

*Prospectiva, Vol. 23 N°1 2025.*

## **Caracterización del modo espacial de un láser $\lambda=405$ empleado en la detección de Huanglongbing por visión artificial.**

## **Characterization of the spatial mode of a $\lambda=405$ laser used in the detection of Huanglongbing by artificial vision**

Anderson Cortina Barraza<sup>1</sup>, Andrés Rodríguez Salas<sup>2</sup>, Mario Montero Hurtado<sup>3</sup>, Yair E. Garcia-Pacheco<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de pregrado en Física, Universidad del Atlántico, Grupo de instrumentación y metrología GIM, Barranquilla-Colombia. <https://orcid.org/0009-0001-7023-4975>, [aycortina@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:aycortina@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>2</sup> PhD. en Física, Universidad del Atlántico, Grupo de Instrumentación y metrología (GIM), Barranquilla-Colombia. <https://orcid.org/0009-0007-9499-2248>. [andresrodriguezsalas@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:andresrodriguezsalas@mail.uniatlantico.edu.co).

<sup>3</sup> Estudiante de pregrado de física, Grupo de espectroscopia óptica y emision laser GEOEL, Universidad del Atlántico, Grupo Barranquilla. <https://orcid.org/0000-0002-9594-2206?lang=es>. [mrmontero@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:mrmontero@mail.uniatlantico.edu.co).

<sup>4</sup> M.Sc. en Seguridad Alimentaria y Nutricional, Universidad del Atlántico, Grupo de investigación GIA, Barranquilla-Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-0974-5650>. [ygarciapacheco@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:ygarciapacheco@mail.uniatlantico.edu.co)

Autor para correspondencia: [ygarciapacheco@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:ygarciapacheco@mail.uniatlantico.edu.co)

Cite this article as: A. Cortina Barraza, A. Rodríguez Salas, M. Montero Hurtado, Y. Garcia-Pacheco

“Caracterización del modo espacial de un láser  $\lambda=405$  empleado en la detección de Huanglongbing por visión artificial”, *Prospectiva*, Vol. 23 N° 1 2025

**Recibido: 02/07/2024 / Aceptado: 02/11/2024**

<http://doi.org/10.15665/rp.v23i1.3594>

### **RESUMEN**

El Huanglongbing de los cítricos es una enfermedad que ataca especialmente a los cítricos, producida generalmente por una bacteria llamada *candidatus liberibacter asiaticus* y transmitida por un vector, el *Diaphorina citri*, estos transmiten la enfermedad rápidamente lo cual causa frutos asimétricos, tamaños pequeños, defoliación en las ramas y muerte progresiva de la planta. De esta manera, la detección de esta

enfermedad se realiza habitualmente utilizando métodos químicos, como la reacción en cadena polimerasa (PCR), la cual tiene una eficiencia de detección mayor que el 95%. Sin embargo, es una prueba que necesita tratamiento de la muestra y demanda tiempo. En ese sentido, esta investigación apunta a la implementación de un sistema de visión artificial para la detección In Situ de la enfermedad. Actualmente, se ha trabajado en el diseño y la implementación de tal sistema. Consecuentemente, se presenta en este trabajo los resultados preliminares de tal estudio, que comprende la caracterización de los modos espaciales de un láser con longitud de ondas de 405 nm como fuente de luz para el mencionado sistema, en el que se estimó el beam waist del mismo, su divergencia y el factor de calidad. En síntesis, una vez realizado el estudio, es posible concluir que el láser caracterizado resulta de una calidad adecuada para el desarrollo de dispositivos basados en fluorescencia.

