

## Efecto de densidades de población sobre crecimiento y rendimiento de hule en Veracruz

Elías Ortiz-Cervantes<sup>1§</sup>

José Miguel Hernández-Cruz<sup>2</sup>

Georgel Moctezuma-López<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental El Palmar-INIFAP. Carretera Tezonapa-El Palmar km 16, Tezonapa, Veracruz, México. CP. 95080. <sup>2</sup>Campo Experimental Huimanguillo-INIFAP. Carretera Huimanguillo-Cárdenas km 1, Huimanguillo, Tabasco, México. CP. 86400. (hernandez.josemiguel@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>CENID-COMEF-INIFAP. Av. Progreso núm. 5, colonia Barrio de Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México, México. CP. 04010. (moctezuma.georgel@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: ortiz.elias@inifap.gob.mx.

### Resumen

En México, el rendimiento promedio anual de hule (*Hevea brasiliensis* [Willd. ex A. Juss] Muell. Arg.) es inferior a 1.2 t ha<sup>-1</sup>, mediante la optimización de la densidad de población se busca aumentar el rendimiento y productividad. El trabajo se realizó en la región central del estado de Veracruz. Se evaluaron los arreglos de plantación 4x2, 6x3 (testigo), 8x4 y 10x5 m, con densidades de 1 250, 556, 312 y 200 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones y 40 árboles del clon IAN-754 por unidad experimental. Las principales variables evaluadas fueron circunferencia del tallo, rendimiento de hule y rendimiento de biomasa. Al séptimo año, se obtuvo que a mayor densidad menor porcentaje de árboles aptos para extraer látex (circunferencia del tallo >45 cm). La circunferencia del tallo al final del periodo osciló entre 67 y 120 cm, a mayor densidad hubo menor crecimiento y mayor cantidad de árboles suprimidos. A mayor densidad se obtuvo menor rendimiento en gramos por árbol por pica de hule, pero mayor rendimiento en kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con una oscilación entre 960 y 2 040 kg. La biomasa total por árbol osciló entre 223 y 924 kg y la biomasa total por hectárea entre 158 y 240 t ha<sup>-1</sup>. Además, con densidades de población más altas el rendimiento de hule fue mayor y con 556 árboles se logró mejor balance.

**Palabras clave:** arreglos de plantación, biomasa, látex, productividad.

Recibido: agosto de 2022

Aceptado: octubre de 2022

## Introducción

La demanda mundial de hule es de 28.33 millones de toneladas anuales, se utiliza 62% de la materia prima en la industria automotriz y 38% en otros usos industriales (guantes, pegamentos, globos, etc). El 48% del hule consumido en el mundo es natural y 52% sintético. El árbol del hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) es la principal fuente de hule natural en el mundo, la producción mundial durante 2019 fue de 13.82 millones de toneladas, de las cuales 91% se produjo en países asiáticos, 6% en africanos y 3% en americanos [Association of Natural Rubber Producing Countries (ANRPC), 2020].

Tradicionalmente, el hule natural ocupa una posición importante en la economía de las regiones tropicales, no solo como producto importante para exportación, sino también como generador de empleos y fuente de ingresos para millones de agricultores, la mayoría con bajos ingresos y unidades de producción pequeñas (Senevirathna *et al.*, 2010). La demanda de hule natural de la industria en México es de aproximadamente 120 000 t anuales, se cultiva una superficie aproximada de 30 000 hectáreas, de las cuales 70% se encuentran en producción, con rendimiento promedio de 1 200 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, por lo que la producción nacional es de alrededor de 25 200 t anuales, que abastecen 20% de la demanda y se recurre a la importación de más de 100 000 t anuales, con valor de 160 millones de dólares, con la consecuente fuga de divisas (SIAP, 2019).

Se tiene alto potencial agroecológico en más de 350 000 ha de la región sur sureste, con las cuales el país lograría su autosuficiencia y podría convertirse en exportador (Ramírez-Jaramillo *et al.*, 2018). Hay una contribución importante del sector de pequeños productores, aunque se ven afectados por la baja productividad, en gran medida debido al tamaño de la unidad de explotación, clones poco productivos, baja adopción de tecnología, falta de capital e inestabilidad del precio. Por lo anterior, se busca desarrollar componentes que coadyuven al aumento de la productividad de la tierra y un enfoque de optimización de la densidad de población (Qi *et al.*, 2016).

