

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**TOMOGRAFÍA ACÚSTICA COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA
SANIDAD INTERNA EN ÁRBOLES PLUS DE *Calycophyllum spruceanum*
(CAPIRONA), UCAYALI – PERÚ.**

Tesis

Para optar el título profesional de:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

ALEXIS JUNIOR PANDURO PEZO

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 055-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de mayo de 2025, a horas 11:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“TOMOGRAFÍA ACÚSTICA COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA SANIDAD INTERNA EN ÁRBOLES PLUS DE *Calycophyllum spruceanum* (CAPIRONA), UCAYALI – PERÚ.”

Presentado por el Bachiller: **PANDURO PEZO, ALEXIS JUNIOR**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“EXCELENTE”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 08 de mayo de 2025

Ing. MSc. **RAÚL ARAUJO TORRES**
PRESIDENTE

Ing. **JORGE LUIS VERGARA PALOMINO**
MIEMBRO

Ing. MSc. **GUNTER DAZA PANDURO**
MIEMBRO

Ing. MSc. **BRAYAN A. CALDAS DE LA CRUZ**
ASESOR

Ing. **GLORIA P. CARDENAS RENGIFO**
ASESOR

Ing. MSc. **KAREN S. CORDOVA FLORES**
ASESOR





"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 142 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------------	------------------------------------	--------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
TOMOGRFÍA ACÚSTICA COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA SANIDAD INTERNA EN ÁRBOLES PLUS DE <i>Calycophyllum spruceanum</i> (CAPIRONA), UCAYALI - PERÚ	ALEXIS JUNIOR PANDURO PEZO	11 % Once

Tingo María, 19 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**TOMOGRAFÍA ACÚSTICA COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA
SANIDAD INTERNA EN ÁRBOLES PLUS DE *Calycophyllum spruceanum*
(CAPIRONA), UCAYALI – PERÚ.**

Autor	: Bach. Alexis Junior Panduro Pezo
Asesor(es)	: Ing. MSc. Brayan Andre Caldas de la Cruz Ing. Gloria Patricia Cárdenas Rengifo Ing. MSc. Karen Stephanny Córdova Flores
Programa de investigación	: Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales
Línea de investigación	: Silvicultura, Dendrología, Manejo y Ordenación Forestal
Eje temático	: Instalación, Producción, Manejo en Viveros y Plantaciones Forestales
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia
Duración del trabajo	: 7 meses
Financiamiento	: S/. 5 252,50
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo María – Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por proteger y guiar mis pasos en este camino, por darme paciencia y perseverancia para poder superar los desafíos y adversidades presentados en mi vida.

A mis amados padres, Sheyla Pezo Sánchez y Romer Panduro Valdivieso, con quienes estoy eternamente agradecido por su apoyo incondicional y ser motivo de superación para lograr mis metas personales y profesionales. Su amor, sus sacrificios y su fe inquebrantable en mí han sido el faro que me iluminó, incluso en los días más difíciles.

A mi mamita, Irma Pezo Sánchez, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y que los buenos consejos brindados, ahora tienen frutos.

A mi compañera de vida, Delia M. León Arrieta, por su apoyo incondicional y compañía en los momentos de mayor presión, brindándome ánimos que me impulsan a no rendirme.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva por los conocimientos y habilidades brindadas durante mi etapa de formación académica.

A la Institución Nacional de Innovación Agraria – EEA Pucallpa, por facilitar los ambientes, equipos y profesionales necesarios durante la realización de esta investigación.

A la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía y en particular al Departamento Académico de Ingeniería Agroforestal Acuícola, por brindarme el acceso a su plantación experimental, lo cual fue fundamental para la recolección de datos.

A mis asesores de tesis, al ingeniero Brayan Caldas, a la ingeniera Patricia Cárdenas y a la ingeniera Karen Córdova, por sus conocimientos brindados durante el desarrollo de la presente investigación. Su compromiso y dedicación en cada etapa de este proyecto fueron fundamentales.

A mis jurados de tesis, al ingeniero Raúl Araujo Torres, al ingeniero Jorge Luis Vergara Palomino y al ingeniero Gunter Daza Panduro, por las recomendaciones brindadas en esta investigación.

A mi familia y amistades, por el apoyo en los momentos cruciales, por esas palabras de aliento cuando más las necesitaba, que sin sus ánimos, este proceso habría sido mucho más difícil.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Marco teórico.....	4
2.1.1. Plantaciones forestales.....	4
2.1.2. Árboles plus o semilleros	4
2.1.3. Variables dasométricas	6
2.1.4. Características morfológicas	8
2.1.5. Métodos de evaluación de la madera.....	9
2.1.6. Tomografía acústica en árboles	10
2.1.7. ArborSonic 3D.....	11
2.1.8. Sanidad forestal	11
2.1.9. Software ImageJ	12
2.1.10. Tecnología Field Map.....	12
2.1.11. Modelo estadístico.....	13
2.1.12. <i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth. (Capiroña).....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Lugar de ejecución.....	18
3.1.1. Zona de vida	19
3.1.2. Clima	19
3.1.3. Datos de la plantación.....	19
3.2. Material y métodos	20
3.2.1. Material Vegetativo	20
3.2.2. Materiales, equipos y softwares.....	20
3.2.3. Metodología.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
4.1. Determinación de las variables dasométricas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	30
4.2. Caracterización de las variables morfológicas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	32
4.3. Determinación de la sanidad interna de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	33

4.4.	Relación de la velocidad radial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	35
4.5.	Relación de la velocidad tangencial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	36
V.	CONCLUSIONES	38
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	39
VII.	REFERENCIAS	40
VIII.	ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Características morfológicas.....	9
2. Valores del coeficiente de correlación “r” de Pearson.	14
3. Variables morfológicas.....	22
4. Variables dasométricas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	30
5. Variables dasométricas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	32
6. Sanidad interna de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	33
7. Árboles plus de <i>C. spruceanum</i> según la sanidad interna	34
8. Correlación de Pearson entre la velocidad radial del ultrasonido y las variables dasométricas.....	35
9. Correlación de Pearson entre la velocidad tangencial del ultrasonido y las variables dasométricas.....	36
10. Variables dasométricas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	46
11. Variables morfológicas de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	47
12. Superficie de la sanidad interna de los árboles plus de <i>C. spruceanum</i>	48
13. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 1	86
14. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 2	86
15. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 3	86
16. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 4	87
17. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 5	87
18. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 6	87
19. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 7	88
20. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 8	88
21. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 9	88
22. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 10	89
23. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 11	89
24. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 12	89
25. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 13	90
26. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 14	90
27. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 15	90
28. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 16	91
29. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 17	91

30. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 18	91
31. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 19	92
32. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 20	92
33. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 21	92
34. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 22	93
35. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 23	93
36. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 24	93
37. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 25	94
38. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 26	94
39. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 27	94
40. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 28	95
41. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 29	95
42. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 30	95
43. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 31	96
44. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 32	96
45. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 33	96
46. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 34	97
47. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 35	97
48. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 36	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Criterios a tener en cuenta para medir el dap.	6
2. Evaluación del dap en árboles en pie.....	7
3. Software y hardware del tomógrafo acústico ArborSonic 3D.....	11
4. Modos de medición de altura.	13
5. Ubicación de la plantación de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	18
6. Distribución de las parcelas experimentales.....	19
7. Distribución de los árboles de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	20
8. Pestaña “Árbol” en el software ArborSonic 3D.	23
9. Pestaña “Geometría de sensores” en el software ArborSonic 3D.	24
10. Distribución equidistante de los sensores en el Software ArborSonic 3D.	24
11. Pestaña “Archivo de imágenes” en el Software ArborSonic 3D.....	25
12. Trazado de la línea con la herramienta “Freehand Lines”.....	26
13. Insertado de la distancia conocida.	27
14. Velocidad radial del ultrasonido.....	28
15. Velocidad tangencial del ultrasonido.	29
16. Relación entre el volumen comercial y el dap de <i>C. spruceanum</i>	31
17. Relación entre el volumen y la altura comerciales de <i>C. spruceanum</i>	31
18. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 1.	50
19. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 2.	51
20. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 3.	52
21. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 4.	53
22. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 5.	54
23. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 6.	55
24. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 7.	56
25. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 8.	57
26. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 9.	58
27. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 10.	59
28. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 11.	60
29. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 12.	61
30. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 13.	62
31. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 14.	63

32. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 15.	64
33. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 16.	65
34. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 17.	66
35. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 18.	67
36. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 19.	68
37. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 20.	69
38. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 21.	70
39. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 22.	71
40. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 23.	72
41. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 24.	73
42. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 25.	74
43. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 26.	75
44. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 27.	76
45. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 28.	77
46. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 29.	78
47. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 30.	79
48. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 31.	80
49. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 32.	81
50. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 33.	82
51. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 34.	83
52. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 35.	84
53. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de <i>C. spruceanum</i> N° 36.	85
54. Mapa de dispersión de la plantación <i>C. spruceanum</i>	98
55. Plantación de <i>C. spruceanum</i> de 7 años.	99
56. Medición de diámetros de los árboles de <i>C. spruceanum</i>	99
57. Medición de la altura total y comercial de los árboles de <i>C. spruceanum</i>	100
58. Sensores colocados en el árbol de <i>C. spruceanum</i>	100
59. Medición de velocidades del árbol de <i>C. spruceanum</i>	101
60. Aplicación del Sanix en los árboles de <i>C. spruceanum</i>	101
61. Visita de los miembros del jurado a la plantación de <i>C. spruceanum</i>	102
62. Inspección de la plantación de <i>C. spruceanum</i> por los miembros del jurado.	102

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la sanidad interna de árboles plus de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) mediante tomografía acústica en Ucayali, Perú. El estudio se desarrolló en una plantación de siete años y 0,5 ha de extensión, ubicada en la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, dividida en tres bloques con 36 árboles distribuidos en parcelas. Se utilizó un método no destructivo bajo un diseño no experimental y nivel descriptivo. Se registraron variables dasométricas con alta homogeneidad: dap promedio de 13,27 cm, altura total de 14,82 m, altura comercial de 9,23 m y volumen comercial de 0,0849 m³. En cuanto a las características morfológicas, todos los árboles presentaron fuste recto sin bifurcaciones; 30 mostraron copas irregulares; y 32 tenían buen estado sanitario externo, mientras que 4 presentaron signos de ataque por insectos. La evaluación interna se realizó con el tomógrafo ArborSonic 3D y el software ImageJ. Los resultados indicaron que 22 árboles estaban completamente sanos, 13 con inicios de descomposición y 1 con descomposición evidente. La velocidad promedio del ultrasonido fue de 1 844,86 m/s (radial) y 1 817,19 m/s (tangencial). Además, la velocidad radial mostró una correlación positiva débil con el dap ($r = 0,472$) y la altura total ($r = 0,408$), mientras que la tangencial presentó una correlación moderada con el dap ($r = 0,624$) y la altura total ($r = 0,508$).

Palabras clave: Método no destructivo, tomógrafo forestal, velocidad radial, velocidad tangencial, ArborSonic 3D, ImageJ.

An Acoustic Scan as a Tool to Evaluate the Internal Health of *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) Plus Trees in Ucayali, Peru

Abstract

The objective of this study was to evaluate the internal health of *Calycophyllum spruceanum* (capirona) plus trees using acoustic tomography in Ucayali, Peru. The study was carried out on a seven-year-old, 0.5-ha plantation located at the National Intercultural University of the Amazon, divided into three blocks with 36 trees distributed in plots. A non-destructive method was used under a non-experimental design and descriptive level. Dasometric variables were recorded with high homogeneity: average dbh of 13.27 cm, total height of 14.82 m, commercial height of 9.23 m, and commercial volume of 0.0849 m³. Regarding morphological characteristics, all trees had straight trunks without forks; 30 showed irregular crowns; and 32 were in good external health, while 4 showed signs of insect attack. The internal evaluation was carried out using the ArborSonic 3D tomograph and ImageJ software. The results indicated that 22 trees were completely healthy, 13 showed the beginnings of decay, and 1 had evident decay. The average ultrasound velocity was 1,844.86 m/s (radial) and 1,817.19 m/s (tangential). Furthermore, radial velocity showed a weak positive correlation with dbh ($r = 0.472$) and total height ($r = 0.408$), while tangential velocity showed a moderate correlation with dbh ($r = 0.624$) and total height ($r = 0.508$).

Keywords: Non-destructive method, forest tomograph, radial velocity, tangential velocity, ArborSonic 3D, ImageJ.

I. INTRODUCCIÓN

La capirona, conocida científicamente como *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f., es un árbol nativo de la Amazonia, distribuida en países como Perú, Brasil, Ecuador y Colombia; llegan a alcanzar una altura de 35 metros y un diámetro a la altura del pecho (dap) de 60 a 120 centímetros; la madera tiene una densidad alta de $0,76 \text{ g/cm}^3$, moderadamente resistente a ataques biológicos, lo que le hace adecuada para su uso en construcción, fabricación de muebles y elaboración de pisos de madera. Desde el punto de vista etnobotánico, las comunidades indígenas amazónicas utilizan la corteza como medicina tradicional, para tratar infecciones cutáneas, enfermedades respiratorias y problemas gastrointestinales. Gracias a su rápido crecimiento y capacidad de adaptación a distintos tipos de suelos se emplea en proyectos de reforestación y conservación ecológica en la región amazónica.