**Palabras Claves:** Láser, haz láser, beam waist, divergencia, factor de calidad, visión artificial, HLB.

## **ABSTRACT**

Huanglongbing of citrus fruits is a disease that especially attacks citrus fruits, generally produced by a bacteria called *Candidatus Liberibacter asiaticus* and transmitted by a vector, *Diaphorina Citri*, which transmit the disease quickly which causes asymmetrical fruits, small sizes, defoliation in the branches and progressive death of the plant. In this way, the detection of this disease is usually carried out using chemical methods, such as the polymerase chain reaction (PCR), which has a detection efficiency greater than 95%. However, it is a test that requires sample treatment and takes time. In this sense, this work aims to implement an artificial vision system for in situ detection of the disease. Currently, work has been done on the design and implementation of such a system. Consequently, this work presents the preliminary results of such a study, which includes the characterization of the spatial modes of a laser with a wavelength of 405 nm, in which its beam waist, its divergence and the factor of quality. In summary, once the study has been carried out, it is possible to conclude that the characterized laser is of adequate quality for the development of fluorescence-based devices

**Keywords:** Laser, laser beam, beam waist, divergence, quality factor, artificial vision, HLB.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El láser destaca como uno de los instrumentos más ampliamente estudiados y aplicados en la historia. Su invención se configura como una de las innovaciones más sobresalientes del siglo XX en el campo de la

## *Prospectiva, Vol. 23 N°1 2025.*

óptica y la tecnología, dado que ha desempeñado un papel crucial en una gran variedad de disciplinas, que van desde la medicina hasta la investigación científica y la comunicación [1].

El funcionamiento del láser se basa en el fenómeno de emisión estimulada descrito por Einstein en 1917 [2]. Esta teoría revolucionaria introdujo una tercera forma de interacción entre fotones y átomos, además de la absorción y emisión espontánea. Según Einstein, un fotón con energía específica puede estimular a un átomo en un nivel energético superior a descender a un nivel inferior, emitiendo un segundo fotón idéntico al primero [3]. Esta teoría sentó las bases para el desarrollo del láser, que ha impulsado avances científicos significativos. Actualmente, el láser tiene aplicaciones diversas y extendidas debido a sus ventajas únicas, como su alta coherencia y monocromaticidad [4]

Una de las más recientes aplicaciones que se le ha dado al láser, es su implementación en los sistemas de visión artificial, dadas las distintas necesidades que surgen constantemente en sectores como la Agroindustria y la agricultura, con relación a mejorar y automatizar procesos que regularmente eran ejecutados por personas como por ejemplo la detección, reconocimiento y clasificación de objetos [5]. Asimismo, también se extiende a ser usado como mecanismo de control de cultivos frente a diferentes amenazas sanitarias. Dentro de esta aplicación, el láser desempeña la función de ser el sistema de iluminación dado que ofrece ventajas como producir luz brillante y sin sombras, y comparativamente consume menos energía que las lámparas incandescentes que también son utilizadas en esta aplicación [6].

En ese orden de ideas, se presenta la problemática relacionada con el Huanglongbing o HLB, una enfermedad que ataca gravemente a los cultivos de cítricos, la cual es causada por bacterias gramnegativas del género *Candidatus Liberibacter*. Los árboles que son afectados por esta enfermedad tienen manchas moteadas en hojas, hojas más pequeñas con algunos síntomas de deficiencia de nutrientes, así como venas de color amarillo. De igual manera, se producen frutos asimétricos y muerte progresiva de las ramas [7].

Actualmente, existen diversos métodos para detectar el HLB, siendo la PCR el más efectivo, pero también el más costoso y lento en términos de entrega de resultados. Por ello, se han desarrollado alternativas ópticas precisas para optimizar el proceso de detección, como la espectroscopía por infrarrojo cercano y medio, machine learning y fluorescencia [8]. Considerando esta problemática, es factible implementar sistemas de visión artificial basados en fluorescencia para detectar la enfermedad. Sin embargo, es crucial caracterizar los parámetros involucrados en la construcción del equipo. En este estudio, se plantea la caracterización del modo espacial de un láser de 405 nm, incluyendo el diámetro del haz ( $w_0$ ), el factor de calidad ( $M^2$ ) y la divergencia ( $\theta$ ). Esto permitirá evaluar la viabilidad de su aplicación en la construcción de un sistema de visión artificial para la detección de HLB.