La densidad de plantación depende principalmente de las propiedades del suelo y la disponibilidad de agua, luz y nutrimentos (Obouayeba *et al.*, 2005; Verheye, 2010). En el óptimo agronómico, las plantas capturan y utilizan los elementos para el crecimiento de manera eficiente, proporcionando el mayor rendimiento por unidad de superficie (Rodrigo, 2007; Ballo *et al.*, 2019). El arreglo de plantación es importante para determinar su densidad óptima; por conveniencia en el manejo, se planta en hileras y la distancia entre árboles dentro de las hileras es menor (Rodrigo *et al.*, 2004).

Normalmente los árboles de hule empiezan a competir entre ellos al cuarto año de la plantación, cuando las copas de los árboles individuales se entremezclan formando una copa cerrada (Obouayeba *et al.*, 2005). Las altas densidades de población tienen la ventaja de mayor producción de materia seca por unidad de superficie durante los primeros años de crecimiento (Silva, 2007; Dey y Datta, 2013), los árboles tardan más tiempo en alcanzar los parámetros para la extracción comercial de látex, el número absoluto de árboles en pica aumenta y el porcentaje de árboles en pica es menor (Ng *et al.*, 1993; Rodrigo, 2007; Silva, 2007).

Las altas densidades inducen fuerte competencia entre árboles que pueden ocasionar su reducción en producción de biomasa y rendimiento (Radtke *et al.*, 2003; Obouayeba *et al.*, 2005; Dey y Datta, 2013). La densidad óptima debe considerar el mejor balance entre rendimiento por árbol y rendimiento de la mano de obra, de tal manera que se obtenga la máxima productividad

(Obouayeba *et al.*, 2005; Pathiratna and Perera, 2006; Rodrigo, 2007). Las altas densidades de plantación dan altos rendimientos por hectárea, pero bajos rendimientos por árbol y baja eficiencia de los picadores al inicio de la explotación de las plantaciones (Ng *et al.*, 1993; Verheye, 2010).

En México, la recomendación de arreglos de plantación es de 6 m entre hileras y 3 m entre plantas, con una densidad de 556 plantas ha<sup>-1</sup>, independientemente del clon (Picón *et al.*, 1997). Las densidades y arreglos de plantación influyen sobre algunas características secundarias; según Rodrigo (2007), las densidades más altas resisten los vientos fuertes de manera más efectiva, lo que favorece mayor número de árboles en pica durante la vida productiva (Roy *et al.*, 2005; Rodrigo, 2007; Dey y Datta, 2013; Qi, *et al.*, 2016).

En cuanto a volumen total de madera por hectárea es mayor en altas densidades de plantación, pero el volumen del tronco es menor, presenta mayor altura de ramificación, menor ramificación y menor diámetro de copa (Ng *et al.*, 1993; Dey y Datta, 2013; Sulaiman, 2015). Para obtener densidades de plantación adecuadas, bajo diferentes condiciones agroclimáticas y de manejo, deben realizarse ensayos de investigación adaptativa y tener en cuenta los factores sociales. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar la influencia del arreglo y las densidades de plantación con el clon IAN-754 sobre el crecimiento, rendimiento y productividad de las plantaciones de hule en la región central de Veracruz.

## **Materiales y métodos**

### **Localización**

El trabajo se desarrolló en el Campo Experimental El Palmar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el municipio de Tezonapa, Veracruz, México, ubicado a los 18° 30' 56" latitud norte y 96° 45' 32" longitud oeste. La región presenta precipitación media anual de 2 800 mm y temperatura media anual de 26 °C. La mayor precipitación se presenta de julio a octubre. Los suelos predominantes son Fluvisoles profundos, con textura arcillosa y pH moderadamente ácido (Monroy *et al.*, 2006).

### **Material vegetativo, diseño experimental y tratamientos**

El experimento se estableció en septiembre de 1982 con material vegetativo del clon IAN-754, que es de rápido crecimiento, lenta actividad metabólica, alto rendimiento y tolerante a enfermedades foliares (Picón *et al.*, 1997). Se evaluaron cuatro arreglos de plantación 4x2, 6x3 (testigo), 8x4 y 10x5 m, con densidades de población de 1 250 (D1250), 556 (D556), 312 (D312) y 200 (D200) árboles por hectárea, respectivamente, bajo un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones y 40 árboles por unidad experimental (UE).

### **Variables evaluadas**

Circunferencia del tallo (CT). Se midió semestralmente, a la altura de 1.3 m de la unión injerto-patrón en junio y diciembre, considerando tres periodos: pre productivo (1° al 7° año), productivo joven (8° al 15° año) y productivo maduro (16° al 22° año). Con esta información se estimó el incremento anual en circunferencia del tallo, para cada etapa.

