



INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA PUDRICIÓN DEL TRONCO EN PLANTACIONES DE *GMELINA ARBOREA* (MELINA), COSTA RICA

REGION HUETAR NORTE, HUETAR
ATLANTICA Y CHOROTEGA

COLECCIÓN

Estadísticas forestales para la toma
de decisiones del manejo forestal sostenible



COSTA RICA



REGION HUETAR NORTE

CHOROTEGA



HUETAR ATLANTICA

INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA PUDRICIÓN DEL TRONCO EN PLANTACIONES DE *GMELINA ARBOREA* (MELINA), COSTA RICA

REGION HUETAR NORTE, HUETAR ATLANTICA Y CHOROTEGA

COLECCIÓN

Estadísticas forestales para la toma de decisiones del manejo forestal sostenible

AUTORES

Víctor Meza Picado
Kevin Alfaro Jiménez
Ricardo Bedoya Arrieta
Monserrat Romero Mora
Pablo Montenegro Salas
Adriana Valerio Madrigal
Jonathan Sánchez Alpízar

634.97396

M617-i Meza Picado, Víctor

Incidencia y severidad de la pudrición del tronco en plantaciones de Gmelina arborea (Melina), Costa Rica: región Huetar Norte, Huetar Atlántica y Chorotega / Víctor Meza Picado, Kevin Alfaro Jiménez, Ricardo Bedoya Arrieta, Monserrat Romero Mora, Pablo Montenegro Salas, Adriana Valerio Madrigal, Jonathan Sánchez Alpizar – 1 ed. – Heredia, Costa Rica: INISEFOR / UNA, 2020.

98 páginas: ilustraciones a color, mapas; 21,59 cm x 27,94 cm

Colección: estadísticas forestales para la toma de decisiones del manejo forestal sostenible

ISBN 978-9930-9709-0-4

1. GMELINA ARBOREA 2. MELINA 3. CONTROL DE PLAGAS
4. ENFERMEDADES DE PLANTAS 5. PLANTACIONES FORESTALES
6. MANEJO FORESTAL 7. INVESTIGACION FORESTAL 8. CONTROL DE CALIDAD 9. REGION HUETAR NORTE 10. REGION HUETAR ATLANTICA
11. COSTA RICA I. Alfaro Jiménez, Kevin II. Bedoya Arrieta, Ricardo III. Romero Mora, Monserrat IV. Montenegro Salas, Pablo V. Valerio Madrigal, Adriana VI. Sánchez Alpizar, Jonathan VII. Título VIII. INISEFOR IX. UNA

Víctor Meza Picado, Kevin Alfaro Jiménez, Monserrat Romero Mora*

victor.meza.picado@una.ac.cr - kevin15aj@gmail.com - mariamonse01@gmail.com

Ricardo Bedoya Arrieta, Adriana Valerio Madrigal, Jonathan Sánchez Alpizar **

ricardo.bedoya@fonafifo.go.cr – adriana.valerio@fonafifo.go.cr - jonathan.sanchez@fonafifo.go.cr

Pablo Montenegro Salas***

pablo.montenegro@sinac.go.cr

* Red de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Plantados (REFOP)-INISEFOR-UNA

**Departamento Desarrollo de Propuestas, Dirección de Desarrollo y Comercialización de Servicios Ambientales-Fonafifo-MINAE

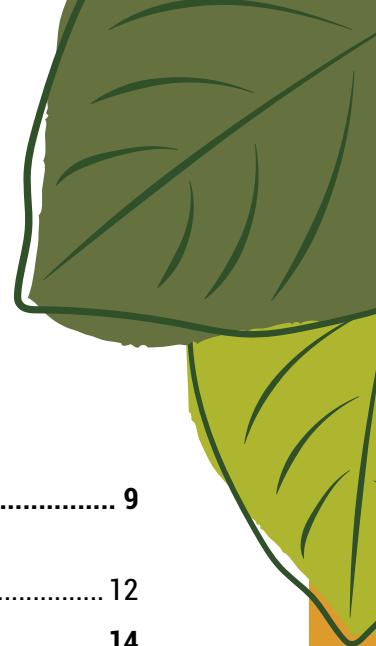
***Área de Conservación Tortuguero, SINAC



Incidencia y Severidad de La Pudrición del Tronco en plantaciones de Gmelina arborea (Melina), Costa Rica: Región Huetar Norte, Huetar Atlántica y Chorotega por Víctor Meza Picado, Kevin Alfaro Jiménez, Ricardo Bedoya Arrieta, Monserrat Romero Mora, Pablo Montenegro Salas, Adriana Valerio Madrigal y Jonathan Sánchez Alpizar se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Basada en una obra en <http://www.inisefor.una.ac.cr>. Permisos más allá del alcance de esta licencia pueden estar disponibles en <http://www.inisefor.una.ac.cr>.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1.1 Estimación de las existencias de plantaciones: volumen cosechado y cantidad de área plantada para el periodo 2014-2019.....	12
2. DIAGNÓSTICO, PREVENCIÓN y CONTROL DE LA PUDRICIÓN DEL TRONCO	14
2.1 Principales microorganismos patógenos asociados a las plantaciones	14
2.2 Sintomatología del árbol	16
2.3 Diagnostico	16
2.4 Estrategia de prevención	17
2.4.1 Medidas preventivas	17
2.4.2 Acciones para el control	20
3. METODOLOGIA	22
3.2 Área de estudio	22
3.3 Levantamiento de información	23
3.4 Índice de Severidad de la Podrición del Tronco (ISP%) por unidad de muestreo (UM).....	24
3.5 Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por región administrativa	26
3.6 Estimación del volumen (V)	26
3.7 Descripción de la muestra.....	26
3.8 Identificación de las prácticas silviculturales en plantaciones de <i>Gmelina arborea</i>	28
3.9 Datos de los factores ambientales.....	29
3.9.1 Datos de suelo	29
3.9.2 Datos climatológicos y topográficos	29
CAPÍTULO I. SEVERIDAD SOBRE EL ÁRBOL	31
4.1 Relación según la categoría de valoración visual de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) y las dimensiones del árbol individual	32
4.1.1 Relación de la edad del árbol con la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT)	33





4.1.2 Relación del diámetro del árbol con la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT)	35
4.1.3 Relación de la altura del árbol con la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT)	37
4.2 Análisis sobre la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) según edad de la plantación y las dimensiones del árbol individual.....	39
4.2.1 Análisis sobre la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) según edad de la plantación y la altura.....	39
4.2.2 Análisis sobre la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) según la edad de la plantación y el diámetro	41
4.3 Estadísticas sobre la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) por región administrativa	43
4.3.1 Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en la Región Huetar Atlántica	43
4.3.2 Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en la Región Huetar Norte.....	44
4.3.3 Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en la Región Chorotega.....	45
4.4. Discusión	46
4.5 Lecciones aprendidas	48
CAPÍTULO II. INCIDENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD	49
5.1 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la productividad de la plantación.....	50
5.1.1 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la densidad del rodal	52
5.1.2 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (SP%) con el área basal (G)	53
5.1.3 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con el volumen (V).....	54
5.2 Análisis sobre la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la productividad, según la edad de la plantación.....	55
5.2.1 Análisis de la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la densidad (arb/ha), según la edad de la plantación.....	55
5.2.2 Análisis de la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con el área basal (m ² /ha), según la edad de la plantación.....	57
5.2.3 Análisis de la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con el Volumen (m ³ /ha), según la edad de la plantación	58
5.3 Discusión	59
5.4 Lecciones aprendidas	61
CAPÍTULO III. CONDICIÓN FITOSANITARIA A NIVEL REGIONAL	63

6.1 Estadísticas del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por región administrativa	64
6.2 Estadísticas del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en la Región Huetar Norte (RHN)	64
6.3 Estadísticas del índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en la Región Huetar Atlántica (RHA)	66
6.4 Estadísticas del índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en la Región Chorotega (RCh)	69
6.5 Discusión	71
6.6 Lecciones aprendidas	72
CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE CASO: ESTADO DE LA ENFERMEDAD.....	73
7.1 Relación de la condición actual de la enfermedad con las prácticas de manejo silvicultural mencionadas	74
7.1.1 Relación de la enfermedad con la frecuencia que se aplica la práctica de manejo silvicultural	76
7.2 Relación de la enfermedad con las características variables ambientales	78
7.2.1 Reducción en la exposición al estrés durante la vida del árbol: factores y condiciones óptimas para el desarrollo de <i>Gmelina arborea</i>	78
7.2.2 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con las propiedades físico-estructurales del suelo	80
7.2.3 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con las propiedades químicas del suelo	81
7.2.4 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con factores Climatológicos y Topográficos.....	83
7.3 Discusión	84
7.4 Lecciones aprendidas	85
CAPÍTULO V. PRINCIPIOS DE PREVENCIÓN Y EL PRECIO DE LA MADERA COMO LIMITANTE PARA EL MANEJO DE LA ENFERMEDAD.....	87
8.1 Principios de Prevención de la Pudrición del Tronco en <i>Gmelina arborea</i>	88
8.2 Precio de la madera como limitante para el manejo de la enfermedad en plantaciones de <i>Gmelina arborea</i>	90
AGRADECIMIENTOS.....	91
Bibliografía	92
TABLA DE FIGURAS	94
TABLA DE CUADROS	96
Anexos.....	97



INTRO- DUCCIÓN

Gmelina arborea (melina) ha sido considerada una de las mejores opciones para la reforestación comercial del trópico (Salas-Rodríguez *et al.*; 2016, Martínez, 2014b). En Costa Rica presenta un acelerado crecimiento y buenas cualidades tecnológicas lo que le confiere una gran variedad de usos, que junto a la creación del programa de incentivos estatales (Chavarría-Vega y Carmona-Solís, 2016), provocó que a finales del siglo XX e inicios del siglo XXI se diera una importante expansión en la reforestación, colocándola como la especie más ampliamente plantada en el país (Martínez, 2014a; Salas-Rodríguez *et al.*, 2016). Al 2014, según el Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) existían 18 235 ha de plantaciones de *G. arborea* (lo que representó el 19 % de la reforestación nacional en ese año), de las cuales el 75 % (13 610 ha) estaban en edad de producción (INEC, 2015); este valor a caído a unas 9 401,5 ha para el año 2019. Pese a esto, *G. arborea* sigue posicionada en el mercado local. Principalmente, se emplea en la fabricación de material de emba-

laje, en menor grado, en la industria de la construcción y ebanistería de fabricación de muebles (Barrantes y Ugalde, 2018). La fabricación de tarimas utiliza trozas de dimensiones cortas (44 a 55 pulgadas de largo y diámetros menores a 8 pulgadas), brindando una alternativa económica a los productores, ya que en cierto modo mejora la rentabilidad de las plantaciones forestales, al permitir colocar estos productos en el mercado. Esta actividad generó en el 2017 cerca de USD 71 millones (Barrantes y Ugalde, 2018).

No obstante, desde hace décadas se reportan serios problemas fitosanitarios en las plantaciones de *G. arborea*, lo que ha limitado su desarrollo. Más recientemente, se reportaron al menos



36 agentes causales que le producen daños a esta especie (Arguedas, 2004), teniendo en la literatura a *Nectria sp.* como el principal agente causal (Arguedas, 2004; Arguedas, Chaverri y Miller, 1995). Este problema fitosanitario ha sido asociado con altas densidades de árboles y el uso de suelos inadecuados, generando con esto una mayor mortalidad en las plantaciones (Arguedas, 2004) y con esto, se ha creado un ambiente de incertidumbre para el productor y el inversionista (Salas-Rodríguez *et al.*, 2016), lo que, a futuro, podría acarrear limitaciones en el abastecimiento de material de embalaje debido a que es una de las principales especies plantadas para este fin.

Salas-Rodríguez *et al.* (2016) señalan que un factor que acentúa la alta problemática fitosanitaria de la especie en el país es la ausencia de una cultura de prospección temprana y sistemática de la plantación, aunado a un diagnóstico poco preciso de la enfermedad que limita la aplicación de medidas indirectas y directas de control. Por lo tanto, y en vista de que el control de la enfermedad una vez establecida no muestra resultados satisfactorios, como se concluye en las pruebas realizadas en el estudio de Méndez (2011), se han incrementado

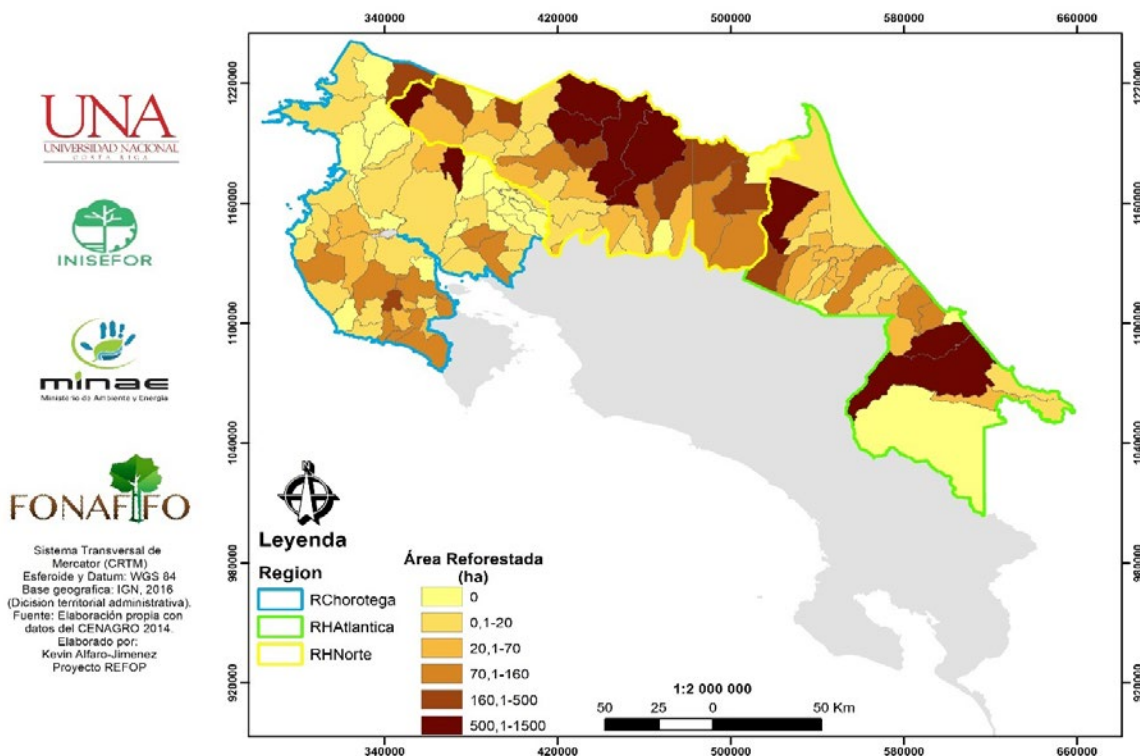
los intereses por el control preventivo. No obstante, se reconoce la carencia de estadística a nivel regional sobre el grado de afectación que están sufriendo las plantaciones.

Dado el ambiente de incertidumbre y los vacíos de información estadística sobre la incidencia de patógenos a nivel regional, se pretende describir el estado de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en las plantaciones de *G. arborea* para la Región Huetar Norte (RHN), la Región Huetar Atlántica (RHA) y la Región Chorotega (RCh); las cuales alcanzan el 76 % del área reforestada con *G. arborea* el país (Meza *et al.*, 2019). Esta publicación constituye un producto más del convenio "Cooperación Técnica entre el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR) y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)", específicamente del proyecto 0129-16 del INISEFOR de la Universidad Nacional, llamado "Diseño y conformación de una red para el monitoreo de los Ecosistemas Forestales plantados en Costa Rica (REFOP)" y la Dirección de Desarrollo y Comercialización de Servicios Ambientales del FONAFIFO.

1. Existencias del área plantada con *Gmelina arborea* según el CENAGRO 2014

Se estima que el área plantada de *G. arborea* es, aproximadamente, un 24,5 % (13 836,2 ha) del total reforestado en las tres regiones. Un 58,1 % (8 037,9 ha) del área reforestada de la especie se encuentra en la RHN, un 24,2 % (3 351,3 ha) en la RHA y un 17,7 % (2 447,1 ha) en la RCh. Se destacan ocho zonas con color marrón oscuro que representan

los distritos con más área plantada de *G. arborea* (Figura 1). En el caso de la RHN, Méndez *et al.* (2019) mencionan que la mayoría de las reforestaciones se ubican en los distritos de Cutris y Pocosol del cantón de San Carlos; estos autores lo asocian con que los costos de la tierra y la competencia por otros usos de la tierra son menores, así como que estos distritos son colindantes a Nicaragua y se contrata mano de obra migrante a menor costo y sin cargas sociales.



Fuente: Meza *et al.* (2019)

Figura 1. Distribución del área plantada con *Gmelina arborea*, por distrito, Costa Rica, 2014.

1.1 Estimación de las existencias de plantaciones: volumen cosechado y cantidad de área plantada para el periodo 2014-2019

Según Méndez *et al.* (2019) en la RHN, para en el periodo comprendido entre los años 2003 al 2017, principalmente se ha reforestado con especies exóticas (9 789,67 ha), de la cuales 6 694,83 ha fueron plantadas de *G. arborea*, que representan un 53,8 % del área reforestada en esta región, para ese periodo. Complementariamente, los mismos autores mencionan que *G.arborea* es considerada una especie importante para utilizar en los Siste-

mas Agroforestales, principalmente en los últimos cinco años, teniendo un total de 36 379 árboles plantados (26 %) y una media de 7 275 arb/año.

En la **Figura 2** se muestra las tasas de cosecha de la especie para todo el país en el período 2014-2019. Las tonalidades más oscuras representan los distritos que tienen las tasas de cosecha más altas en el país; dicho en otras palabras, son los distritos que más han aportado materia prima de *G. arborea* a las industrias. Estos distritos aportaron volúmenes que van desde los 10 000 m³ hasta los 28 000 m³ durante el período de análisis.

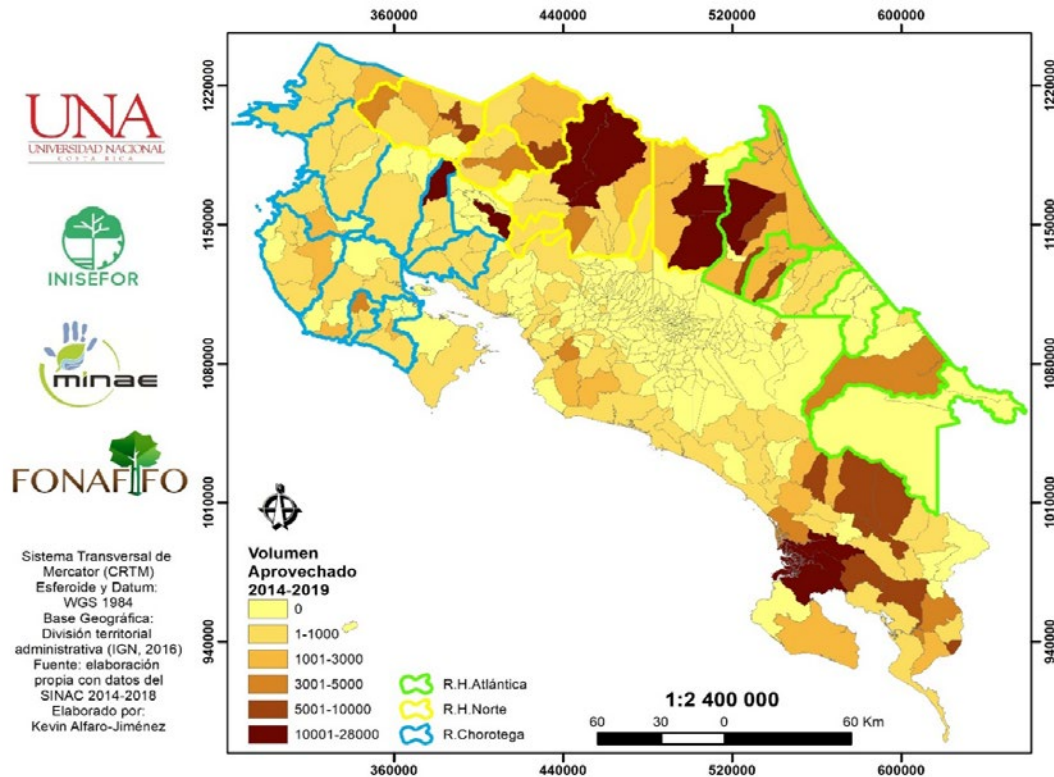


Figura 2. Distribución del volumen aprovechado de *Gmelina arborea*, por distrito en el período 2014-2019. Según datos del SICAF-SINAC. Costa Rica.

El área actual plantada en el país de *G. arborea* ronda las 9 401,5 ha (**Cuadro 1**). La cifra es el producto de restar el área reportada por los "permisos" registrados en el SINAC desde el año 2014 hasta el año 2019 (10 808 ha); al valor de referencia (18 235 ha) que reporta el CENAGRO del 2014 más el área plantada por medio del Programa de Pago por Servicios Ambientales del FONAFIFO del periodo 2014-2019 (2 275 ha) y las 330, 5 ha que fueron inscritas a los incentivos de la Ley Forestal N° 7575 (SINAC 2019).

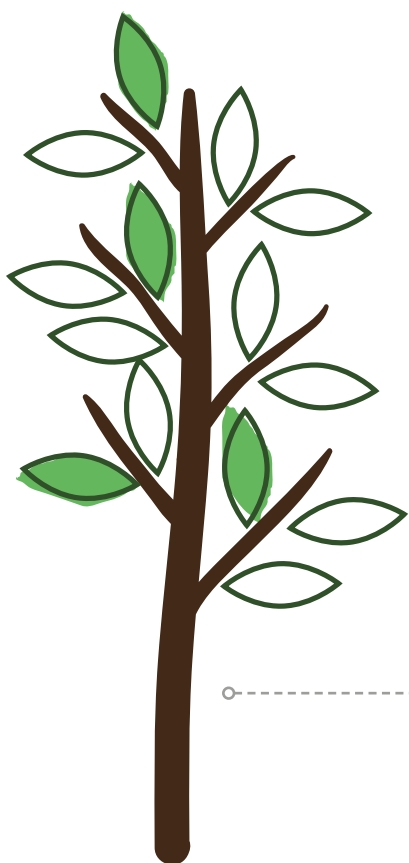
Las existencias del área plantada tienden a la baja en las tres regiones estudiadas. Probablemente, en la RHN puedan quedar unas 4 741 ha; en la RHA unas 1 255 ha y en la RCh 1 583 ha. Es necesario, considerar que se deben sumar las 330, 5 ha que fueron inscritas a los incentivos de la Ley Forestal N° 7575. No obstante, estos valores muestran la tendencia a la baja en el área reforestada.

Cuadro 1. Estimación de existencias en las regiones Huetar Norte, Huetar Atlántica y Chorotega y a nivel nacional. Línea base de área planteada según el CENAGRO 2014, área plantada bajo el Programa de Pago por Servicios Ambientales del FONAFIFO y cantidad de madera cosechada en m³ según SICAF-SINAC para *Gmelina arborea*. Costa Rica.

Región administrativa	Huetar Norte				Huetar Atlántica				Chorotega				Nivel Nacional			
Línea base área reforestada (ha)	8 038				3 351				2 447				18 235			
^a CENAGRO 2014																
Año	PSA b	AEA c	Volumen Aprovechado		PSA b	AEA c	Volumen aprovechado		PSA b	AEA c	Volumen aprovechado		PSA b	AEA c	Volumen aprovechado	
	(ha)	(ha)	Total (m3)	m3/ha	(ha)	(ha)	Total (m3)	m3/ha	(ha)	(ha)	Total (m3)	m3/ha	(ha)	(ha)	Total (m3)	m3/ha
2014	424	888	18922	21	20	859	20348	24	113	160	6361	40	631	2323	70431	30
2015	272	585	14096	24	0	188	6931	37	14	157	4259	27	287	1441	43668	30
2016	156	1078	21379	20	300	278	14414	52	0	39	1102	28	456	2064	62886	30
2017	187	520	12732	24	50	406	11309	28	2	363	21863	60	247	1556	57290	37
2018	152	854	26826	31	0	624	8550	14	0	137	8091	59	152	2223	59790	27
2019	480	618	12877	21	0	91	5553	61	14	39	2442	62	503	1200	35046	29
TOTAL (2014-2019)	1671	4544	106831	24	370	2446	67105	36	143	895	44117	46	2275	10808	329111	31
Área disponible (ha)	4 741				1 255				1 583				9 071			
Volumen disponible (m3)	112 163				45 030				72 971				278 163			

Fuente: Elaboración con datos del ^a CENAGRO 2014, ^b FONAFIFO 2014-2019 y ^c SICAF-SINAC 2014-2019 (los datos solo incluyen permisos de CO-PF de plantaciones puras de *Gmelina arborea*) que corresponde al Área Efectiva Aprovechada (AEA).

2. DIAGNÓSTICO, PREVENCIÓN y CONTROL DE LA PUDRICIÓN DEL TRONCO



2.1 Principales microorganismos patógenos asociados a las plantaciones

Los reportes de incidencia de plagas y enfermedades en plantaciones de *G. arborea* son de larga data. Inicialmente Arguedas (2004) menciona que en las bases de datos del Laboratorio de Protección Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica se reportan 36 agentes causales que producían daños. La misma autora relaciona problemas de mortalidad de grupos de árboles (en plantaciones de 2 a 5 años) con altas densidades, suelos inadecuados y el hongo *Nectria sp.*, ya que ataca árboles jóvenes, abarca el perímetro del fuste, y provoca la muerte en la parte apical del árbol (Coy, 2017).

A pesar de que *Nectria sp.* es el principal problema fitosanitario asociado a las plantaciones de *G. arborea* en Costa Rica, el causal de la enfermedad efectivamente va más allá de la *Nectria*; por lo tanto, ha sido necesario desarrollar un número mayor de investigaciones dirigidas a esclarecer el panorama. Es en este sentido, varios autores han mencionado otros causantes de la enfermedad; por ejemplo: Chavarría y Carmona (2018) determinaron que el principal agente patógeno de la enfermedad llamada "nectria" es *Fusarium solani*. A su vez, el problema podría estar asociado a *Ceratocystis fimbriata* (Murillo *et al.*, 2016) un hongo de amplio espectro que ya había sido reportado para la especie en Brasil (Muchovej, Albuquerque y Ribeiro, 1978) y que también se asocia con marchitez vascular y pudrición de

fuste en plantaciones de esta especie en Suramérica (Wingfield y Robinson, 2004) y de otras especies según lo indicado por Solano *et al.* (2019).

En el **Cuadro 2** se presentan los principales microorganismos reportados por Arguedas (2004) que han causado enfermedades, en Costa Rica, a los fustes de las plantaciones de *G. arborea*. En Colombia Coy *et al.* (2018), mediante pruebas de patogenicidad, determinaron que los microorganismos causantes de la pudrición del tejido vascular en fustes jóvenes de *G. arborea* fueron *Lasiodiplodia theobromae* y *Curvularia geniculata*. Por lo tanto, la evidencia sugiere que al momento de definir el causal de los problemas fitosanitarios en plantaciones de *G. arborea* es necesario considerar otros patógenos que van más allá de *Nectria sp.*

Cuadro 2. Microorganismos reportados como causantes de problemas fitosanitarios en Costa Rica.

Parte del árbol afectado	Microorganismos
Follaje	<i>Pseudocercospora rangita</i> <i>Colletotritrum sp.</i>
Xilema	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> <i>Botryodiplodia sp.</i> <i>Corticium salmonicolor</i> <i>Nectria sp.</i> <i>Sp. no id. (bacteria)</i>
Raíz	<i>Fusarium sp.</i> <i>Rosellinia sp.</i>

Fuente: Elaborado a partir de Arguedas (2004).