El Perú es el segundo país con mayor superficie forestal en América Latina, con aproximadamente 73,3 millones de hectáreas, y ocupa el noveno a nivel mundial. A pesar de esta vasta riqueza natural, gran parte de estas áreas no han sido plenamente valorizadas debido a los procesos continuos de deforestación y degradación de los ecosistemas forestales. Frente a esta problemática, diversas instituciones públicas y privadas vienen desarrollando iniciativas orientadas a promover el manejo sostenible y conservación de los bosques, con el objetivo de preservar la biodiversidad, mitigar el cambio climático y contribuir al desarrollo sostenible del país.

El término “árbol plus” hace referencia a aquellos individuos que han sido seleccionados por presentar características fenotípicas superiores en comparación a los árboles comunes. Actualmente, estos árboles son fundamentales en los programas de mejoramiento genético y reforestación, ya que permite obtener progenies con mayor rendimiento, mejor calidad de madera, mayor resistencia a plagas y enfermedades, entre otras cualidades deseables. El desarrollo, selección y uso de árboles plus constituyen una estrategia clave para el manejo sostenible de los recursos forestales, así como para fortalecer las iniciativas de conservación, restauración y el desarrollo de plantaciones comerciales adaptadas a las condiciones locales.

Actualmente, la selección de los árboles plus se basa en diversos criterios morfológicos, tales como la altura, diámetro a la altura del pecho (dap), calidad de fuste, sanidad general, entre otros aspectos. Sin embargo, estos criterios se enfocan principalmente en aspectos externos, sin garantizar que la estructura interna del árbol se encuentre en buen estado, que no tenga presencia de defectos internos (perforación, pudrición, nudos, entre otros). Estas imperfecciones internas pueden afectar significativamente en la calidad de la madera, la capacidad reproductiva y

producción de clones de alto valor. Tradicionalmente, estos defectos internos son identificados después de la tala, lo que representa una limitación considerable en los programas de mejoramiento genético. Frente a esta problemática diversos investigadores han comenzado a implementar técnicas no destructivas como la tomografía acústica, para evaluar la calidad interna de la madera y detectar defectos internos sin afectar la estructura ni la vitalidad del árbol. En este contexto, surge la siguiente pregunta ¿La tomografía acústica es una herramienta útil para evaluar la sanidad interna de los árboles plus de *Calycophyllum spruceanum* (capirona), Ucayali – Perú? y la hipótesis a contrastarse será: la tomografía acústica constituye una herramienta complementaria para la evaluación del estado interno de los árboles.

En este contexto, la implementación de métodos no destructivos ha cobrado relevancia por su rapidez, confiabilidad y capacidad para reducción de pérdidas económicas y costos operativos. Entre estas técnicas, el método acústico se posiciona como el segundo más utilizado después de la inspección visual, al obtener imágenes internas del árbol en forma de tomogramas, que revelan la distribución del sonido y posibles defectos estructurales en la madera. La tomografía acústica se ha consolidado como una herramienta eficaz para la evaluación de la salud estructural de los árboles, especialmente en especies de alto valor como los árboles plus. Esta técnica permite realizar inspecciones sin causar daño al individuo, posibilitando un monitoreo continuo de su estado interno a lo largo del tiempo, lo cual es crucial para detectar cambios progresivos en su estructura interna y evaluar la efectividad de las intervenciones silvícolas o sanitarias.

El presente estudio busca generar conocimiento técnico sobre el uso de la tomografía acústica como herramienta complementaria a la inspección visual, enfocada en la determinación de la sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum* Benth.. Los datos obtenidos permitirán mejorar los procesos de selección de material genético superior, aportando criterios más objetivos y precisos. Asimismo, los resultados de esta investigación pueden ser replicada para otras especies nativas con importancia económica y potencial genético, fortaleciendo los programas de mejoramiento genético, conservación y reforestación en la Amazonia peruana

1.1. Objetivo general

Evaluar la sanidad interna en árboles plus de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) mediante tomografía acústica, Ucayali – Perú.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum* en Ucayali – Perú.
- Caracterizar las variables morfológicas de los árboles plus de *C. spruceanum* en Ucayali – Perú.
- Determinar la sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum* en Ucayali – Perú.
- Relacionar la velocidad radial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum* en Ucayali – Perú.
- Relacionar la velocidad tangencial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum* en Ucayali – Perú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Plantaciones forestales

Richter y Calvo (1995) describen que, un tipo de bosque que difiere significativamente de los bosques naturales, el cual se caracteriza por una menor complejidad estructural y una composición de especies más homogénea, así como por sus características estructurales como en sus funciones ecológicas, incluyendo el aprovechamiento de la energía solar, reciclaje del agua y ciclo de nutrientes.

De acuerdo con la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 (2011), las plantaciones forestales se definen como ecosistemas forestales originados por intervención humana, que pueden consistir en una o más especies forestales, ya sean nativas o introducidas (especies llevadas más allá de su distribución geográfica natural por acción humana y que no crecen naturalmente en esos lugares). Estas plantaciones pueden tener diversos fines, tales como: la producción de madera o productos forestales no maderables, la protección, la restauración ecológica, la recreación, la provisión de servicios ambientales o cualquier combinación de estos propósitos.

2.1.2. Árboles plus o semilleros

Ipinza (1998) menciona que, el árbol plus tiene características fenotípicas superiores, según el interés económico. La finalidad de la selección de estos árboles es de ser usados como progenitores para el mejoramiento o producción de nuevas poblaciones.

Según Vallejos *et al.* (2010), el debate central en la selección de árboles plus radica en definir qué caracteres deben priorizarse durante la evaluación. Aunque el proceso de selección se realiza a nivel individual, la decisión final dentro del programa de mejoramiento genético estará determinada por la presencia de uno o más atributos fenotípicos sobresalientes en el ejemplar.

2.1.2.1. Importancia

La deforestación en ecosistemas como bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas sigue siendo un problema persistente, impulsado principalmente por la expansión de la agricultura y la ganadería, que se ve impulsada debido a la carencia de opciones económicas sostenibles para el uso y manejo de tierras. Ante este desafío, es crucial contar con

árboles plus o semilleros que proporcionen material genético de alta calidad y certificado, esencial para garantizar el éxito de los programas de reforestación y proyectos de rescate y conservación (García de la Cruz *et al.*, 2011).

Jara (1995) menciona que, la importancia de la selección y evaluación de las fuentes de semillas más adecuadas constituyen un elemento clave en los programas de producción de semillas forestales. Asimismo, menciona que todo proyecto de reforestación debe incluir esta fase esencial para asegurar material genético en el corto plazo, mientras que los programas de mejoramiento genético desarrollan métodos más avanzados que permiten ofrecer semillas con mayor rendimiento y calidad.