Número y porcentaje de árboles en pica. Con los datos de circunferencia del tallo obtenida a los siete años de la plantación, se obtuvo el porcentaje de árboles en pica (NAP%) y con esos datos se estimó el número de árboles en pica por hectárea (NAPH). Se consideró que los árboles estaban aptos para la pica cuando alcanzaron una  $CT > 45$  cm a la altura de 1.3 m. Asimismo, se obtuvo el NAPH a los 7, 10, 14, 16 y 21 años de la plantación.

Rendimiento. La pica o sangrado de los árboles inició a los siete años de la plantación (septiembre de 1989), la apertura de los paneles se realizó a 1.2 m de la unión injerto-patrón. El sistema de pica fue semi espiral descendente con picas en día alterno (S2 d2 6d/7), sin estimulación. La producción se evaluó en un periodo de 16 años (1989-2003), durante los cuales se consumieron dos paneles vírgenes, B01 y B02 (4 y 5 años, respectivamente) y dos paneles regenerados, B11 y B12 (5 y 3 años, respectivamente). Los árboles se picaron entre las 6:00 y 9:00 h y el látex se coaguló entre las 10:00 y 11:00 h, mediante la adición de ácido acético al 5%. Después de mezclar bien, se dejó el coágulo en la tasa por 24 h.

Al día siguiente los coágulos se insertaron en un alambre y se colgaron al árbol a la intemperie y permanecieron hasta el fin de cada mes. Al cumplir el mes, los coágulos se colectaron y se registró la producción ( $\text{g árbol}^{-1}$ ). Para determinar el peso seco de cada repetición, se tomaron muestras de hule para cada densidad, se colocaron en una estufa de secado a  $65^\circ\text{C}$ , por 24 h y se pesó el hule seco. Los coágulos secos obtenidos durante la pica se registraron mensualmente por árbol durante todo el año, se sumaron para obtener gramos árbol<sup>-1</sup> (GA), para cada densidad, la suma total de la producción por árbol se dividió entre el número total de picas, para obtener la producción en gramos por árbol por pica (GAP). El rendimiento en  $\text{kg ha}^{-1}$  (KH), para las densidades de plantación, se determinó a partir del rendimiento en GAP, mediante la relación:  $\text{KH} = (\text{GAP} \times \text{NP} \times \text{NAPH}) / 1000$ . Donde: GAP= gramos por árbol por pica promedio; NP= Número de picas realizadas en el año; y NAPH= número de árboles en pica por hectárea.

Rendimiento de biomasa. Se usaron los datos de CT a los 22 años de la plantación, transformándolos a diámetro (D). La altura de planta (H) se estimó a partir del diámetro, mediante la ecuación obtenida por Monroy *et al.* (2006):  $H = \exp(-0.72) + (1.642 * \log D) + (-0.16375 * \log D^2)$ . La biomasa de ramas (BR), biomasa de tallos (BTA) y Biomasa total (BTT) se obtuvieron mediante las ecuaciones obtenidas por Brahma *et al.* (2017):  $\text{BR} = \exp(-2.76 + 2.03 (\ln D)) * 1.2$ ;  $\text{BTA} = (\exp(-4.57 + 1.05 (\ln D^2 H))) \times 1.03$  y  $\text{BTT} = (\exp(-2.84 + 0.9 (\ln D^2 H))) \times 1.02$ , respectivamente.

### Procesamiento de datos y análisis estadístico

La información obtenida en campo se capturó en el programa Microsoft Excel y posteriormente se analizó mediante el uso del paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2009). Se realizaron análisis de varianza (Anova), pruebas de comparación múltiple de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) y análisis de regresión.

## Resultados y discusión

### Circunferencia del tallo (CT)

Durante los 3.2 años, no hubo diferencias ( $p > 0.05$ ) entre densidades para CT; durante esta etapa la luz no fue un factor limitante en altas densidades, como reportan Obouayeba *et al.* (2005); Verheyne (2010) y la competencia de ese factor inicia cuando las copas de los árboles se cierran. A siete años de la plantación, los Anova mostraron diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ) entre densidades, las pruebas de medias mostraron que las menores densidades, D200 y D312, favorecieron mayor crecimiento en CT, con 59.95 y 56.17 cm, respectivamente ( $p < 0.0001$ ), mientras que las mayores densidades, D1250 y D556, tuvieron menores crecimientos en CT, con 43.58 y 51.83 cm, respectivamente ( $p < 0.0001$ ) (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Circunferencia del tallo (CT) a los 3.2 y 7 años, incremento anual en circunferencia del tallo (ICT) hasta los 7 años y porcentaje de árboles con CT >45 cm al séptimo año.**