2.2 Sintomatología del árbol

Agrios (2005) menciona que la reacción del árbol ante el patógeno se concentra en la parte afectada, posteriormente se difunde en toda la planta y se producen cambios histológicos, que constituyen los síntomas de la enfermedad. Entre estos, el rebrote por debajo de la mitad del fuste (Arguedas, 2004). No obstante, Salas-Rodríguez *et al.* (2016) menciona que la calificación visual de una sintomatología en grados de severidad es un proceso que requiere de capacitación con el fin de disminuir la subjetividad del evaluador. En este sentido, Murillo *et al.* (2016) reconoce que la sintomatología en los árboles no es siempre evidente, y que al momento de realizar un raleo fitosanitario pueden quedar en pie individuos enfermos en los primeros estadios. Con el fin de contribuir en la evaluación de la sintomatología en plantaciones de *G. arborea* para la RHN, el Consejo Forestal ACAHN en el año 2014, realizó un taller de intercambio de experiencias de manejo y control con productores forestales. Como resultado del taller se llegó a consolidar la siguiente caracterización de síntomas (Consejo Forestal ACAHN, 2014):

1. Forma áreas extensas y alargadas de corteza resquebrajada y ennegrecida
2. El hongo se desarrolla en la corteza (tejidos) e invade hasta anillar el fuste
3. Árboles afectados se marchitan, se secan, algunos rebrotan en la parte inferior del fuste y presentan exudaciones que al secarse se observan oscuras
4. Provoca muerte descendente del árbol

2.3 Diagnostico

Se considera que los árboles presentan una enfermedad cuando sus funciones fisiológicas son alteradas (Coy, 2017). Por lo tanto, es fundamental determinar la relación entre causa y efecto, que, en términos prácticos, es imprescindible realizar una identificación precisa de los microorganismos y los síntomas asociados. En este sentido, el manejo de la enfermedad es complejo, puesto que, como lo indica Arguedas (2004), al inicio cuesta identificarla y habitualmente no se puede detectar la presencia del chancro, para ello hay que realizar cortes en donde se presentan los rebrotes. Complementariamente, Salas-Rodríguez *et al.* (2016) menciona que, en la evaluación de la marchitez, se observa un comportamiento semejante

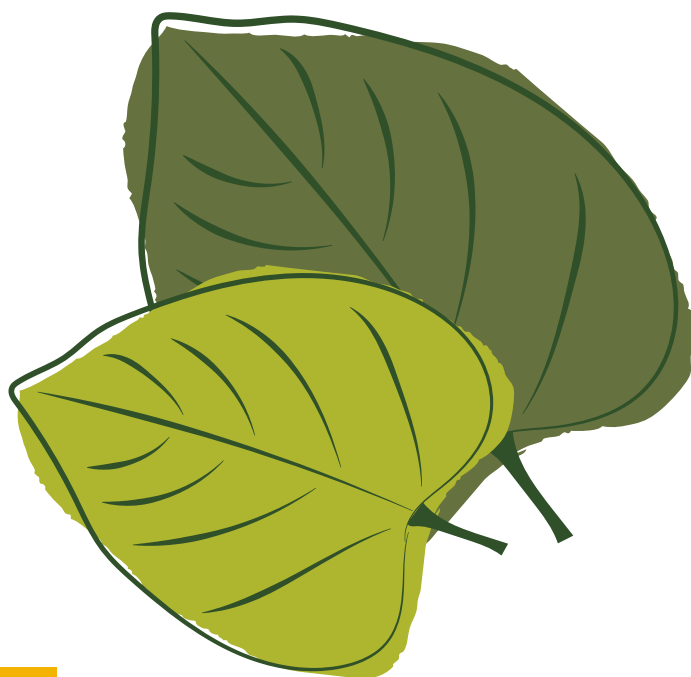
en árboles sanos, esto por el efecto de la época seca lo que según los autores puede confundir al evaluador al momento de hacer el diagnóstico.

Según Coy (2017), el diagnóstico de una enfermedad en un árbol requiere de la ejecución de varios pasos: a) observación de síntomas, b) determinación de circunstancias (condiciones climáticas, relieve del terreno, distribución de la enfermedad en campo, historial de cultivos previos, entre otras), c) observación de la presencia de patógenos y d) correlación de lo observado con bibliografía pertinente. Para el caso de Costa Rica, se ha trabajado en la capacitación de los productores y regentes sobre la valoración en campo de la muerte de *G. arborea* (Calvo, 2018). Más concretamente, se han desarrollado algunas metodologías trabajar a nivel de observación (diagnóstico) para la categorización de la severidad de la pudrición del tronco, como la desarrollada por Salas-Rodríguez *et al.* (2016) quienes definieron 5 categorías de severidad, sin embargo, estas requieren una aguda observación por lo que tienden a crear ciertas subjetividades entre los evaluadores.

2.4 Estrategia de prevención

2.4.1 Medidas preventivas

La teoría para establecer acciones preventivas ha sido planteada por varios autores (Murillo *et al.*, 2016; Arguedas *et al.*, 2018). No obstante, mucha de esta teoría se encuentra fragmentada y solo en algunos casos responde a experiencias prácticas, como es el caso de las acciones preventivas que son realizadas en las empresas o por los regentes forestales. Afortunadamente, se han desarrollado talleres de análisis que recogen por medio de la sistematización parte de su experiencia. Es necesario, reconocer el conocimiento empírico desarrollado por cada uno de los actores, que buscan por medio de la práctica soluciones a la enfermedad. En este sentido, se recomiendan algunas medidas preventivas:



1. **Evitar el uso de clones susceptibles a la enfermedad;** los hallazgos de Murillo *et al.* (2016) y Salas (2012) sugieren que las diferencias en las tasas de progreso o cambio en la enfermedad en plantaciones clonales son atribuibles -únicamente- a la composición genética de los clones utilizados en las plantaciones.
2. **Realizar labores silviculturales que minimicen las causas de estrés en los árboles,** entre ellas evitar mantener la plantación con altas densidades (Arguedas *et al.*, 2018); así como las labores silviculturales que se realizan normalmente en las plantaciones, como la preparación de terrenos, control efectivo de malezas, encalado, podas en época seca, curado preventivo de podas, entre otras que contribuyen a reducir significativamente los índices de afectación de la enfermedad (Chavarría y Carmona, 2016).
3. **Evitar plantar en suelos con contenido de arcillas por encima de un 40 %,** Arguedas *et al.* (2018) mencionan que sitios con altos contenidos de arcilla en el perfil de suelo de 10 a 20 cm de profundidad, son inapropiados e incrementan la susceptibilidad a la enfermedad.
4. **Utilizar métodos de control biológico a través de microorganismos antagonistas,** Chavarría y Carmona (2016) mencionan que existen diferencias en la capacidad antagónica de las distintas especies de *Trichoderma*, ya que la cepa de *Trichoderma harzianum* mostró ser más efectiva en el combate de *Fusarium solani*. Por lo que los autores recomiendan aplicaciones de microorganismos antagonistas desde la etapa de vivero hasta campo; solución líquida para aplicar en campo: *T. harzianum* (Pr) + *Trichoderma asperellum* con una concentración de 12×10^8 (50 ml/L de agua) y aplicaciones cada 15 días.
5. **Elaborar un protocolo de prevención de manejo,** se reconoce el conocimiento empírico desarrollado por los regentes, las empresas y las organizaciones, que buscan por medio de la práctica soluciones a la enfermedad. Parte de las experiencias sobre la atención de problemas con la enfermedad han sido sistematizadas (Consejo Forestal ACAHN, 2014), estas responden a las necesidades puntuales que se enfrentan el día a día (**Cuadro 3**). Sin embargo, las medidas aplicadas no siempre

revelan resultados positivos asociados a las actividades, sumado a que no se cuenta con un buen dise-

ño para el monitoreo o evaluación posterior de la implementación de dichas medidas.

Cuadro 3. Protocolos de manejo utilizados por empresas y organizaciones para la prevención de la enfermedad. Región Huetar Norte, Costa Rica.

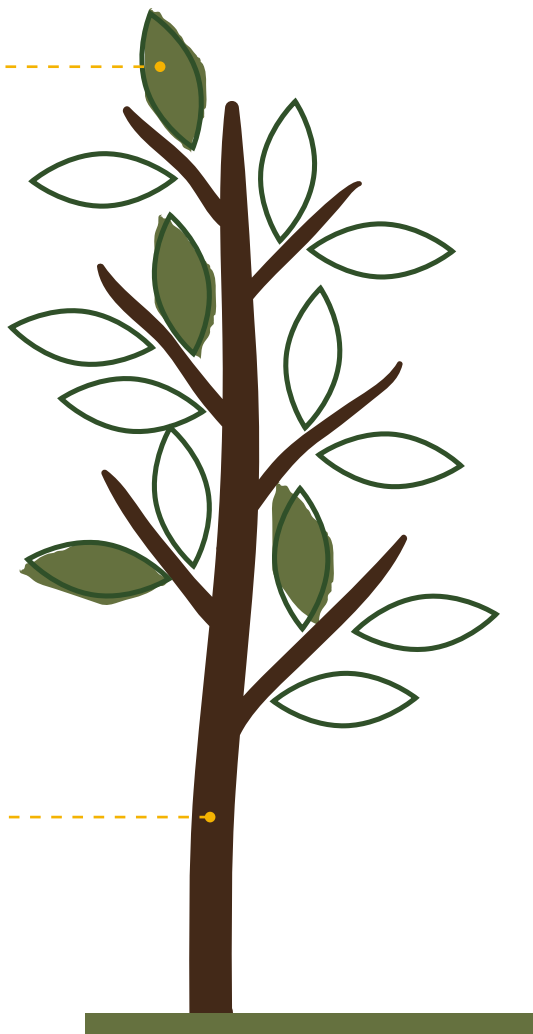
Protocolo de manejo para plantaciones de *Gmelina arborea*. Experiencias sistematizadas por el Consejo Forestal ACAHN

Olger Moreira Leitón	Luis Diego Barrantes, Los Nacientes Forestal
Paso 1. Diagnóstico de problema fitosanitario a través de parcelas permanentes.	Paso 1. Determinar fertilidad de suelos y deficiencias nutricionales de Ca-Mg-P-Zn.
Paso 2. Aplicación de un raleo para eliminar todos los árboles muertos (los cuales fueron picados y fumigados con químicos a base de Cobre).	Paso 2. Aplicación de cal. Para corregir acidez, reduciendo concentraciones de Al y el pH.
Paso 3. Aplicación de químico Hércules 50 SL, por medio de fumigación con bomba de espalda en los fustes de árboles afectados. Dosis usada es de 8 onzas/bomba de espalda de 18 L.	Paso 3. Utilización de biocontroladores (bacilos-tricodermas-y micorrizas).
Paso 4. También se ha usado Molto 49 EC, que es un fungicida de contacto (preventivo / curativo). Dosis de Molto es 4 onzas/bomba de espalda de 18 L.	Paso 4. Realización de una poda de formación en verano.
Paso 5. Agregar una pega cuyo nombre es COS-MO-IN 27 SL a razón de 2 onzas/bomba de 18 L	Paso 5. No se realiza poda a árboles enfermos.
	Paso 6. Todas las herramientas deben estar afiladas, limpias y esterilizadas.
	Paso 7. Aplicar Mistolín a razón de 8ml/L de agua para desinfectar.
	Paso 8. Aplicar Cal 56 a razón de 12ml/L de agua, para fortalecer las paredes celulares de la planta.
	Paso 9. Aplicar Butrol a razón de 6ml/L de agua, como fungicida y/o bactericida
	Paso 10. Aplicar Agroil a razón de 12 ml/L de agua como coadyuvante.

Fuente: Consejo Forestal ACAHN (2014).

2.4.2 Acciones para el control

Acciones de control están focalizadas de acuerdo con el tipo de daño que presente el árbol. Según lo recomendado en la sistematización de experiencias del Consejo Forestal ACAHN (2014), se pueden curar árboles en aquellos casos leves y/o con una infección reciente por medio de dos métodos: 1) el método de cirugía y 2) el método de fumigación del árbol (**Cuadro 4**). No obstante, se recomienda que para los árboles completamente dañados se localicen, se corten (si tienen algunas trozas comerciales estas se extraen hacia el patio de acopio), y se repiquen en el sitio, dejando un montículo con el fuste y las ramas del árbol; para aplicar este montículo un fungicida sistémico.



Cuadro 4. Acciones para mitigar el efecto de la pudrición de troncos en plantaciones de *Gmelina arborea*. Región Huetar Norte. Costa Rica.

Tipo de daño en el árbol	Síntomas	Acción
Daño leve con infección reciente.	Los primeros síntomas son: A) marchitez de las hojas B) las hojas se tornan amarillentas, C) se observan un color negruzco en una herida que tiene el árbol. D) Desprendimiento de la cascara y una herida negruzca cuando se elimina la cascara.	<p>A. Identificar árboles que comienzan a ser afectados por un hongo de manera que se puedan curar, antes de un daño severo.</p> <p>B. Se pueden utilizar dos métodos que han resultado efectivos en la curación de los árboles.</p> <p>1. Método de Cirugía</p> <p><u>Materiales:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Pintura a base de agua • Fungicida a base de Cobre (Benomil o Fitosan) • Brocha o esponja y galón de plástico <p><u>Proceso de preparación de la pasta:</u> en el recipiente que se utilizara para aplicar la pasta se agrega la pintura, se le añade el fungicida a base de cobre, aproximadamente 6 onzas por galón de pintura, se debe revolver con un palo hasta que tenga una consistencia de pasta de dientes.</p> <p><u>Curación de la herida:</u> Se limpia la herida con un machete, procurando eliminar toda el área dañada, una vez que se elimina lo dañado, se aplica la pasta de pintura con el cobre en forma abundante hasta cubrir toda la herida. Si el árbol tiene varias heridas se deben curar todas.</p> <p>2. Método de Fumigación del árbol</p> <p><u>Materiales:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Hércules (Oxicloruro de Cobre, fungicida de contacto) • Molto (Fungicida sistémico) • Cosmo (pega que tiene una propiedad penetrante) • Bomba de espalda <p><u>Modo de aplicación:</u> Se agregan 8 onzas de Hércules, 4 onzas de Molto y 2 onzas de pega a 18 litros de agua, se revuelven y se aplican abundantemente a los árboles infectados, procurando utilizar el producto en el área dañada y en el resto del fuste, hasta donde sea posible. También se aplica sobre la base del árbol y el suelo.</p>
Seriamente dañado por el hongo		<ul style="list-style-type: none"> • Los individuos completamente dañados se localizan, cortan (si tienen algunas trozas comerciales estas se extraen hacia el patio de acopio), y repican en el sitio, dejando un montículo con el fuste y las ramas del árbol. • Se debe fumigar el montículo de residuos del árbol con una bomba de espalda aplicando un fungicida sistémico y este se debe aplicar a los árboles vecinos del árbol eliminado. • En época seca debe aprovechar para quemar el montículo de residuos del árbol eliminado. • La eliminación de árboles enfermos se debe realizar cada vez que se observe uno con algún tipo afectación.

Fuente: Consejo Forestal ACAHN (2014).

3. METODOLOGÍA

3.2 Área de estudio

El área de estudio comprende las tres regiones con mayor área reforestada del país (INEC, 2015): la Región Huetar Norte (RHN), la Región Huetar Atlántica

(RHA) y la Región Chorotega (RCh). Donde, se han desarrollado inventarios forestales por medio del establecimiento de parcelas o unidades de muestreo (UM) para evaluar el crecimiento y el estado fitosanitario de la especie. Las UM en la RHA se ubicaron en el distrito de Rita, Germania, La Alegría, Carrandi, Rio Blanco y Matama. En la RHN en el distrito El Amparo, Los Chiles, San Jorge, Aguas Zarcas, Cutris, Pocosol y Puerto Viejo. Y en la RCh se ubicaron en los distritos Veintisiete de Abril, Hojancha y Nicoya (Figura 3).

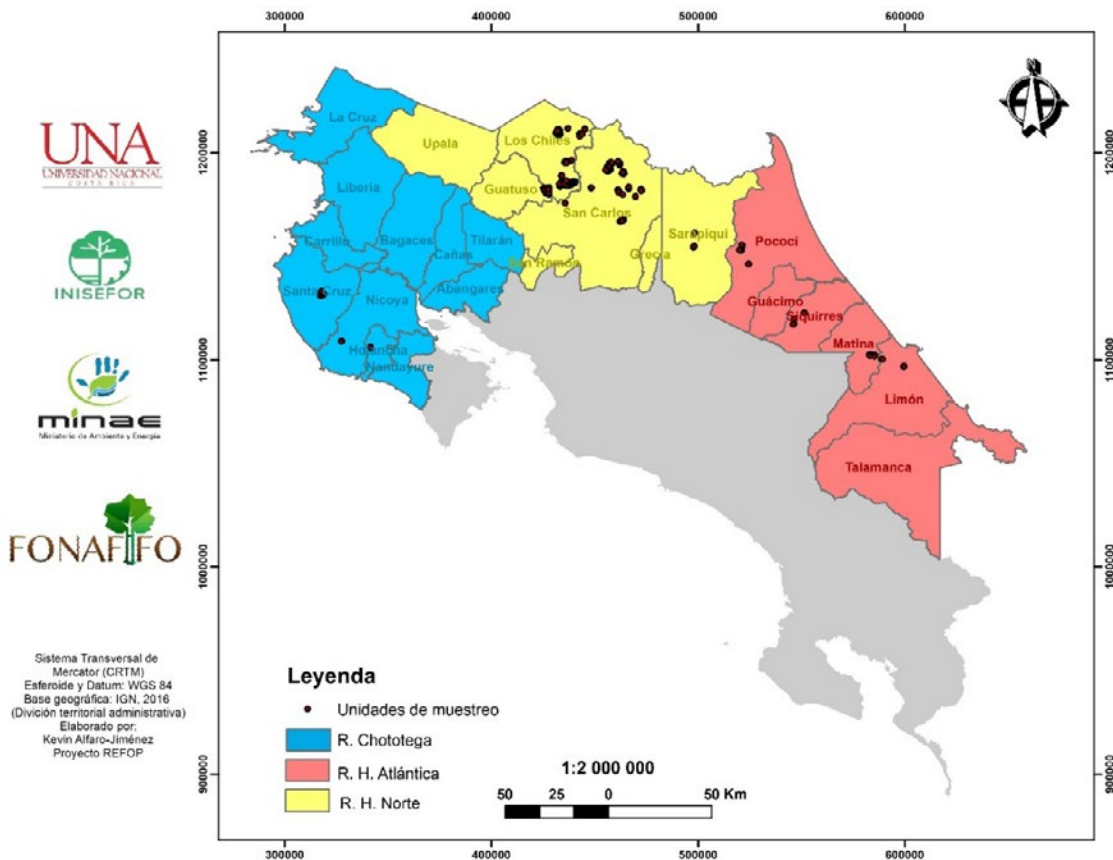
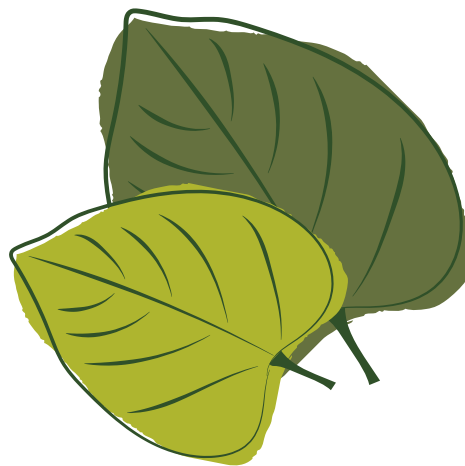


Figura 3. Distribución de las unidades de muestreo en cada región de estudio. Costa Rica.




3.3 Levantamiento de información

El estudio se realizó en las plantaciones forestales de *G. arborea* que cuentan con un contrato bajo el Programa de Pago por Servicios Ambientales del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (PP-SA-FONAFIFO) utilizadas por la Dirección de Desarrollo y Comercialización de Servicios Ambientales (DDC), para generar créditos de carbono para empresas que requieren compensar emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI) en el mercado nacional. El inventario forestal se realizó con el establecimiento de parcelas temporales de forma circular y con tamaños que van de 177 a 500 m². Los datos recopilados en campo fueron: el diámetro a la altura del pecho (DAP, a una altura aproximada de 1,30 m), la altura total viva, la valoración visual de la SPT (**Cuadro 5**), el punto de ubicación geográfica del centro de cada parcela utilizando un dispositivo de posicionamiento global (GPS, por sus singlas en inglés), y además se tomaron dos fotografías desde el centro de cada parcela hacia dos de los bordes externos que registran el estado de las plantaciones alrededor del sitio de muestreo.



La categorización de la valoración visual de la SPT surge a partir de las 5 categorías propuestas por Salas-Rodríguez *et al.* (2016), las cuales, para facilitar los procesos de evaluación en campo y disminuir diferencias de criterios entre evaluadores para categorías intermedias de afectación, fueron unificadas en 3 categorías (**Cuadro 5**).

Cuadro 5. Escala para la valoración visual en campo de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea*.

Categoría de la valoración visual de la SPT	Color según la categoría de SPT	Valoración visual de la SPT (Síntomas)
0		Sin síntomas: Árbol sano, no hay síntomas visibles.
1		Algunos síntomas: El árbol está afectado en el follaje (marchitez, menor tamaño y/o pérdida) en un patrón progresivo. Fuste puede tener pequeñas heridas necrosadas y con exudación negruzca en sitios diferentes a donde hubo podas o haber lesiones tipo cancro (con abultamiento). No todos los síntomas se expresan.
2		Totalmente afectado: Marchitez total o ausencia total de follaje; hay pérdida y desprendimiento evidente de la corteza por el chancro y generalmente presencia de rebrotes. En algunos casos el árbol puede estar completamente seco sin valor comercial.

Fuente: Modificado de Salas-Rodríguez *et al.* (2016).

3.4 Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por unidad de muestreo (UM)

Los datos recopilados en campo se tabularon en una hoja de cálculo (Microsoft Excel), para su posterior análisis estadístico y visualización de datos en programas especializados del entorno (R Core Team, 2018). La cuantificación de la SPT en las UM fue calculada mediante el Índice de Severidad de la Pudrición del tronco (ISP%) propuesto por Salas-Rodríguez *et al.* (2016), utilizando los tres valores descritos en el **Cuadro 5**, que son asignados en el campo a cada

individuo. El ISP% obtiene valores desde un 0 % hasta un 100 %, siendo un 0 % el escenario donde en la UM ningún árbol presenta síntomas visibles y caso contrario, donde un 100 % de los árboles en la UM presentan algún grado de afectación. Este ISP% busca evaluar la diversidad de condiciones en las que se encuentran las plantaciones (**Figura 4**). Las mismas muestran las condiciones actuales de las plantaciones que son el producto de los raleos fitosanitarios y del efecto de la enfermedad. Donde, se observan sitios poco densos y otros con una alta densidad de maleza.



a. Plantación de *Gmelina arborea* con 7 años



b. Plantación de *Gmelina arborea* con 9 años



c. Plantación de *Gmelina arborea* con 9 años.

Figura 4. Evidencia fotográfica de la diversidad de condiciones que se encuentran las plantaciones forestales de *Gmelina arborea*, según su edad al 2018. Costa Rica.

El ISP% es reclasificado en cuatro grupos:

- Sin síntomas: ISP igual a 0 %.
- Bajo: ISP mayor a un 0 %, pero menor o igual a un 33 %.
- Medio: ISP mayor a un 33 %, pero menor o igual a un 66 %.
- Alto: ISP es mayor a un 66 %.

3.5 Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por región administrativa

Los datos de las UM previamente analizados del ISP% por UM se tabularon en un archivo de texto. Donde se asignaron a cada UM coordenadas geográficas y, se transformó a vector de puntos en un archivo geoespacial de formato **shape** (alimentando cada punto con la información tabulada y analizada de la UM respectiva). El archivo **shape** se operó en un sistema de información geográfica (SIG), mediante herramientas de geoprocésamiento, ubicando y asignando la información de las UM con los distritos respectivos. La capa utilizada para este fin fue la división territorial administrativa nacional actualizada al 2018 por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). La información de la ubicación territorial administrativa (distrito, cantón, provincia y región), se registró

en la base de datos del vector de puntos (UM), el cual, se convirtió en un archivo de texto (.cvs) para su análisis estadístico y posterior visualización en programas especializados de entorno R.

3.6 Estimación del volumen (V)

La ecuación utilizada para la estimación de volumen es la propuesta por Burbano (s.f.) la cual se desarrolló para las plantaciones de *G. arborea* en Costa Rica, a partir de una muestra de 576 árboles con edades entre 3 y 13 años, con alturas que oscilaron entre 7 y 34 m y diámetros entre 9 y 49 cm.

$$Vc = e^{-11.64243 + 2.2441 \cdot \ln(dap) + 1.12492 \cdot \ln(h)}$$

Donde:

d= diámetro a la altura del pecho (1,30 m) (cm)

h= altura (m)

3.7 Descripción de la muestra

La distribución geográfica de la muestra se extiende por las tres regiones administrativas con mayor área plantada de *G. arborea* en el país. La Región Huetar Norte presenta 8 038 ha (44 % del total plantado en el país), la Región Huetar Atlántica con 3 351 ha (18 %) y la Región Chorotega con 2 447 ha (13 %), suman-

do entre las tres regiones un 76 % del área plantada a nivel nacional (Meza *et al.*, 2019). La muestra está focalizada en las mediciones realizadas entre el 2015 y 2018 de las plantaciones forestales bajo contrato de PSA-FONAFIFO, con edades entre los tres a los nueve años.

La recopilación de los datos en campo se realizó con el establecimiento de parcelas temporales, en principio de 177 m² (31 parcelas) y 254 m² (18 parcelas) y por último se mantuvieron de 500 m² (375 parcelas). Inicialmente la variación en el tamaño de las parcelas dependió del tamaño del área plantada, precisamente para mantener una muestra superior a 5 UM ($n \geq 5$), lo anterior con el fin de disminuir el error de muestreo y que la intensidad no fuese muy alta, sobre todo en sitios con poca área planta-

da. La intensidad de muestreo frecuente fue de entre 1 % a 2 %, con un mínimo de 0,5 % (de un área efectiva de 40,7 ha) y un máximo de 11 % (de un área efectiva de 0,76 ha) del área bajo PSA de la finca, el promedio oscilo en un 2 % por finca, y como mínimo se establecieron tres parcelas por finca. La muestra está constituida por 424 parcelas (19,76 ha), distribuidas en 25 parcelas para la RCh, 58 en la RHA y 341 en la RHN, registrando 7 422 árboles en total. Esta intensidad de muestreo convierte a este estudio como el primer intento a nivel nacional en generar estadística regional sobre el estado fitosanitario de las plantaciones de *G. arborea*. La cantidad de UM establecidas y árboles medidos por edad de la plantación se distribuye de la siguiente forma:

Edad de la plantación (años):	3	4	5	6	7	8	9
Número de parcelas establecidas (UM):	9	55	124	95	40	63	38
Número de árboles medidos:	354	1501	2334	1455	684	592	503

Se presentaron densidades y edades variables. En las UM registradas se contabilizaron densidades de 20 arb/ha hasta 1 180 arb/ha, promediando 374 arb/ha ± 192 arb/ha, siendo 240 arb/ha la densidad moda de la muestra (**Cuadro 6**). La edad promedio de las plantaciones es de

6 $\pm 1,58$ años, siendo la edad de 5 años la más repetida de la muestra. Los datos dasométricos muestran una alta variación, lo cual refleja el amplio rango de estados de desarrollo de las plantaciones (relacionándolo con la edad de la plantación), considerados dentro del análisis.

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos generales obtenidos en las unidades de muestreo (UM) establecidas en las plantaciones de *Gmelina arborea* en las regiones evaluadas. Costa Rica.

Estadística descriptiva	Edad (año)	Árboles (unidad)	Densidad (arb/ha)	Área basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)	Diámetro (cm)	Altura total (m)
Media	6,04	17,5	374	12,9	83,2	19,7	16,1
Desviación estándar	1,58	9,9	192	6,46	52,6	6,56	4,74
N	424 ^b	424 ^b	424 ^b	424 ^b	394 ^b	7 280 ^c	7 277 ^c
Error estándar	0,0768	0,481	9,33	0,314	2,65	0,0769	0,0556
Moda	5	12	240	1,56 ^a	9,25 ^a	19a	16
Mínimo	3	1	20	1,56	9,25	1	2,3
Máximo	9	59	1 180	46,1	407	49,2	33,8

Existe más de una moda, solo la primera se reporta.

^b Unidades de muestreo.

^c Árboles registrados con el valor dasométrico.

