32% volatile matter, 6% ash, 2.40% fixed carbon, 11.22% acetone extractives, 33.03% water extractives, 31.49% lignin, 69.33% holocellulose, 62.09% cellulose, and 7.24% hemicellulose.

Limitations on study/implications: The pediculicidal activity study was conducted solely on the essential oil, and further testing on the formulation of the finished product is necessary.

Findings/conclusions: The pediculicidal activity study was conducted solely on the essential oil, and further testing on the formulation of the finished product is necessary.

Keywords: Essential oil, *Eucalyptus globulus*, pediculosis, physicochemical characterization.

Citation: Ortega, M. A., & Urbano-Nila, A. (2023). Essential Oil of Eucalyptus: a natural solution for treating pediculosis. *Ago Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i11.2724>

Academic Editors: Jorge Cadena Iñiguez and Lucero del Mar Ruiz Posadas

Received: July 27, 2023.

Accepted: October 16, 2023.

Published on-line: December 27, 2023.

Ago Productividad, 16(11). November 2023. pp: 65-70.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



INTRODUCTION

Infestation of *Pediculus humanus capitis*, or head lice, is a chronic condition worldwide. In Mexicali, Baja California, Mexico, lice infestation is abundant due to the climatic conditions. Lice are six-legged arthropods that invade the host's hair in search of blood for feeding. The life cycle of head lice consists of three stages: eggs, colloquially known as nits, measuring 1 mm, are white and attached to the hair by a non-polar substance called cement; the second stage is nymphs, classified as such at birth, measuring less than 1 mm and being whitish; finally, the adult stage, where lice mature 2 to 3 weeks after birth,



ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO: UNA SOLUCIÓN NATURAL PARA TRATAR LA PEDICULOSIS

Gutierrez Esquivel Lizbeth Adriana ¹, Ayala Bautista José Ramón ¹, Coronado Ortega Marcos Alberto¹, Urbano Nila Andrea¹

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California¹, Calle Normal s/n Blvd. Benito Juárez Col. Insurgentes Este, Parcela 44, Mexicali, Baja California, 21100, México.
lizbeth.gutierrez12@uabc.edu.mx

Resumen

En Mexicali, Baja California, la pediculosis es una problemática a la que se enfrenta la población en temporadas altas de calor. La pediculosis es un padecimiento causado por la infestación de *Pediculus Humanus Capitis* o piojo de la cabeza. Los tratamientos actuales en el mercado son menos efectivos por la resistencia e inmunidad que los piojos han desarrollado. Los ingredientes activos utilizados en estas formulaciones presentan toxicidad y efectos cancerígenos al consumidor. Se estudió la actividad pediculicida del aceite esencial de hojas de *Eucalyptus Globulus* con pruebas *in vivo* en ninfas, piojos jóvenes y piojos adultos, obteniendo una repelencia del 66.66% y 100% de mortalidad con tiempos promedio de 2.26 min. El aceite esencial se extrajo por hidrodestilación a escala piloto, obteniendo un rendimiento de 4.33 mL/kg, cuya composición química se fundamentó con un análisis de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Sus componentes principales son 71.04% de 1,8-cineol, 18.94% de 4-Ethyl-m-xylene, 2.72% de γ -Terpinene y 1.23% de L- α -Pinene. Adicionalmente, se realizó el análisis próximo y de composición química de las hojas de *Eucalyptus Globulus*, utilizando los métodos estándar ASTM E871 para la determinación de humedad, obteniendo 61.25%, ASTM E872 para material volátil con 30.32%, ASTM D1104 para cenizas con 6.00% y 2.40% para carbono fijo, este resultado se obtuvo por diferencia de porcentajes. El método TAPPI T264 con acetona analítica como solvente y TAPPI T207 para extraíbles con agua caliente, obteniendo 11.22% y 33.03% de extraíbles, respectivamente. La determinación de lignina fue de 31.49%, utilizando el método ASTM D1106, ASTM D1104 para holocelulosa con 69.33%, finalmente el contenido de celulosa y hemicelulosa con 62.09% y 7.24%, según el procedimiento Rowell. Todas las pruebas se realizaron por triplicado. Se comprobó la actividad pediculicida del aceite esencial de hojas de *Eucalyptus Globulus* con resultados favorables por sus propiedades repelentes y de inhibición en cortos lapsos de tiempo. Estas características se atribuyen principalmente al alto contenido de 1,8-cineol, seguido de L- α -Pinene. Se recomienda crear una formulación pediculicida a base de este aceite esencial y continuar con nuevos ensayos para determinar su concentración letal una vez terminada la fórmula.