Densidad de plantación	CT		ICT	Arboles por hectárea <sup>3</sup> (%) con CT > 45	<sup>4</sup> R
	3.2 años	7 años	1° al 7° año		
D1200	21.11 a	43.58 d	6.38 d	42.5 (531) b	4
D556	21.41 a	51.83 c	7.44 c	77.5 (431) a	3
D312	22.48 a	56.17 b	7.88 b	83.13 (259) a	2
D200	22.48 a	59.95 a	8.57 a	85 (170) a	1
Media	21.87	52.69	7.57	72.03	
CM(ERR)	1.96	75.64	0.0429	42.4	
GL(ERR)	9	599	9	9	
CV	6.4	16.5	2.739174	9.04	
PR> F	0.4187	<0.0001	<0.0001	<0.0001	

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencias significativas. Los números entre paréntesis indican el número de árboles sobrevivientes por hectárea por densidad de plantación. <sup>3</sup>= datos en %, transformados mediante Arsin (SQRT(X)); <sup>4</sup>= ranking de las medias de tratamientos.

Las menores densidades, D200 y D312, presentaron un incremento en circunferencia del tallo promedio anual de 8.57 y 7.88 cm, respectivamente ( $p < 0.0001$ ), mientras que las mayores densidades (D1250 y D556), presentaron 7.44 y 6.38 cm por año ( $p < 0.0001$ ). Lo anterior muestra que las mayores densidades inducen árboles con menor incremento anual en CT, de acuerdo con lo reportado por Dey y Datta (2013), respecto al incremento de la densidad de plantación induce reducción en la circunferencia del tallo y con la misma tendencia a través de los años (Cuadro 1).

Para número de árboles aptos para pica al séptimo año (CT > 45), hubo diferencias significativas entre densidades ( $p < 0.0001$ ). La mayor densidad (D1250) presentó 42.48% de árboles aptos, que corresponde a 531 árboles ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1). Las densidades D556, D312 y D200 presentaron 77.51 (431 árboles), 83.14 (259 árboles) y 85% (170 árboles) de árboles aptos, sin diferencias significativas entre sí ( $p > 0.05$ ). De acuerdo con lo anterior, las altas densidades de plantación favorecen que tarden más años para iniciar su explotación, contribuyendo al prolongado periodo pre productivo, que coincide con lo reportado por Ng *et al.* (1993); Rodrigo (2007); Silva (2007), que indican que altas densidades los árboles tardan más tiempo en alcanzar un tamaño explotable, el número absoluto de árboles en pica es elevado, pero el porcentaje es menor (Cuadro 1).

Respecto al crecimiento en CT, después de los siete años de la plantación, el Anova mostró diferencias altamente significativas entre densidades ( $p < 0.0001$ ), las pruebas de medias indican que durante todo el periodo de evaluación hubo diferencias en crecimiento en CT, siempre las mayores densidades de plantación presentaron los menores crecimientos (Cuadro 2). Al final, las menores densidades de población, D200 y D312, presentaron mayor CT, con 120 y 98.93 cm de circunferencia, respectivamente; mientras que los menores crecimientos los presentaron las mayores densidades (D1250 y D556), con 66.85 y 88.4 cm, respectivamente.

**Cuadro 2. Circunferencia del tallo a los 10, 14, 16 y 21 años de plantación, incremento en circunferencia promedio anual (ICT) del 8° al 15° año e ICT del 16° al 21° año en cuatro densidades de plantación.**

Densidad de plantación	Circunferencia del tallo (CT)				ICT promedio		<sup>2</sup> R
	10 años	14 años	16 años	21 años	8° al 15° año	16° al 21° año	
D1250	52.4 d	61.43 d	62.4 d	66.85 d	2.08 d	1.43 c	4
D556	64.47 c	74.57 c	77.77 c	88.4 c	3.13 c	1.96 b	3
D312	71.17 b	83.84 b	87.81 b	98.93 b	3.98 b	2.08 b	2
D200	80.03 a	98.13 a	105.49 a	120.15 a	5.67 a	2.73 a	1
Media	66.6	79.44	83.17	92.58	3.72	2.05	
CM(ERR)	115.21	162.03	207.47	304.58	0.1157	0.0627	
GL(ERR)	594	573	578	588	9	9	
CV	16.11	16.02	17.31	18.85	9.16	12.22	
PR > F	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencias estadísticas. <sup>2</sup>= ranking de medias.