## 2. MARCO TEÓRICO

Como aspecto general, se debe tener en cuenta que teóricamente los láseres se caracterizan por manifestar un perfil gaussiano [9], y en relación a los parámetros de interés en un láser, se han documentado diversas técnicas para medir los mismos, en haces láser multimodo [10], de igual manera se ha desarrollado una norma ISO que establece las pautas para llevar a cabo estas mediciones, dicha norma es la ISO 11146 [11, 12]. Con relación a la teoría de propagación del haz láser gaussiano, hay que mencionar que se existen distintos enfoques como las matrices ABCD que permiten que estos haces se propaguen a través de sistemas ópticos [13]. Por otra parte, recientemente, se ha ampliado la descripción de los haces gaussianos para incluir la propagación de haces láser multimodo o reales. Este avance es de gran importancia, dado que todos los rayos láser se desvían en cierta medida de este idealizado rayo gaussiano [14]. La relación que describe la propagación del tamaño del punto del haz real está dada por:

$$W(z) = W_0 \sqrt{1 + \left(\frac{M^2 \lambda}{\pi W_0^2}\right)^2 (z - z_0)^2} \quad (1)$$

donde  $W(z)$  es el radio real del haz en una posición  $z$  a lo largo del eje óptico del haz,  $W_0$  es la cintura real del haz,  $M^2$  es el factor de calidad del haz y  $z_0$  es la posición del radio de cintura mínimo del haz con respecto a una posición de referencia. En la formulación de la teoría de la propagación del haz real, se ha asumido la existencia de un haz gaussiano ideal dentro del haz real que se propaga de manera coaxial [9-10-12]. Por lo tanto, en el caso del haz real, tanto el diámetro mínimo de la cintura del haz ( $W_0$ ) como la divergencia del ángulo medio de campo lejano ( $\Theta$ ) se desvían de los valores ideales de los parámetros gaussianos como:

$$\begin{aligned} W_0 &= M w_0 \\ \Theta &= M \theta \end{aligned} \quad (2)$$

donde  $w_0$  y  $\theta$  son respectivamente el radio mínimo de la cintura ideal del haz gaussiano incrustado y la mitad del ángulo de divergencia. Definido en término de los parámetros medidos:

$$\theta = \sqrt{\frac{W_1^2 - W_0^2}{(z - z_0)^2}} \quad (3)$$

Con tales parámetros es posible demostrar que el rango de Rayleigh del haz  $Z_R$  (definido como la región cercana a la cintura del haz donde el área del haz aumenta en un factor de 2 veces el área mínima de la cintura del haz) está dada por:

$$Z_R = \frac{W_0}{\theta} = \frac{w_0}{\theta} \quad (4)$$

## *Prospectiva, Vol. 23 N°1 2025.*

Con tal información en mano, es posible predecir el diámetro del haz láser en cualquier punto a lo largo del eje óptico del haz, además de que puede utilizarse para determinar las propiedades de salida del sistema láser [11-13-14]. Para una lente de un solo elemento, la propagación hacia atrás del haz real a través de la lente da la posición de cintura del haz  $S_1$  desde la cintura que produce esta produce, como:

$$S_1 = f + \frac{f^2(z_0 - f)}{(z_0 - f)^2 + z_R^2} \quad (5)$$

donde  $f$  es la distancia focal de la lente que crea la cintura y  $z_0$ , en este caso, es la posición de la cintura mínima del haz desde la lente. Luego, el haz de Rayleigh de rango  $Z_{R1}$  que sale de la cavidad del láser es:

$$Z_{R1} = \frac{z_R f^2}{(f - z_0)^2 + z_R^2} \quad (6)$$

Finalmente, se tiene que el radio del haz real  $W_1$  y la divergencia del semiángulo del haz real fuera de la cavidad del láser están dadas por:

$$W_1 = \sqrt{\frac{M^2 z_{R1} \lambda}{\pi}} \quad (7)$$
$$\theta_1 = \frac{M W_1}{z_{R1}}$$

Teniendo estas variables, se puede determinar las variables involucradas en la salida de cualquier láser.

La técnica anteriormente descrita, es bastante análoga a otros métodos opto-mecánicos con los que se mide el ancho del haz de luz; uno de estos métodos es el de la cuchilla el cual emplea un detector y diferentes tipos de obturadores. Fundamentalmente, el mecanismo consiste en mover una cuchilla o placa frente a un detector en la dirección del eje deseado para medir el ancho del haz, registrando la potencia transmitida según en función de la posición de la cuchilla. Según la norma ISO 11146, el ancho del haz puede calcularse como el doble de la distancia entre las posiciones de la cuchilla donde se detecta el 84% y el 16% de la potencia transmitida [15].

