

EFECTOS DE LA ABLACIÓN SELECTIVA CON LÁSER EN EL DESESPINADO DE NOPAL

L. Ponce, T. Flores y M. Arronte
CICATA-IPN, Altamira, Tamps, México
ICTM-Universidad de La Habana, Ciudad de La Habana, Cuba

RESUMEN

Se presentan los resultados de la ablación con láser pulsado como nuevo método para realizar la eliminación de espinas. La nueva técnica basa su funcionamiento en la absorción selectiva de la luz láser en las espinas. Los parámetros del láser más favorables para realizar el desespinado fueron obtenidos sobre la base del estudio de propiedades ópticas tanto de la espina, como de la hoja. Fue demostrado que el empleo de la fotoacústica permite controlar el desespinado en tiempo real, determinando los resultados de la limpieza durante el proceso. Los resultados obtenidos demuestran que la eliminación de espina, puede hacerse con mínima afectación del producto y con ventaja en varios aspectos respecto a los métodos tradicionales.

ABSTRACT

Pulse laser ablation as a new method for thorn elimination is presented. The new technique can work thanks to the use of pulsed light which is absorbed in a selective way, specifically in the thorns. An optical characterization of both thorn and cactus leave after and before irradiation, permits to find most convenient laser parameters as wavelength, pulse length and energy. By laser photoacoustic technique it is possible to monitoring the process in real time, checking online the cleaning results. The feasibility of performing the selective laser ablation of thorns with advantages over traditional methods was proved.

1. INTRODUCCIÓN

El desespinado de Nopal se realiza actualmente mediante cuchillas, ya sea de forma manual o automatizada [1]. En ambos casos el proceso presenta graves problemas asociados a la merma considerable del producto de hasta de un 30 %, la baja productividad, la disminución de la vida de anaquel y la calidad del producto, así como problemas sanitarios y de afectación a la salud de los operarios. Estos problemas han causado que el desespinado se considere un cuello de botella en la cadena productiva del Nopal, que de hecho limita la posibilidad de realizar la exportación del producto como verdura.

Por otra parte, el Nopal es un producto de demanda creciente a nivel internacional, con cualidades muy beneficiosas para el consumo humano [2]. La solución de los problemas que hoy afectan su cadena productiva, podrían significar un aporte muy importante para el desarrollo de esta industria.

A partir de estos elementos, en el trabajo se propone una solución radicalmente diferente a las que se han utilizado hasta ahora: utilizar luz láser para realizar el desespinado. La idea consiste en utilizar el principio de absorción selectiva, que en principio es posible implementar cuando se utiliza luz de un determinado segmento del espectro, escogiendo la longitud de onda de forma que esta se

absorba fuertemente en el elemento que se desea eliminar y en cambio se absorba de forma mínima en el sustrato que se desea preservar.

2. EXPERIMENTOS

2.1 Mediciones de Reflectancia

Se realizaron mediciones de la reflectancia tanto de la zona de la penca sin espinas, como alrededor de ésta, en la zona oscura que rodea la espina (peciolo), para dos variedades: Villanueva y Jalpa.

En la Figura 1 se observan los resultados para la medición de reflectancia para la zona de la espina y la corteza de la penca para la variedad Villanueva.

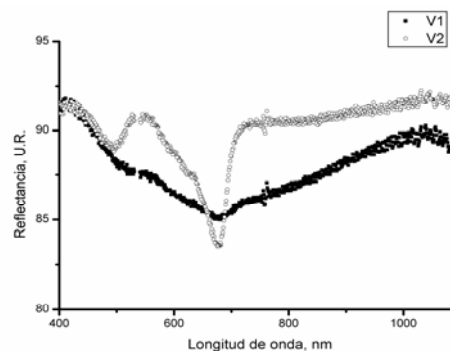


Figura 1. Reflectancia del Nopal Variedad Villanueva:
V1 - Zona correspondiente a espina,
V2 - Zona de la corteza.

En la gráfica se puede apreciar que en casi todo el espectro la reflectancia es menor en la zona de coloración oscura que rodea la espina, exceptuando la región entre 650 y 700 nm. El resultado para esta última región se explica por la absorción de la clorofila, muy fuerte en la corteza.

En la Figura 2, se aprecia un gráfico de absorción obtenido en la zona verde de la corteza para una muestra de la misma variedad. Se confirma el comportamiento de la reflectancia obtenido en el experimento anterior: Fuerte absorción en la zona del ultravioleta, una banda de absorción intensa entre 650 y 700 nm y una región donde la absorción es mínima y que podemos ubicar entre los 800 y 1100 nm. Esta sería la región donde se podría trabajar para eliminar la espina sin afectación a la penca garantizando la máxima absorción en la espina para favorecer la productividad del desespinado y mínima absorción en la corteza con el fin de evitar daños.