Palabras clave: Aceite esencial, caracterización fisicoquímica, *Eucalyptus globulus*, pediculosis

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE HOJA DE EUCALIPTO RESIDUAL

Lizbeth Adriana Gutierrez Esquivel¹, José Ramón Ayala Bautista¹, Marcos Alberto Coronado Ortega¹
¹Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Calle Normal s/n Blvd. Benito Juárez Col. Insurgentes
Este, Parcela 44, Mexicali, Baja California, 21100, México.
lizbeth.gutierrez12@uabc.edu.mx

Resumen

La biomasa se compone de celulosa, hemicelulosa, lignina y pequeñas cantidades de otras sustancias extraíbles contenidas en la pared celular de las plantas. La biomasa permite obtener productos energéticos y no energéticos como biocombustibles y aceites esenciales, extractos o resinas, a través de procesos bioquímicos, termoquímicos y fisicoquímicos. La caracterización fisicoquímica de la biomasa permite determinar la aplicación y el proceso más adecuado para su aprovechamiento. Se caracterizó la hoja de eucalipto mediante el análisis proximal y el análisis de composición química por triplicado, basados en los métodos estándar ASTM E871, ASTM E872, ASTM D1102, TAPPI T 264, TAPPI T 207, ASTM D1106 y ASTM D1104. Se obtuvieron los siguientes resultados: 61.259% de humedad, 30.326% de material volátil, 6.004% de cenizas y 2.409% de carbono fijo. El carbono fijo y la hemicelulosa se obtuvieron por diferencia. Estos resultados sugieren la integración de la hoja de eucalipto residual en la obtención de productos no energéticos.

Introducción

El eucalipto es una especie arbórea con abundante follaje de la familia de las mirtáceas, originario de Australia, compuesto por porte, hojas, flores y frutos, adaptable a biomas agresivos como el desierto. La biomasa está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (compuestos estructurales). Y como constituyentes minoritarios se encuentran el agua, la materia inorgánica no extraíble y los extraíbles (no estructurales). Los componentes mayoritarios están interrelacionados entre sí, la celulosa se encuentra en forma de fibras, alargadas, rodeada por la hemicelulosa que forma una especie de red en torno a ella. La lignina se sitúa entre las "cuerdas" formadas por la asociación de celulosa y hemicelulosa. Los componentes mencionados se determinan mediante los métodos de composición química [1]. El análisis proximal se define como la determinación del porcentaje en peso de los principales componentes de la biomasa y comprende la determinación de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo [2]. La biomasa permite obtener productos energéticos y no energéticos en estado sólido, líquido y gaseoso a través de procesos bioquímicos, termoquímicos y fisicoquímicos. Los productos obtenidos dependen de la naturaleza y la composición de la biomasa tratada y de las condiciones de operación. La caracterización fisicoquímica de la biomasa permite seleccionar la tecnología de conversión más adecuada.

Metodología

El análisis próximo y de composición química del eucalipto se desarrollaron con los métodos estándar para caracterización de la biomasa. El contenido de humedad siguió el método ASTM E871, el cual consiste en el secado de la biomasa en un horno a 45 °C por 3 días. El contenido de material volátil con el método ASTM E872, donde la materia volátil se determinó estableciendo la pérdida de masa resultante del calentamiento en horno, llevándola a 950 °C por 7 min. El contenido de cenizas por el método ASTM D1102, representa el porcentaje de residuos que queda después de la oxidación en seco de la biomasa a 580 °C por 4 h. Por último, el contenido de carbono fijo se obtuvo por diferencia de porcentajes, restándole al 100% los porcentajes de humedad, material volátil y cenizas. Cada prueba se realizó por triplicado.