Asimismo, se tiene también el método que se desarrolla en [16], que emplea un espejo montado en un brazo giratorio que opera a 4 rpm. Este espejo dirige el haz hacia un detector piroeléctrico durante 12.5 ms, limitando la irradiancia recibida al 5%, para realizar el barrido horizontal. En cuanto al barrido vertical, el detector se ubica en un elevador que cambia de nivel cada vez que el espejo completa el muestreo de una sección horizontal. La señal recogida por el detector se acondiciona y luego se digitaliza para su procesamiento en la computadora, obteniendo así un perfil cada 10 segundos.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Montaje del equipo**

Para llevar a cabo el desarrollo experimental, se hizo la caracterización de un puntero láser comercialmente etiquetado con una longitud de onda ( $\lambda = 405$  nm), además de ello, se hizo un montaje experimental constituido por los siguientes elementos: cámara CCD, banco óptico (100 cm), filtros ND, espejos, software de medición (Newport).

Para realizar el montaje, se dispuso a un extremo del banco óptico el láser conectado a una fuente, inmediato al láser, se situó un par de espejos sobre el banco óptico con el objetivo de alinear el haz de tal manera que sea paralelo al banco. Posterior a los espejos, se hizo uso de un juego de filtros ND para atenuar el haz y no saturar la CCD o bien no deteriorar la lente de la misma. Finalmente, se ubicó la CCD sobre el banco óptico, la cual enviaría la información directamente al software Newport [17].

#### **3.2. Procedimiento de medición**

El mecanismo de medición se desarrolló partiendo de hacer incidir el láser sobre la CCD a una distancia de 10 cm desde la salida del mismo y tomando los datos en el software, donde la variable de mayor interés es el width o el ancho de haz tanto en el eje horizontal, como en el eje vertical, al 80%, al 50% y al 13,5% (Ver Tabla 1).

Luego, se repitió el mismo procedimiento haciendo mediciones progresivas de 5 cm, hasta completar los 100 cm del banco óptico, cabe mencionar además que en cada respectiva posición se realizaron un total de 40 repeticiones, valores que posteriormente fueron promediados. En principio podría parecer poco útil extender la medición a una distancia tan larga, pues con unas pocas medidas se puede proyectar el resultado, sin embargo, se realizó de esa manera con el objetivo de dar mayor rigidez experimental al procedimiento [17].