Los resultados obtenidos están conforme a lo reportado por Silva (2007); Rodrigo (2007); Dey y Datta (2013), en donde indican que durante los primeros años de crecimiento las altas densidades de población favorecen una mayor producción de materia seca por unidad de superficie y consecuentemente mayor crecimiento en circunferencia del tallo de los árboles. Del 8° a 15° año, las densidades D200 y D312 presentaron los mayores incrementos promedio anual en CT, con 5.67 y 3.98 cm, respectivamente ( $p < 0.0001$ ), en comparación con las densidades D1250 y D556, que tuvieron promedios de 2.08 y 3.13 cm ( $p < 0.0001$ ), respectivamente (Cuadro 2).

Del 16° al 21° año, los mayores incrementos en CT se obtuvieron en las menores densidades (D200 y D312), con 2.74 y 2.08 cm anuales, respectivamente ( $p < 0.0001$ ); mientras que las mayores densidades, D1250 y D500, presentaron los menores incrementos promedio con 1.43 y 1.96 cm, respectivamente ( $p < 0.0001$ ) (Cuadro 2). De acuerdo con Dey y Datta (2013), la CT incrementa con la edad de los árboles y la diferencia en CT entre densidades se mantiene a través de los años, dichos resultados coinciden con los obtenidos en este trabajo.

### Número de árboles en pica por hectárea

Para el número de árboles en pica promedio a los 7, 10, 14, 16 y 21 años de la plantación, el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre densidades durante todo el periodo de evaluación (Cuadro 3). La densidad D1250, presentó el mayor número promedio de árboles en pica, aunque los porcentajes respecto a la densidad inicial variaron entre 38% (475 árboles) en el séptimo año y 84% (1 072 árboles) al 22° año.

**Cuadro 3. Número de árboles en pica por hectárea a los 7, 10, 14, 16 y 21 años de plantación en cuatro arreglos de plantación de hule (*Hevea brasiliensis*) en la región central de Veracruz.**

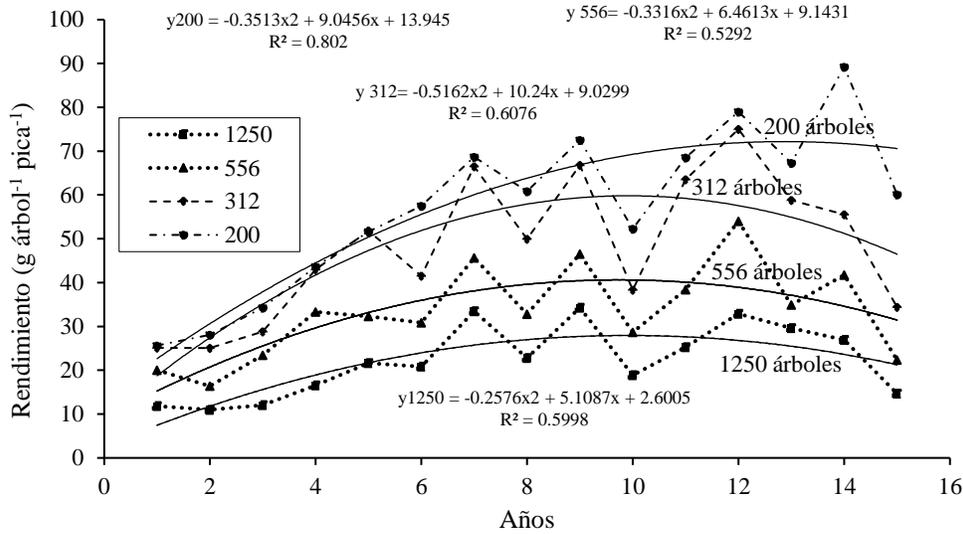
Arreglo de plantación	Número de árboles en pica (NAPH)				
	7 años <sup>1</sup>	10 años	14 años	16 años	21 años
4x2 m	4475 (38%) <sup>2</sup> a	1 047 (84%) a	1 054 (84%) a	1 031 (82%) a	1 072 (84%) a
6x3 m	3372 (67%) ab	525 (94%) b	542 (97%) b	537 (97%) b	539 (97%) b
8x4 m	2234 (75%) bc	287 (92%) c	282 (90%) c	284 (91%) c	282 (90%) c
10x5 m	1154 (77%) c	188 (94%) c	174 (87%) d	174 (87%) d	166 (83%) d
Media	308.17	511.31	512.58	506.6	514.68
CM(ERR)	8607	4045	3540	3732	4466
GL(ERR)	9	9	9	9	9
CV	30.10	12.44	11.61	12.06	12.98
PR> F	0.0039	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

<sup>1</sup>= medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencias significativas; <sup>2</sup>= los valores entre paréntesis son el porcentaje de árboles aptos para la pica (NAP%).