2.1.2.2. Selección

Según Zobel y Talbert (1984), la selección de árboles plus de la misma especie se basa en la identificación de individuos que destacan por sus características positivas tales como su forma de copa, vigor y estado de salud. Por otro lado, Ipinza (1997) menciona que el proceso de selección tiene como objetivo crear una población genéticamente mejorada que proporcione material de alta calidad para establecer pruebas genéticas, huertos semilleros de plántulas o semillas, y recolectar semillas o material vegetativo para la creación de plantaciones comerciales.

Aguirre y Fassbender (2013) mencionan que, en plantaciones forestales, la selección de árboles plus se lleva a cabo utilizando el método de comparación con árboles testigos, el cual se desarrolla en dos etapas:

a) Elección de candidatos: La metodología comienza con una evaluación exhaustiva del rodal para detectar árboles potenciales que destaquen fenotípicamente, basándose en los siguientes criterios: i) fuste recto, ii) ausencia de bifurcaciones, iii) ser dominante en el estrado medio, iv) estado fitosanitario bueno, v) forma de copa regular.

b) Elección del árbol plus en comparación con los árboles vecinos: Como parte del procedimiento, se elige cuatro árboles cercanos (en un radio de 15 m) al ejemplar seleccionado para realizar el análisis comparativo.

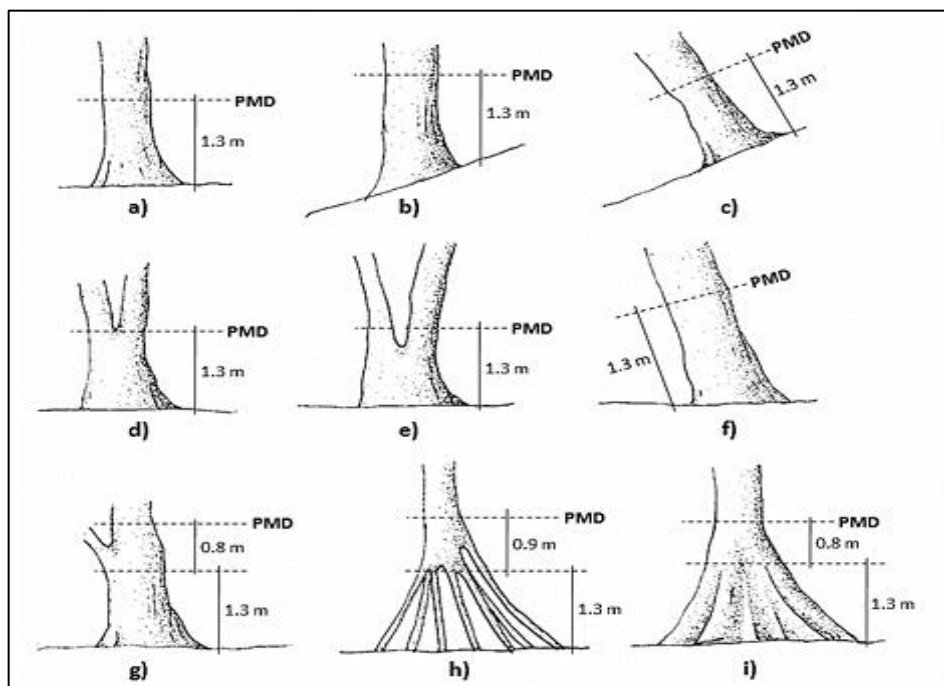
2.1.3. Variables dasométricas

Las mediciones de las variables de los árboles se realizan con la finalidad de estimar el volumen de la masa forestal y el crecimiento, así como para asignar índices de sitio, desarrollar modelos de simulación del estado del bosque, entre otros fines. Las variables más relevantes para el manejo forestal incluyen el diámetro, la altura, el espesor de la corteza, la tasa de crecimiento, el tamaño de copa y la edad (Juárez, 2014).

2.1.3.1. Diámetro a la altura del pecho (dap)

Según la Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR, denomina “diámetro” a la distancia que existe entre dos puntos presentes en la circunferencia del fuste y que esta a su vez pasa por el centro del círculo formado por el fuste.

Juárez (2014), menciona que el diámetro es una variable habitualmente medida en los inventarios forestales, debido a su estrecha relación con el volumen y otras características claves del árbol. Asimismo, indica que, para la medición del diámetro a la altura del pecho en condiciones ideales, se debe de realizar a una altura de 1,30 m sobre el suelo y en casos que el árbol presente irregularidades o si el terreno es topográficamente complejo, se tiene en cuenta los criterios mencionados en la Figura 1.



Fuente: Juárez (2014)

Figura 1. Criterios a tener en cuenta para medir el dap.

De igual forma, en la Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR menciona que, para la medición de árboles que presentan aletas o protuberancias entre 1,00 y 1,50 m, la evaluación se realiza a 0,30 m sobre el defecto (Figura 2).



Fuente: OSINFOR (2018)

Figura 2. Evaluación del dap en árboles en pie.

2.1.3.2. Altura del árbol

Cancino (2012) menciona que la altura del árbol se refiere a la longitud de una línea recta desde el suelo (base del tronco) hasta un punto específico del árbol, clasificándolo en cinco tipos de alturas: altura total, altura fustal, altura comercial, altura del tocón y altura de copa viva.

- Altura total

Según Juárez (2014), la altura del árbol en pie (h) se define como la distancia vertical que existe desde la base del tronco, en el punto de contacto con el suelo, hasta el ápice o extremo superior de la copa. El ápice representa la parte más alta del árbol y es un parámetro fundamental en la estimación del volumen, crecimiento y aprovechamiento forestal, ya que permite caracterizar la estructura vertical del individuo.

- **Altura comercial**

De acuerdo con la Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR, la altura comercial es la porción o totalidad del tronco que tiene valor económico en el mercado, según el interés y el objetivo que se proponen en el aprovechamiento.

2.1.3.3. Volumen

El volumen de un árbol es la medida que determina la cantidad de madera sólida y se puede clasificar en diferentes tipos: “volumen total”, comprendida por la totalidad del árbol; “volumen comercial”, comprendida por las partes del árbol que cumple con los estándares del mercado; “volumen de desechos”, comprendida por las secciones defectuosas (Juárez, 2014). Asimismo, Kometter y Mavari (2007) menciona que, la estimación de la madera total de un árbol en pie se calcula a partir del dap, la altura comercial y un factor de corrección, según el país donde se realiza el estudio; para casos de Perú, el factor de corrección es de 0,65. Los resultados obtenidos son expresados en metros cúbicos (m³).

2.1.4. Características morfológicas

Franco e Hidalgo (2003) mencionan que, desde el inicio de la recolección de semillas y selección de especies vegetales, el hombre utilizó las características morfológicas para descubrir sus posibles usos y así satisfacer sus necesidades básicas. A través de la observación de sus características sobresalientes en relación con los olores, colores, forma y texturas, han influido sobre los usos potenciales de cada especie.