**Tabla 1. Datos de medición generados por el software (Newport) a 5 cm de la salida del haz.**

**Table 1. Measurement data generated by software (Newport) at 5 cm from the beam exit.**

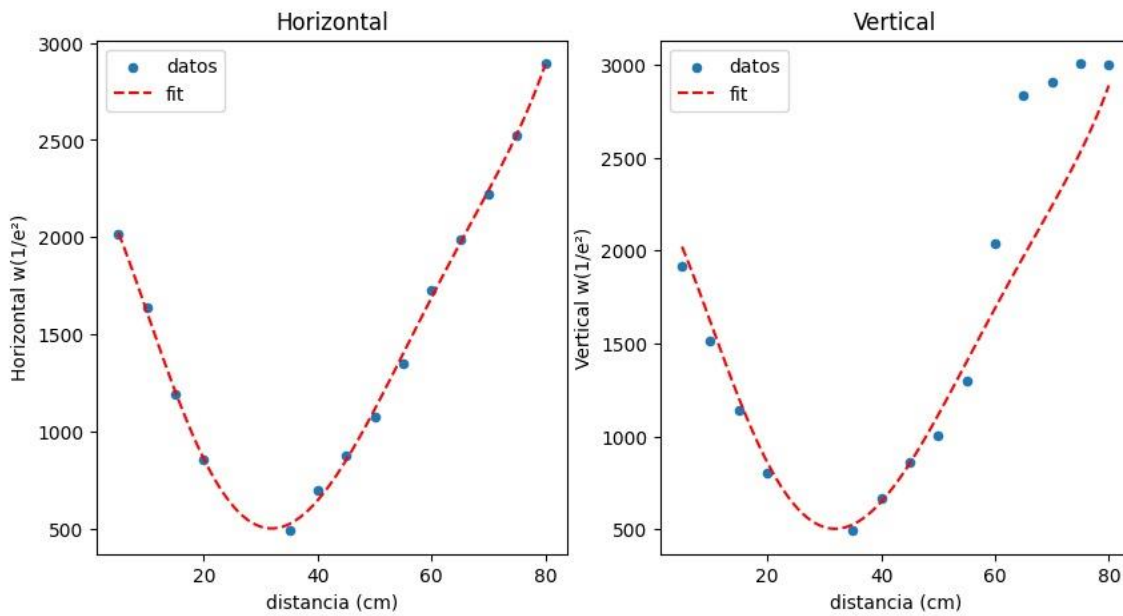
	HORIZONTAL		VERTICAL	
	BEAM	GAUSSIAN	BEAM	GAUSSIAN
Centroide (um)	1923,56		1489,39	
Beam Peak (um)	2208,57	1923,56	1593,6	1480,39
Width (um) (80,0%)	203,08	681,89	655,42	682,21
Width (um) (50,0%)	1187,95	1201,81	1278,94	1202,38
Width (um) (13,5%)	2014,52	2042,71	1918,06	2043,68
Correlation (%)	85,08		91,01	

#### 4. Resultados y discusión

Una vez tomadas las distintas medidas, tal como se describió en la sección anterior, se determinó el valor del spot del haz ( $Z_0$ ) tanto horizontal como verticalmente cuyos valores respectivos fueron de 34.1 cm y 31.8 cm, estos valores representan el radio en el que el haz alcanza su mínima área de enfoque o cintura, que se asocia a la zona donde el haz es más estrecho y tiene mayor intensidad, ello en términos de aplicaciones brinda una noción en el sentido de que permite ajustar lentes y otros elementos ópticos para optimizar el sistema en función de los requisitos específicos de cada aplicación. La diferencia en estos valores indica una cierta asimetría en el perfil del haz, con una ligera elongación en la dirección horizontal. Horizontalmente es clave mencionar también que se tuvo un Rayleigh-Jeans 8.1 cm y sobre la vertical, un Rayleigh-Jeans de 4.4 cm (Ver figura 1) [18-19]. Estos valores representan la distancia desde el spot  $Z_0$  hasta el punto donde el área del haz se duplica, lo cual nos da una idea de cómo el haz se ensancha con la distancia en ambas direcciones. Un mayor valor de Rayleigh en horizontal se relaciona con que el haz se mantiene más concentrado a lo largo de una distancia mayor en esta dirección, mientras que en vertical el ensanchamiento es más rápido.

La diferencia en las longitudes de Rayleigh y en los valores de  $Z_0$  sugiere que el láser manifiesta un perfil elíptico y no circular, es decir, se expande a ritmos distintos dependiendo de la dirección. Esto puede deberse a características intrínsecas del sistema óptico o a las propiedades del propio láser. Para aplicaciones que requieran un haz de perfil simétrico o redondeado, podría ser necesario usar óptica correctiva.

**Figura 1. Representación gráfica de la ubicación en cm del spot del haz láser.**  
**Figure 1. Graphic representation of the location in cm of the laser beam spot.**



Con el uso de los datos determinado en la figura 1. se realizó una réplica de las medidas, pero esta vez teniendo en cuenta la distancia Rayleigh-Jeans, en términos más específicos, se midió en Z0 y luego se tomaron datos a 2 y 3 Rayleigh-Jeans por encima y por debajo de la ubicación del spot [18]; con lo cual se obtuvo la siguiente información:

**Tabla 2. Medidas a 2RJ y 3RJ por encima y por debajo del spot del haz en el plano horizontal.**  
**Table 2. Measurements at 2RJ and 3RJ above and below the beam spot in the horizontal plane.**