La densidad D556, inició su explotación con 67% de árboles aptos (372 árboles), pero a los 10 años de la plantación llegó al 94% (525 árboles) y se incrementó al 97% (542 árboles) en los últimos años de evaluación. La menor densidad (D200), inició su explotación con 77% de árboles aptos (154 árboles), a los 10 años se incrementó al 94% (188 árboles), pero en los años subsecuentes disminuyó hasta 83% (166 árboles). Lo anterior, concuerda con los reportado por Ng *et al.* (1993); Rodrigo (2007); Silva (2007), que indican que al séptimo año las mayores densidades presentan el menor porcentaje de árboles aptos para la pica, aunque el número absoluto de árboles en pica es mayor (Cuadro 3).

## Rendimiento

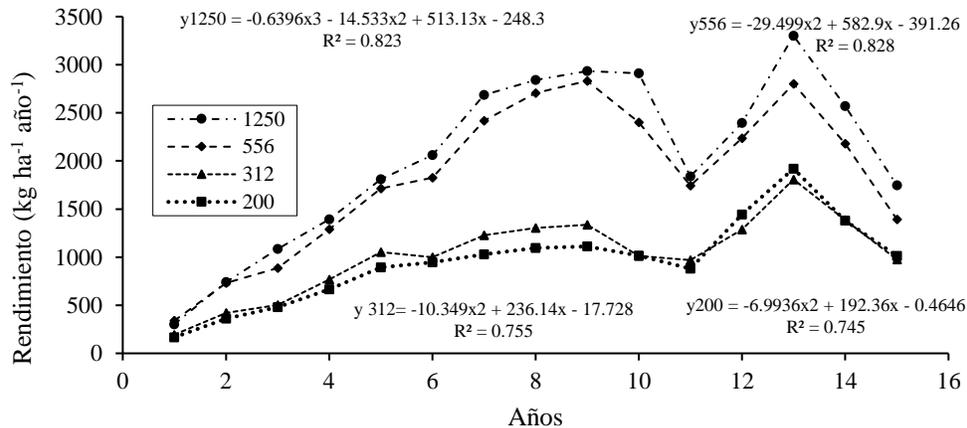
El rendimiento de hule seco en gramos por árbol por pica (GA) evaluado durante 16 años, presentó diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre densidades (Figura 1). Las altas densidades de plantación indujeron fuerte competencia entre árboles, que favoreció bajo rendimiento por árbol y baja eficiencia de la mano de obra (picadores), sobre todo al inicio de la explotación de las plantaciones, resultados que coinciden con lo reportado por Ng *et al.* (1993); Verheye (2010). Las densidades más bajas (D200 y D312), presentaron mayor rendimiento promedio, con 67.21 y 51.61 gramos por árbol por pica, respectivamente; que corresponde a un promedio anual de 6.72 y 5.16 kg por árbol, respectivamente. Las densidades D1250 y D556, tuvieron menor rendimiento con 23.63 y 35.82 gramos, respectivamente, equivalentes a un promedio anual de 2.36 y 3.58 kg por árbol, respectivamente. De acuerdo con Dey y Datta (2013), el rendimiento por árbol por pica está negativamente influenciado por el incremento en la densidad de población, que coincide con los resultados obtenidos, en la Figura 1 se presentan los rendimientos y ecuaciones de ajuste de las densidades.



**Figura 1. Rendimiento en gramos por árbol por pica para cuatro densidades de población en hule (*Hevea brasiliensis*) en la región central del estado de Veracruz.**

El rendimiento de hule en kilogramos por hectárea anual (KHA) durante el periodo de 16 años, presentó diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre densidades (Figura 2). Las densidades D1250, D556, D312 y D200, presentaron rendimientos promedio de 2 040, 1 940, 1 016 y 960 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente ( $p < 0.0001$ ).