La morfología vegetal emplea métodos rigurosos y observaciones detalladas para analizar las características macroscópicas y microscópicas de las plantas, incluyendo su forma, estructura y mecanismos reproductivos. Estos elementos son fundamentales para identificar semejanzas y divergencias entre especies. Entre los principales aportes de los primeros estudios morfológicos destaca la clasificación de los órganos básicos de las plantas (hojas, tallos y raíces), seguida del examen de las estructuras vegetativas y reproductivas, tanto sexuales como asexuales. Asimismo, se consolidó el valor de los análisis comparativos basados en homologías (Pérez-García y Mendoza, 2002).

En la Tabla 1 se muestra las características morfológicas según la Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR.

Tabla 1. Características morfológicas

Características	Descripción
Calidad de fuste	Relación que existe entre el fuste con su morfología, fenotipo y estructura del árbol.
Forma de copa	Es un indicador de la vitalidad del árbol que es evaluado en función a la figura que forme sus ramas.
Posición de copa	Se evalúa la incidencia de la cantidad de luz que recibe la parte superior de la copa y su competencia lateral.
Estado fitosanitario	Condición actual sobre el daño causado en el fuste por ataques de hongos e insectos
Rectitud del fuste	Es una variable cualitativa muy importante para determinar si un árbol es recto o no, sin defectos externos causado por daños durante las diferentes etapas de crecimiento.
Ángulos de inserción de ramas	Es el ángulo en función al fuste, varía entre 0° a 90°, mientras el ángulo es cercano a los 90° el árbol es posible candidato a árbol plus.

2.1.5. Métodos de evaluación de la madera

Ondrejka *et al.* (2021) mencionan que la finalidad de la evaluación de la madera es evaluar las propiedades cualitativas y que a veces se pueden complementar con las propiedades cuantitativas. Para realizar una evaluación cualitativa, es esencial determinar las propiedades físicas (las propiedades visuales, contenido de humedad, la densidad, las propiedades acústicas, etc.) y mecánicas (la resistencia al impacto, los módulos de elasticidad, etc.), otro aspecto crucial en esta evaluación es la identificación de defectos de la madera (nudos, grietas, daños biológicos, etc.)

2.1.5.1. Métodos destructivos

Según Quintero *et al.* (2011), la calidad de la madera está asociada con las propiedades físicas que esta presenta (diámetro, altura y longitud) y la

clasificación visual, pero estos datos son cuestionables en los valores de rigidez y resistencia, ya que no se cuenta con valores reales de las propiedades físicas y mecánicas. Asimismo, Íñiguez (2007) menciona que, para determinar las propiedades físicas o mecánicas, se debe de realizar métodos de ensayos donde implican técnicas destructivas.

2.1.5.2. Métodos semidestructivos

Según Kloiber *et al.* (2015), los métodos semidestructivos dañan el material parcialmente sin afectar su comportamiento mecánico global. Estos métodos pocos invasivos son muy útiles para evaluar las propiedades de la madera, los troncos o construcciones de madera histórica. Asimismo, describen los métodos que se emplearon recientemente tales como: la resistencia a la compresión, la resistencia mecánica y el módulo de Young. Los resultados obtenidos ayudan a determinar la calidad de la madera del árbol en pie.

2.1.5.3. Métodos no destructivos

Según Basterrechea (2006), los métodos no destructivos (END) son aquellas evaluaciones que permiten determinar las condiciones del material y su estructura mediante ensayos no invasivos, sin producir alteraciones permanentes en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y dimensionales. Asimismo, clasifica a los métodos no destructivos en: visuales, electromagnéticos, nucleares, acústicos y mecánicos.

Kinga y Goncz (2015) mencionan que la aplicación de técnicas no destructivas está permitiendo la conservación de árboles en entornos urbanos y bosques, evitando daños y prolongando su vida. De la misma forma, Dudkiewicz y Durlak (2021) indica que la evaluación visual es un método no invasivo para evaluar la sanidad general del árbol.

2.1.6. Tomografía acústica en árboles

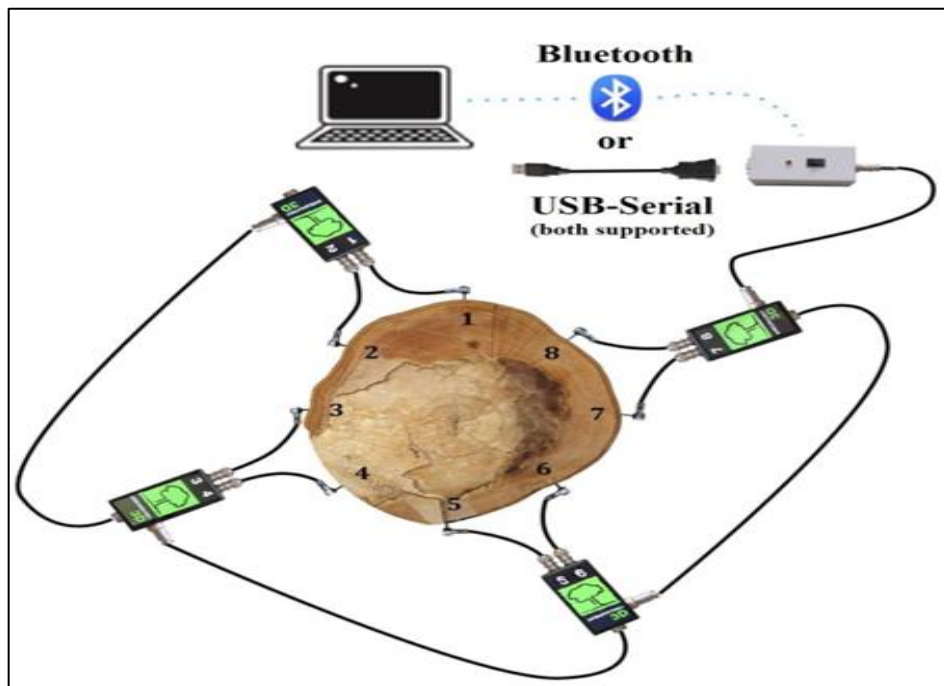
La tomografía acústica utiliza ondas acústicas que se transmiten a través del árbol, con sensores acústicos ubicados equidistantes alrededor del árbol mediante una cinta métrica, de esta manera, se puede analizar en detalle el deterioro interno del árbol, proporcionando información sobre su solidez y propiedades mecánicas, con la finalidad de prevenir caídas (Ficha de portafolio de tecnologías, 2023).

En una investigación realizada por Dudkiewicz y Durlak (2021), afirman que la tomografía acústica es una herramienta clave para evaluar la salud de árboles históricos y patrimoniales, permitiendo detectar pudriciones o cavidades que no son observados a simple vista.