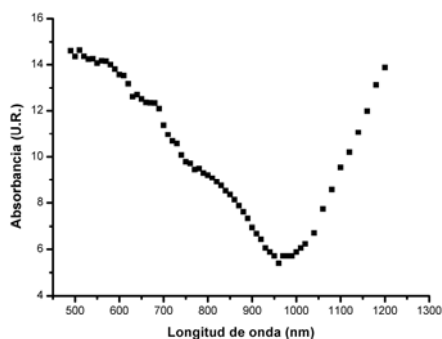


Figura 2. Espectro de absorbancia de la corteza.

2.2. Experimentos de desespinado láser

Los experimentos se realizaron utilizando láseres pulsados de Nd:YAG que poseen parámetros apropiados para realizar la ablación de material con mínima afectación a la profundidad del sustrato. Como se ha demostrado ampliamente [3,4], cuando se trabaja este tipo de láser en régimen de pulsos cortos, la penetración de la radiación no sobrepasa las decenas de micras y la propagación de calor al interior del objeto es mínima. En la tabla 1 aparecen los parámetros de los láseres utilizados:

Tabla 1. Parámetros de los láseres empleados en los experimentos de desespinado.

Modelo	Energía de pulso (J)	Duración de pulso
GOS-1001	500	1 ms
PLC-CUT	0.3	180 μs
Lumonics HY-1200	0.2	10 ns

El experimento consistió en irradiar con pulsos láser la superficie de la penca en ambas zonas, con y sin espinas. En la Figura 3 se observa el esquema experimental utilizado.

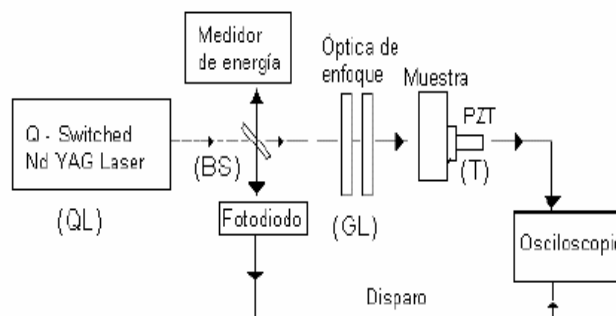


Figura 3. Diagrama del sistema empleado para realizar el desespinado de Nopal. (QL) láser Nd: YAG, (BS) divisor de haz, (GL) óptica de enfoque, (T) transductor PZT.

Como se ha señalado anteriormente, se utilizaron varios láseres, que en el esquema se colocaron en todos los casos en el lugar señalado para el láser de Nd:YAG. Una pequeña porción del pulso (1% de la energía total), era derivada para realizar la medición de energía en un medidor de energía y potencia láser modelo LM-09. El haz láser se colima mediante una lente positiva de 2.54 cm de diámetro y distancia focal de 5 cm para lograr un diámetro del haz en la zona de irradiación de 4 mm. Las señales acústicas fueron detectadas con un transductor piezoeléctrico V310 Panametrics de 5.0 MHz. La señal producida por el transductor fue registrada y almacenada en un Osciloscopio de 500 MHz Textronic TDS 210.

Con el sistema descrito anteriormente se asegura que la zona irradiada tenga siempre un área de 4 mm y una densidad de energía fija. El procedimiento experimental fue el siguiente: Se aplica un primer pulso en la zona de la espina, se registra la señal fotoacústica y se revisa visualmente si se ha producido plasma. Luego, se mueve la muestra 3 mm y se repite el experimento en toda el área de la penca, incluyendo la zona sin espinas.

Con esta serie de pasos se encuentra el umbral de energía necesario para producir una absorción intensa en la espina y prácticamente nula en la zona sin espinas.

Los experimentos se realizaron con los tres láseres mencionados, lo que permitió barrer el ancho de pulso y la energía de éstos en una amplia gama: la energía de pulso desde 0.01 J hasta 500 J por pulso. La duración de pulso en 3 niveles: 10 ns, 180 μs y 1 ms.

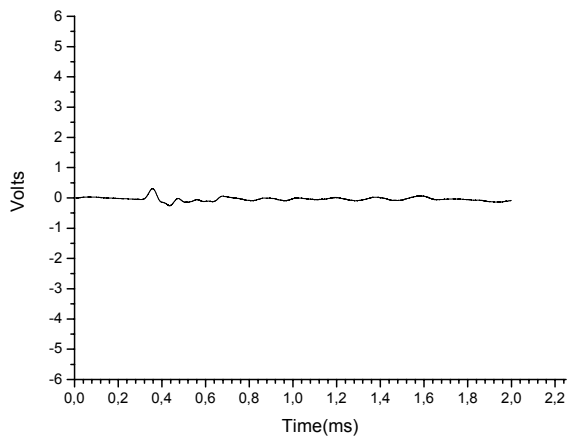


Figura 4a. Señal acústica capturada en la zona de la corteza.