El rendimiento acumulado de hule seco por hectárea (KH) durante el periodo mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ) entre densidades. A mayor densidad se obtuvo mayor cantidad de árboles en pica y mayor rendimiento de hule seco por unidad de superficie, que coincide con lo reportado por Qi, *et al.* (2016). Las densidades D1250 y D556 presentaron rendimiento acumulado de todo el periodo de 30.62 y 27.17 t de hule seco, respectivamente, con diferencias significativas entre ellas ( $p < 0.0001$ ), mientras que las densidades D200 y D312, produjeron rendimiento de 14.4 y 15.24 t de hule seco, respectivamente ( $p < 0.0001$ ). De acuerdo con los resultados, el rendimiento por hectárea anual y el rendimiento acumulado por hectárea fue superior a mayor densidad, que está conforme con lo reportado por Dey y Datta (2013). En la Figura 2 se presentan los rendimientos y ecuaciones de ajuste de las densidades.



**Figura 2. Rendimiento kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de cuatro densidades de población en hule en Tezonapa, Veracruz.**

## Rendimiento de biomasa

Para diámetro del tallo (DT) y altura de planta (AP) a los 21 años, el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p > 0.0001$ ) entre densidades. A menor densidad (D200) los árboles presentaron mayor DT y AP, por lo tanto, mayor volumen individual de biomasa, aunque el volumen total por hectárea fue menor comparado con las mayores densidades (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Volumen de biomasa por árbol y por hectárea de cuatro arreglos de plantación en hule.**

Densidad de población	Diámetro promedio (cm) <sup>1</sup>	Altura promedio (m)	Biomasa por árbol (kg)			Biomasa por hectárea (t ha <sup>-1</sup> )		
			Ramas	Tallo	Total	Ramas	Tallo	Total
1078	21.28 d	20.25 d	40.59 d	182 d	223 d	43.8 a	197 a	240 a
542	28.14 c	23.85 c	69.16 c	361 c	430 c	37.47 b	197 a	233 a
283	31.48 b	25.45 b	85.85 b	476 b	562 b	24.64 c	137 b	161 b
171	38.25 a	28.48 a	126.8 a	797 a	924 a	21.68 c	136 b	158 b
Media	29.47	24.36	78.96	442.29	521	32.4	167	200
CM(ERR)	30.86	7.41	835.3	46206	59355	228	9358	12483
GL(ERR)	588	588	588	588	588	588	588	588
CV	18.85	11.18	36.61	48.61	46.7	46.7	57.7	55.8
PR > F	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

<sup>1</sup>= medias con la misma letra para las variables en las columnas no presentan diferencias significativas.

Los resultados están conforme a lo reportado por Sulaiman (2015); Dey y Datta (2013), quienes indican que en altas densidades de plantación el volumen total de biomasa por hectárea es mayor, a pesar de que el volumen del tronco es menor, la altura de ramificación es mayor y se muestra menor ramificación y diámetro de copa. El volumen de biomasa total por árbol osciló entre 924 (D200) y 223 kg árbol<sup>-1</sup> (D1250); mientras que el volumen de biomasa por hectárea varió entre 158 (D200) y 240 t ha<sup>-1</sup> (D1250). La densidad D556, presentó el mejor balance, con 542 árboles por ha, 430 kg de biomasa por árbol y 233 t de biomasa por hectárea, que coincide con lo indicado por Silva (2007); Dey y Datta (2013), respecto a que las altas densidades presentan la ventaja de mayor producción de materia seca por unidad de superficie durante los primeros años de crecimiento, aunque una fuerte competencia entre árboles ocasiona la reducción en el rendimiento y producción de biomasa en años posteriores.

## Conclusiones

Los resultados permitirán orientar a los productores en el uso de las mejores densidades y arreglos de plantación utilizando el clon IAN-754 y otros materiales con comportamiento similar. Al término del experimento se concluye que a menor densidad de población habrá mayor crecimiento en circunferencia del tallo (120 cm), rendimiento en gramos por árbol por pica (67.21 gramos por árbol por pica) y rendimiento de biomasa por árbol (923 kg), mientras que a mayor densidad de población se obtendrá mayor rendimiento en kg ha<sup>-1</sup> (2 040 kg) y rendimiento de biomasa total por hectárea (240 t).

El mejor balance entre las variables relacionadas con el crecimiento, rendimiento de hule por hectárea y rendimiento de biomasa por hectárea se obtuvieron con 556 árboles por ha. Sin embargo, para productores de escasos recursos y pequeñas unidades de producción, en donde su principal recurso es la mano de obra, podrán recomendarse arreglos de plantación con densidades que oscilen entre 500 y 650 árboles por ha para obtener la mayor productividad de las plantaciones de hule en la región central de Veracruz.