Basterrechea (2006) menciona que, la tomografía acústica se basa en la interpretación de los rangos de las velocidades de propagación de las ondas sonoras, en colores. El resultado dependerá directamente del significado asignado para cada color.

2.1.7. ArborSonic 3D

Según Fakopp Enterprise Bt (2015), el tomógrafo ArborSonic 3D es un equipo tecnológico diseñado para detectar descomposiciones y huecos no visibles en el interior del tronco de un árbol por medio de técnicas acústicas. Está constituido por un software (ArborSonic 3D v5.1.30), hardware (sensores, amplificadores, cables, transmisor Bluetooth) y equipos para la instalación y el retiro los sensores.



Fuente: Fakopp Enterprise Bt

Figura 3. Software y hardware del tomógrafo acústico ArborSonic 3D.

2.1.8. Sanidad forestal

García *et al.* (2013) mencionan que, a partir de la década de 1980 el concepto de “sanidad forestal” experimentó un aumento en su popularidad, convirtiéndose en un tema relevante y de interés común entre investigadores, gestores forestales y la sociedad en general. En la actualidad, se están implementando programas de monitoreo de la salud de los bosques en todo el mundo para evaluar y proteger estos recursos forestales.

Según Gally *et al.* (2016), la sanidad forestal se centra en la investigación de las plagas de origen vegetal, animal, fitopatógenos y entre otros depredadores naturales, asociados a especies forestales cultivadas, nativas y especies establecidas en el ámbito urbano.

2.1.9. Software ImageJ

El software ImageJ es multiproceso, ya que para los cálculos que necesitan de bastante tiempo, se pueden hacer sincrónico con otras operaciones. Este programa puede cuantificar estadísticamente el área de selecciones establecidas por el usuario y ayuda a solucionar diferentes problemas tanto de procesamiento como de análisis de imágenes (Ferreira y Rasband, 2012).

2.1.10. Tecnología Field Map

2.1.10.1. Características generales y descripción del sistema

El Instituto de Investigación de Ecosistemas Forestales, Ltd. (IFER) de la República Checa se ha consolidado como un líder en el ámbito de la investigación forestal y sus múltiples aplicaciones. Sus proyectos abarcan tanto regiones boreales como tropicales, y se caracterizan por una amplia variedad de actividades. Además de su notable labor en investigación y consultoría, el IFER desarrolla y proporciona una serie de productos propios, en particular herramientas de software diseñadas para mejorar la recopilación de datos en el campo, el procesamiento posterior de estos datos, la representación cartográfica, la modelización del crecimiento forestal, la evaluación de la captura de carbono y el análisis estadístico de los inventarios forestales nacionales, entre otros (IFER, 2009).

2.1.10.2. Medición de altura de los árboles

Field-Map ha sido diseñado específicamente para su uso en aplicaciones forestales, ofreciendo un conjunto de funciones especializadas para la medición de árboles. Este software proporciona cinco modos diferentes para medir alturas (Figura 4):

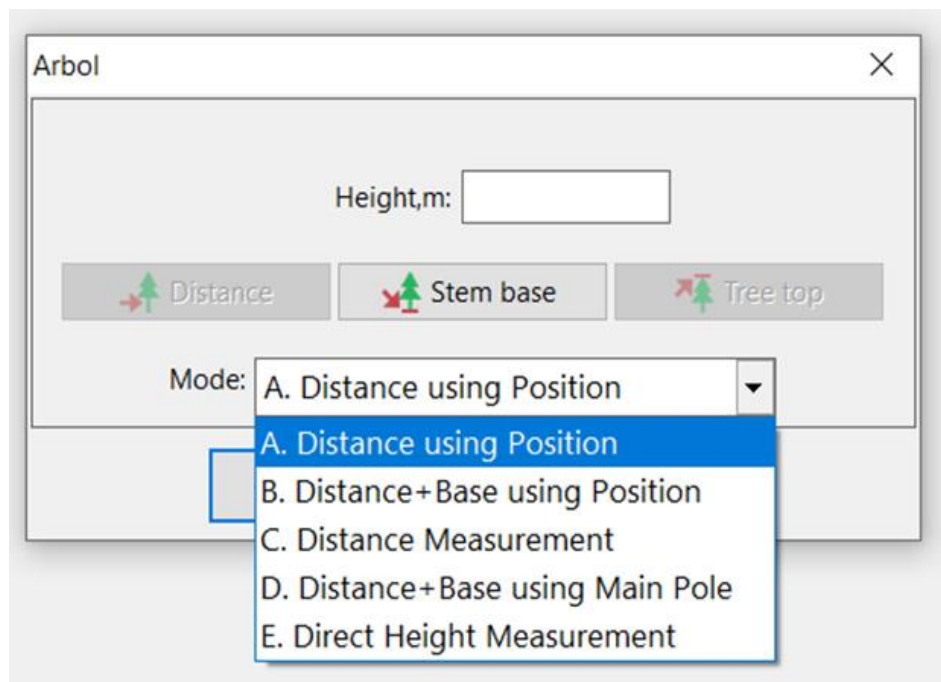
A. Medición de distancia usando la posición: Este modo calcula la distancia al árbol basándose en la ubicación conocida del equipo y la posición del árbol.

B. Medición de distancia + base usando la posición: Similar al modo anterior, pero también calcula la inclinación hasta la base del tronco empleando las coordenadas Z conocidas tanto del árbol como del equipo.

C. Medición de distancias: Este modo permite tomar medidas de distancias junto con todas las inclinaciones relevantes.

D. Medición de distancia + base usando el jalón principal: Funciona como el modo 3, pero mide tanto la distancia como la inclinación hacia la base del árbol usando un bastón de medición con un reflector.

E. Medición directa de altura: Utiliza el asistente de medición LTI Forest PRO para realizar mediciones precisas. Este modo es comparable al modo 3 pero ofrece una metodología específica para optimizar la precisión en las mediciones.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Modos de medición de altura.

2.1.11. Modelo estadístico

2.1.11.1. Coeficiente de determinación (R^2)

Su rango oscila entre 0 y 1. Los valores próximos a 1 reflejan una relación significativa. Un valor de R^2 igual a 1 representa un ajuste perfecto mientras que aquellos inferiores a 0,7 sugieren una conexión débil entre las variables. Se determina que, para que una recta sea considerada lineal, los puntos deben disponerse alineados en un ángulo de 45° (Gil, 2017).

2.1.11.2. Correlación r de Pearson

Se trata de una prueba paramétrica que permite determinar la relación entre dos variables, ya sea cuando ambas aumentan o disminuyen simultáneamente (relación directa) o cuando una se incrementa mientras la otra decrece, y viceversa (Zou *et al.*, 2013).