3.8 Identificación de las prácticas silviculturales en plantaciones de *Gmelina arborea*

La información sobre la aplicación de prácticas de manejo se realizó por medio de un cuestionario dirigido a los regentes forestales o dueños de las fincas de aquellos contratos bajo el esquema de PSA de reforestación que van del año 2008 al año 2012. La muestra corresponde a los contratos incluidos en los Proyectos de Compensación para el MDC de FONAFIFO. El mismo fue llevado a cabo por la Dirección de Desarrollo y Comercialización de Servicios Am-

bientales. La recopilación de la información se realizó mediante la aplicación de un cuestionario, entre el mes de abril y noviembre del 2017. El cuestionario consta de 88 preguntas, divididas en 11 secciones (**Cuadro 7**) que tuvo como objeto conocer las labores/prácticas que se realizan en las plantaciones, en este caso se utilizó únicamente la información referente a *G. arborea*. La información recopilada fue tabulada en una hoja de cálculo (Microsoft Excel 2007), para su procesamiento y análisis, mediante la interpretación de estadística descriptiva de la muestra.

Cuadro 7. Estructura del cuestionario utilizado en las encuestas para la identificación de las prácticas silviculturales. Costa Rica.

Nombre de la sección	Número de pregunta	Cantidad de preguntas
Material Plantado	1 a la 6	6
Fertilización	7 a la 15	9
Encalado	16 a la 24	9
Podas	25 a la 38	14
Chapeas / Limpieza del terreno	39 a la 49	11
Transporte Interno	50 a la 55	6
Quema	56 a la 64	9
Enfermedades	65 a la 72	8
Caminos	73 a la 77	5
Preparación del terreno	78 a la 84	7

Fuente: Meza *et al.* (2019).

3.9 Datos de los factores ambientales

3.9.1 Datos de suelo

Las propiedades del suelo se consideraron a partir de las 2 156 muestras de suelo compiladas en el estudio Sandoval y Mata (2014), el cual es la base de datos con la que se desarrolló el mapa base de perfiles de suelos de Costa Rica. De esta gama de datos 1 208 muestras se ubicaron dentro de las tres regiones en estudio, de las cuales, 33 muestras (extrapoladas) coincidieron con las UM. La extrapolación del área cubierta por los puntos de las muestras de suelo dentro

del área en estudio se realizó mediante la construcción de triángulos irregulares de proximidad, utilizando la herramienta polígonos de Thiessen y los polígonos creados representan el área más próxima a la muestra a la que está sujeta. De los 45 contratos 12 repiten los datos de una misma muestra (**Figura 5**).

3.9.2 Datos climatológicos y topográficos

Los datos climáticos se toman a partir de la digitalización de los mapas del atlas climatológico de Costa Rica, que se construyó a partir de la información su-

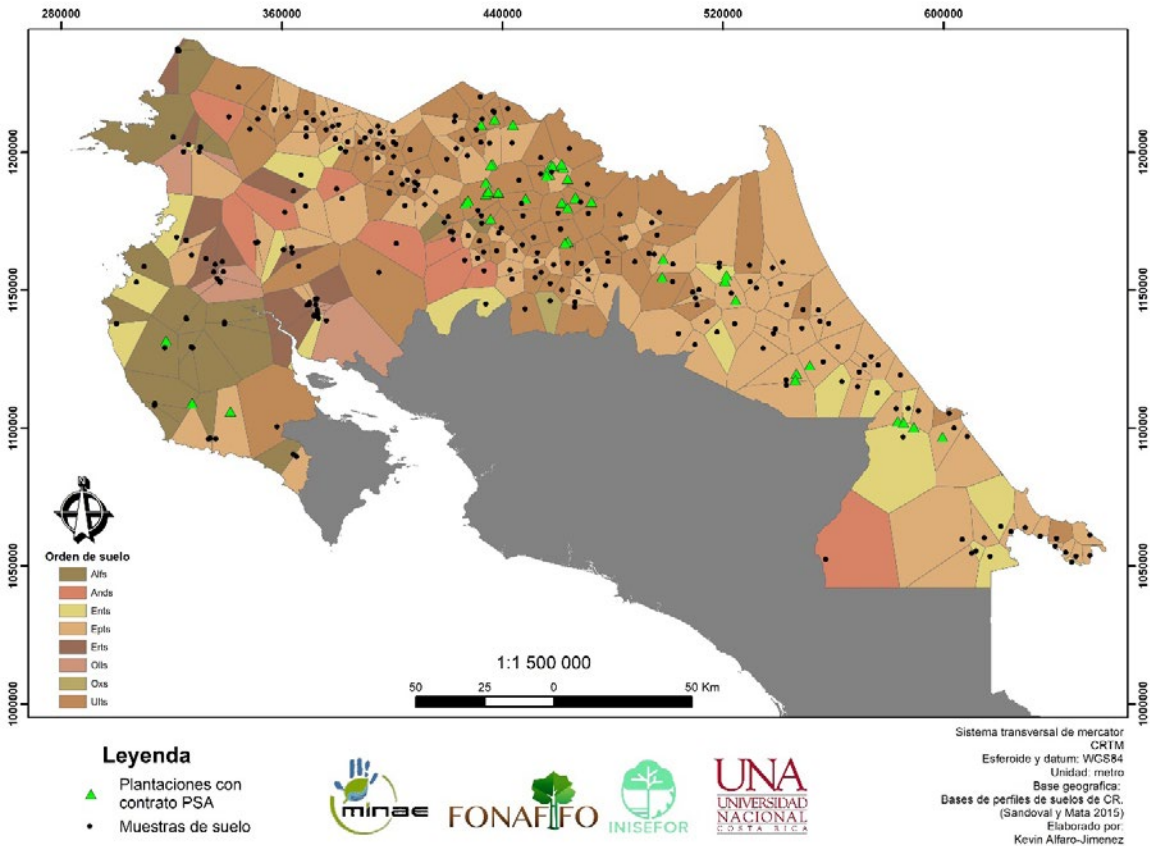


Figura 5. Características del suelo de las plantaciones de *Gmelina arborea* consideradas en el estudio según bases de perfiles de suelos de Costa Rica (Sandoval y Mata, 2014).

ministrada por las estaciones de la red meteorológica del IMN del periodo 1961 – 1980. El dato topográfico que se consideró fue la pendiente, determinada a partir de las curvas de nivel de las hojas topográficas nacionales 1:50 000, mediante el uso de herramientas geo espa-

ciales de modelado digital de elevación y definición de pendientes en grados. Las variables de riesgo de inundación e incendio fueron tomadas del atlas de Costa Rica actualizado al 2014, por el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

I CAPÍTULO TULO

SEVERIDAD
SOBRE EL ÁRBOL



4.1 Relación según la categoría de valoración visual de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) y las dimensiones del árbol individual

En esta sección se describen los valores generales del registro de datos de los árboles individuales. En la **Figura 6** se presenta la SPT para cada árbol evaluado según la valoración visual en campo.

Esta valoración se muestra en la figura con tres diferentes colores; congruentes con las tres categorías de SPT. El color azul representa los árboles que no presenta síntomas, el color amarillo son aquellos individuos con síntomas visibles pero leves, y el color rojo corresponde a los árboles que su afectación es completa o casi completa.

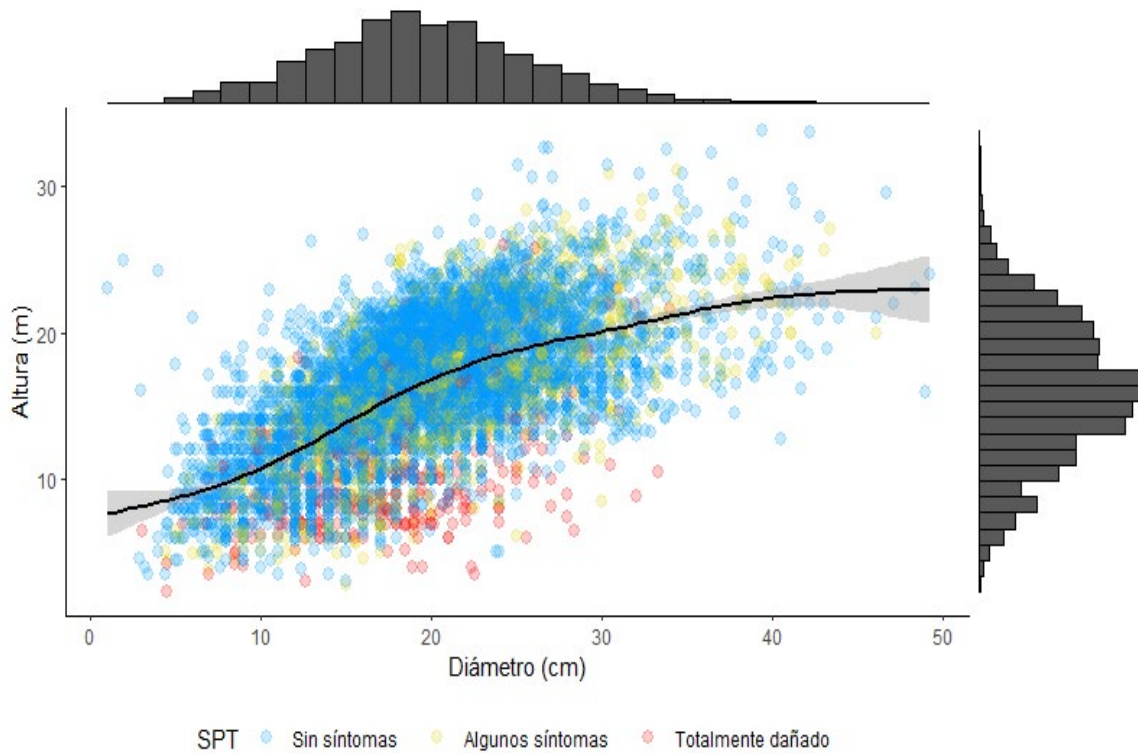
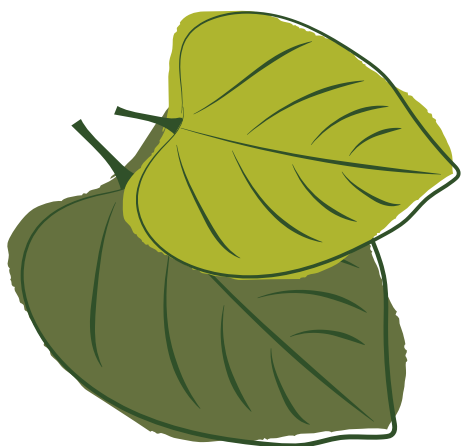


Figura 6. Relación diámetro y altura de los árboles con la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea* y el histograma de densidad de observaciones para el diámetro (cm) y la altura (m) para el total de la muestra. Costa Rica.



Se puede apreciar que la mayor abundancia de árboles no presenta síntomas visibles (puntos color azul, 75 % de los árboles registrados), seguido de un destacado número de puntos amarillos (18 % de los árboles, con síntomas leves), y muy levemente los puntos rojos que representan los árboles con una afectación total o casi total y corresponde a un 7 % de los individuos totales.

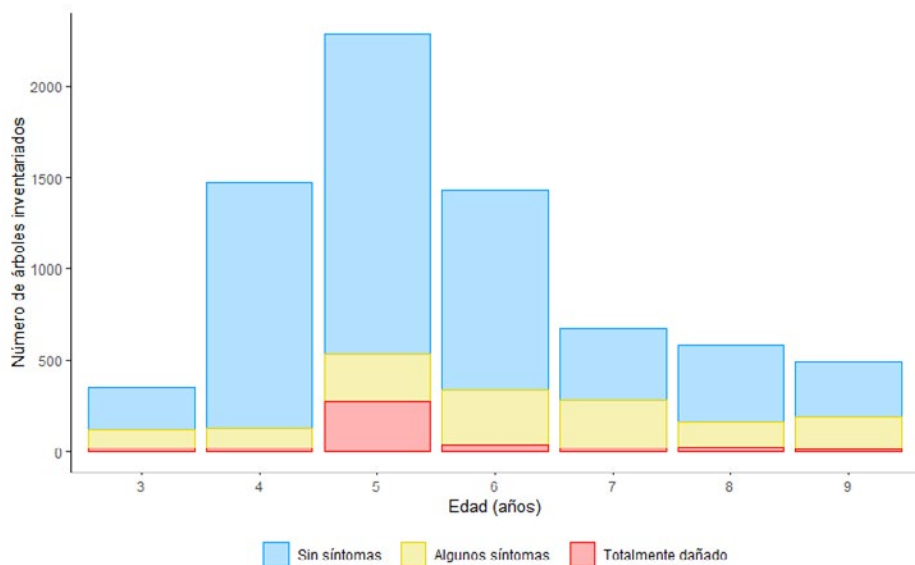
Complementariamente, los histogramas que se encuentran al margen de la **Figura 6**, reflejan la concentración de los datos para las variables altura y diámetro. En el histograma ubicado en la parte superior se muestra que los datos se hallan agrupados entre los diámetros de 13 a 24 cm y en el ubicado a la derecha se muestran los datos agrupados entre 12 y 20 m de altura.

4.1.1 Relación de la edad del árbol con la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT)

En la **Figura 6A** se presenta la abundancia de árboles por categoría de SPT según la edad de la plantación. En términos generales, no se evidencia alguna tendencia definida entre la distribución proporcional para cada categoría de SPT con la edad.

La mayor cantidad de árboles que se categorizan con una alta afectación por la SPT (categoría 2) se presentan en plantaciones de 5 años, donde el 18 % de los individuos están completamente afectados al compararlo con el número total de árboles de esta edad. Esta categoría de la SPT se mantiene relativamente constante durante las otras edades, con valores bajos cercanos al 8 %. Mientras que a la edad de 4 años es donde presenta el mayor número de individuos sin síntomas de afectación por la SPT. Complementariamente, en los gráficos de violín (**Figura 7B**) se observa que la mayor abundancia de individuos con mayor afectación (categoría 2, color rojo) se encuentran en la edad de 5 años.

A



B

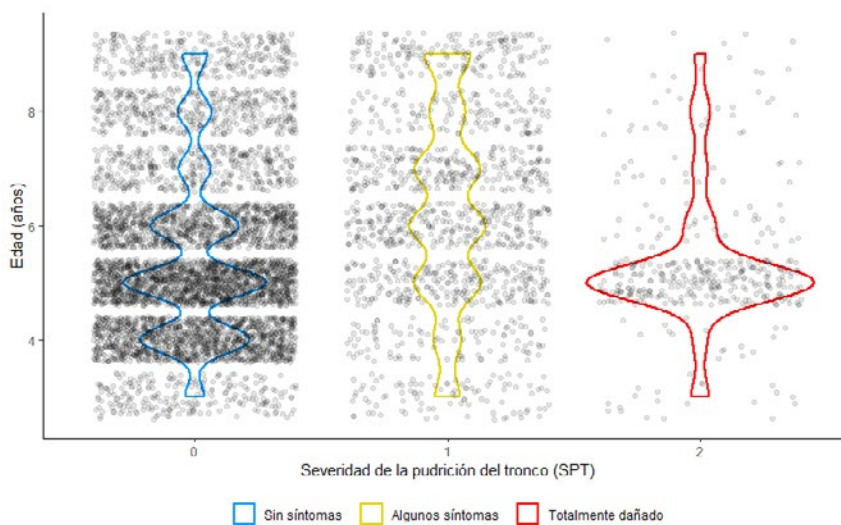
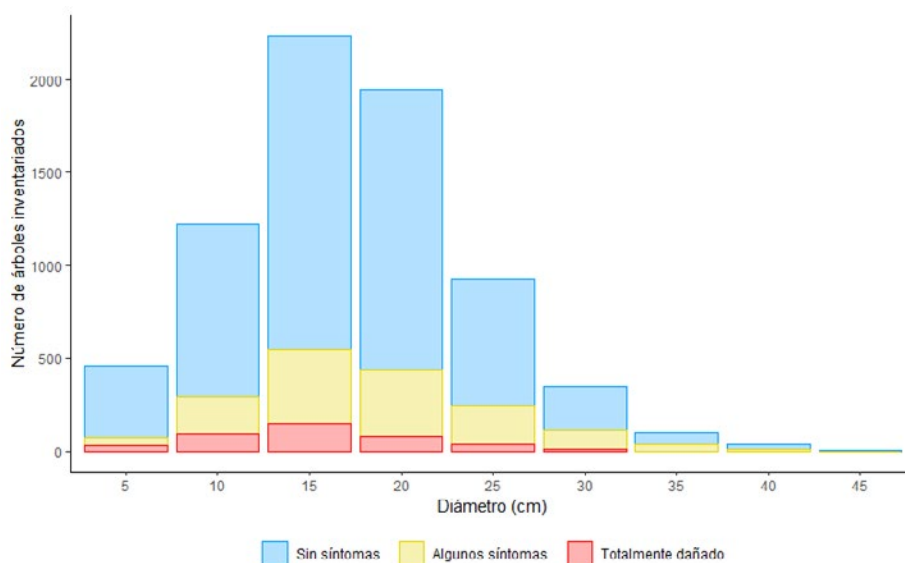


Figura 7. Distribución por edad y categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra. Costa Rica.

4.1.2 Relación del diámetro del árbol con la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT)

La distribución de los diámetros con relación a la categoría de SPT se presenta en la **Figura 8A**. Donde se observa que la categoría 2 de SPT ronda un 5 %, en el rango de tamaños que va de entre los 5 hasta los 25 cm de dap (diámetro a la altura de pecho). Cuando se acumulan las categorías de afectación alta y de presencia de síntomas (categorías 1 y 2), se observa que los valores pueden alcanzar el 20 % en los árboles con diámetros de entre 15 y 25 cm del total de individuos con estos diámetros. Los gráficos de violín muestran en su abultamiento la abundancia de individuos, al comparar los tres gráficos de violín de la **Figura 8B**, se puede observar que la tendencia de los abultamientos es, ligeramente, hacia los diámetros menores a 20 cm de dap.

A



B

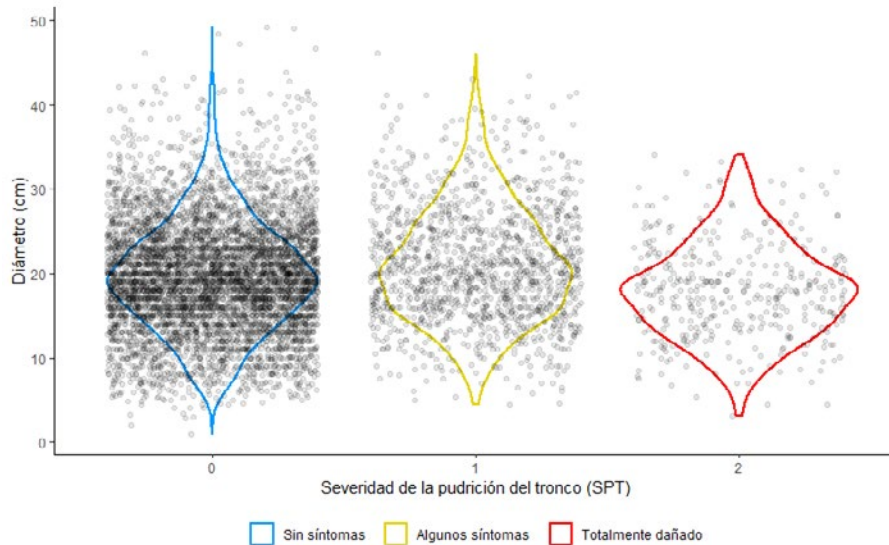
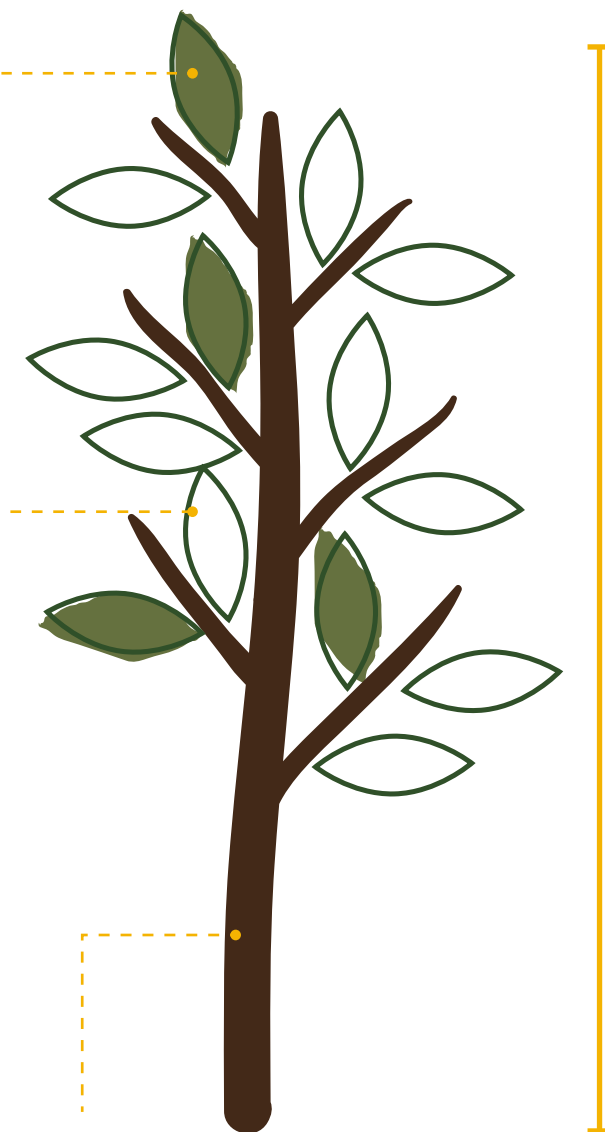


Figura 8. Distribución por diámetro y categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra. Costa Rica.

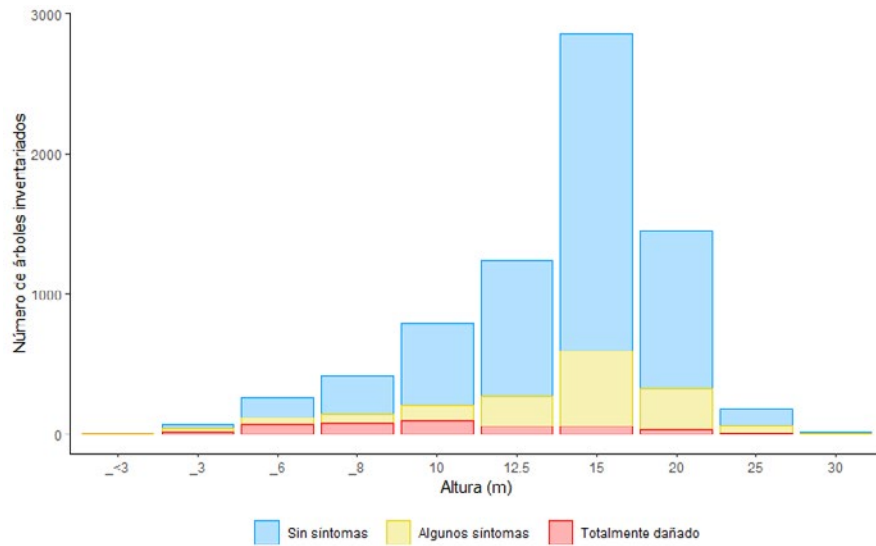
4.1.3 Relación de la altura del árbol con la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT)

En principio se debe aclarar que la altura considerada en campo corresponde a la altura viva más alta del árbol, es decir, a la altura hasta donde el tronco -visualmente- no pareciera tener síntomas de muerte descendente (ramas vivas o rebrotes, por ejemplo). Esto debe de ser considerado en el momento de analizar los datos. En la **Figura 9A** se presenta la distribución en altura de los árboles según la categorización de la SPT. Desde el punto de vista proporcional, se presenta un porcentaje bajo de afectación alta (categoría 2) de la SPT en los individuos más altos -por encima de los 12,5 m de altura-; esta tendencia es contraria para los árboles con alturas menores a 10 m, donde el porcentaje de afectación total (categoría 2) de la SPT llega a superar el 10 % con respecto al total de los individuos para esas alturas. Complementariamente, al acumular las categorías de afectación alta y de presencia de síntomas de SPT (categoría

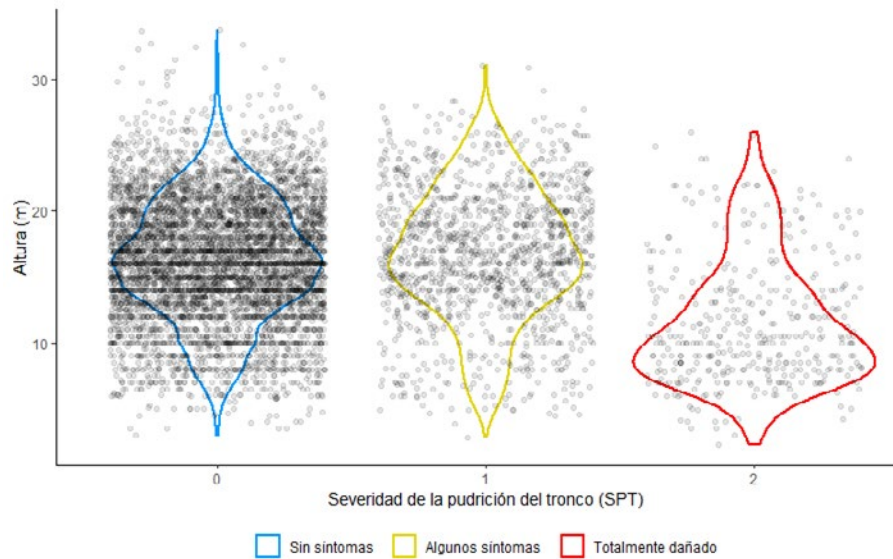


1 y 2), los individuos de tamaños menores a los 10 m alcanzan el 25 % del total de los individuos en esa categoría, llegando a ser hasta de un 50 % del total de los individuos en árboles que se reportaron con 6 m de altura viva. La concentración de los árboles afectados en la altura de los 6 m se evidencia claramente en la forma achatada hacia la base del gráfico de violín (color rojo), lo que se puede ver en la **Figura 9B**.

A



B



*La altura fue medida en el punto más alto del tronco donde visualmente no pareciera tener síntomas de muerte descendente

Figura 9. Distribución por altura y categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra. Costa Rica.

4.2 Análisis sobre la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) según edad de la plantación y las dimensiones del árbol individual

En la sección anterior se presentaron ciertas generalidades que permiten plantear algunos hallazgos. Estos sirven de base para orientar una mayor profundidad en el análisis que se realizará en esta parte del trabajo. Entre los principales hallazgos están:

- En términos generales, se observan diámetros y alturas menores en los individuos que se encuentran en la categoría 2 de la SPT lo que efectivamente tendrá un impacto significativo en la productividad del árbol.
- Sin embargo, la evidencia sugiere que el efecto de la SPT es menos evidente y dramática en el diámetro que sobre la altura.

En esta sección se busca identificar algún tipo de tendencia entre las categorías de la SPT y la productividad de las plantaciones forestales por medio de sus características dasométricas según la edad de la plantación. Las variables individuales del árbol (diámetro y altura), se analizarán estratificando la muestra por edad de la plantación. La intención es evaluar el desarrollo del ár-

bol según la edad y donde es esperado cierto rendimiento (dimensiones). No obstante, este desarrollo esperado no se debe únicamente al efecto de la SPT, ya que también las variables del sitio como su calidad influyen y éstas no se están evaluando.