En la Figura 4a se observa el oscilograma de la señal acústica obtenida al irradiar la zona de la corteza sin espinas. Se observa una señal de muy baja intensidad relativa. Tal y como se mostró en los análisis de reflectancia, la absorbancia en esta zona es muy reducida y por tanto no se produce plasma ni se genera onda acústica asociada a la ruptura y ablación de material.

La gráfica de la Figura 4b corresponde a la señal acústica obtenida en las mismas condiciones que la anterior, pero al irradiar sobre una espina. Se observa una señal acústica muy intensa y característica. En este caso se observa visualmente la formación de plasma y la extracción de material.

A continuación, se determinó la cantidad de pulsos y energía total, necesarios para eliminar una espina. En este experimento se aplicaron pulsos repetidos, con una frecuencia de 10 Hz. Se encontró que, como promedio, a los 15-16 pulsos se había eliminado completamente la espina y atenuado totalmente la señal acústica, lo cual indicaba que ya no se estaba produciendo absorción.

En la Figura 5 se grafica la variación de la amplitud de la señal acústica según el número de pulsos aplicados. Se observa un aumento rápido de la intensidad de la señal acústica hasta alcanzar un máximo, seguido de una disminución hasta la total desaparición.

El aumento en la amplitud de la señal, puede explicarse debido a que la absorción aumenta después de una ruptura inicial hasta llegar a un valor máximo. En esta etapa se está produciendo la ablación del material de la espina y la zona adyacente. A medida que la presencia de material absorbente va disminuyendo, también disminuye la intensidad de la señal acústica y de hecho la intensidad del plasma. Este proceso continúa hasta que desaparece completamente la absorción y por tanto desaparecen también la señal acústica y el plasma.

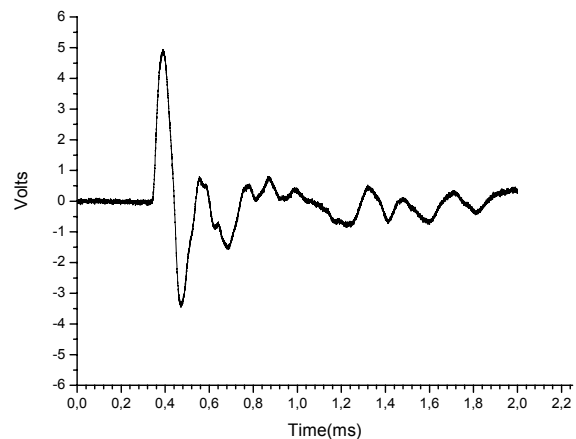


Figura 4b. Señal acústica capturada en la zona de la espina.

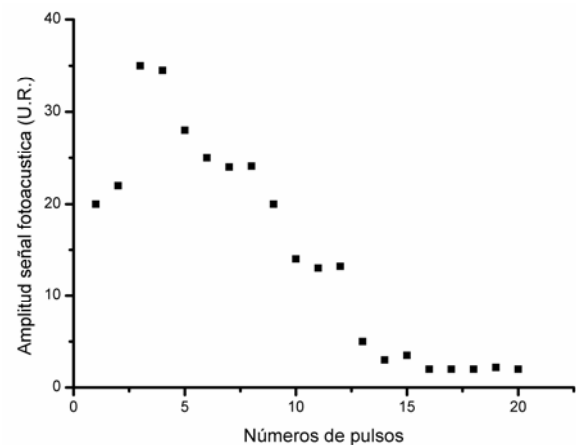


Figura 5. Dependencia de la señal acústica con el número de pulsos.

Como criterios para determinar el láser y los parámetros más apropiados se escogieron lograr la máxima velocidad de desespinado y afectar al mínimo la corteza. En resumen, se logra la eliminación de la espina y la zona adyacente con los siguientes parámetros: Energía de pulso de 0.3 J, área de irradiación de 0.5 cm², duración de pulso de 180 μs y frecuencia de 10 Hz.

2.3 Microscopia Óptica

Las mediciones se realizaron utilizando una cámara digital y un microscopio digital acoplado a una computadora. En la Figura 6 se observa el efecto del desespinado manual (la fotografía fue tomada sin aumento). Se aprecia como esta acción elimina una zona de la corteza que rodea la espina, dejando sin protección la penca y produciéndose la salida de mucílago, con el consiguiente efecto oxidante a corto plazo. Los nopales desespinaados de esta forma tienen una vida útil de unas pocas horas antes de oxidarse completamente.