Tabla 2. Valores del coeficiente de correlación “r” de Pearson.

Tipo	Grado	Coeficiente
Negativa	Perfecta	$r = -1$
	Fuerte	$-1 < r \leq -0.8$
	Moderada	$-0.8 < r < -0.5$
	Débil	$-0.5 \leq r < 0$
Positiva	Perfecta	$r = 1$
	Fuerte	$0.8 \leq r < 1$
	Moderada	$0.5 \leq r < 0.8$
	Débil	$0.5 \leq r < 0$

Fuente: Zou *et al.* (2013).

2.1.12. *Calycophyllum spruceanum* Benth. (Capirona)

2.1.12.1. Descripción taxonómica

Según Cronquist (1981), clasifica a la especie de la siguiente manera:

Reino	:	Plantae
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Rubiales
Familia	:	Rubiaceae
Género	:	<i>Calycophyllum</i>
Especie	:	<i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth.

2.1.12.2. Hábitat y distribución

Reynel *et al.* (2003) mencionan que, la especie *Calycophyllum spruceanum* se ubica en toda la Amazonía, debajo de los 1 200 msnm., encontrándose comúnmente en zonas de bosques secundarios y primarios. Esta especie se observa en áreas con precipitaciones altas y constantes, así como también en regiones secas. De igual forma, la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT, 1996) menciona que, la capirona se encuentra distribuida en las regiones de Amazonas, San Martín, Huánuco, Loreto, Madre de Dios y Ucayali.

2.1.12.3. Descripción botánica

Los árboles de la especie *Calycophyllum spruceanum* pueden alcanzar los 35 m de altura y 80 cm de grosor en su tronco, el cual es recto y de forma cilíndrica. Su corteza exterior es de color petróleo con ritidoma coriáceo de tono rojizo que se renueva cada año, dejando a la vista una superficie lisa y brillante. Las hojas son simples opuestas con peciolo y presenta estípulas en el extremo (Flores, 2002).

La inflorescencia se presenta en cimas terminales, con una longitud que oscila entre 10 y 15 cm, destacando por la abundancia de flores, muchas de las cuales son hermafroditas y presentan tanto cáliz como corola. Estas flores tienen dimensiones que varían entre 1 y 1.15 cm de longitud. Los frutos de esta especie se caracterizan por ser cápsulas diminutas, con una forma elipsoide y alargada, con longitudes que van desde los 5 hasta los 8 mm. Además, presentan una fina pubescencia en su superficie (Reynel, 2003).

2.1.12.4. Descripción de la madera

Aróstegui (1974), determina a la especie forestal *Calycophyllum spruceanum* como una madera dura, de color pardo blanco, con grano recto entrecruzado, textura muy fina, brillo medio y que no presenta olor ni sabor.

Según Orrego y Bustamante (2017), la especie capirona presenta fibras largas de 1 649 μm y que a nivel macroscópico no se logra visualizar el parénquima axial. Asimismo, Chavesta (2005) señala que la madera presenta poros muy pequeños y numerosos que son visibles con lupa de 10x.

2.2. Estado del arte

Muñoz (2023) llevó a cabo una investigación sobre la sanidad de una plantación de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke de 24 años utilizando un tomógrafo forestal. Se evaluaron 40 individuos en la plantación del Anexo Experimental El Dorado – EEA San Roque, a tres niveles distintos (40 cm, 130 cm y 180 cm). Los resultados mostraron que 37 individuos presentaban ataques internos en el fuste, con una incidencia del 92,5%, mientras que el 7,5% no mostró signos de daño interno. La capa más afectada fue la de 40 cm, con un 2,88% de la sección del fuste comprometida.

Macedo y Sotomayor (2021) evaluaron la velocidad de propagación del ultrasonido en probetas de *Pinus pseudostrobus* con dimensiones de 0,05 m × 0,05 m × 0,1 m. Las pruebas consistieron en medir el tiempo de transmisión del impulso ultrasónico en las direcciones radial y tangencial, utilizando el equipo V-Meter MK IV. Los resultados indicaron una velocidad radial de 2 300 m/s y una velocidad tangencial de 1 652 m/s.

Sotomayor *et al.* (2020) llevaron a cabo una investigación para determinar la velocidad de propagación del ultrasonido en *Tabebuia rosea*. Para ello, evaluaron probetas con dimensiones de 0,01 m × 0,15 m × 0,15 m, midiendo el tiempo de transmisión de las ondas ultrasónicas mediante el equipo V-Meter MK IV. Los resultados obtenidos indicaron una velocidad radial de 2 127 m/s y una velocidad tangencial de 1 643 m/s.

Angulo (2018) llevó a cabo un estudio donde se permitió probar el uso de la tomografía acústica como técnica no destructiva para examinar el estado interno de los fustes de árboles en una plantación de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (tornillo). La investigación abarcó la evaluación de nueve árboles en total: tres de una plantación de 35 años en el Campo Experimental Forestal Puerto Almendra, tres de una plantación de 18 años en el Anexo Experimental El Dorado – EEA San Roque, y tres de una plantación de 26 años situada en el km 50 de la carretera Iquitos – Nauta. Las evaluaciones se realizaron a diferentes alturas del fuste (0 cm, 40 cm, 120 cm y 160 cm desde el suelo). Los resultados revelaron que los árboles del Campo Experimental Forestal Puerto Almendra presentaban el mayor porcentaje de pudrición a 160 cm del suelo, atribuido a la mayor antigüedad de la plantación.

López *et al.* (2018) realizó un inventario forestal en plantaciones de *Tectona grandis* de 14 y 15 años, con el objetivo de evaluar el crecimiento y la variabilidad de las características dasométricas. Para ello, registraron datos de diámetro a la altura del pecho (dap)

y altura total de los árboles. Los resultados obtenidos evidenciaron coeficientes de variación (CV) del volumen total de 25.4% y 12.1% para las edades mencionadas, respectivamente.

Dackermann *et al.* (2016) realizaron un estudio en el que evaluaron la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en *Corymbia maculata* y *Eucalyptus microcorys*. Para ello, cortaron muestras de madera de cada especie con dimensiones de 150 × 150 × 150 mm y emplearon el equipo Ultrasonic Cement Analyzer para la generación y registro de las ondas. Los resultados obtenidos indicaron que ambas especies presentaron velocidades radiales de 1 982 m/s en *C. maculata* y 2 095 m/s en *E. microcorys* y velocidades tangenciales de 1 982 m/s en *C. maculata* y 2 095 m/s en *E. microcorys*.