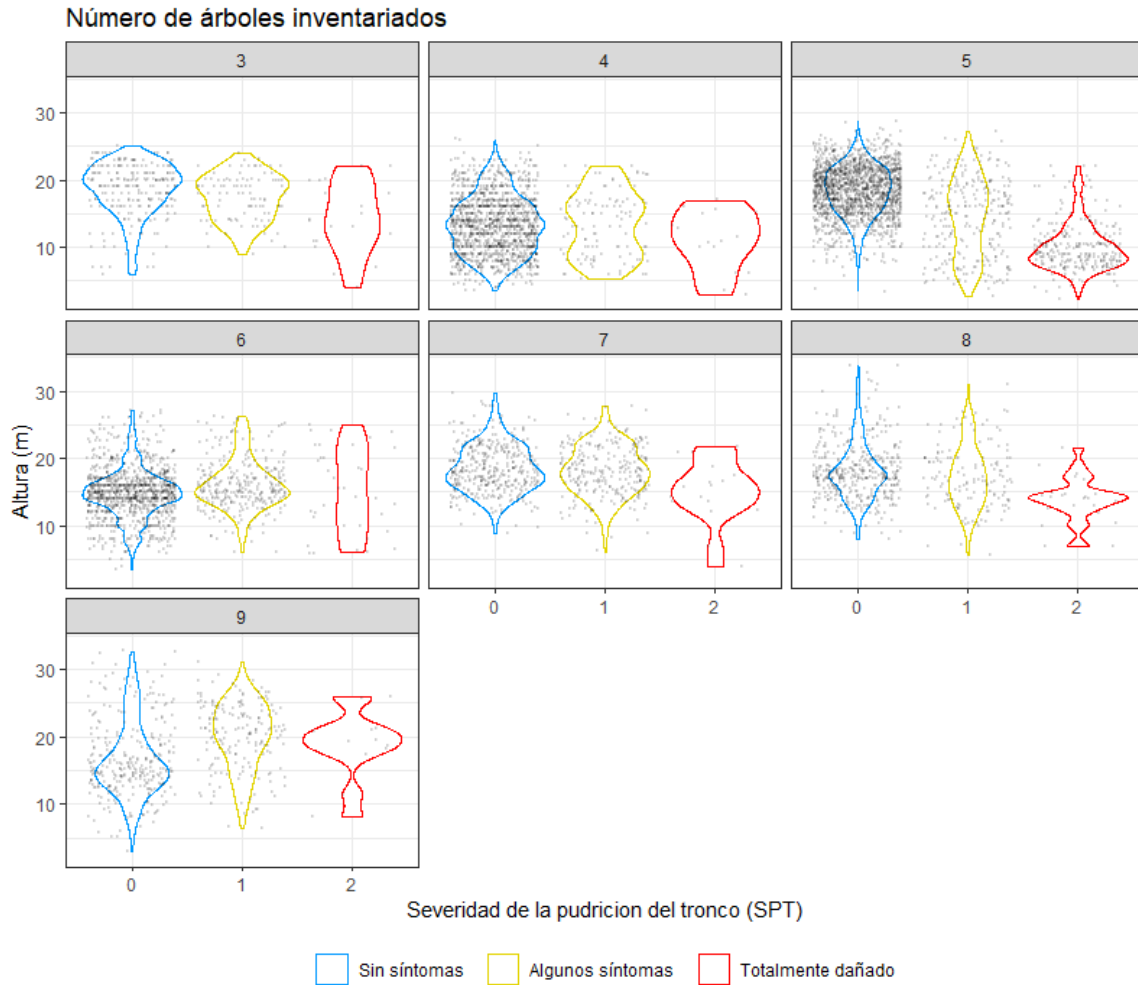
4.2.1 Análisis sobre la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) según edad de la plantación y la altura

En este caso, se analiza el efecto de la SPT sobre los valores obtenidos en las alturas para el árbol individual estratificado por edad. El valor máximo en altura alcanzado por cada árbol individual relacionado a cada categoría de la SPT se considera como una medida indirecta para evaluar su productividad. Por lo tanto, sin importar la edad de la plantación, se esperaría una mayor cantidad de árboles altos en las categorías 0 y 1; lo que hace referencia a las categorías de menor afectación de la SPT, y una cantidad menor de árboles altos en la categoría 2, considerada como la más severa de las tres.

En términos generales, sin importa la edad, se observa que las alturas de los árboles son menores en la categoría 2 de la SPT (**Figura 10**). Con respecto, a

la diferencia de alturas entre las categorías 0 y 1, no se observan diferencias significativas de alturas alcanzadas, prácticamente, en ninguna edad. Lo anterior, queda demostrado cuando se

observa en la **Figura 10** que las formas predominantes de las siluetas en la categoría 2 (color rojo) son achatadas y sin prolongaciones que lleguen a alcanzar las alturas máximas reportadas en las categorías 0 y 1.



*La altura fue medida en el punto más alto del tronco donde visualmente no pareciera tener síntomas de muerte descendente

Figura 10. Tendencia de la altura de los árboles según la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra estratificado por edad de plantación. Costa Rica.

4.2.2 Análisis sobre la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) según la edad de la plantación y el diámetro

En términos generales, el patrón anteriormente mencionado se repite para las diferencias observadas entre alturas medias por categoría de SPT. Lo anterior se evidencia al analizar en la **Figura 10** que las partes más anchas (altura media) en las siluetas de la categoría 2 (color rojo) se encuentran por debajo al nivel observado de las partes más anchas en las siluetas de las categorías de SPT de 0 y 1, con colores azul y amarillo, respectivamente. Una excepción ocurre en la edad de 9 años, donde la categoría 0 presenta un mayor abultamiento (color azul) en la parte baja de la silueta en comparación a las categorías 1 y 2. Se destaca, que, a las edades de 6 y 7 años, las formas de las siluetas de las categorías 0 y 1 son similares; en ambos casos se parecen a un trompo, con un ensanchamiento en el centro de la silueta. Esto quiere decir que las poblaciones de individuos presentan una distribución de las alturas muy similar sin importar la categoría SPT.

El diámetro es una de las principales variables utilizadas en los estudios ecológicos y forestales, por ser una variable dasométrica en donde se incurre en un menor sesgo de medición y es muy utilizada para evaluar prácticas de manejo a nivel de rodal. Congruentemente, se reconoce que al analizar la relación que tiene la SPT con el crecimiento del diámetro se tendrá una medición indirecta sobre el efecto de la pudrición del tronco en el desarrollo de la plantación.

La distribución de la abundancia de individuos por diámetro sugiere que los árboles clasificados dentro de la categoría 2 de SPT, poseen dimensiones menores al compararlos con los diámetros alcanzados por los individuos en las categorías 0 o 1 (**Figura 11**). Esto se puede reafirmar al analizar la forma de los gráficos de violín, que representan la dispersión de los datos estratificados por edad para cada una de las categorías de SPT, en la **Figura 11**, donde se aprecia que la categoría 2 (color rojo) en las siluetas son achatadas, prácticamente sin prolongaciones. Contrariamente, las siluetas de las categorías 0 y 1, tienen

formas más prolongadas, color azul y amarillo, respectivamente. No obstante, al considerar el diámetro medio por categoría de SPT la tendencia mostrada cambia levemente. Este cambio se debe a que, al analizar las partes más anchas de las siluetas (que corresponde al diámetro promedio) para cada una de las categorías de SPT (**Figura 11**), se puede

comprobar que los diámetros promedios por categoría de SPT tienen tamaños similares sin importar la edad de la plantación. Una excepción se da en la edad de 4 años, donde se observa que la parte más ancha en la silueta de la categoría 2 (color rojo) está por debajo de las partes más anchas en las siluetas de las categorías 0 y 1.

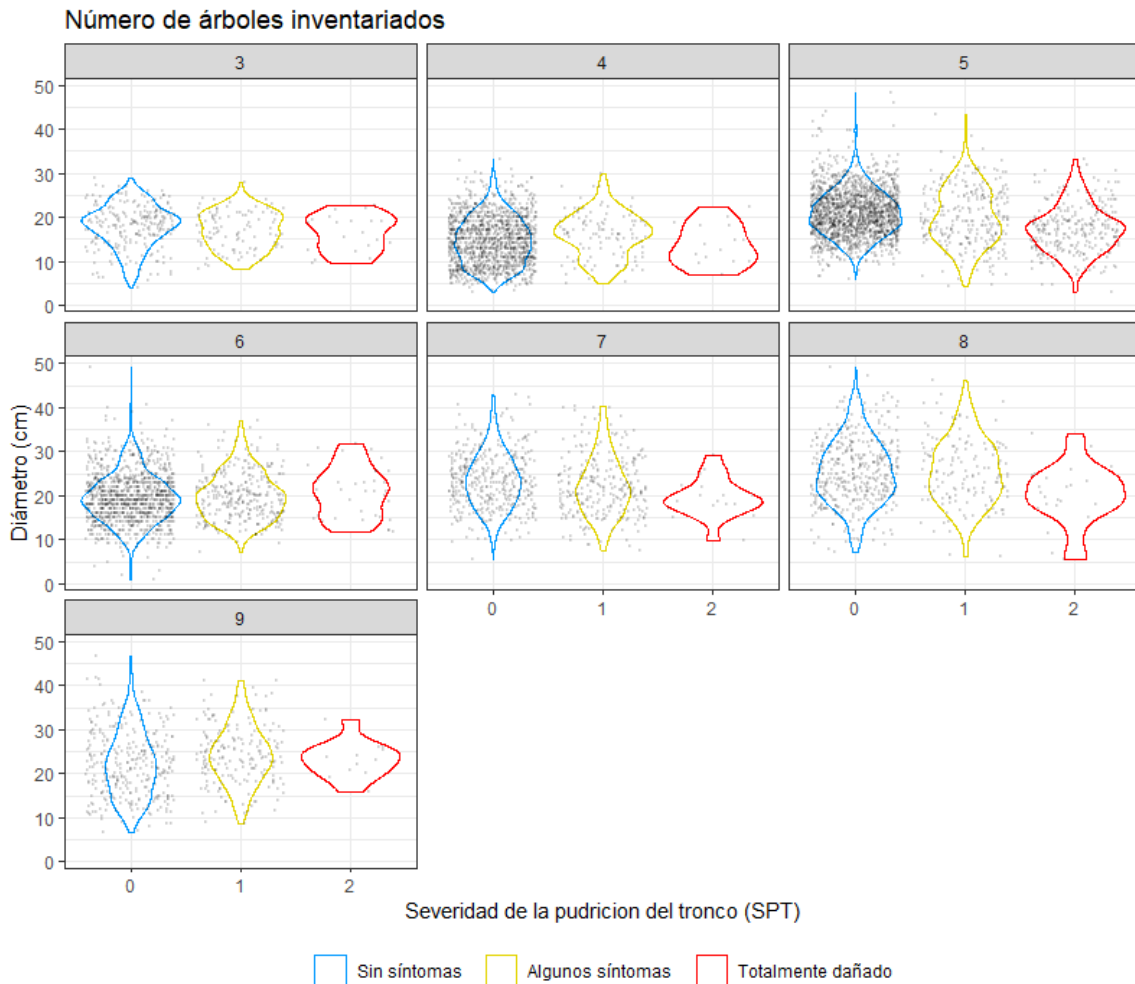


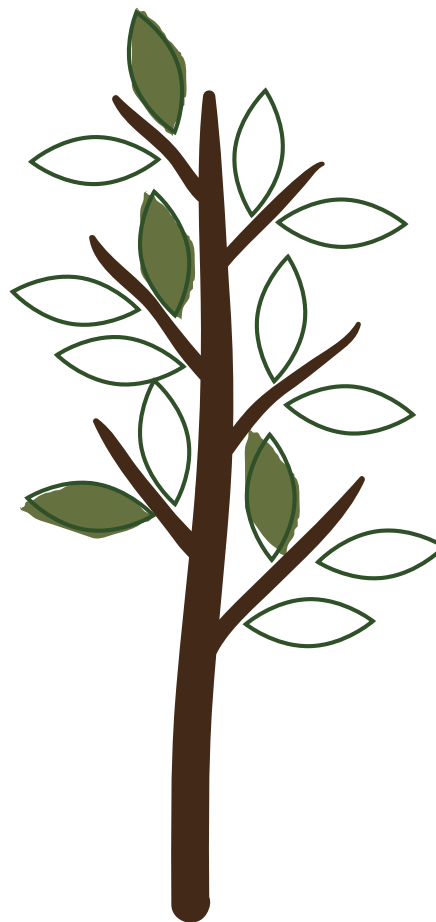
Figura 11. Tendencia del diámetro de los árboles según la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra estratificado por edad de plantación. Costa Rica.

4.3 Estadísticas sobre la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) por región administrativa

En esta sección se hace una descripción de la SPT por distrito para cada una de las regiones mencionadas. El objetivo es aportar estadísticas que describan la SPT a nivel regional, lo que convierte a este trabajo como el primer intento por generar datos más allá de la finca.

4.3.1 Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en la Región Huetar Atlántica

En términos generales, la RHA contó con 72 UM, donde se midieron 1 096 árboles, de los cuales un 65,9 % de los individuos se encuentran en la categoría 0, un 29,7 % se reportan en la categoría 1 y un 4,8 % en la categoría 2, según las categorías de la escala visual de valoración de la SPT. En la muestra se evaluaron seis distritos (**Figura 12**), donde se observa



que en 4 distritos (Carrandi, Matama, Rio Blanco y La Rita) existe una mayor cantidad de árboles en la categoría 0 de SPT (árboles sanos, color azul) al compararlos con los árboles que se encuentran en las categorías 1 y 2 (amarillo y rojo respectivamente). Caso contrario, ocurre en La Alegría y Germania, donde la cantidad de árboles con patologías (categoría 1 y 2) es mayor que la cantidad de árboles sanos (categoría 0); lo que evidencia claramente una limitante para obtener mayores volúmenes de madera a futuro.

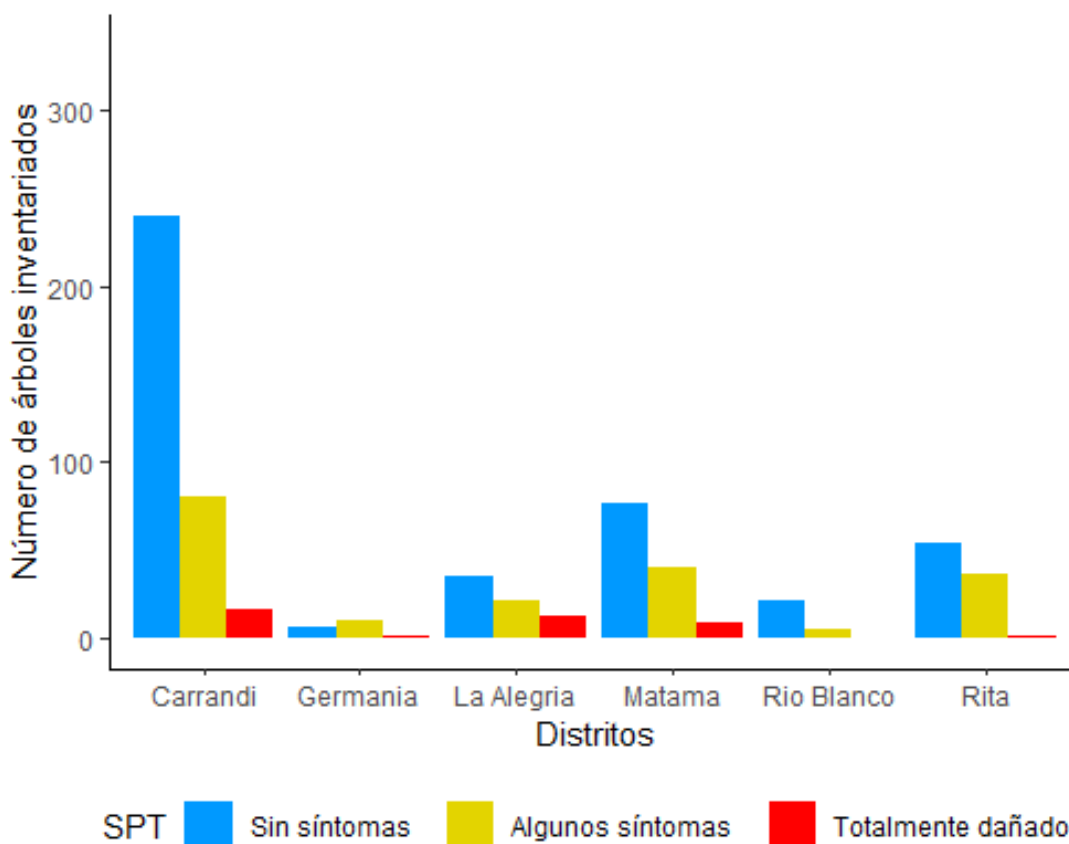


Figura 12. Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea* por distrito, Región Huetar Atlántica. Costa Rica.

4.3.2 Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en la Región Huetar Norte

En la RHN se contó con 327 UM, donde se midieron 5 779 árboles, de los cuales un 82 % se encuentran en categoría 0, un 16,8 % se reportan en la categoría 1 y apenas un 1,2 % en la categoría 2. Meza *et al.* (2019) señalan que los

cantones que cuentan con mayor área plantada con *G. arborea* en la RHN fueron San Carlos (2 918,3 ha) y Los Chiles (2 292 ha). El inventario forestal cubrió 7 distritos y se puede observar que sin importar el distrito, el número de árboles en la categoría 2 de SPT es bajo o nulo (**Figura 13**); esto podría indicar que las empresas o productores están más pendientes a la hora de realizar cortas

fitosanitarias. En el distrito de Aguas Zarcas, se observan que la cantidad de árboles con patologías (categoría 1) es similar a la cantidad de árboles sanos (categoría 0). Para el resto de los distritos (5 en total), la cantidad de árbo-

les sanos (categoría 0), es mayor a la mostrada por los árboles con patologías (categoría 1 o 2). Se destacan los distritos de Pocosal y Los Chiles, donde prácticamente todos los árboles medidos se encuentran sanos.

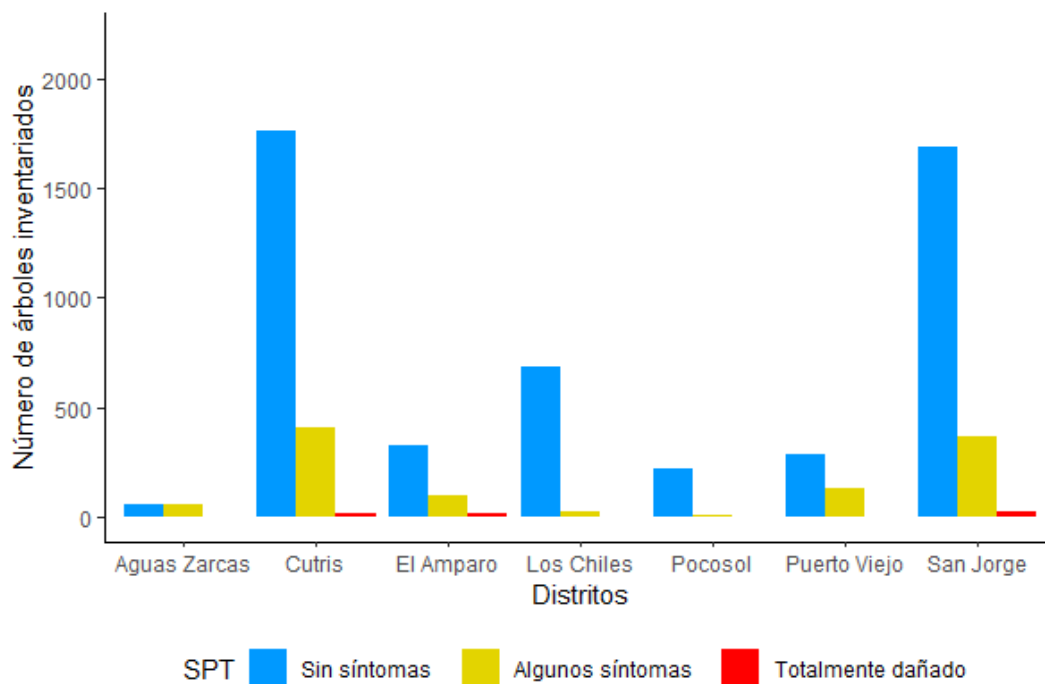


Figura 13. Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea* por distrito, Región Huetar Norte. Costa Rica.

4.3.3 Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en la Región Chorotega

El inventario forestal en la RCh cubrió tres distritos y contó con 25 UM, donde se midieron 524 árboles, de los cuales el 10,5 % se encuentran en la categoría 0 de SPT, un 37 % se reporta en la catego-

ría 1 y un 52,5 % están totalmente afectados (categoría 2). Se evidencia, en la **Figura 14**, que en los distritos de 27 de abril y de Hojanca, se reportan una mayor cantidad de árboles en las categorías 1 y 2, en comparación a la baja cantidad de árboles sanos (categoría 0); inclusive para el distrito de Hojanca no se muestrearon árboles sanos.

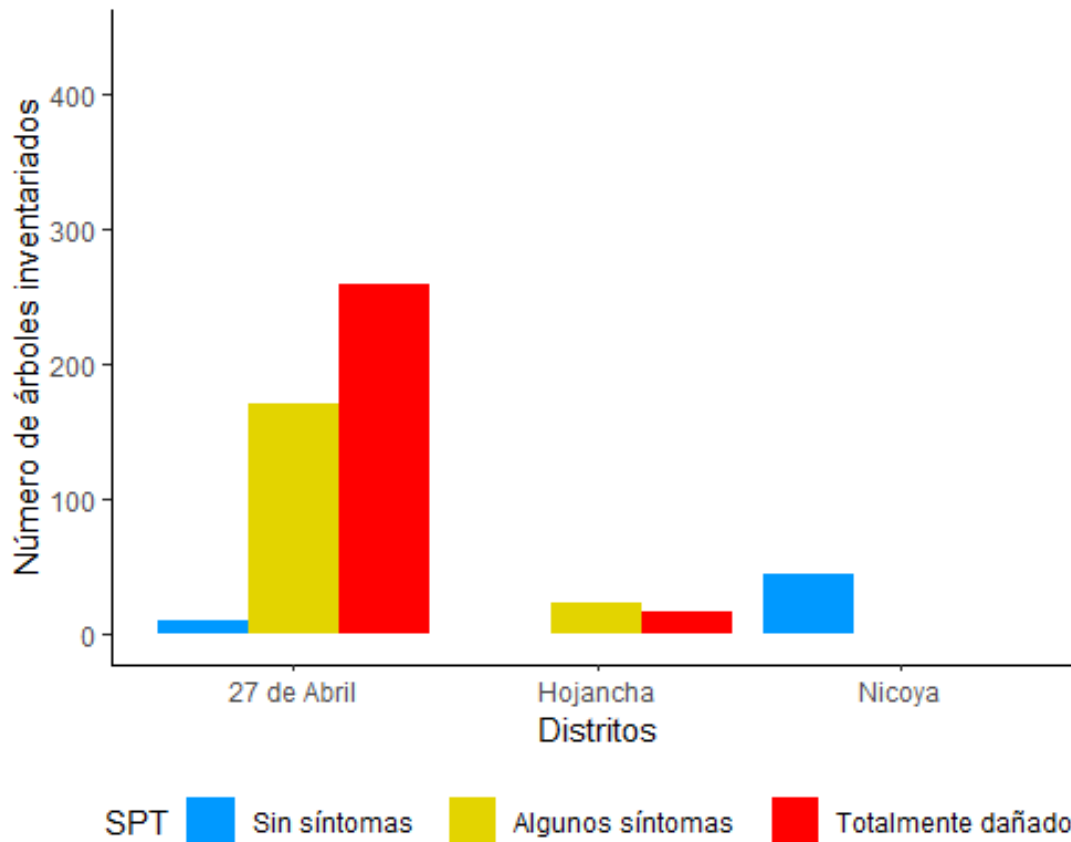


Figura 14. Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en *Gmelina arborea* por distrito, Región Huetar Norte. Costa Rica.

4.4. Discusión

En términos generales, no se evidencia algún tipo de relación entre la distribución proporcional para cada categoría de SPT y la edad de la plantación. Esta observación es condicionada por el efecto que tienen los raleos en el número de individuos presentes en la plantación más allá de la edad de esta. Esto sugiere que la condición actual de la plantación es producto del efecto de la necesidad de

eliminar individuos con algún grado de SPT (1 y 2) -aún desde edades tempranas (desde los 3 años)-. Esta actividad es consecuente con el hecho de que el mercado para embalaje acepta el material producto de esos raleos.

En este sentido, los raleos fitosanitarios o de carácter comercial son el principal factor que influye en el análisis de

los datos. Según Meza *et al.* (2019), en las áreas en estudio para *G. arborea* se aplican en promedio tres raleos durante el turno de corta, que responden en primera instancia a tratamientos fitosanitarios. No obstante, también obedecen a necesidades del mercado de materia prima para embalaje. Esto sin lugar a duda debe verse como la principal condicionante de la manera de cómo se tratan los datos y las lecciones aprendidas durante todo el trabajo. Bajo el escenario donde se hace difícil evidenciar el verdadero efecto de la severidad de la pudrición del tronco, surge la duda de cuál es el momento indicado para realizar una evaluación más efectiva de acorde a la evaluación de la enfermedad. Pero también, debe verse como una oportunidad para generar evidencia empírica sobre el estado de la SPT en las plantaciones forestales bajo condiciones reales de manejo.

Los datos sugieren que el efecto de la SPT es menos evidente y dramático sobre el diámetro que sobre la altura. No obstante, debe aclararse que la altura considerada en campo corresponde a la altura hasta donde el tronco -visualmente- no pareciera tener síntomas de muerte descendente (ramas vivas o rebrotes). Por lo tanto, este aspecto metodológico condiciona el análisis que se

haga sobre el efecto que tiene la SPT en la altura. No obstante, sin importar la edad de la plantación, se esperaría una mayor cantidad de árboles altos en las categorías 0 y 1; lo que hace referencia a las categorías de menor afectación de la SPT, y una cantidad menor de árboles altos en la categoría 2, considerada como la más severa de las tres.

En el caso del diámetro, es una de las principales variables para el análisis de los estudios ecológicos y forestales; y las más ampliamente utilizadas para evaluar prácticas de manejo. A nivel de rodal se observó; los diámetros promedio reportados por categoría de SPT tienen tamaños similares sin importar la edad de la plantación. Lo que es consecuente con el análisis del efecto que tienen los raleos sobre la distribución diamétrica de la masa del rodal. En este caso, se reconoce que al analizar la relación que tiene la SPT con el crecimiento del diámetro se tendrá una medición indirecta sobre el efecto de la pudrición del tronco en el desarrollo de la plantación. No obstante, en términos generales, no es posible precisar con evidencia empírica el verdadero efecto que tiene la SPT sobre el diámetro, ya que las prácticas de manejo y cosechas anticipadas, ensombrecen el efecto de la SPT sobre la plantación.

En términos de la distribución geoespacial, existen diferencias en la SPT por Región Administrativa. Esto se relaciona a la presencia de mercados de la tarima que compensan la realización de raleos fitosanitarios comerciales. Para la RHN se midieron 5 779 árboles, de los cuales un 1,2 % están en la categoría 2 y es la región donde está más desarrollada la industria de las tarimas; en la RHA se midieron 1 096 árboles, de los cuales un 4,8 % se encuentran en la categoría 2, y en la RCh se midieron 524 árboles, de los cuales un 52,5 % están totalmente afectados (categoría 2). Lo anterior, sugiere que en la RHN existe la cultura forestal asociada al raleo fitosanitario de carácter comercial y de saneamiento, ya que efectivamente en esta región se tienen industrias de tarimas demandantes de materia prima, lo que económicamente retribuye la realización de estos raleos, además al ser empresas especializadas, buscan obtener el mayor rendimiento en su cosecha, por lo que dan el mejor manejo posible a su plantación. En el caso de la RCh la industria está asociada mayoritariamente al cultivo de *Tectona grandis* y no al de *G. arborea*; por lo tanto, la realización de raleos fitosanitarios en *G. arborea* -sin

compensación económica producto de la venta de esta materia prima- podría competir por recursos con la necesidad de realizar prácticas de manejo en las plantaciones de *T. grandis*.

4.5 Lecciones aprendidas

Se observan diámetros y alturas menores en los individuos que se encuentran en la categoría 2 de SPT (con mayor afectación) lo que efectivamente tendrá un impacto significativo en la productividad del árbol. Consecuentemente, en términos de la productividad de la plantación el valor máximo en altura alcanzado por cada árbol individual relacionado a cada categoría de la SPT es considerado como una medida indirecta para evaluar la productividad de la plantación; no obstante, las prácticas habituales de manejo que realizan los productores ensombrecen el efecto real que tiene la pudrición del tronco sobre los resultados obtenidos a nivel de las plantaciones.

II CAPÍTULO TULO

INCIDENCIA
SOBRE LA
PRODUCTIVIDAD



5.1 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la productividad de la plantación

Se analiza el ISP% en relación con la productividad del rodal. Es decir, se evalúan las tendencias que se presentan entre el ISP% y la densidad (arb/ha), el área basal (m²/ha) y el volumen por sitio (m³/ha). Complementariamente, se debe tomar en cuenta que los hallazgos encontrados tienen relación a una serie de factores como son: a) el efecto de la SPT, b) la decisión económica –con una lógica- de aprovechar los árboles enfermos antes de que se dé una muerte progresiva –esto es el raleo fitosanitario- y c) la corta adelantada como producto de una demanda puntual de mercado o para satisfacer las necesidades de la industria. En este contexto, sería osado de nuestra parte pretender ir más allá de generar una línea base a nivel regional que describa la severidad de la pudrición del tronco en las regiones.