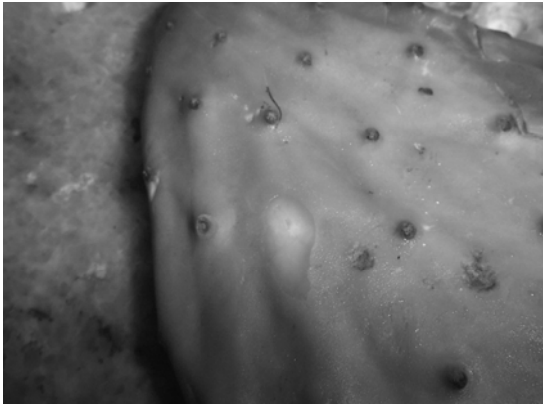


Figura 6. Efecto del desespinado mecánico.

En las Figuras 7a y 7b se puede observar una vista al microscopio con aumento 10X, de una espina antes y después de ser eliminada por el láser. Se aprecia como la absorción se ha producido preferentemente en la zona del que bordea la espina, provocando la caída de ésta.

En la Figura 8 se observa una imagen al microscopio con aumento de 60x, de la zona del cráter resultante después de realizada la eliminación de la espina. No se observan daños morfológicos, no se detecta salida de mucílago y el fondo del cráter tiene un aspecto limpio y sin restos de espina o peciolo.

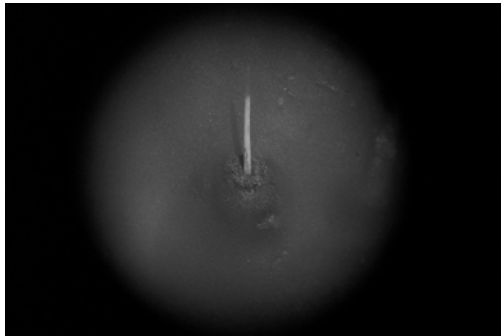


Figura 7a. Espina antes de irradiar.

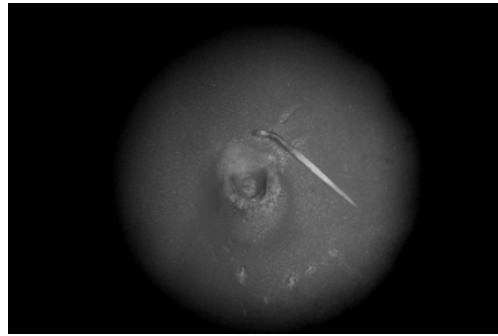


Figura 7b. Efecto después de irradiar con el láser.



Figura 8a. Vista de un cráter cuya espina fue eliminada con láser, en la zona lateral del Nopal.



Figura 8b. Vista al microscopio del cráter resultante después de realizado el desespinado con láser.

3. RESULTADOS

De acuerdo a los resultados del trabajo, la eliminación de espinas de nopal con láser de pulsos de Nd:YAG ofrece las siguientes ventajas:

- Eliminación completa de la espina sin afectar el producto.
- No hay contacto mecánico, disminuye la manipulación.
- Se elimina la salida de mucílago.
- Disminuye drásticamente la merma.
- Automatización.
- Se elimina la afectación a la salud del operario.

A partir de la comprobación realizada, resulta posible proponer la construcción de una máquina basada en un láser de Nd:YAG, con régimen de generación libre y capaz de trabajar en altas frecuencias de repetición para lograr la mayor productividad posible.

En esencia, la máquina en principio estaría compuesta por una estera que desplazaría los nopales a velocidad programada, mientras el láser mediante un sistema de barrido automatizado del

haz irradiaría el nopal completamente, deteniéndose en las espinas a partir de una señal acústica de aviso que indicaría la presencia de éstas y su posterior eliminación.

CONCLUSIONES

Se logró establecer el método de ablación selectiva mediante láser pulsado, como principio para desarrollar una nueva técnica de desespinado

de Nopal, demostrándose sus ventajas respecto a los métodos actuales. Se obtuvieron los parámetros láser para el desespinado, los cuales indican que con pulsos en régimen de generación libre y energías entre 0.3 y 1.5 J se pueden eliminar las espinas sin afectar visiblemente la corteza. La nueva tecnología ofrece una alternativa tecnológica viable para resolver el problema del desespinado de nopal y en principio podría ser aplicada en otros productos.

REFERENCIAS

1. BARRIENTOS, G.; I. MORALES; M. GARCÍA and A. ZEPEDA (2003): Proceedings of IX National Congress and VII Internacional Congreso of Nopal Knowledge and Processing, 183, University of Chapingo.
2. CÁRDENAS, M.; S. SERNA and J. VELASCO (2003): **Arch. Latinoam. Nutrición**, 48(4), 316-323.
3. MIOTELLO, A. and R. NELLY (1995): **Appl. Phys. Lett**, 76, 3535, p. 1706.
4. VON der LINDE, D. and H. SCHULLER (1996): **J. Opt. Soc. Am. B** 13, p. 216.