	DISTANCIA (CM)	HORIZONTAL	VERTICAL
Z0	34,1	477,73	315,96



*Prospectiva, Vol. 23 N°1 2025.*

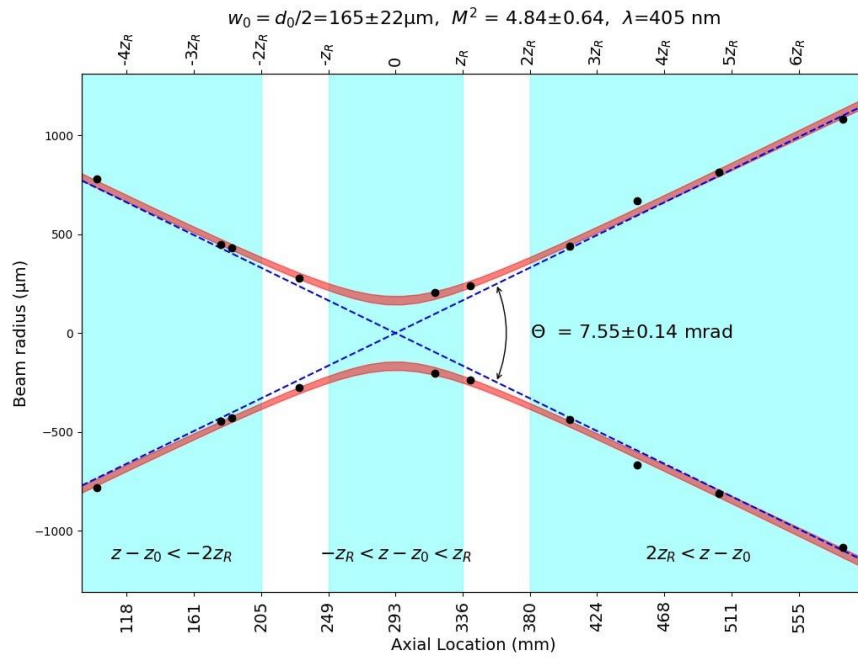
<b>Desde Z0 hacia arriba</b>	2ZR	50,3	1627,66	1358,89
	3ZR	58,4	2167,99	1917,24
<b>Desde Z0 hacia abajo</b>	2ZR	17,9	895,94	856,52
	3ZR	9,8	1561,01	1476,93

**Tabla 3. Medidas a 2RJ y 3RJ por encima y por debajo del spot del haz en el plano vertical.**  
**Table 3. Measurements at 2RJ and 3RJ above and below the beam spot in the vertical plane.**

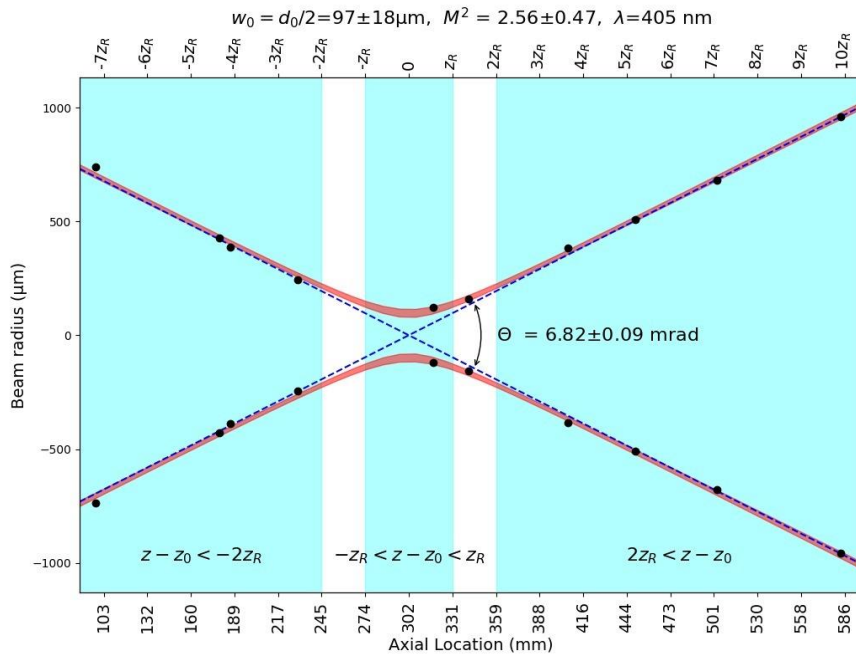
		<b>DISTANCIA (CM)</b>		
			<b>HORIZONTAL</b>	<b>VERTICAL</b>
<b>Desde Z0 hacia arriba</b>	Z0	31,8	406,34	243,41
	2ZR	40,6	874,71	767,51
	3ZR	45	1335,61	1014,81
<b>Desde Z0 hacia abajo</b>	2ZR	23	553,47	490,85
	3ZR	18,6	859,29	776,23