Es necesario considerar que el ISP% evalúa por medio de un porcentaje la afectación de la pudrición del tronco en cada sitio o UM. Este se agrupa en

cuatro rangos: un ISP% sin síntomas es igual a 0 %; un ISP% bajo es mayor a un 0 %, pero menor o igual a un 33 %; un ISP% medio es mayor a un 33 %, pero menor o igual a un 66 % y un ISP% alto es mayor a un 66 %. Consecuentemente, al asignar un ISP% para cada una de las 424 UM; se obtiene que, en términos generales, un 4 % (17 UM) presentan un ISP% alto, un 13 % (57 UM) presenta un ISP% medio, un 50 % (214 UM) corresponde a un ISP% bajo y un 32 % (136 UM) reportó un ISP% sin síntomas (**Anexo 1**). De lo anterior, se puede generalizar que el ISP% en las tres regiones analizadas es bajo; ya que al sumar las escalas menores del ISP% se obtiene que un 82 % (350) de las UM tienen un ISP% bajo o sin síntomas, en comparación al 18 % (74) que suman las UM que tienen un ISP% medio o alto. Esta variabilidad de condiciones se observa en el campo (**Figura 15**).



Plantación de *Gmelina arborea* con 9,8 años



Plantación de *Gmelina arborea* con 9,8 años



Plantación de *Gmelina arborea* con 9 años



Plantación de *Gmelina arborea* con 9 años

Figura 15. Condiciones diversas que presentan los sitios muestreados en plantaciones de *Gmelina arborea*. Costa Rica.

5.1.1 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la densidad del rodal

La densidad del rodal según el muestreo varió de entre 20 arb/ha hasta 1 180 arb/ha. En la **Figura 16A** se representa la dispersión de las UM según el ISP%, que en el caso del ISP% alto (color rojo) se presenta un ensanchamiento hacia las densidades mayores a 600 arb/ha; se observa, además, que el pico en la densidad de datos para el ISP% alto se da cercano a los 600 arb/ha (**Figura 16B**). Lo que parece sugere

que efectivamente existe una asociación directa entre el aumento de la pudrición del tronco y los sitios con mayores densidades. Sin embargo, este análisis no debe de hacerse sin contemplar que la densidad de las plantaciones puede tener diferentes justificantes, por ejemplo, las plantaciones menos densas podrían haber pasado por una disminución de árboles debido a raleos de saneamiento o muerte de árboles afectados, lo que no estaría siendo evidenciado dentro de la UM; por lo tanto, la relación densidad-enfermedad no es estrictamente confiable.

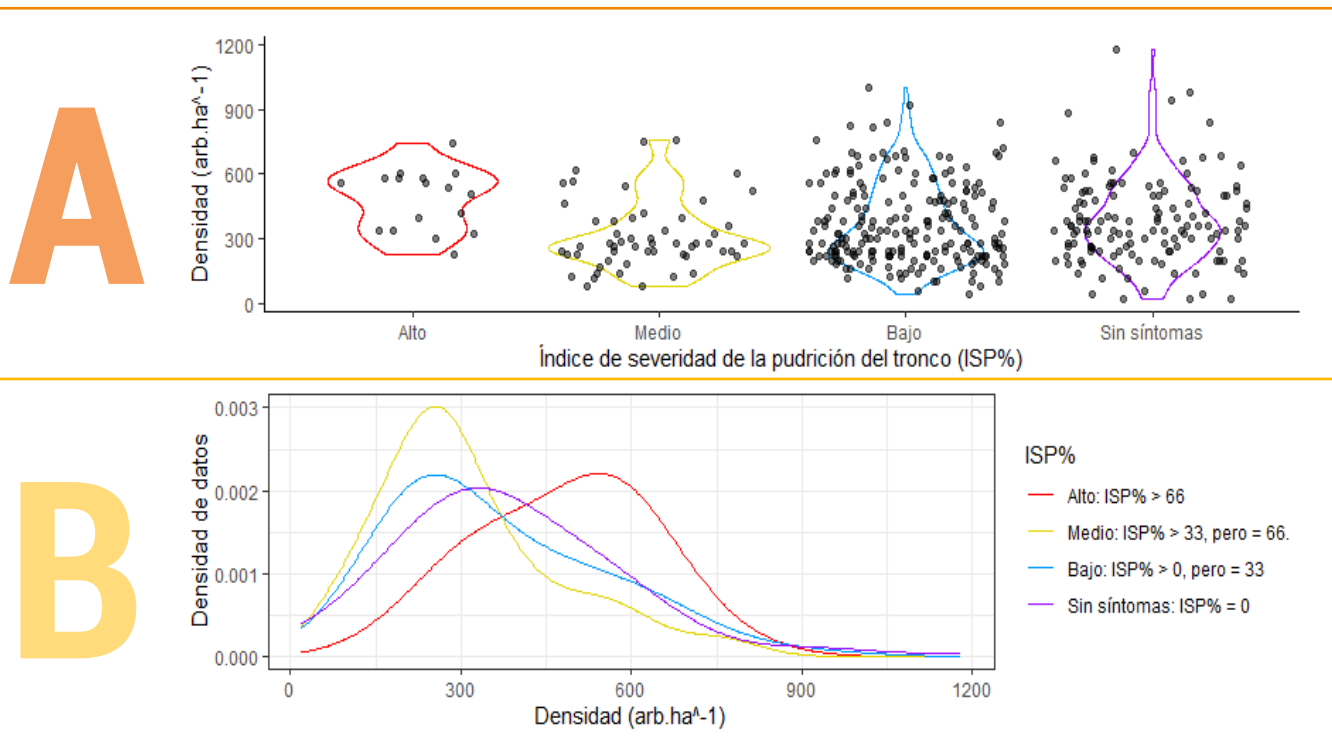


Figura 16. A) Gráfico violín, distribución de la densidad de la plantación (arb/ha) y el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%); B) Tendencia de la distribución de las UM según ISP% y la distribución de los datos de la densidad del rodal (Gráfico de densidad de Kernel). Total, de la muestra. *Gmelina arborea*. Costa Rica.

Paralelamente, se observa en la **Figura 16A** que en el caso de los restantes tres ISP%, los ensanchamientos se dan por debajo de los 340 arb/ha. Para, el ISP% medio (color amarillo) el ensanchamiento se da en una densidad de 240 arb/ha, el ISP% bajo (color azul) el ensanchamiento se da a una densidad de 220 arb/ha y el ISP% sin síntomas (color morado) se da en una densidad de 340 arb/ha. Complementariamente, en la **Figura 16B**, se muestran los picos máximos que alcanzan las UM según el ISP% y su relación con la densidad del rodal.

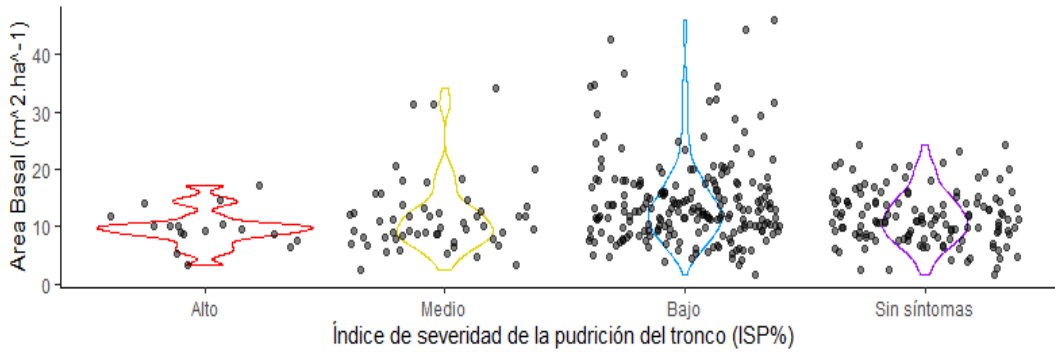
5.1.2 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (SP%) con el área basal (G)

El área basal (G) vario de 1,56 m²/ha hasta un máximo de 46,1 m²/ha en toda la muestra (**Anexo 1**). A partir del gráfico de violín (**Figura 17A**), en el cual se observa que de manera general los ensanchamientos de las siluetas (sin importar el ISP%) se dan en un G cercana a los 10 m²/ha. Sin embargo, es notorio

el mayor ensanchamiento de la silueta del ISP% alto al compararlo con los ensanchamientos que se presentan en los tres ISP% restantes, lo que quiere decir que en el caso del ISP% alto la mayor cantidad de UM presentan valores cercanos a los 10 m²/ha de G. Esto se reafirma, al observar en la **Figura 17B** que el pico máximo en la concentración de UM para el ISP% alto se da en los 11,7 m²/ha de G (color rojo). Para el caso del ISP% medio el pico máximo en la concentración de datos se da en 14,2 m²/ha de G; en el ISP% bajo el pico máximo en la concentración de datos se da en 11,9 m²/ha de G y finalmente, el ISP% sin síntomas alcanzó su máximo pico en 9,47 m²/ha de G.

Paralelamente, el ISP% bajo presenta la mayor varianza de los datos (**Figura 17A**). Esto se evidencia al observar una mayor amplitud en las prolongaciones de la silueta (color azul) del ISP% bajo, las cuales cubren todo el rango posible de los valores de G de la muestra total. Al contrario, el ISP% alto presenta la menor varianza de los datos (color rojo), cubriendo el menor rango de los valores de G si se compara con el resto de los ISP%.

A



B

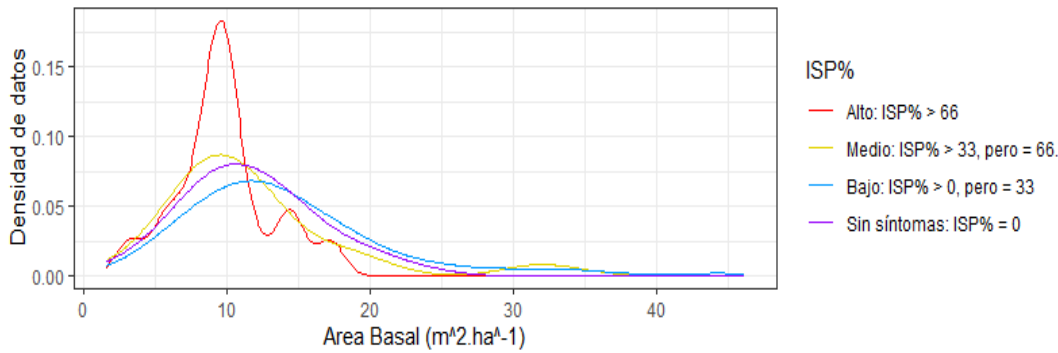


Figura 17. A) Gráfico violín, distribución del área basa (m^2/ha) de las UM y el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%); B) Tendencia de la distribución de las UM según ISP% y la distribución de los datos del área basal del rodal (Gráfico de densidad de Kernel). *Gmelina arborea*. Costa Rica.

5.1.3 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con el volumen (V)

El volumen (V) sin lugar a duda, es la variable más importante para la toma de decisiones financieras; este es el producto de la altura y el diámetro del individuo. El rango del volumen para toda la muestra va de los $6,48 m^3/ha$ a los $406,64 m^3/ha$ (**Anexo 1**). En la **Figura 18A**, se muestra que el ISP% alto pre-

senta el mayor ensanchamiento en la forma de la silueta (color rojo) en comparación a los ensanchamientos mostrados por el resto de las siluetas. Estos picos máximos en la concentración de datos según la **Figura 18B**, se dan en valores cercanos a los $41,2 m^3/ha$ para el ISP% alto, en el ISP% medio (color amarillo) se alcanza en los $75,8 m^3/ha$, en el ISP% bajo se da en los $91,7 m^3/ha$ y en el ISP% sin síntomas se da a los $70,6 m^3/ha$.

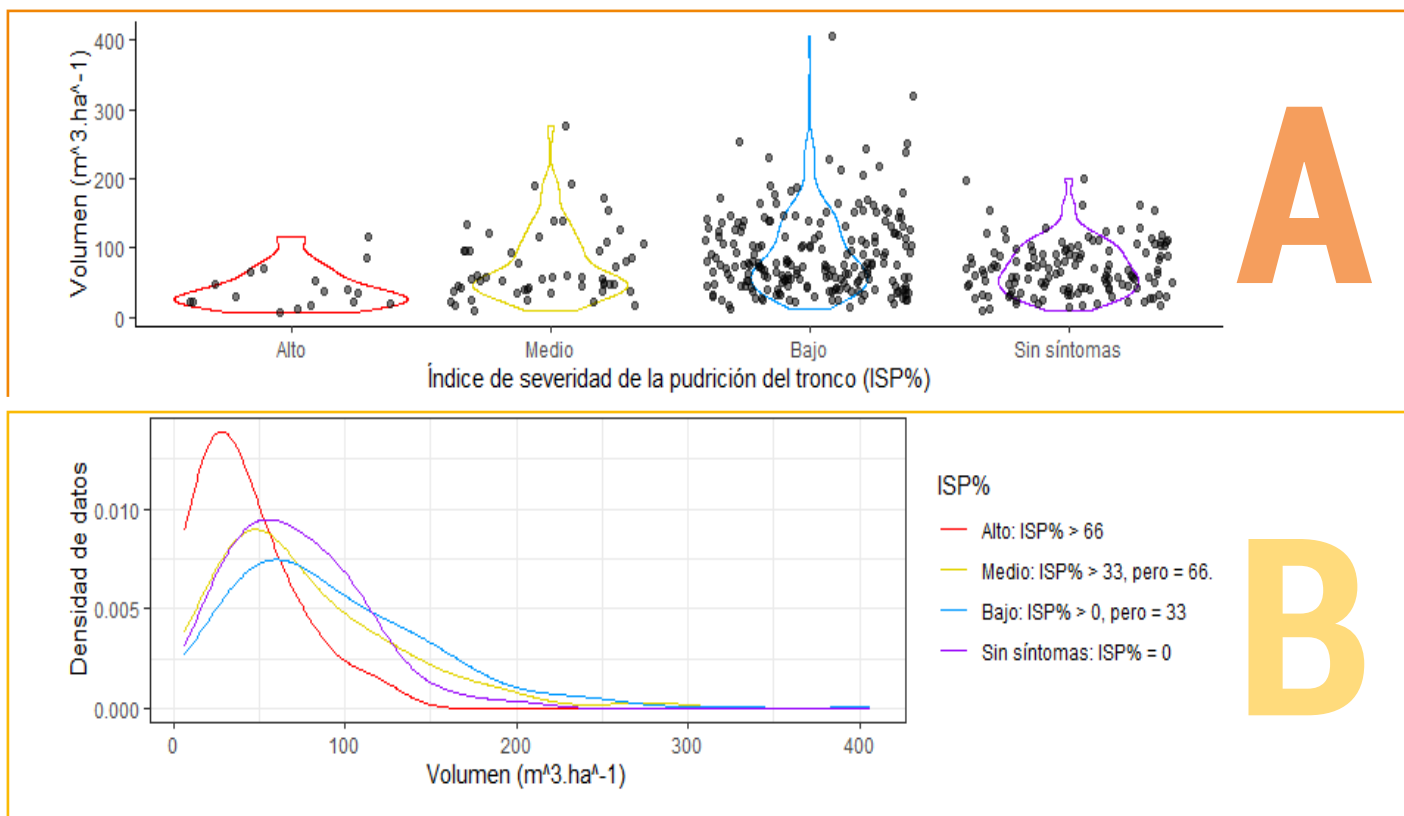


Figura 18. A) Gráfico violín, distribución del volumen (m³/ha) de las UM y el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%); B) Tendencia de la distribución de las UM según ISP% y la distribución de los datos del volumen del rodal (Gráfico de densidad de Kernel). Total, de la muestra. *Gmelina arborea*. Costa Rica.

5.2 Análisis sobre la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la productividad, según la edad de la plantación

5.2.1 Análisis de la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con la densidad (arb/ha), según la edad de la plantación

El manejo de la densidad del rodal (arb/ha) favorece la competitividad entre los árboles. Se tiene evidencia que un número mayor de individuos por hectárea provoca una mayor competencia entre los individuos, expresándose en diámetros promedios menores, principalmente. La alta competencia por recursos propicia que el individuo se encuentre más susceptible a las patologías, en comparación a los rodales donde los recursos no son limitados, o bien donde no exista una competencia fuerte por los mismos.

En la **Figura 19**, se muestra que existe una ligera relación al encontrar mayores valores de ISP% a medida que haya más árboles por hectárea (densidad del rodal). Esto es evidente, en la edad de 5 años, donde se puede observar que los ensanchamientos para las siluetas de los ISP% alto (color rojo) y medio (color amarillo), corresponden a densidades

cercanas a los 600 arb/ha que se encuentra por encima a las mostradas por el ISP% bajo (color azul) con 285 arb/ha y el ISP% sin síntomas (color morado) con 425 arb/ha. Tendencia que se repite a la edad de 8 años, pero a una densidad de 300 arb/ha. Esta observación, aunque es concordante con lo indicado por Arguedas (2004), quién menciona que la mor-

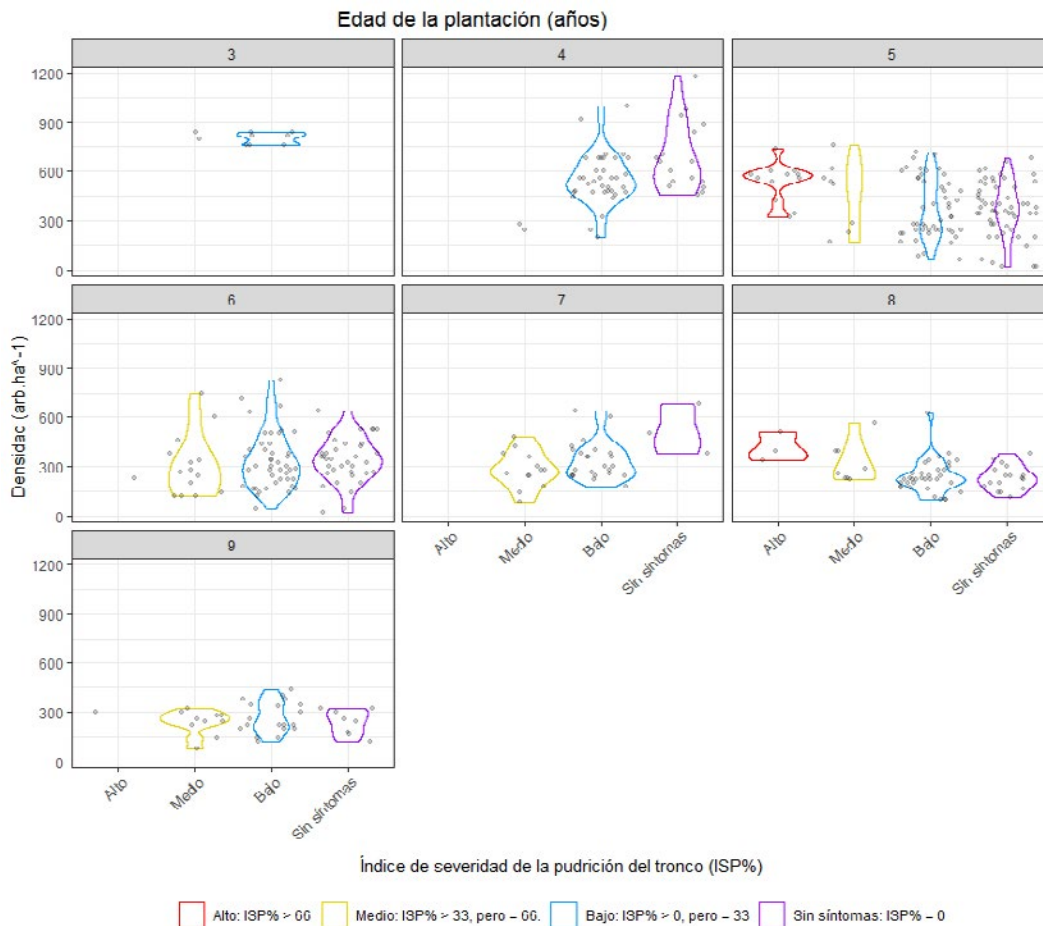


Figura 19. Gráfico violín, tendencia de la densidad del rodal (arb/ha) según Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra, estratificado por edad de la plantación. Costa Rica.

talidad de las plantaciones de *G. arborea* se asocia con las altas densidades de árboles y suelos inadecuados, también se observa que todas las densidades se encuentran afectadas por la enfermedad y, como fue mencionado en el punto 5.1.1, la relación de la densidad con la incidencia de la enfermedad estaría más asociada a una disminución de la densidad de árboles producto de los raleos fitosanitarios-comerciales y a la muerte de los árboles que son afectados.

5.2.2 Análisis de la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con el área basal (m^2/ha), según la edad de la plantación

En términos generales, la edad de la plantación no muestra algún tipo de relación entre el ISP% y el área basal (G) (**Figura 20**). Aunque, en la edad de 5 años, se observa que los ensanchamientos en las siluetas del ISP% alto y

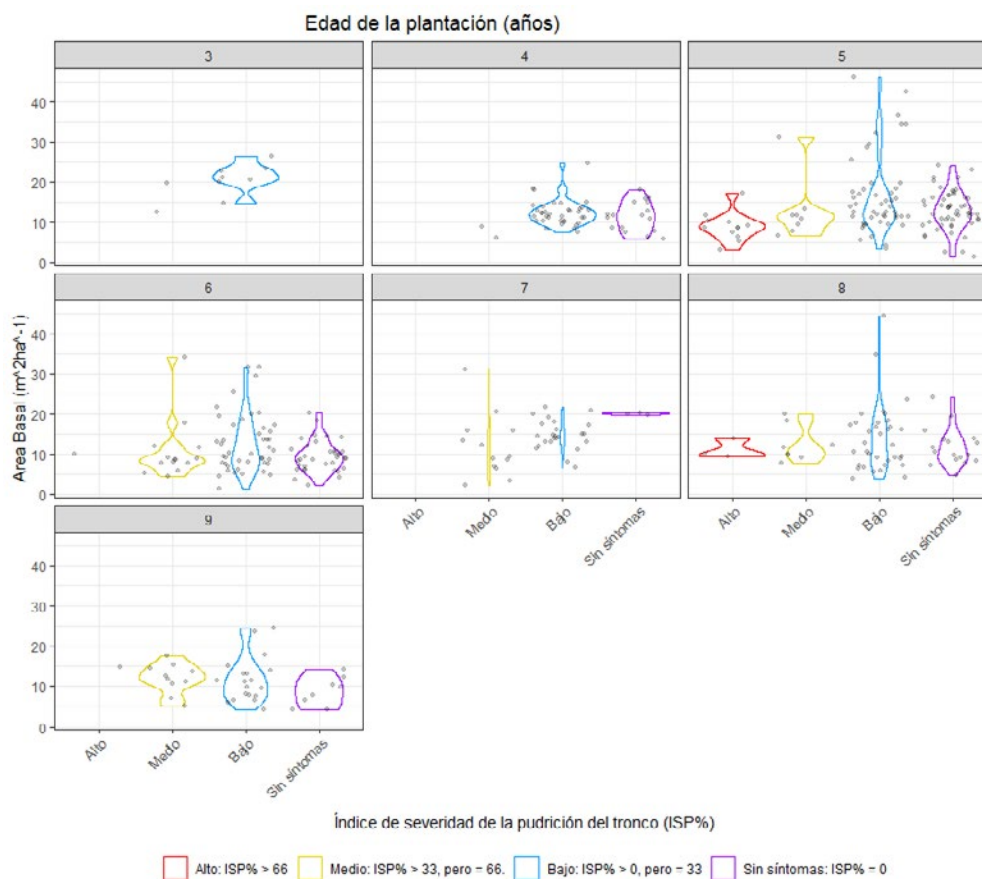


Figura 20. Gráfico violín, tendencia del área basal (m^2/ha) según Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra, estratificado por edad de la plantación. Costa Rica.

medio, se encuentran levemente por debajo a los ensanchamientos que se dan en las siluetas de los ISP% bajo y sin síntomas. Lo que supone que habría un efecto (aunque leve) del ISP% con una menor G.

5.2.3 Análisis de la relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con el volumen (m³/ha), según la edad de la plantación

El efecto que tiene el ISP% sobre el volumen, estratificado por edad, no muestra un patrón definido (**Figura 21**). No obstante, al considerar la edad de 5 años, se evidencia que aquellos sitios con un ISP% alto o medio presentan los meno-

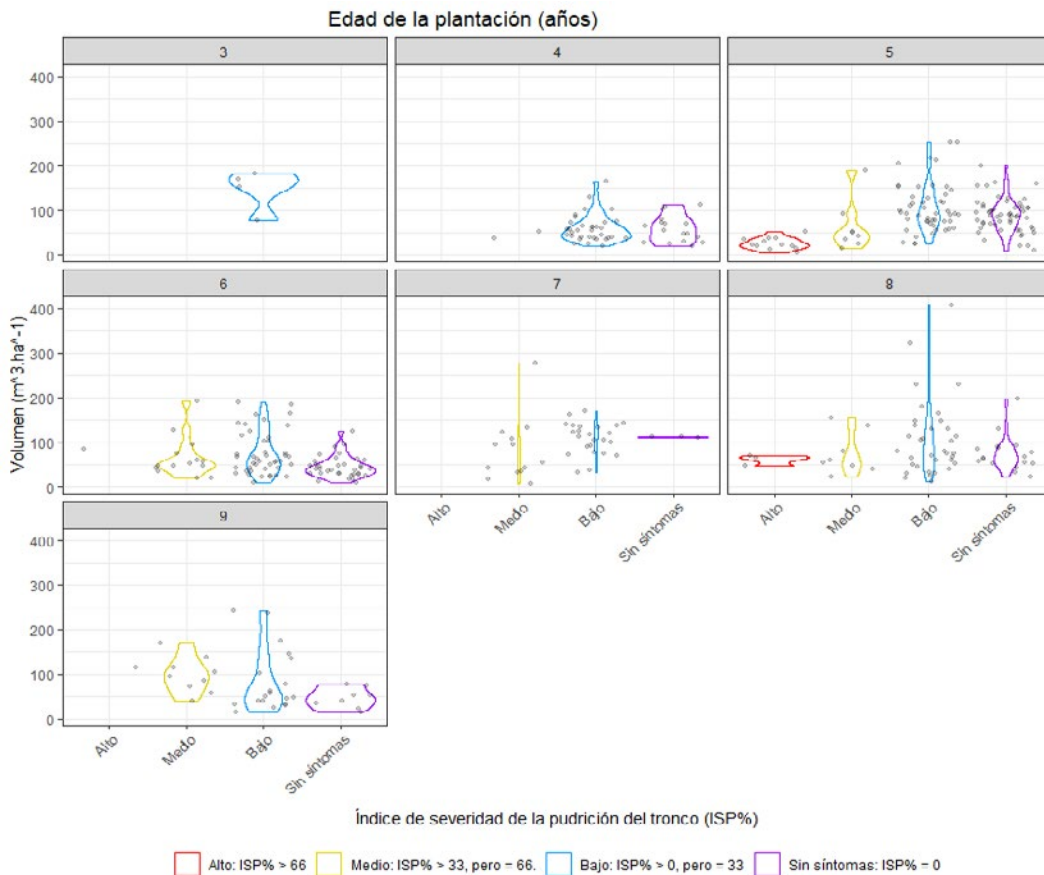


Figura 21. Gráfico violín, tendencia del volumen (m³/ha) según Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra, estratificado por edad de la plantación. Costa Rica.

res volúmenes medios si se comparan con los volúmenes medios de los ISP bajo o sin síntomas. Esto, desde el punto de vista gráfico se comprueba al observar que los ensanchamientos en las siluetas del ISP% alto (color rojo) y medio (color amarillo) se encuentran por debajo a los ensanchamientos que presentan las siluetas de los ISP% bajo (color azul) y sin síntomas (color morado).

5.3 Discusión

Se debe tomar en cuenta que los hallazgos están condicionados por una serie de factores económicos; como son: a) la decisión económica -bajo la lógica de aprovechar los árboles enfermos antes de que se dé una muerte progresiva -esto es el raleo fitosanitario- y b) la corta adelantada como resultado de una demanda puntual de mercado o para satisfacer las necesidades de la industria. Sin embargo, falta profundizar en entender el efecto que tiene el raleo fitosanitario en el volumen de los árboles para la cosecha final. En el entendido de que al disminuir competencia por medio de la eliminación de los árboles enfermos se podría asegurar un poco más de volumen para la cosecha final. Esto, siempre y cuando la enfermedad permita que los árboles sigan vivos hasta la cosecha final.