### Literatura citada

- ANRPC. 2020. Association of Natural Rubber Producing Countries. Natural rubber trends and statistics. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Ballo, K. E.; Soumahin, F. E.; Essehi, J. L.; Kouadio, J. Y. and Obouayeba, Samuel. 2019. Effect of design and planting density on the agrophysiological parameters of clone GT1 *Hevea brasiliensis* Müell. Arg in southwestern Côte d'Ivoire. J. Appl. Biosci. 133(2019):13516-13531. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v133i1.5>.
- Brahma, B. X.; Sileshi, G.W.; Nat, A. J. and Das, A. K. 2017. Development and evaluation of robust tree biomass equations for rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantations in India. Forest Ecosyst. 4:14(1-10). Doi 10.1186/s40663-017-0101-3.
- Dey, S. K. and Datta, B. 2013. High density planting - an option for higher productivity of *Hevea brasiliensis* in northeastern region of India. J. Plantation Crops. 41(3):338-342.
- Monroy, R. C.; Aguirre, C. O. y Jiménez, P. J. 2006. Productividad maderable de *Hevea brasiliensis* Müell. Arg. en Veracruz, México. Ciencia UANL. 9(3):261-269.
- Ng, A. P. 1993. Density of planting. Planter's Bulletin. 216(2):87-99.
- Obouayeba, S.; Dian, K.; Boko, A. M. C.; Gnagne, Y. M. and Ake, S. 2005. Effect of planting density on growth and yield productivity of *Hevea brasiliensis* Müell. Arg. Clone PB 235. J. Rubb. Res. 8(4):257-270.
- Pathiratna, L. S. S. and Perera, M. K. P. 2006. Effect of plant density on bark yield of cinnamon intercropped under mature rubber. Agroforestry Systems. 68(2):123-131. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-006-9003-z>.
- Picón, R. L. E.; Ortiz, C. J. M.; Hernández, C. JM. 1997. Manual para el cultivo del hule *Hevea brasiliensis*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SADER)-CMH-INIFAP. Campo Experimental El Palmar, Tezonapa, Veracruz. 103 p.
- Qi, D. L.; Zhou, J. N.; Xie, G. S. and Wu, Z. X. 2016. Optimizing tapping-tree density of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations in South China. Small Scale For. 15(1):61-72. Doi: 10.1007/s11842-015-9308-8.
- Radtke, P. J.; Westfall, J. A. and Burkhart, H. E. 2003. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of intertree competition. For. Ecol. Manag. 178(3):17-30.
- Ramírez, J. G.; Lozano, C. M. G. y Cano, G. A. 2018. Áreas con potencial productivo para el cultivo de hule (*Hevea brasiliensis* Müell Arg.) en México. Rev. del Centro de Graduados e Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida. 33(71):44-49.
- Rodrigo, V. H. L. 2007. Ecophysiological factors underpinning productivity of *Hevea brasiliensis*. Braz. J. Plant Physiol. 19(4):245-255. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400002>.

- Rodrigo, V. H. L.; Silva, T. U. K. and Munusinghe, E. S. 2004. Improving the Spatial Arrangement of planting Rubber (*Hevea brasiliensis* Müell Arg.) for long-term intercropping. *Field Crops Res.* 89(2-3):327-335.
- Roy, S.; Choudhury, M. Eappen, T. Chakraborty, S. K. and Dey, S. K. 2005. Planting density and fertilizers on growth and early yield of rubber in Tripura. *Natural Rubber Res.* 18(1):81-86.
- Senevirathna, A. M. W. K.; Stirling, C. M.; Rodrigo, V. H. L.; Pathirana, P. D and Karunathilake, P. K. W. 2010. High density banana/rubber intercrops have no negative effects on component crops under the smallholder conditions. *J. Rubber Research Institute of Sri Lanka.* 90(1):1-17.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola por estado. <http://infosiap.siap.gob.mx/aagricolasiap-gb/icultivo/>.
- Silva, T. U. K. 2007. Effects of planting density on growth and yield of three different clones of rubber (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.). Thesis degree of Master of Philosophy in forestry. University of Sri Jayewardenepura. Sri Lanka. 142 p. Doi:10.31357/fapsmph.2007.00568.
- SAS. Statistical Analysis System. 2009. SAS. Versión 9.0. Raleigh, NC USA.
- Sulaiman, Z. 2015. Effect of high-density planting on growth and yield of Rubber (*Hevea brasiliensis*). *Recent advances in crop sciences.* 3(1):18-25.