Una vez se obtuvo los datos presentados en las tablas 2 y 3, se implementó el modelo teórico mediante algoritmo de Python, para obtener los parámetros de interés en el estudio (beam waist), la divergencia y el factor de calidad; tanto en el semieje mayor del haz, como en el semieje menor [19]. En consecuencia, se obtuvo los parámetros de los semiejes mayor y menos, tal como se muestra en la figura 2 y 3.

**Figura 2. Parámetros de medición obtenidos para el semieje mayor.**  
**Figure 2. Measurement parameters obtained for the semimajor axis.**



**Figura 3. Parámetros de medición obtenidos en el semieje menor.**  
**Figure 3. Measurement parameters obtained in the semi-minor axis.**



Una vez realizada la caracterización, se logró determinar que el puntero laser en cuestión posee, en el semieje mayor un beam waist de  $165 \pm 22 \mu\text{m}$  y en el semieje menor un beam waist de  $97 \pm 18 \mu\text{m}$ , lo cual una vez más confirma el hecho que el haz tiene un perfil elíptico. Respecto a la divergencia se obtuvieron valores de  $7.55 \pm 0.14 \text{ mrad}$  y  $6.82 \pm 0.09 \text{ mrad}$  en el semieje menor, recordando que la divergencia indica cuánto se expande el haz a medida que se aleja del punto focal, estos resultados permiten concluir que el haz se dispersa más en la dirección del semieje mayor, lo cual puede afectar su aplicación en procesos que requieran alta precisión o que el haz mantenga su perfil sobre distancias mayores.

Aunque el método de caracterización utilizado en este estudio no es considerado uno de los más avanzados, como los descritos en [15-16], ha demostrado ser altamente eficaz al proporcionar resultados consistentes relacionados con los factores críticos de interés. Esto sugiere que, con un enfoque adecuado y precauciones necesarias, se pueden obtener resultados significativos. Además, la longitud de onda del láser (405 nm) se encuentra en la región del azul, coincidiendo con la región de absorción de la clorofila [20]. Esta coincidencia es crucial, ya que sugiere que el láser puede excitar eficientemente la fluorescencia en hojas de cítricos afectadas por HLB.

Este hallazgo valida la elección del láser para el desarrollo del prototipo y establece una base sólida para su uso en la detección de esta enfermedad. Además, la determinación del valor del spot permite optimizar la

## *Prospectiva, Vol. 23 N°1 2025.*

posición de la lente para el estudio de hojas potencialmente infectadas con HLB, lo que conduce a una mejor distribución de la luz sobre la muestra de interés.

Finalmente, se determinó que el láser posee un factor de calidad de  $4.84 \pm 0.64$  en el eje horizontal y sobre el eje vertical de  $2.56 \pm 0.47$ . Los valores relativamente altos en ambos ejes, especialmente en el semieje mayor, indican que el haz tiene una mayor dispersión y se aleja del comportamiento ideal de un modo fundamental.

### **5. CONCLUSIONES**

Teniendo en cuenta los resultados del estudio, es conveniente mencionar que respecto al valor del factor de calidad de un láser, un valor de  $M^2$  igual o cercano a 1 indica un haz láser perfecto, mientras que valores mayores indican una desviación de la forma de haz ideal, y en vista de que los valores de  $M^2$  obtenidos en este caso son relativamente lejanos a 1, se puede establecer que el láser caracterizado posee un factor de calidad no muy óptimo, lo cual entre otros factores, se le puede atribuir principalmente a aberraciones en la lente misma del láser, sin embargo, este hecho no es sumamente relevante a la hora de desarrollar un sistema de visión artificial, por lo cual, el láser caracterizado se considera como un elemento adecuado para llevar a cabo la aplicación mencionada orientada específicamente hacia la identificación de HLB.