En este contexto, la existencia de una asociación directa entre un aumento en la pudrición del tronco y los sitios con mayores densidades daría la impresión de que el ISP% es directamente relacionado con la densidad de árboles por unidad de área, lo que sería un hallazgo equivocado. Ya que una plantación menos densa con bajos ISP% puede ser el resultado de: 1) una cosecha anticipada y con esto se disminuye la cantidad de árboles por unidad de área, lo que va a maquillar los efectos de la enfermedad; 2) raleos de saneamiento para tratar de combatir el problema, con el mismo efecto de maquillaje; o 3) muerte de árboles afectados, liberando espacio. En términos gráficos **este maquillaje** se da con una diferenciación en las densidades del rodal y los mayores ISP%, donde se ubican picos máximos de los datos. Se logran identificar dos concentraciones, una cercana a los 600 arb/ha, correspondiente al ISP% alto y otra concentración cercana a los 300 arb/ha con ISP% medios.

Complementariamente, aquellas plantaciones poco densas no necesariamente están libres de la enfermedad. Lo que se reafirma con un número mínimo de 3 raleos (Meza *et al.*, 2019) ejecutados por plantación. La ejecución de un raleo puede influir positivamente en el dato del ISP% en un momento determi-

nado; sin embargo, meses después, al volver a evaluar el estado de la enfermedad el número de árboles afectados sea mayor. La evidencia muestra que el ritmo de incidencia puede ser superior a un 40 % en tan solo un año (Murillo *et al.*, 2016). En consecuencia, sería muy simplista considerar que con la disminución de la densidad se acabará con el problema de la enfermedad. Más aún, cuando la evidencia muestra que existen árboles dispersos en sistemas agroforestales (en bajas densidades por área) con la presencia de la enfermedad. Esta observación, es contraria a lo indicado por Arguedas (2004) quién menciona que la mortalidad de las plantaciones de *G. arborea* se asocia con las altas densidades de árboles.

Por una parte, se da una inconsistencia en la relación del ISP% con el área basal. Ya que, el ISP% alto presenta la mayor cantidad de UM con valores cercanos a los 10 m²/ha de G; en el caso del ISP% medio, la concentración de datos se da en 14,2 m²/ha de G; en el del ISP% bajo, se da en 11,9 m²/ha de G y finalmente, en el del ISP% sin síntomas, se alcanzó su máximo pico en 9,47 m²/ha de G. Lo anterior, limita la posibilidad de asociar altos porcentajes de la enfermedad con mayores áreas basales. Ya que, en las plantaciones jóvenes, el efecto de la enfermedad es bajo, debido a que afecta

árboles con un dap pequeño. A medida que la plantación va creciendo; paralelamente, el área basal va aumentando a un punto donde los efectos por la muerte (o eliminación) de árboles grandes, tendrá un efectos importante sobre el área basal por hectárea, dando como resultado que ésta disminuya sustancialmente.

Por otra parte, al analizar el efecto que tiene el ISP% sobre el volumen, estratificado por edad, se nota un patrón de asociación. Ya que, la concentración de datos -picos máximos- se dan en valores cercanos a los 41,2 m³/ha para el ISP% alto, para el ISP% medio (color amarillo) se alcanza en los 75,8 m³/ha, en el ISP% bajo se da en los 91,7 m³/ha; en estas tres categorías continua una asociación positiva. Contrariamente, el ISP% sin síntomas se da a los 70,6 m³/ha, lo que difiere levemente con la tendencia mostrada. Esta "inconclusa tendencia" en la relación ISP% vs volumen refleja, en términos generales, una disminución del volumen cuando el ISP% es mayor; lo que se explica: a) por la mayor incidencia de la enfermedad que debería provocar una mayor mortalidad y b) por las prácticas de raleos comerciales que van disminuyendo el volumen comercial disponible. En consecuencia, para las plantaciones adultas, el efecto que tiene la enfermedad sobre la altura del árbol, afectará signi-

ficativamente los valores de volumen, al considerar que la altura juega un papel relevante en su cálculo. Lo que no se percibe en plantaciones jóvenes debido a que la afectación por la enfermedad en la altura del árbol aun no sería perceptible.

5.4 Lecciones aprendidas

En términos de productividad, el volumen es una de las variables más importante para la toma de decisiones financieras, por lo tanto, es necesario considerar el potencial máximo de producción que se observan en cada una de las categorías de ISP%. Donde, para la muestra total se encontraron volúmenes que van desde los 6,48 m³/ha hasta los 406,64 m³/ha. En consecuencia, en cada categoría del

ISP% se dan casos con valores máximos de volumen, los que representan el verdadero potencial de producción. No obstante, este volumen potencial es condicionado por a) una mayor incidencia de la enfermedad que provocaría más mortalidad y b) las prácticas de raleos comerciales que van disminuyendo el volumen comercial disponible. Esta observación, queda condicionada en el hecho de que el raleo (en el escenario de condiciones controladas y sin enfermedades) es aplicado para favorecer los individuos con mejores condiciones para la cosecha final. De ahí que los raleos fitosanitarios, independientemente de su objetivo, deben provocar mayor desarrollo en volumen de aquellos individuos que son capaces de vivir más tiempo.



III CAPÍTULO TULO

CONDICIÓN
FITOSANITARIA A
NIVEL REGIONAL



6.1 Estadísticas del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por región administrativa

En esta sección se hace una descripción geoespacial del ISP% por distrito para cada una de las regiones mencionadas. Previamente, Calvo (2018) desarrolló para la RHN un mapa de vulnerabilidad para identificar las zonas más susceptibles al ataque de lo que se considera *Nectria sp.* El fin es mostrar una distribución geoespacial del ISP% a nivel de distrito, y a su vez una visualización regional. Este panorama del estado fitosanitario actual de las plantaciones de *G. arborea*, se hace por medio de la presentación de mapas, que logran mostrar a escalas mayores el ISP% predominante para cada distrito; en otras palabras, se hace una representación geoespacial del grado de incidencia de la pudrición del tronco por distrito -con las limitaciones del caso- estos mapas a escala nacional, tratan de representar la condición fitosanitaria de las plantaciones más allá de la valoración a nivel de finca.

Sin embargo, se debe reconocer -que aún a nivel de finca- existe una alta variabilidad por lo que es difícil definir un promedio de incidencia. En consecuencia, en una misma finca se puede encontrar un bloque de la plantación con

un IPS% alto y otro bloque con un ISP% bajo (con distancias de 150 m entre bloques). Por lo tanto, los mapas aquí presentados, son de carácter referencial -es una línea base- que generaliza el estado fitosanitario predominante en las plantaciones de un distrito.

6.2 Estadísticas del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en la Región Huetar Norte (RHN)

El panorama sobre el estado fitosanitario de las plantaciones de *G. arborea* en la RHN, en términos generales, debe valorarse como positivo. Los distritos donde se localizaron las UM son El Amparo, Los Chiles, San Jorge, Aguas Zarcas, Cutris, Pocosol y Puerto Viejo. Al considerar que el 75 % de las UM obtuvieron un ISP% bajo (menores a un 30 %). Como dato referencial el valor promedio del ISP% para los siete distritos muestreados es de 12,4 %, con un valor mínimo del ISP% de 2,0 % ($\pm 1,07$) en el distrito de Los Chiles; y un valor máximo promedio del ISP% de 25,6 % ($\pm 2,08$) en el distrito de Aguas Zarcas (**Cuadro 8**). Esto sugiere, según el rango utilizado en este estudio, que todos los distritos presentan un IPS% bajo, lo que se reafirma, en términos geoespaciales, al observar que en todos los casos el IPS% se repre-

senta con color azul (ISP% bajo), lo que podría tener relación con actividades de cosechas anticipadas (por saneamiento, comercialización o muerte de los individuos) (**Figura 22**).

Complementariamente, se sugiere que la valoración del estado fitosanitario de las plantaciones por distrito -considerado como bajo para todos los casos- presenta poca variabilidad (**Cuadro 8**). El análisis de la desviación estándar indica que sólo en el distrito de Aguas Zarcas

se podría llegar a encontrar plantaciones con un IPS% medio si se consideran la suma de dos desviaciones (+4,16 %). Pero también, que en el distrito de Los Chiles sería posible encontrar plantaciones con un ISP% sin síntomas al restar dos desviaciones (-2,14 %). Las bajas desviaciones estándar mostradas indican una mayor homogeneidad en las plantaciones (en cuanto a su condición fitosanitaria) que puede ser generalizado a nivel de la RHN.

Cuadro 8. Promedio del Índice de la Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en las unidades de muestreo de la Región Huetar Norte. Costa Rica.

Cantón	Distrito	Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%)					Promedio ISP%	Desviación estándar
		Número de Unidades de muestreo				Sin Síntomas		
		Alto	Medio	Bajo				
Los Chiles	El Amparo		1	25	1	14,8	1,59	
Los Chiles	Los Chiles			9	30	2,0	1,07	
Los Chiles	San Jorge	1	18	50	46	13,3	1,41	
San Carlos	Aguas Zarcas		6	4	1	25,6	2,08	
San Carlos	Cutris		17	69	41	13,8	1,41	
San Carlos	Pocosol			5	3	3,2	1,14	
Sarapiquí	Puerto Viejo		2	10	2	14,1	1,67	

*Es necesario recordar que estos resultados son condicionados por el efecto de las posibles cosechas anticipadas.

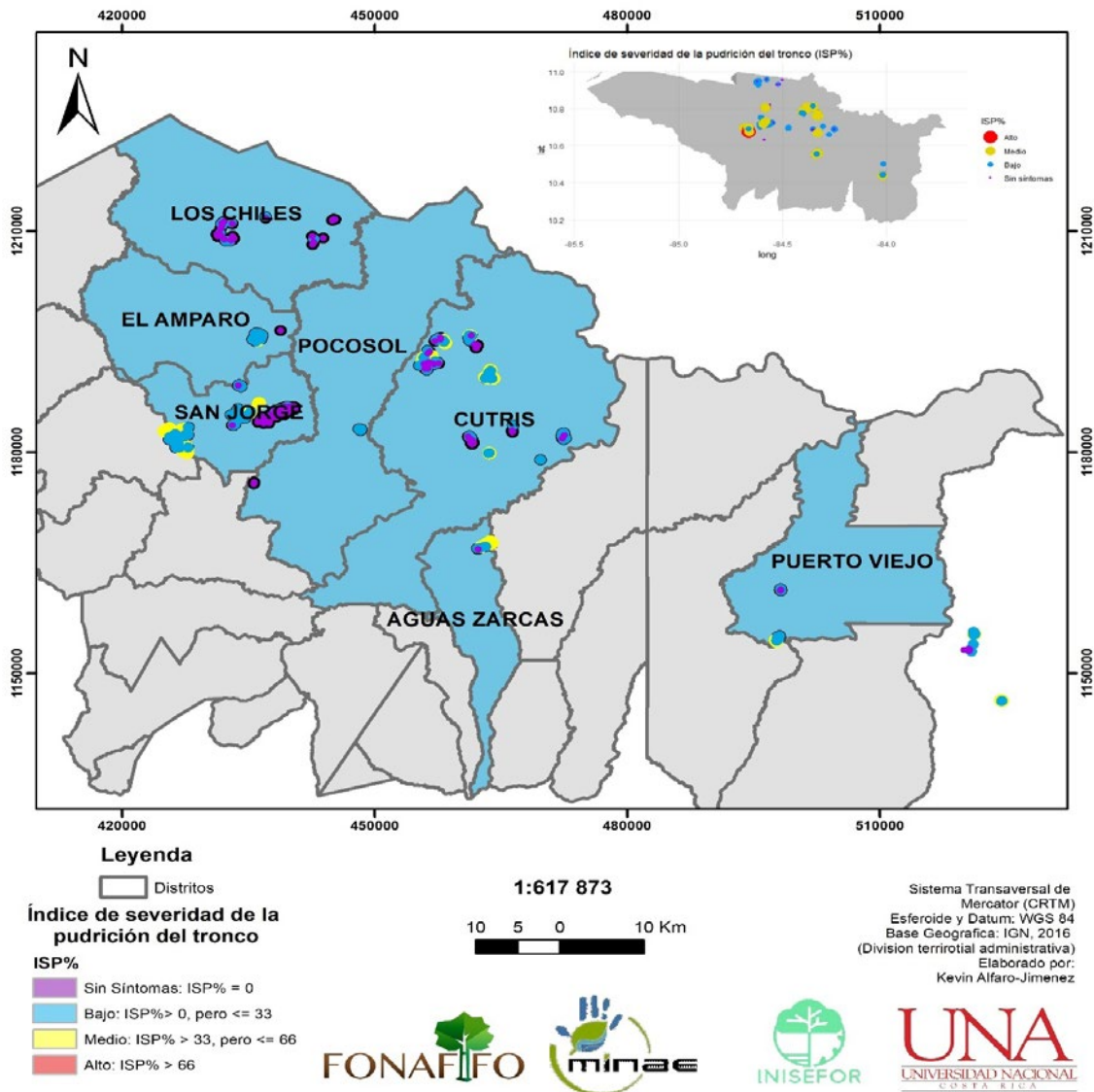


Figura 22. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por distrito en la Región Huetar Norte al año 2018. Costa Rica.

6.3 Estadísticas del índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en la Región Huetar Atlántica (RHA)

Los distritos muestreados fueron La Rita, Germania, La Alegría, Carrandi, Rio

Blanco y Matama. El resultado de la valoración del ISP% promedio por distrito se muestra en el **Cuadro 9**; Germania y La Alegría reportan un promedio de 35,8 % y 35,0 % considerados como un ISP% medio; por consiguiente, se consideraría que el estado fitosanitario de las plan-

taciones en esta región es alarmante. Esto se reafirma en la **Figura 23** donde se representa a ambos distritos con color amarillo (ISP% medio). No obstante, a pesar de que se evidencia que el resto de los distritos tienen valores del ISP% bajo, donde Río Blanco tiene un prome-

dio del 10,0 %, Carrandí, Rita y Matama, con un promedio del 18,2 %, 18,3 % y 23,4 %, respectivamente (representados con color azul en la **Figura 23**). Se denota, que existe una alta heterogeneidad en el estado fitosanitario de las plantaciones por distrito.

Cuadro 9. Promedio del Índice de la Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%), en las unidades de muestreo de la Región Huetar Atlántica. Costa Rica.

Cantón	Distrito	Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%)					
		Número de Unidades de muestreo				Promedio	Desviación estándar
		Alto	Medio	Bajo	Sin Síntomas	ISP%	
Limón	Matama		1	7		23,4	7,1
	Río Blanco			3	2	10,0	10,9
Matina	Carrandí		1	11		18,2	12,3
Pococí	Rita		4	9	5	18,3	15,3
Siquirres	Germania		3	2		35,8	14,9
	La Alegría	1	3	5	1	35,0	27,9

* Es necesario recordar que estos resultados son condicionados por el efecto de las posibles cosechas anticipadas

Existe una alta variabilidad en las condiciones fitosanitarias de las plantaciones por distrito. Al analizar las desviaciones que presentan los datos por distrito (**Cuadro 9**), se comprueba la posibilidad de encontrar en todos los distritos

plantaciones con ISP% medios, y en los distritos de Germania y La Alegría casos de plantaciones con ISP% altos. Lo que plantearía un escenario poco alentador del verdadero potencial productivo de estas plantaciones, esto a pesar de que,

puede darse un riesgo en mantener las plantaciones en pie por cierta cantidad de años con el fin de buscar la madurez en la madera. Sin embargo, debido a la industria de tarima cuyo consumo

es mayoritariamente de árboles jóvenes el crecimiento rápido de los árboles favorece la productividad de la plantación, desestimando el factor de rentabilidad.

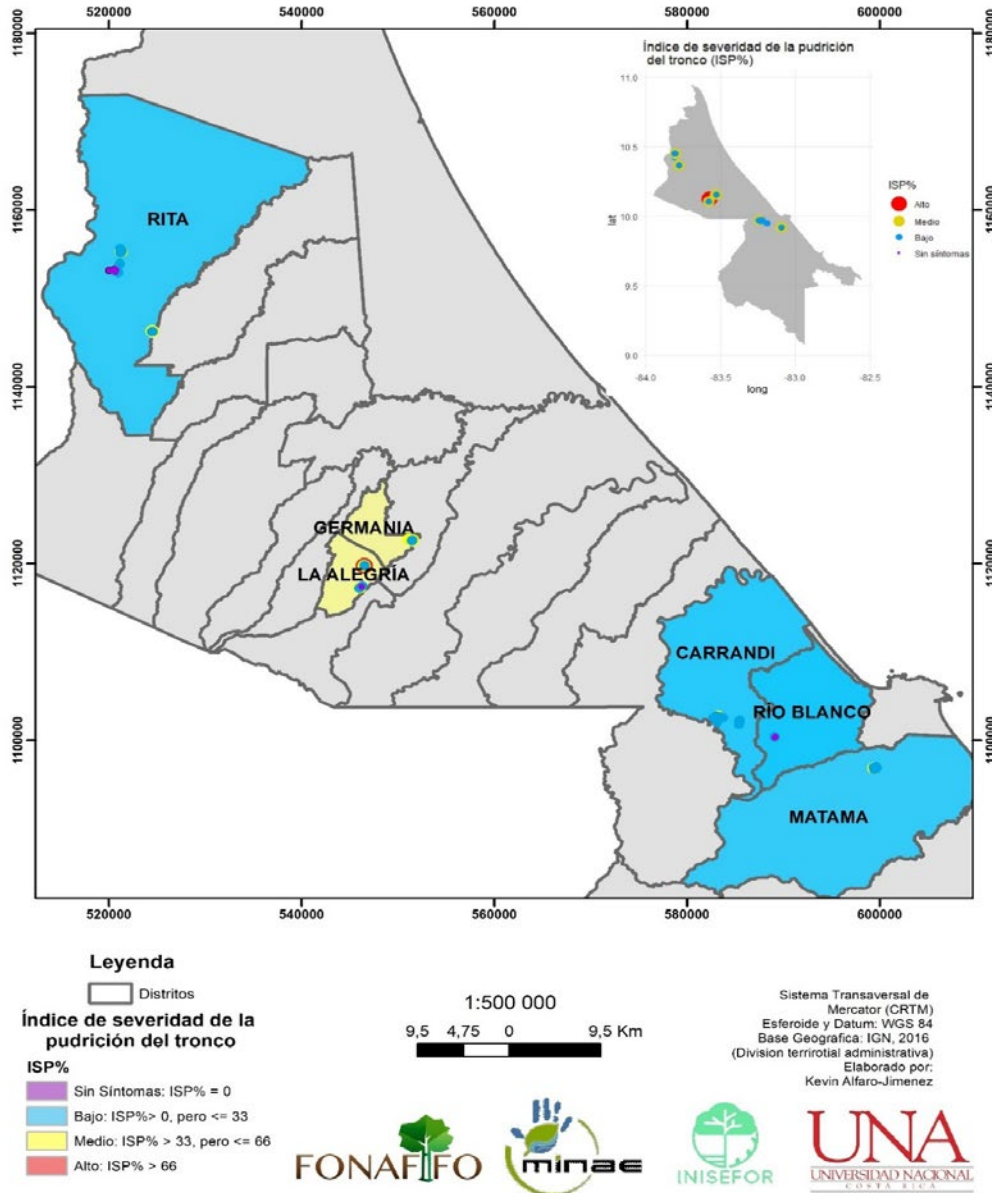


Figura 23. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por distrito en la Región Huetar Atlántica al año 2018. Costa Rica.

6.4 Estadísticas del índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en la Región Chorotega (RCh)

La RCh presenta una valoración del estado fitosanitario de las plantaciones de *G. arborea* crítica. Los distritos muestreados son Veintisiete de Abril, Hojan-cha y Nicoya. En comparación con la RHN y la RHA, la RCh es la región que presenta la mayor proporción de distri-tos con un ISP% alto.

La condición fitosanitaria de las plan-taciones se considera crítica a nivel re-gional, pero positivas a nivel de distrito. Esto se debe a que los distritos de Vein-tisiete de abril y Hojan-cha presentan un valor promedio del IPS% de un 79,7 % y

un 71,0 % considerados como alto; pero caso contrario se da con Nicoya, donde se reportó un 0 % del ISP% que es consi-derado como sin síntomas (**Cuadro 10**). Esto se evidencia, en la **Figura 24** donde los distritos de Veintisiete de abril y Ho-jan-cha son representados con el color rojo que equivale a un ISP% alto, y Ni-coya se representa con el color morado que equivale a un ISP% sin síntomas.

La condición fitosanitaria de las plan-taciones dentro de un mismo distrito presenta cierta homogeneidad. Esto se evidencia con la baja variabilidad (des-viación estándar) mostrada en cada distrito (**Cuadro 10**), que en Nicoya es de $\pm 1,0$ %, en Hojan-cha de $\pm 4,1$ % y en Veintisiete de abril de $\pm 3,8$ %.

Cuadro 10. Promedio del Índice de la Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%), en las unidades de muestreo de la Región Chorotega, 2015-2018. Costa Rica.

Cantón	Distrito	Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%)					
		Número de Unidades de muestreo				Promedio	Desviación estándar
		Alto	Medio	Bajo	Sin Síntomas	ISP%	
Hojan-cha	Hojan-cha	3	2			71,0	3,8
Nicoya	Nicoya				4	0	1,0
Santa Cruz	Veintisiete de abril	12	4			79,7	4,1

*Es necesario recordar que estos resultados son condicionados por el efecto de las posibles cose-chas anticipadas

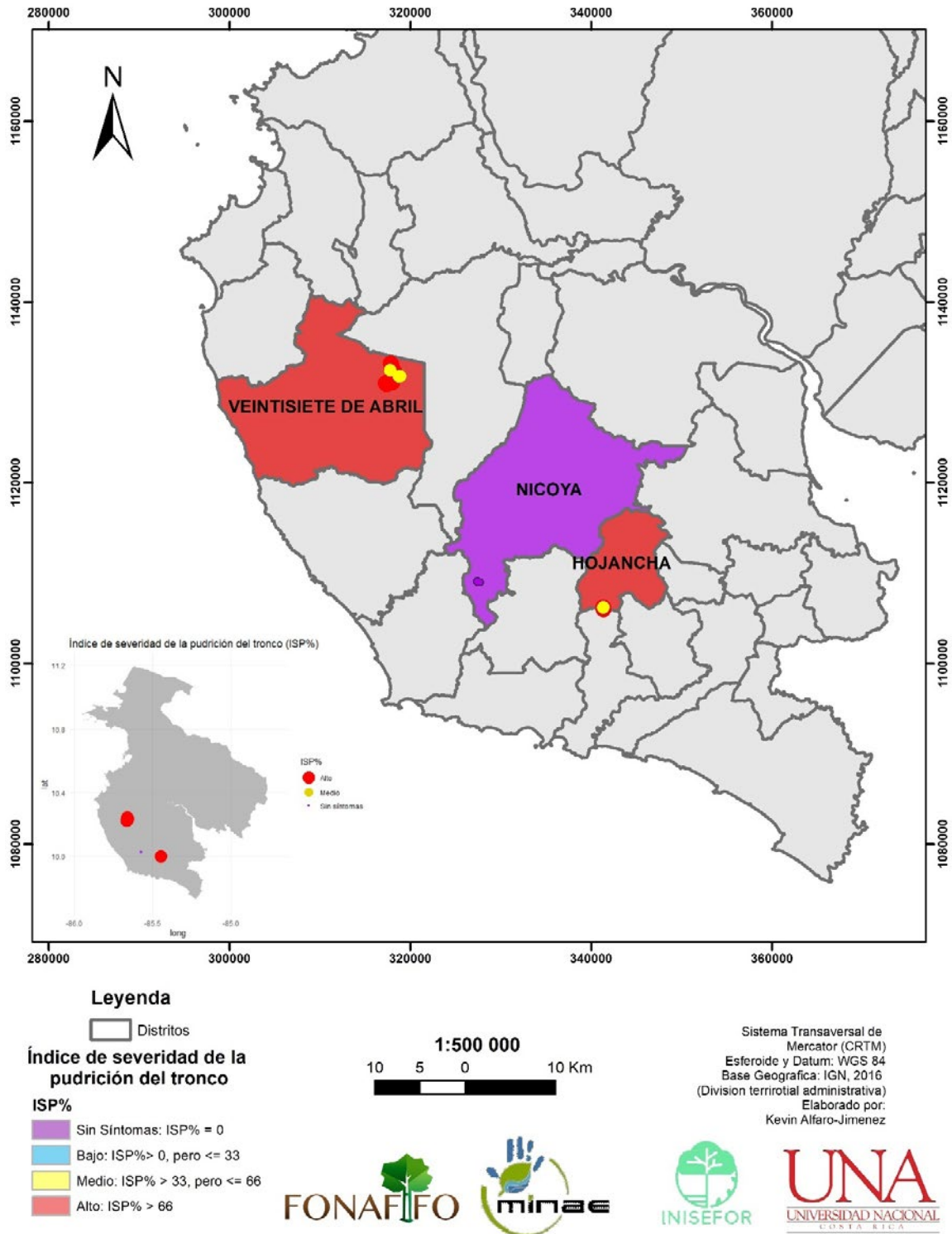


Figura 24. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por distrito en la Región Chorotega al año 2018. Costa Rica.

6.5 Discusión

La representación geoespacial por medio de mapas que aquí se presenta es de carácter referencial para un estado fitosanitario promedio de las plantaciones que predomina en un distrito. Por lo tanto, el fin es mostrar la distribución geoespacial del ISP% a una amplia escala. Un trabajo previo que va en este sentido fue realizado por Calvo (2018) quién para la RHN elaboró un mapa de vulnerabilidad donde se identifican las zonas más susceptibles al ataque de la enfermedad – comúnmente llamada nectria.

Consecuente con la variabilidad de condiciones fitosanitarias que presentan las plantaciones a nivel de finca, los mapas regionales aquí presentados deben ser considerados como una línea base y de una generalización gruesa sobre la condición de la enfermedad. Lo anterior debido a que, aún a nivel de finca, es difícil definir un promedio de incidencia de la enfermedad, donde la evidencia muestra que puede haber variaciones importantes inclusive a nivel de finca. Esto sugiere, que el valor de referencia promedio del estado de la enfermedad a nivel de finca es dependiente de las condiciones específicas del micrositio; por lo tanto, subir a una escala de distrito la valoración realizada disminuirá la precisión sobre la verdadera condición de la plantación.

En términos generales, el panorama sobre el estado fitosanitario de las plantaciones va desde positivo a crítico (Hojancha y Santa Cruz). No obstante, puede ser que las plantaciones sean productivas o con un panorama positivo, lo que puede estar en riesgo es el mantener las plantaciones por cierta cantidad de años en pie al buscar la madurez en la madera. Así, en el caso de la RHN, debe valorarse como positivo; al considerar que el 75 % de las UM obtuvieron un ISP% bajo (menores a un 30 %). Para la RHA, al analizar las desviaciones que presentan los datos por distrito, se comprueba que existe la posibilidad de encontrar en todos los distritos plantaciones con ISP% medios (33 a 66 %), y en los distritos de Germania y La Alegría casos de plantaciones con ISP% altos (mayores a un 66 %); lo que plantearía un escenario poco alentador del verdadero potencial productivo para ciertos productos que podrían generar estas plantaciones en esta región. En la RCh los distritos de Veintisiete de abril y Hojancha presentan un valor promedio del IPS% de un 79,7 % y un 71,0 %, respectivamente; considerados como alto, lo que indica una condición crítica.

6.6 Lecciones aprendidas

La existencia de un mercado activo demandante de materia prima condiciona positivamente el estado fitosanitario de las plantaciones en la RHN. Donde, el valor promedio del ISP% para los siete distritos muestreados es de 12,4 %, con un valor mínimo del ISP% de 2,0 % ($\pm 1,07$) en el distrito de Los Chiles; y un valor máximo promedio del ISP% de 25,6 % ($\pm 2,08$) en el distrito de Aguas Zarcas. Esto sugiere que todos los distritos presentan un IPS% bajo, eso tiene relación con actividades de cosechas anticipadas (por saneamiento, comercialización o muerte de los individuos). Debido principalmente, a que en la zona existen 57 industrias que se dedican a la fabricación de tarimas (Pérez y Barrantes, 2019) que demandan continuamente materia prima. Consecuentemente, esta especie es la más importante para este tipo de industria. Pero también, se ha observado que cuando *G. arborea* es escasa o baja la disponibilidad de las plantaciones; la industria de tarima sustituye la *G. arborea* por especies como *T. grandis* e inclusive hasta *Cedrela odorata* u otras semiduras, especies que sí podrían mantenerse en el tiempo para abastecer otro tipo de industria con productos diferentes (madera para aserrío) a los que dan las plantaciones

de *G. arborea*. Lo que debe verse como una eventual amenaza para la sostenibilidad de la industria mueblera y la exportación de la *T. grandis*.