### **REFERENCIAS.**

- [1] M. A. Cruz Pérez, M. A. Pozo Vinuesa, A. F. Andino Jaramillo, y A. D. Arias Parra, «Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como forma investigativa interdisciplinaria con un enfoque intercultural para el proceso de formación de los estudiantes», e-Ciencias de la Información, vol. 9, n.º 1, nov. 2018.
- [2] Eugene Hecht Zajac, Los Mágicos - Óptica 4ta Edición (2003) ISBN: 9780133977226.
- [3] Sánchez, N. (2017). Diseño, construcción y caracterización de un perfilómetro de haz láser.
- [4] Banús Gassol, J. M. (2008). Física del láser. Archivos Españoles de Urología (Ed. impresa), 61(9), 961-964.
- [5] Viera, G. (2017). Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del cacao.
- [6] Castro, J. (2017). Diseño de un sistema de visión artificial de bajo coste para el control fitosanitario de cultivos de Lulo.
- [7] Berger, J. (2019). Identificación de síntomas de Huanglongbing en hojas de cítricos mediante técnicas de deep learning. Electronic Journal of SADIO.
- [8] Garza-Saldaña, J. (2017). Métodos para la detección presuntiva de Huanglongbing (HLB) en cítricos. CienciaUAT, 93-104.

*Prospectiva, Vol. 23 N°1 2025.*

- [9] Naranjo, L. D. M. (2013). Estimación de incertidumbre en la medición del ángulo de divergencia de un haz láser gaussiano con base en la norma ISO/TR 11146-3: 2004. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 23(1), 43-59.
- [10] Wright, D. (1992). Beamwidths of a diffracted laser using four proposed methods. *Optical and Quantum Electronics*, 1129-1135.
- [11] Wright, D., & Guggenheimer, S. (1992). Status of ISO/TC 172/SC9/WG1 on Standardization of the International Organization for standardization. (2004) ISO/TR 11146-3 Laser and Lasers equipment -Test methods for laser widths, divergence, angles and beam propagation ratios – Part 3: Intrinsic and geometrical laser beam classification, propagation and details of test methods. Ginebra, Suiza
- [12] Guenther, R. (1990). *Modern Optics*. John Wiley & Sons.
- [13] Reicher, D. (1995). Laser beam characterization results for a high-power cw Nd: YAG laser. *Beam Control, Diagnostics, Standards, and Propagation*, 162-171.
- [14] Cohen D, Little B; Luecke F. Techniques for measuring 1- $\mu$ m diam Gaussian beams. *Appl. Optics* 1988; 23 (4), 837.
- [15] López, R., & Villagómez, R. (2014). *Analizador de perfil para láseres de CO 2. Puerto Vallarta, Mexico: SOMI XXIX.*
- [16] Evelyn Alicia Ruales Davila et al. Diseño, construcción y automatización de un espectrofluorímetro aplicación en el análisis de riboflavina en multivitamínicos. B.S. thesis, Quito, 2015.
- [17] Sindhuja Sankaran, Joe Mari Maja, Sherrie Buchanon, and Reza Ehsani. Huanglongbing (citrus greening) detection using visible, near infrared and thermal imaging techniques. *Sensors*, 13(2):2117–2130, 2013.
- [18] Rodríguez-López, Edgar Saúl, González-Prieto, Juan Manuel, & Mayek-Pérez, Netzahualcoyotl. (2009). La Infección de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en Aguacatero (*Persea americana* Mill.): Aspectos Bioquímicos y Genéticos. *Revista mexicana de fitopatología*, 27(1), 53-63. Recuperado en 18 de junio de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092009000100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092009000100007&lng=es&tlng=es).
- [19] Amaya Vesga, Á. A., Gómez Tarazona, R. A., Mendoza Castellanos, Y. R., & Carvajal Grimaldos, A. C. (2022). Experimentos en el aula para la demostración de los fenómenos de fluorescencia, fosforescencia y quimioluminiscencia. *Educación química*, 33(4), 156-168.