En consecuencia, el efecto del mercado de tarimas sobre el cultivo de la *G. arborea* es un tema no resuelto. No queda claro si es una distorsión o una oportunidad de mercado. Aunque no es el fin de este trabajo responder a la pregunta ¿Son los "tarimeros oportunistas", o es una opción real y rentable para los dueños de las plantaciones?, de repente empezamos a concluir que, desde el punto de vista de negocio, la enfermedad podría estar favoreciendo a los tarimeros: con materia prima de dimensiones adecuadas a sus productos, precios de compra bajos (definidos por los industriales); lo que hace que al productor no le quede otra opción que aceptar, para librarse del material enfermo que a fuerza tiene que quitar para salvar el resto de la plantación. En consecuencia, al sector de tarimas le funciona la presencia de la enfermedad.

IV CAPÍTULO TULO

ESTUDIO DE CASO:
ESTADO DE LA
ENFERMEDAD



Se presenta la evidencia empírica sobre la respuesta de la enfermedad a la aplicación de prácticas silviculturales y a las condiciones de sitio. Para lo que, se utilizó la información de 13 fincas que debían cumplir con el requisito de contar con las dos fuentes de información: I) prácticas de manejo silvicultural implementadas, proveniente del cuestionario sobre la aplicación de prácticas de manejo dirigido a los regentes forestales o dueños de las fincas; y II) datos sobre la caracterización dasométrica, severidad e incidencia de la enfermedad, provenientes del inventario forestal de campo. Ambas fuentes de información fueron complementadas con los datos de las propiedades físicas y químicas del suelo (compiladas en el estudio Sandoval y Mata, 2014), datos climáticos del atlas climatológico de Costa Rica (elaborado por IMN), topográfico (pendiente a partir de las curvas de nivel 1:50 000) y variables de riesgo de inundación e incendio del atlas de Costa Rica actualizado al 2014 (elaborado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica); para lo que se presenta la simulación aproximada a las condiciones reales en campo de la enfermedad.

La intención es mostrar por medio de un estudio de caso el panorama real -el estado actual- de la enfermedad como producto de las prácticas de manejo y de las condiciones ambientales del sitio. La evaluación del estado actual de

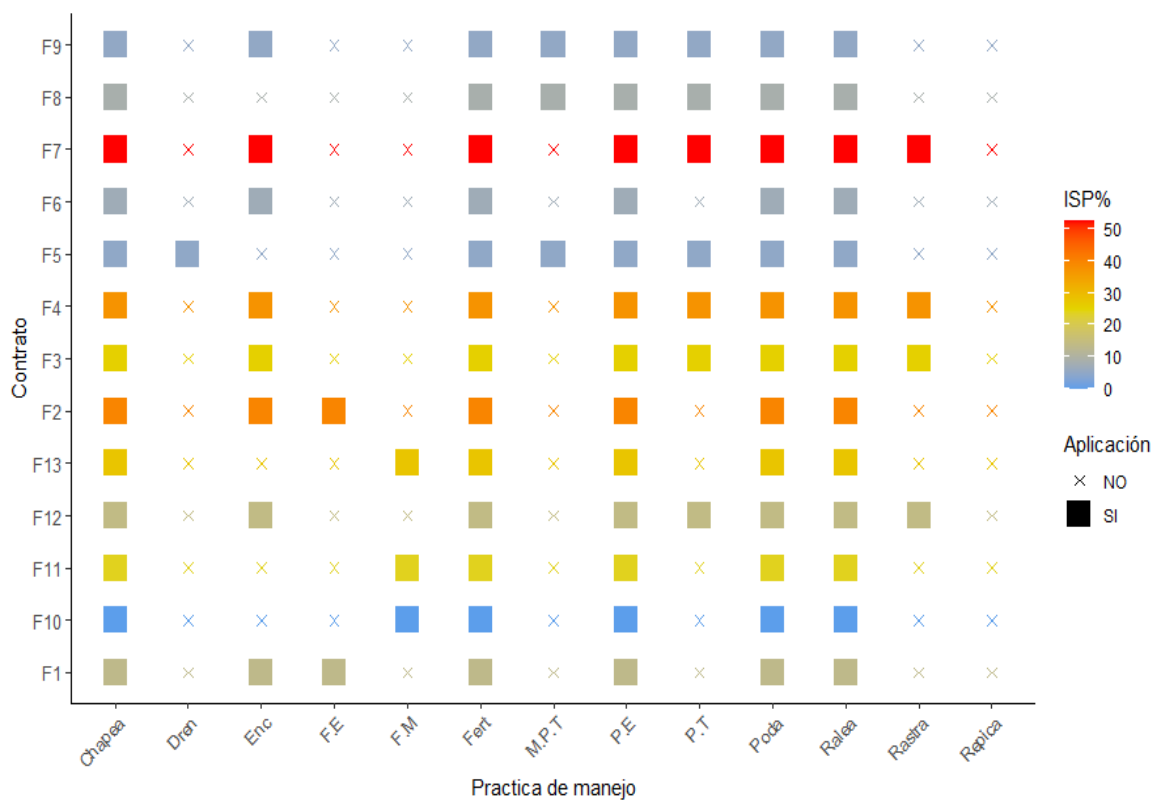
la enfermedad responde a un contexto socioeconómico y biofísico que no necesariamente se refleja en la aplicación de una encuesta. En consecuencia, la comprobación de campo es una herramienta necesaria para la generación de información más aplicada a la toma de decisiones. Así, lo importante en esta sección es analizar la condición real de la enfermedad más allá de describir las prácticas de manejo implementadas o las características biofísicas de los sitios. Seguidamente, se complementa el análisis con una identificación de las características de las propiedades del suelo, variables ambientales y pendiente donde están ubicadas las plantaciones utilizadas en el estudio de caso, para relacionarlas con la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT).

7.1 Relación de la condición actual de la enfermedad con las prácticas de manejo silvicultural mencionadas

La **Figura 25** muestra el ISP% asociado a la práctica que según el encuestado acostumbra a realizar en las plantaciones. Donde, se observan tonalidades de color rojo y anaranjado -que corresponden a los mayores valores del ISP%- sin importar, si el encuestado mencionó que aplica o no una práctica determina-

da. Lo que muestra que no existe una tendencia clara que evidencie que el ISP% este estrictamente relacionado a las prácticas silviculturales, puesto que

la presencia de la enfermedad con ISP% altos ($\geq 40\%$) se encuentra incluso en contratos que cumplen con un gran número de prácticas silvícolas.



Dren= drenajes, Enc= encalado, F.E.= Uso de fuego contra enfermedades, F.M.= Uso del fuego contra malezas, Fert. = fertilizante, M.P. T= control de malezas antes de plantar, P.E= Incidencia de Plagas y/o enfermedades y P.T.= preparación del terreno.

Figura 25. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea*, según las prácticas de manejo mencionadas por los encuestados. Costa Rica.

7.1.1 Relación de la enfermedad con la frecuencia que se aplica la práctica de manejo silvicultural

La respuesta a la aplicación de prácticas silviculturales responde a protocolos establecidos o a las necesidades puntuales de la plantación. Complementariamente, es oportuno pensar que el raleo puede también responder a necesidades del mercado, lo que haría difícil encontrar correlaciones con el

ISP%. Así, al analizar la condición de la enfermedad según las veces que los encuestados mencionan repetir una práctica de manejo (**Cuadro 11**), se evidencia que, aún en aquellos contratos con ISP% altos (en promedio un 43,6 %) se reportan más repeticiones de fertilización, raleos y chapeas en comparación a los otros sitios. Aquellos sitios con un promedio de ISP% de 26 % reportan la mayor cantidad de repeticiones de raleos y podas en comparación a los sitios con un ISP% promedio de 7,8 %.

Cuadro 11. Relación entre el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea* con la cantidad de aplicación de la práctica de manejo, según lo mencionado por los encuestados. Costa Rica.

Contrato	Edad (años)	ISP (%)	Cantidad de aplicaciones de:			
			Fertilización	Podas	Raleos	Chapeas anuales
F10	8	0,0	1	4	3	2
F5	4	5,1	2	2	3	1
F9	7	5,4	2	4	2	5
F6	6	7,3	2	2	1	4
F8	4	8,9	1	3	2	1
F1	9	13,6	2	1	3	1
F12	5	14,2	3	3	5	2
Promedio	6,2	7,8	1,9	2,7	2,7	2,3
F11	8	24,2	1	4	3	2
F3	8	25,8	3	3	6	2
F13	8	28,1	1	4	3	2
Promedio	8	26,0	1,7	3,7	4,0	2,0
F4	10	37,7	3	3	5	2
F2	7	40,1	2	1	3	3
F7	9	52,9	3	3	5	2
Promedio	8,7	43,6	2,7	2,3	4,3	2,3

En términos generales, la cantidad de veces que los encuestados mencionaron que fertilizaron, encalaron e hicieron raleos, presenta una relación positiva con el mayor ISP% reportado. En esta relación, aunque es leve, se observa que cuando el encuestado mencionó realizar una mayor cantidad de repeticiones de fertilización, encalado y raleos la curva mantiene una ligera relación positiva, donde a mayor número de repeticiones, mayor es el ISP% observado (**Figura 26**).

La condición de la enfermedad parece no mostrar algún tipo de tendencia con respecto a la poda y a las chapeas anuales. Esto, se reafirma al analizar la forma aplanada que presentan las curvas del IPS% en la **Figura 26**, donde, sin importar la cantidad de veces que se hicieron las podas o las chapeas anuales es posible encontrar valores altos o bajos del ISP%.

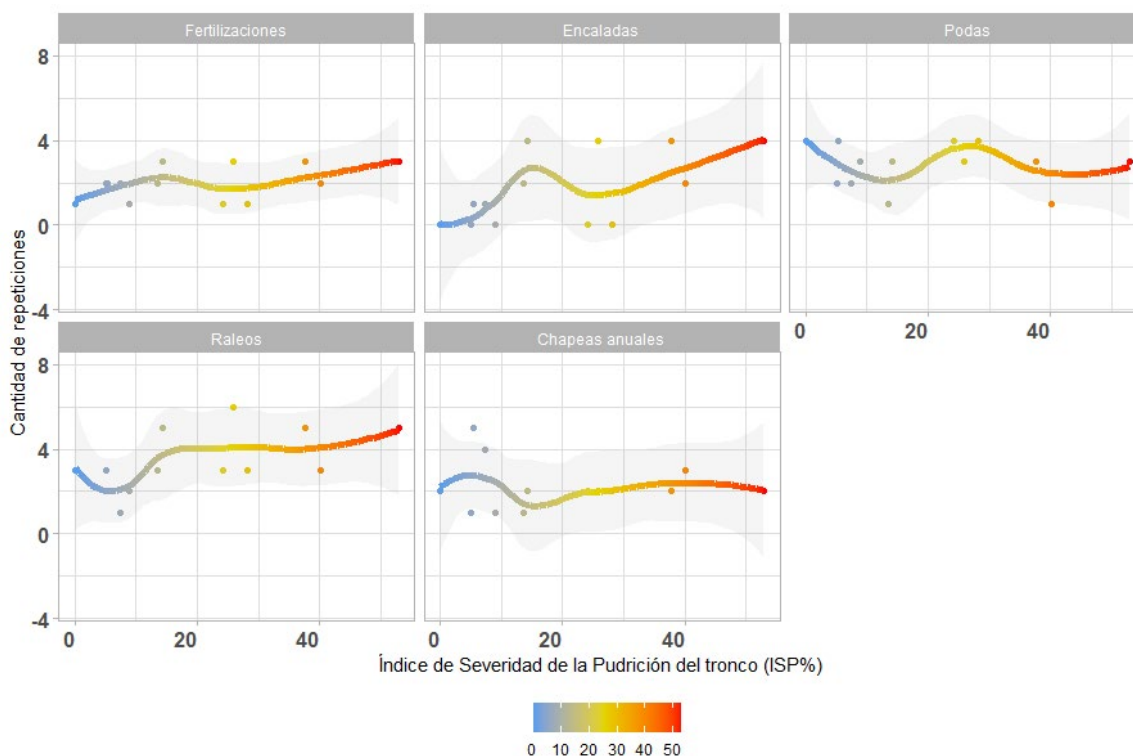


Figura 26. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea* según la cantidad de repeticiones que se aplica la práctica de manejo mencionada por los encuestados. Costa Rica.

7.2 Relación de la enfermedad con las características variables ambientales

Los resultados expuestos sobre la relación que tiene el manejo silvicultural con la incidencia de la enfermedad se complementan en esta sección, con la presentación de los resultados de la relación entre las variables ambientales con la enfermedad. Con el fin de establecer un marco referencial teórico para facilitar la comprensión de las relaciones entre factores ambientales y la incidencia de la enfermedad; se presentan los factores y las condiciones óptimas que menciona la teoría para el mejor desarrollo de *G. arborea* (sección 7.2.1). El supuesto en el análisis asume que una plantación tendría menor afectación de la enfermedad debido a que los árboles se encuentran creciendo bajo las condiciones ambientales ideales para su desarrollo.

7.2.1 Reducción en la exposición al estrés durante la vida del árbol: factores y condiciones óptimas para el desarrollo de *Gmelina arborea*

Los requerimientos ambientales ideales para el desarrollo de *G. arborea* son presentados en el **Cuadro 12**. Se esperaría que los árboles, al encontrarse creciendo desde el inicio en sitios con rangos óptimos, sufran menos estrés durante su vida. En consecuencias, árboles sometidos a menos estrés deberían ser capaces de sobrellevar con mayor éxito la enfermedad. Según Jiménez (2014) *G. arborea* crecerá de la mejor manera cuando se encuentre en sitios con una altitud que vaya de 0 a los 600 msnm; una precipitación de 2000 a los 2500 mm, con 3 a 4 meses secos, una temperatura media anual de 24 a 29 °C, entre otros. Contrariamente, este autor menciona, que la especie no tolera suelos inundados (ni temporalmente inundables), muy erosionados o compactados, ni ácidos y que es susceptible a daños por viento.

Cuadro 12. Requerimientos ambientales de *Gmelina arborea* según la bibliografía.

Requerimientos Ambientales			
Altitud	0-900 (0-600) msnm.	Suelos	Profundos, húmedos, pero bien drenados
Precipitación	1000-4000 (2000-2500) mm	Textura	Franca y franco arcilloso
Meses secos	3 - 4		
Temperatura media anual	18-38°C (24-29 °C)	% Saturación Acidez	≤ 3 %
CICE	≥ 18 cmol/L,	Drenaje	Bien drenado
Pendiente	Terrenos planos a ondulados, con pendientes no mayores al 30 %.		
Factores limitantes	No tolera suelos inundados (ni temporalmente inundables), muy erosionados o compactados, ni ácidos. Es susceptible a daños por viento.		

* Fuente: Jiménez (2014), Rojas *et al.* (2004). Valores entre paréntesis son los ideales.

Con el fin de ampliar la lista de factores que influyen el desarrollo de *G. arborea*, se presentan los requerimientos nutricionales en el **Cuadro 13**. Las concentraciones óptimas para el Calcio deben ser mayores a los 10 cmol (+) /L, pero

menores a los 22,3 cmol (+)/L; el Magnesio debe estar en concentraciones mayores a 6 cmol (+)/L, pero menores a 6,7 cmol (+)/L; el pH debe encontrarse entre 5,7 a 6,4; entre otros.

Cuadro 13. Requerimientos nutricionales de *Gmelina arborea* según la bibliografía.

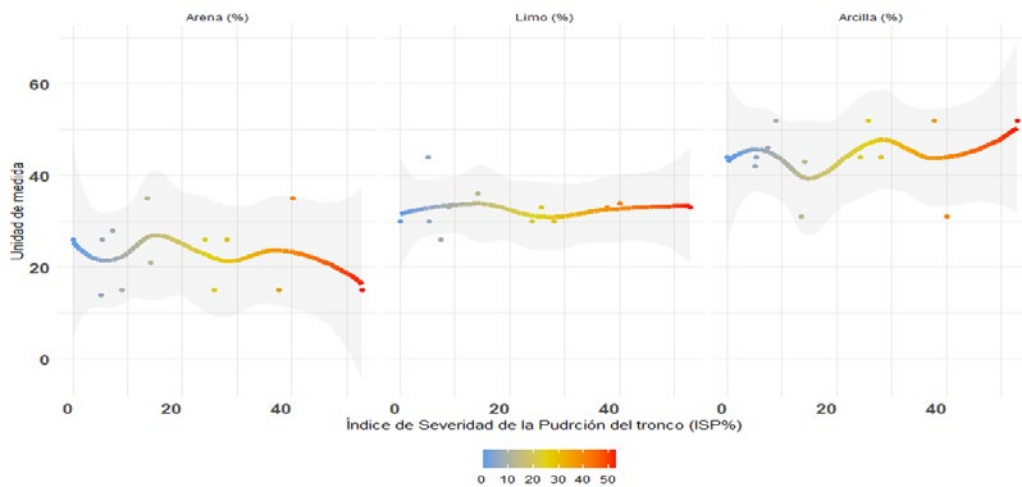
Requerimientos de Nutrientos			
Elemento	Concentración *	Unidad	Referencia Bibliográfica
Ca	6 – 22,3 (>10)	cmol (+)/L	Vásquez y Ugalde (1995) y Vallejos (1996)
Mg	1,6 – 6,7 (>6)	cmol (+)/L	Vásquez y Ugalde (1995) y Vallejos (1996)
K	0,5 – 0,7 (altas)	cmol (+)/L	Vásquez y Ugalde (1995) y Vallejos (1996), Stuhmann et al., 1994, citado por Escobar 2013
pH	5,7 – 6,4		Vásquez y Ugalde (1995) y Vallejos (1996)
P	Altas	mg/L	Vásquez y Ugalde (1994\5) y Vallejos (1996)
Al y Fe	Bajas	mg/L	
Ca/K	15 – 30	cmol (+)/L	Gómez et al. (2005) citado por Escobar (2013)
Ca+Mg/K	20 - 40	cmol (+)/L	Gómez et al. (2005) citado por Escobar (2013)

7.2.2 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con las propiedades físico-estructurales del suelo

Las propiedades físico-estructurales del suelo (la profundidad total del suelo y la proporción de arcilla, limo y arena) son presentadas en las **Figura 27A**. La proporción de arcilla y limo tienden a aumentar conforme el ISP% aumen-

ta; contrariamente, con la relación que presenta la proporción de arena, la cual tiende a disminuir. Pese a esto, el porcentaje de arcilla se mantiene -en la mayor parte de las UM- por encima del 40 %, lo que según Arguedas *et al.* (2018) es una limitante para el desarrollo de la especie. La relación entre el ISP% con la profundidad del suelo muestra una relación positiva (**Figura 27B**), aunque de forma leve.

A



B

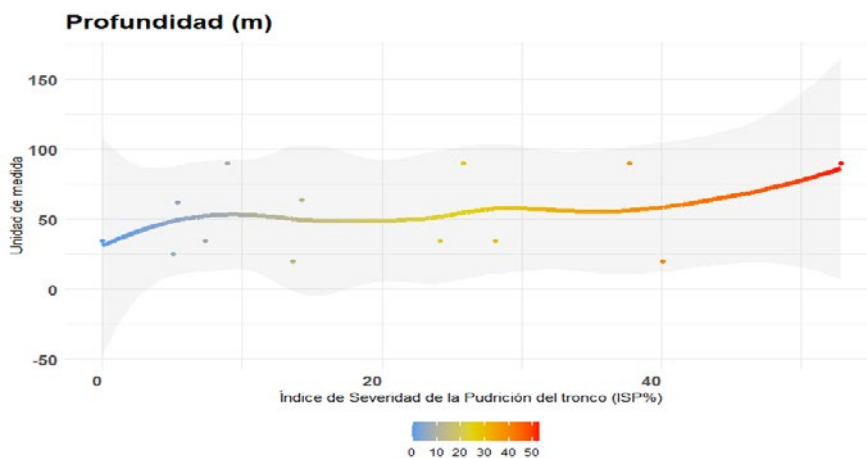


Figura 27. Relación del porcentaje del índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea* A) con la proporción de arcilla, limo y arena, y B) la profundidad total del suelo. Costa Rica.

7.2.3 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con las propiedades químicas del suelo

La información de las propiedades químicas de suelo de las UM se relaciona con el ISP%. La enfermedad se expresa en líneas de tendencia con respecto a cada una de las propiedades identificadas (**Figura 28**). En términos generales, se observan dos tipos de relaciones; una primera se da con el Ca y P, que se expresa con una tendencia positiva, dicho de otra manera a medida que se aumenta en el valor de la propiedad química del suelo también aumenta el ISP%; la segunda se da con el K, Mg, Fe y CICE, en todos estos casos las curvas de las figuras presentan un pico alrededor de un ISP del 30 %, inmediatamente desciende y luego se mantiene constante. Con el fin de mostrar cada una de las relaciones que se dan con cada propiedad química del suelo se presentan a continuación, se debe recordar que el análisis parte de la información que existe sobre las condiciones ideales para el desarrollo de la especie:

- Calcio (Ca): **rango óptimo en el suelo** es de 6 a 22 cmol/L, siendo lo óptimo un contenido mayor a 10 cmol/L. En general, las UM se ubican en sitios con contenidos de Ca por debajo del valor óptimo, y la mayoría con valores deficientes de Ca para el desarrollo de *G. arborea* (menores a 6 cmol/L). La línea de tendencia de la figura se traza positiva, lo que refleja la ubicación de UM con valores altos de ISP% en sitios con altos contenidos de Ca en el suelo.
- Magnesio (Mg): **rango óptimo en el suelo** es de 1,6 a 6,7 cmol/L, aunque lo preferible son valores por encima de 6 cmol/L. La mayor parte de las UM se hallan en sitios con contenidos de Mg que apenas llegan a 2 cmol/L. La línea de tendencia no se traza con una orientación clara en la figura.
- Potasio (K): **rango óptimo en el suelo** es de 0,5 a 0,7 cmol/L. Las UM se ubicaron en sitios con contenidos de K mayores a 0,5 cmol/L llegando a alcanzar los 2 cmol/L. La grafica no presenta una tendencia clara.
- Fosforo (P): **rango óptimo en el suelo** es de contenidos altos. Las UM se ubican, en sitios con contenidos de P bajos (no superiores a 4 mg/L). La gráfica presenta una relación con tendencia positiva.

- Hierro (Fe): **rango óptimo en el suelo** bajos contenidos de Fe, donde contenidos medios de Fe oscilan en un rango de 10 a 100 mg/L. Las UM se ubican en sitios con contenidos por encima del rango bajo. La línea de tendencia indica una relación negativa.
- Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE): **rango óptimo en el suelo** son contenidos superiores a 18 cmol/L. La mayoría de las UM se ubican en contenidos de CICE por debajo de 2,5 cmol/L. Dada la deficiente capacidad de intercambio catiónico, no se presenta una tendencia clara con respecto al ISP%.

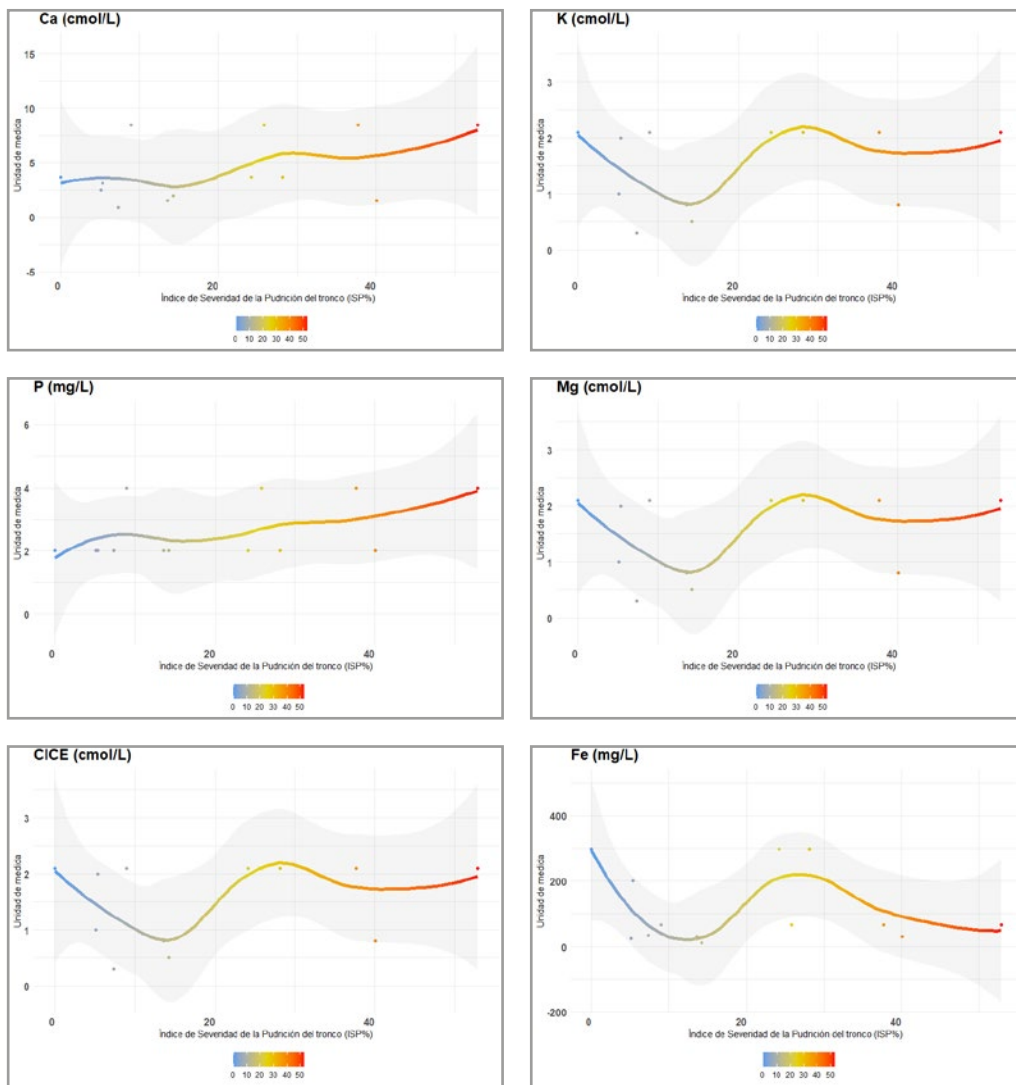


Figura 28. Tendencia de la relación entre el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) y las propiedades químicas del suelo: A) Calcio, B) Magnesio, C) Potasio, E) Fósforo, F) Hierro y G) CICE, según bases de perfiles de suelos de Costa Rica (Sandoval y Mata 2015). Regiones Huetar Norte, Caribe y Chorotega, Costa Rica.

7.2.4 Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) con factores climatológicos y topográficos

La enfermedad se expresa en todas las condiciones climatológicas y topográficas reportadas (**Figura 29**). No obstante, el levantamiento de información sobre los factores climatológicos está sujeto a la ubicación geográfica de las

UM. Lo que provocó que fuera difícil encontrar tendencias claras entre el ISP% y las variables con promedios climáticos. Las UM con valores altos de ISP% se ubicaron en los sitios con menor precipitación media anual (2000-3000 mm) y aparentemente menor pendiente (0°). Los niveles óptimos de precipitación de la *G. arborea* son de 2000 a 2500 mm por año, y una temperatura media anual que oscile entre 24 y 29 °C.

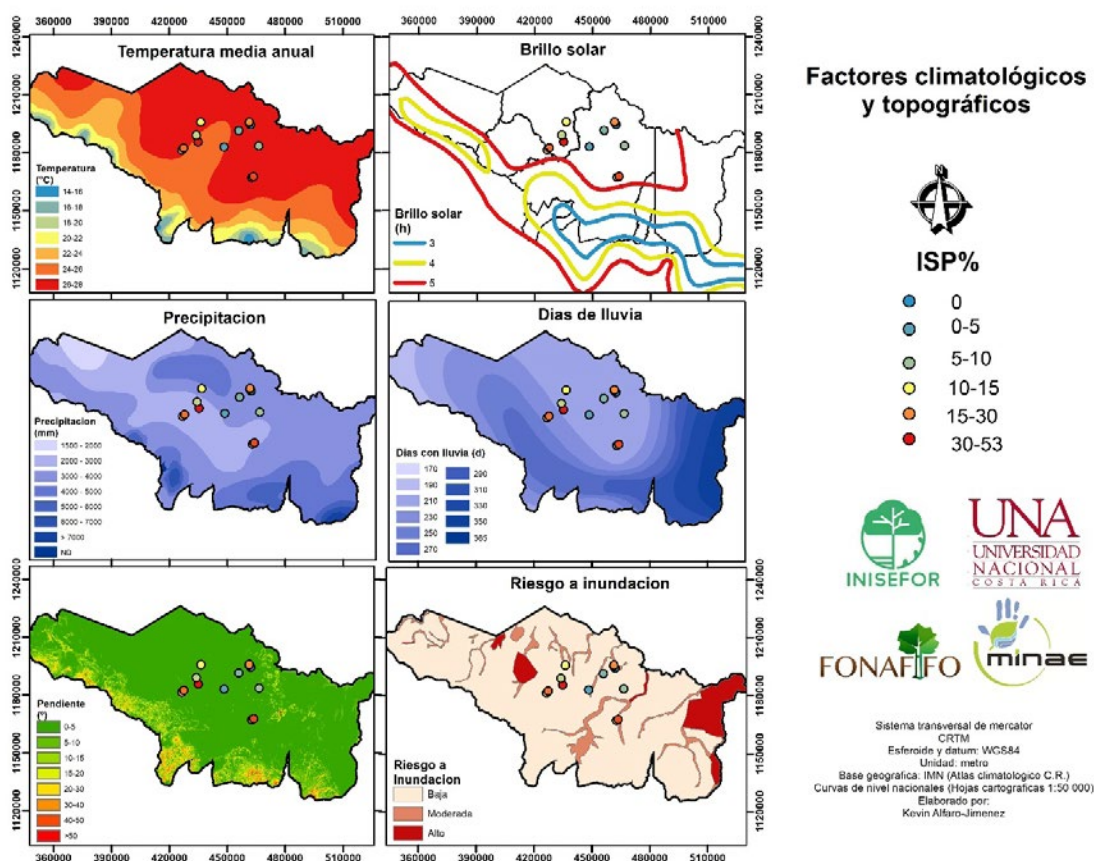


Figura 29. Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea* con los factores climatológicos y topográficos. Región Huetar Norte, Costa Rica.

7.3 Discusión

La implementación de prácticas de manejo silvicultural es ampliamente mencionada por la teoría como uno de los mecanismos más importante para disminuir el efecto de la enfermedad (Murillo *et al.*, 2016; Chavarría y Carmona, 2016; Arguedas *et al.*, 2018). Como lo mencionan Murillo *et al.* (2016) quienes atribuyen en la ejecución de raleos el logro de disminuir la incidencia en un 50 % y la severidad en un 33 %. Lo que es concordante con lo manifestado por los encuestados quienes aseguran realizar oportunamente las prácticas de manejo en sus plantaciones. No obstante, a pesar de que se reconozcan ampliamente los beneficios de la aplicación pronta y oportuna de los protocolos de manejo silvicultural, también debe aceptarse que en la práctica la mayoría de las actividades silviculturales recomendadas no son ejecutadas oportunamente (Calvo, 2018), lo que se evidencia en el campo, donde es posible encontrar plantaciones con diferentes estados de la enfermedad, con ISP% altos.

En la teoría es común encontrar una falta de significancia estadística cuando se quiere evidenciar algún tipo de relación entre las prácticas de manejo silvicultural con la severidad y la incidencia de la pudrición del tronco (Arguedas *et*

al., 2018; Calvo, 2018). Esta observación es concordante, con los resultados presentados en este estudio, donde no existe una tendencia clara para concluir que el ISP% este estrictamente relacionado a las prácticas silviculturales, puesto que la presencia de la enfermedad con ISP% altos (≥ 40 %) se da incluso en contratos que (según los encuestados) cumplen con un gran número de prácticas silvícolas.

El análisis para la identificación de los factores que inciden en el estado de la enfermedad se complementa por medio de una caracterización de las variables ambientales donde están creciendo las plantaciones. Se esperaría que los árboles, al plantarse en sitios con rangos óptimos, sufran menos estrés durante su vida. En consecuencia, árboles sometidos a menos estrés deberían ser capaces de sobrellevar con mayor éxito la enfermedad. En esta línea de investigación los trabajos publicados para *G. arbórea* en Costa Rica son escasos, se destaca el trabajo de Calvo (2018) en la Zona Huetar Caribe que toma en cuenta las condiciones de suelo, clima y manejo y más recientemente, Arguedas *et al.* (2018) quienes evaluaron los efectos del suelo y las condiciones de clima sobre la severidad y la incidencia en 16 si-

tios a lo largo del país con plantaciones que oscilaron de 2 a 6 años.

Los resultados presentados muestran que en su mayoría las plantaciones de *G. arborea* se encuentran creciendo en sitios que no cumplen con los requerimientos ambientales ideales para el desarrollo de la especie. Por ejemplo, en términos generales los sitios presentan una proporción de arcilla mayor al 40 %, lo que según Arguedas *et al.* (2018) propicia una susceptibilidad a la enfermedad.

7.4 Lecciones aprendidas

Las plantaciones de *G. arborea* se encuentran creciendo en sitios que no cumplen con los requerimientos ambientales ideales para el desarrollo de la especie. Por lo tanto, es de esperar que se estén propiciando condiciones habilitadoras para el desarrollo de la enfermedad, de ahí que esta se encuentre presente en prácticamente todas las condiciones de sitio y de manejo consideradas en la muestra. En cuanto a las variables climáticas, es necesario mencionar que debido a la escala de donde se tomaron los datos no fue posible obtener algún tipo tendencia.

A partir de las generalidades observadas en este estudio, queda claro que es necesaria una mayor socialización

de los avances que se van logrando en el control exitoso de la enfermedad. Se han encontrado casos, donde se reportan importantes pérdidas económicas para los dueños de las plantaciones. En consecuencia, se deben de considerar la mayor cantidad de variables posibles para recomendar el cultivo de *G. arborea*. Siendo también importante, la asesoría oportuna del profesional forestal al productor, por lo que su capacitación y actualización constante sobre el tema es fundamental para alcanzar el éxito en el cultivo de la especie. Mayor cuidado se debe de dar al manejo del Calcio (Ca) en las plantaciones. Esto en consideración, de que las UM se ubican en sitios con contenidos de Ca por debajo del valor óptimo, y la mayoría con valores deficientes de Ca para el desarrollo de *G. arborea* (menores a 6 cmol/L); esto quiere decir que se encuentran creciendo por debajo del valor óptimo (mayor a 10 cmol/L). Sin embargo, llama la atención que la línea de tendencia que relaciona el ISP% con el contenido de Ca se traza positiva, lo que refleja valores altos de ISP% en sitios con mayores contenidos de Ca en el suelo (siempre por debajo del óptimo). Esta observación, llama la atención en la necesidad de profundizar en el alcance que tiene la recomendación de realizar el encalado como mecanismo de control de la enfermedad.

Al considerar que entre más Ca y más P será mayor el ISP% (no debe verse como una conclusión sino como un hallazgo por comprobar). Esto abre el debate de que existen factores de mayor relevancia para que se desarrolle la enfermedad; y que aún necesitan ser identificados, donde se incluyen ciertas condiciones físicas y químicas del suelo. También hay un vacío en la influencia de microorganismos del suelo sobre los procesos, ya que los análisis que se han dado, se basan principalmente en las características físico-químicas del suelo. En consecuencia, se considera que la relación de factores que promueven la enfermedad es compleja.

V CAPÍ- TULO

PRINCIPIOS DE
PREVENCIÓN Y EL
PRECIO DE LA MADERA
COMO LIMITANTE
PARA EL MANEJO DE
LA ENFERMEDAD



8.1 Principios de Prevención de la Pudrición del Tronco en *Gmelina arborea*

La evidencia muestra que el ritmo de incidencia de la enfermedad puede ser superior a un 40 % en tan solo un año

(Murillo *et al.*, 2016). Por lo tanto, se plantean a continuación tres principios preventivos para mitigar el efecto de la pudrición del tronco:



Principio de identificar y corregir los factores que podrían ser limitantes en el desarrollo de la plantación, principalmente aquellos donde sea económicamente factible su modificación. Es necesario entonces, centrarse en aquellos factores mencionados en el apartado 7 de este documento y que a futuro podrían poner en peligro el desarrollo de la plantación. Por ejemplo: Rojas *et al.* (2004) mencionan que una mayoría de plantaciones de *G. arborea* no soportan suelos compactados o inundados, ni siquiera en forma temporal y esto causa pudrición en raíces, amarillamiento foliar y muerte. Algún cambio en la modificación de la compactación del suelo o en la realización de canales es demandante de altos costos. No obstante, es necesario profundizar en la generación de evidencia de cuales factores son realmente relevantes y si su modificación puede ser económicamente factible.

Principio de buena gobernanza en la gestión de la enfermedad cuando se tiene un PSA,

Se debe reconocer y reportar efectivamente por parte de los actores involucrados la existencia de la pudrición del tronco en la plantación. La evidencia muestra que en algunos proyectos no se reporta tener la presencia de la enfermedad en la finca; sin embargo, en campo se observó lo contrario y se llegaron a determinar altos porcentajes de incidencia de la enfermedad (Calvo, 2018).

Principio de actuar oportunamente según las posibilidades,

se debe reconocer que existen acciones oportunas para mitigar y prevenir la incidencia de la pudrición del tronco; y que en algunos casos no demanda una inversión fuerte de insumos o recursos para actuar oportunamente. En este sentido, Calvo (2018) menciona que en el campo se identifican cortes sin sellar con algún tipo de pintura o cóctel de fungicidas para evitar la entrada del hongo. Además, de prácticas incorrectas y excesivas de podas, control de malezas deficiente y altas densidades de siembra (Consejo Forestal, 2014). La realización de cambios en este tipo de prácticas podría contribuir positivamente en la mitigación del efecto de la enfermedad.

8.2 Precio de la madera como limitante para el manejo de la enfermedad en plantaciones de *Gmelina arborea*

El precio de mercado que se paga por la madera de la *G. arborea* limita el cumplimiento de los principios preventivos para el control de la enfermedad. Lo que el productor se gana al final de la cosecha no permite hacer inversiones posteriores para mejorar las condiciones de la plantación: fertilización, manejo de arvenses, entre otros. A pesar de que, en el transcurso de este estudio, el efecto que tiene el precio de mercado sobre la adopción de prácticas de manejo no ha sido desarrollado, en esta sección el tema retoma importancia. Los precios para la industria de tarima oscilan desde los 55 colones/pulgada maderera tica (pmt) hasta los 135 colones/pmt; la Oficina Nacional Forestal reporta un valor promedio de 100 colones/pmt. Valores de 55 colones/pmt explican la razón del porque los productores no realizan actividades correctivas para controlar la enfermedad en las plantaciones.

En consecuencia, el productor evalúa los beneficios que le generan las prácticas y los costos asociados para el cumplimiento de las recomendaciones o el acatamiento de los principios de prevención. Al valorarse que son pocos los beneficios económicos que se generarían, el productor prefiere jugar con la evolución de la enfermedad más que con su prevención. Por lo tanto, el raleo fitosanitario parece justificable y seguirá siendo una práctica común bajo las condiciones actuales de mercado.

AGRADECI- MIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a Mario Vargas, William Páez, Alejandra Gamboa y Sarita Guzmán de la Universidad Nacional, por sus valiosas gestiones en apoyo al proyecto académico "Red para el monitoreo de Ecosistemas Forestales Plantados en Costa Rica (REFOP)". A Carmen Roldan Chacón, Directora de Desarrollo y Comercialización de Servicios Ambientales de Fonafifo, por su apoyo y dirección estratégica para que se logrará consolidar la relación y cooperación técnica que hoy comparten la UNA-INISEFOR y el FONAFIFO. Al Lic. Christian Zúñiga Méndez, al MSc. Gilmar Navarrete Chacón, al Ing. Alberto Méndez Rodríguez y al Ing. Cristian Diaz Quesada por sus comentarios y aportes a la redacción del presente documento.



Bibliografía

- Agrios, G. (2005). *Plant Pathology*. (E. Academic, Ed.) (5th ed.). Nueva York. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Arguedas, M. (2004). Problemas fitosanitarios de la melina (*Gmelina arborea* (Roxd)) en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(2), 9.
- Arguedas, M., Chaverri, P. y Miller, C. (1995). Cancro *Nectria* sp. en especies forestales. *Serie Plagas y enfermedades forestales N° 18*. ITCR-CIT: Cartago, Costa Rica.
- Arguedas, M.; Rodríguez-Solis, M.; Moya; R & Berrocal; A. (2018). *Gmelina arborea* "death disease" in fast-growth plantations: Effects of soil and climatic conditions on severity and incidence and its implications for wood quality. *Forest Systems*, 27(1), 13 p.
- Barrantes, A. y Ugalde, S. (2018). *Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2017*. Oficina Nacional Forestal (ONF). San José, CR. 43 p.
- Burbano, S. (s.f.). *Manual para la estimación del volumen comercial en pie de las plantaciones de Gmelina arborea Roxb*. San José, Costa Rica: COSEFORMA-MINAE-GTZ
- Calvo, J. (2018). *Zonificación de plantaciones de Gmelina arborea afectadas por Nectria sp. en relación con condiciones de suelo, clima y manejo en la Zona Huetar Caribe*. (Tesis para optar por el título de ingeniera forestal con el grado académico de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 77 pp.
- Consejo Forestal ACAHN. (2014). Taller de intercambio de experiencias de manejo y control *Nectria* sp., por productores forestales en la región Huetar Norte de Bosta Rica con énfasis en *Gmelina arborea*. Ciudad Quesada, Costa Rica. 18 pp.
- Coy, V. (2017). *Identificación de hongos y bacterias asociados al tejido vascular de fustes enfermos de melina (Gmelina arborea roxb) en plantaciones ubicadas en los municipios de Guamo, Armero-Guayabal, Espinal y Venadillo en el Departamento del Tolima* (Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Forestal). Universidad del Tolima. Ibagué. Colombia. 76 pp.
- Coy-Rodríguez, V.; Lily Julieth Vargas-Osorio, L.; Varón-López, M. y López-Cardona, N. (2018). *Identificación de hongos y bacterias asociados a fustes de melina (Gmelina arborea ROXB) en el departamento del Tolima, Colombia*. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 42(165):343-352 p.
- Chavarría-Vega, M., y Carmona-Solís, R. (2016). Efecto de microorganismos antagonistas en el control de la enfermedad denominada "Nectria" en la melina *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(32), pág. 21-29. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v0i0.2549>
- Escobar, L. (2013). *Relación de parámetros de fertilidad del suelo con el índice de sitio determinado para plantaciones forestales de melina (Gmelina arborea) y ceiba (Pachira quinata) en Zambrano-Bolívar (Colombia)*. Universidad Nacional De Colombia, Facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados. Bogotá, D. C., Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/44372/1/52806208.2013.pdf>

- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: Cultivo Agrícolas, Forestales y Ornamentales*. 1 ed. San José. C.R. 285 p.
- Jiménez, L. (2014). *Manejo Silvicultural de Plantaciones en Costa Rica: Gmelina arborea*. Seminario: Manejo de semillas y plantaciones forestales de Teca y Melina. Costa Rica.
- Martínez, H. (2014a). *Preselección de especies en la consultoría "Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono"*. ONF, FONAFIFO, Banco Mundial.
- Martínez, H. (2014b). *Barreras que desalientan el cultivo de madera "Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono"*. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica.
- Méndez, A. (2011). *Evaluación de tratamientos para el manejo de Nectria sp. en plantaciones de Gmelina arborea en Santa Rosa de Pocosal, Alajuela*. (Tesis de Licenciatura), Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Méndez, J; Pérez, L; Solano, G; Rivera, A; Méndez, N; Paniagua, J. (2019). Estado de la Reforestación productiva en la Región Huetar Norte de Costa Rica. CODEFORSA, Turrialba, Costa Rica. 9 pp.
- Muchovej J.J., Albuquerque F.C. y Ribeiro G.T. (1978). *Gmelina arborea*—a new host for *Ceratocystis fimbriata*. *Plant Dis. Rep.* 62: 717–719.
- Murillo, O., Salas, A., Murillo, R. y Ávila, C. (2016). Tasa de avance de la pudrición del tronco en melina *Gmelina arborea* Roxb. y posibilidades de manejo. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(32).
- Oficina Nacional Forestal (ONF). (s/f). *Informe de usos y aportes de la madera en Costa Rica*. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de <http://onfcr.org/article/usos-y-aportes-de-la-madera-en-costa-rica/>
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Pérez, L y Barrantes, K. 2019. Recolección de información de actividades de transformación y comercialización del Clúster Forestal. CODEFORSA, San Carlos, Costa Rica. 20 pp.
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O. y Arguedas, M. (2004). *Manual para productores de Melina (Gmelina arborea) en Costa Rica*. p. 132-156. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual%20para%20los%20productores%20de%20melina.pdf.
- Salas, R. (2012). Evaluación de un ensayo genético de *Gmelina arborea* en Siquirres, Limón. (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Salas-Rodríguez, A., Murillo-Gamboa, O., Murillo-Cruz, R., Ávila-Arias, C., y Mata-Granados, X. (2016). Evaluación de la severidad de la pudrición del tronco en *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(32), pág. 01-10. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v0i0.2547>.
- Sandoval D. y Mata R. (2014). *Base de perfiles de suelos de Costa Rica*. [en línea]: Versión 1. 2, San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). <http://http://www.suelos.ucr.ac.cr/>

- Solano, E., Belezaca, C., López, R., Marcías, K. (2019). Incidencia y severidad de la enfermedad marchitez vascular, muerte regresiva de tectona grandis l. F. En cuatro provincias de Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*. 11(5): 262-269.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2019. "Informe Anual Estadísticas SEMEC 2018: SINAC en Números". Comp. B Pavlotzky. San José, CR. 82 p.
- Stuhrmann, M., Bergmann, C. & Zech, W. (1994). *Minera nutrition, soil factors and growth rates of Gmelina arborea plantations in the humid lowlands of northern Costa Rica*. *For. Ecol. Manage.* 70: 135-145
- Vallejos, (1996). *Productividad y relaciones con el índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para Tectona grandis L.F., Bombacopsis quinatum (Jacq.) Dugand y Gmelina arborea Roxb., en Costa Rica*. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba. Costa Rica. 142 p.
- Vásquez, W., Ugalde, L. (1995). *Rendimientos y calidad de sitio para Gmelina arborea, Tectona grandis, Bombacopsis quinatum y Pinus caribaea en Guanacaste, Costa Rica*. CATIE. Turrialba. Costa Rica. Serie técnica, Informe técnico N° 256. 33p.
- Wingfield, M.J., Robinson, D.J. (2004). Diseases and insect pests of *Gmelina arborea*: real threats and real opportunities. *New Forest* 28: 227-243.

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del área plantada con <i>Gmelina arborea</i> , por distrito, Costa Rica, 2014.	11
Figura 2. Distribución del volumen aprovechado de <i>Gmelina arborea</i> , por distrito en el período 2014-2019. Según datos del SICAF-SINAC. Costa Rica.	12
Figura 3. Distribución de las unidades de muestreo en cada región de estudio. Costa Rica.	22
Figura 4. Evidencia fotográfica de la diversidad de condiciones que se encuentran las plantaciones forestales de <i>Gmelina arborea</i> , según su edad al 2018. Costa Rica.	25
Figura 5. Características del suelo de las plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> consideradas en el estudio según bases de perfiles de suelos de Costa Rica (Sandoval y Mata, 2015).	30
Figura 6. Relación diámetro y altura de los árboles con la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> y el histograma de densidad de observaciones para el diámetro (cm) y la altura (m) para el total de la muestra. Costa Rica.	32
Figura 7. Distribución por edad y categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> , para el total de la muestra. Costa Rica.	34

Figura 8. Distribución por diámetro y categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> , para el total de la muestra. Costa Rica.	36
Figura 9. Distribución por altura y categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> , para el total de la muestra. Costa Rica.	38
Figura 10. Tendencia de la altura de los árboles según la categoría de Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> , para el total de la muestra estratificado por edad de plantación. Costa Rica.	40
Figura 11. Tendencia del diámetro de los árboles según la categoría de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> , para el total de la muestra estratificado por edad de plantación. Costa Rica.	42
Figura 12. Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> por distrito, Región Huetar Atlántica. Costa Rica.	44
Figura 13. Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> por distrito, Región Huetar Norte. Costa Rica.	45
Figura 14. Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i> por distrito, Región Huetar Norte. Costa Rica.	46
Figura 15. Condiciones diversas que presentan los sitios muestreados en plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> . Costa Rica.	51
Figura 16. A) Gráfico violín, distribución de la densidad de la plantación (arb/ha) y el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%); B) Tendencia de la distribución de las UM según ISP% y la distribución de los datos de la densidad del rodal (Gráfico de densidad de Kernel). Total, de la muestra. <i>Gmelina arborea</i> . Costa Rica.	52
Figura 17. A) Gráfico violín, distribución del área basa (m ² /ha) de las UM y el Índice de Severidad de la Pudrición del tronco (ISP%); B) Tendencia de la distribución de las UM según ISP% y la distribución de los datos del área basal del rodal (Gráfico de densidad de Kernel). <i>Gmelina arborea</i> . Costa Rica.	54
Figura 18. A) Gráfico violín, distribución del volumen (m ³ /ha) de las UM y el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%); B) Tendencia de la distribución de las UM según ISP% y la distribución de los datos del volumen del rodal (Gráfico de densidad de Kernel). Total, de la muestra. <i>Gmelina arborea</i> . Costa Rica.	55
Figura 19. Gráfico violín, tendencia de la densidad del rodal (arb/ha) según Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en <i>Gmelina arborea</i> , para el total de la muestra, estratificado por edad de la plantación. Costa Rica.	56
Figura 20. Gráfico violín, tendencia del área basal (m ² /ha) según Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en <i>Gmelina arborea</i> , para el total de la muestra, estratificado por edad de la plantación. Costa Rica.	57

Figura 21. Gráfico violín, tendencia del volumen (m³/ha) según Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en *Gmelina arborea*, para el total de la muestra, estratificado por edad de la plantación. Costa Rica. 58

Figura 22. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por distrito en la Región Huetar Norte al año 2018. Costa Rica. 66

Figura 23. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por distrito en la Región Huetar Atlántica al año 2018. Costa Rica. 68

Figura 24. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) por distrito en la Región Chorotega al año 2018. Costa Rica. 70

Figura 25. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea*, según las prácticas de manejo mencionadas por los encuestados. Costa Rica..... 75

Figura 26. Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea* según la cantidad de repeticiones que se aplica la práctica de manejo mencionada por los encuestados. Costa Rica. 77

Figura 27. Relación del porcentaje del índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea* A) con la proporción de arcilla, limo y arena, y B) la profundidad total del suelo. Costa Rica 80

Figura 28. Tendencia de la relación entre el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) y las propiedades químicas del suelo: A) Calcio, B) Magnesio, C) Potasio, E) Fosforo, F) Hierro y G) CICE, según bases de perfiles de suelos de Costa Rica (Sandoval y Mata 2015). Regiones Huetar Norte, Caribe y Chorotega, Costa Rica..... 82

Figura 29. Relación del Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de *Gmelina arborea* con los factores climáticos y topográficos. Región Huetar Norte, Costa Rica. 83

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Estimación de existencias en las regiones Huetar Norte, Huetar Atlántica y Chorotega y a nivel nacional. Línea base de área planteada según el CENAGRO 2014, área plantada bajo el Programa de Pago por Servicios Ambientales del FONAFIFO y cantidad de madera cosechada en m³ según SICAF-SINAC para *Gmelina arborea*. Costa Rica. 13

Cuadro 2. Microorganismos reportados como causantes de problemas fitosanitarios en Costa Rica. 15

Cuadro 3. Protocolos de manejo utilizados por empresas y organizaciones para la prevención de la enfermedad. Región Huetar Norte, Costa Rica. 19

Cuadro 4. Acciones para mitigar el efecto de la pudrición de troncos en plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> . Región Huetar Norte. Costa Rica.....	21
Cuadro 5. Escala para la valoración visual en campo de la Severidad de la Pudrición del Tronco (SPT) en <i>Gmelina arborea</i>	24
Cuadro 6. Estadísticos descriptivos generales obtenidos en las unidades de muestreo (UM) establecidas en las plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> en las regiones evaluadas. Costa Rica.	28
Cuadro 7. Estructura del cuestionario utilizado en las encuestas para la identificación de las prácticas silviculturales. Costa Rica.....	29
Cuadro 8. Promedio del Índice de la Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en las unidades de muestreo de la Región Huetar Norte. Costa Rica.....	65
Cuadro 9. Promedio del Índice de la Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%), en las unidades de muestreo de la Región Huetar Atlántica. Costa Rica.....	67
Cuadro 10. Promedio del Índice de la Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%), en las unidades de muestreo de la Región Chorotega, 2015-2018. Costa Rica.....	69
Cuadro 11. Relación entre el Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%) en plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> con la cantidad de aplicación de la práctica de manejo, según lo mencionado por los encuestados. Costa Rica.....	76
Cuadro 12. Requerimientos ambientales de <i>Gmelina arborea</i> según la bibliografía.....	79
Cuadro 13. Requerimientos nutricionales de <i>Gmelina arborea</i> según la bibliografía.....	79

ANEXOS

Anexo 1. Estadísticos descriptivos de las unidades de muestreo, por Índice de Severidad de la Pudrición del Tronco (ISP%). Costa Rica.

Parámetros	ISP%	Densidad (N/ha)	Área basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)	X0	X1	X2
UM	Alto	17	17	17	17	17	17
	Bajo	214	214	209	214	214	214
	Medio	57	57	54	57	57	57
	Sin síntomas	136	135	135	136	136	136
Mean	Alto	482	9.75	41.2	0.0588	5.94	15.3
	Bajo	373	14.2	91.7	13.3	3.65	0.327
	Medio	329	11.9	75.8	2.39	10.7	1.18
	Sin síntomas	380	11.7	70.6	18.6	0.00	0.00
Mode	Alto	580	3.17	6.48	0.00	0.00	4.00
	Bajo	220	1.56	12.0	4.00	1.00	0.00
	Medio	240	2.41	9.25	0.00	3.00	0.00
	Sin síntomas	340	1.59	10.3	17.0	0.00	0.00
Standard deviation	Alto	141	3.41	28.8	0.243	4.80	8.53
	Bajo	192	7.32	58.9	9.30	2.93	0.632
	Medio	181	6.34	52.7	2.30	7.87	1.86
	Sin síntomas	198	4.70	37.8	10.1	0.00	0.00
Minimum	Alto	226	3.17	6.48	0	0	3
	Bajo	40	1.56	12.0	1	0	0
	Medio	80	2.41	9.25	0	1	0
	Sin síntomas	20	1.59	10.3	1	0	0
Maximum	Alto	740	17.2	115	1	16	26
	Bajo	1000	46.1	407	46	27	3
	Medio	840	34.1	276	9	41	9
	Sin síntomas	1180	24.2	201	59	0	0

Existe más de un parámetro moda, solo la primera se reporta

X0=Árboles sin síntomas

X1=Árboles con síntomas

X2= Árboles totalmente afectados



Este libro se imprimió en el 2020 en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional, consta de un tiraje de 500 ejemplares, en papel bond editorial y cartulina barnizable.

1938-20 –P.UNA



La colección "Estadísticas forestales para la toma de decisiones del manejo forestal sostenible" integra una serie de documentos técnicos que informan sobre la condición actual de la reforestación comercial. Creados con el fin de proporcionar datos empíricos que faciliten la toma de decisiones para propiciar mejoras en el desarrollo de la reforestación. La primera publicación fue en el año 2019 y tuvo como título "Reforestación Comercial en Costa Rica:

Regiones Huetar Atlántica, Huetar Norte y Chorotega". "Incidencia y severidad de la pudrición del tronco en plantaciones de *Gmelina arborea* (melina), Costa Rica: Región Huetar Norte, Huetar Atlántica y Chorotega" constituye el segundo documento de esta colección; cuyos temas en futuras publicaciones asumirán el almacenamiento y flujos de carbono; y la productividad por especie, entre otros.



ISBN: 978-9930-9709-0-4