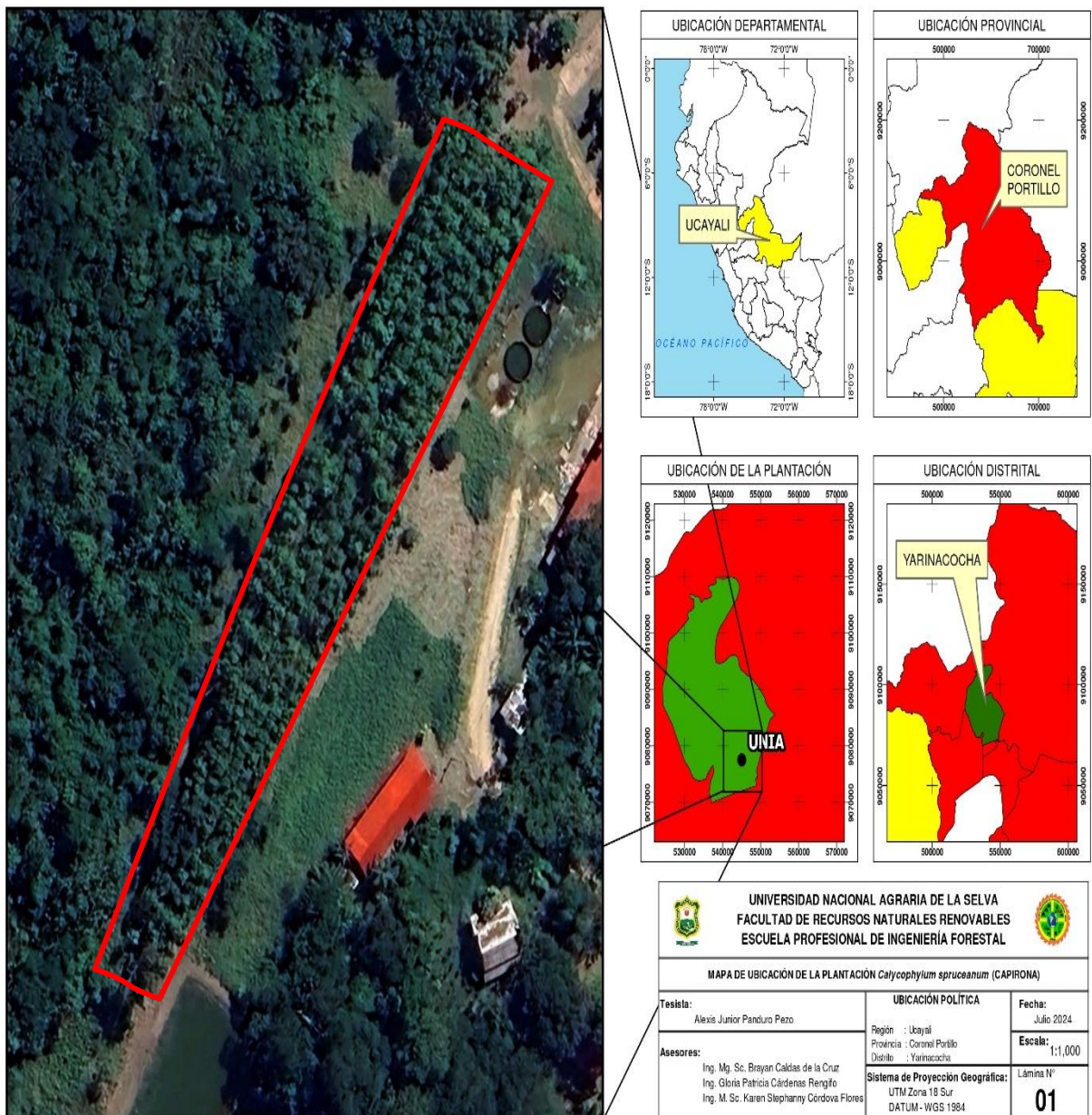
Ortiz *et al.* (2009) evaluaron el efecto y la importancia relativa de la dirección de medición y del contenido de humedad sobre la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en la madera. Para ello, aplicaron pulsos ultrasónicos longitudinales de 1 MHz en probetas de 50 x 100 x 3,200 mm de *Pinus radiata* D. Don. Los resultados indicaron que la velocidad tangencial del ultrasonido en esta especie fue 2 100 m/s y la velocidad radial 1 670 m/s.

Wang y Bruce (2008) utilizaron un tomógrafo sónico Picus para detectar la descomposición en dos árboles de *Quercus rubra* (roble rojo) de 100 y 200 años en Wisconsin, EE. UU. Evaluaron los árboles a tres alturas (10 cm, 100 cm y 200 cm) y luego los talaron, extrayendo discos de 10 a 15 cm para un examen detallado. El tomógrafo mostró con precisión la ubicación y la magnitud de los defectos dentro de las secciones transversales analizadas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en una plantación de *C. spruceanum* de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA), ubicada en el km 0,6 de la carretera a San José, distrito Yarinacocha, provincia Coronel Portillo, departamento de Ucayali; ubicada geográficamente con las coordenadas UTM: Zona 18L; Este: 545253 m; Norte: 9076952 m; Altitud: 150 msnm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Ubicación de la plantación de *Calycophyllum spruceanum*.

3.1.1. Zona de vida

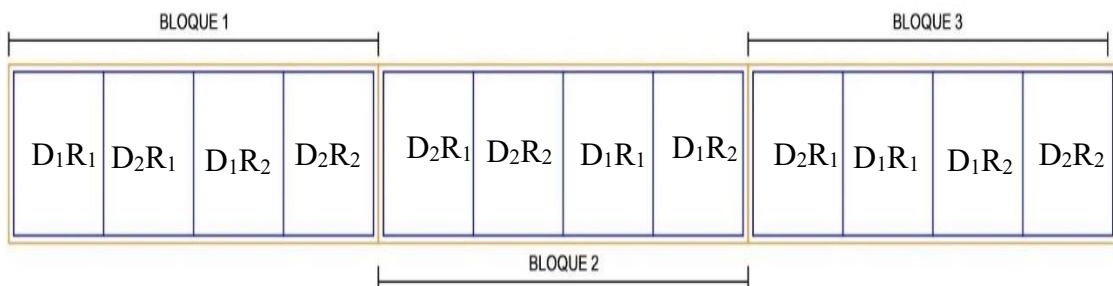
Holdridge (1978) fundamenta que, en su diagrama para la clasificación de zonas de vida, el área de influencia se encuentra con formaciones vegetales de Bosque húmedo Premontano Tropical (bh-PT).

3.1.2. Clima

El área de estudio se caracteriza por tener una temperatura máxima de 33°C, media de 28°C y mínima de 22°C, con una humedad relativa promedio de 82% y una precipitación promedio anual de 1 700 mm por año (Universidad Nacional de Ucayali [UNU], 2013).

3.1.3. Datos de la plantación

La plantación de *C. spruceanum* evaluada tiene 7 años desde su establecimiento, en un área total de 0,5 ha. Esta plantación está constituida por tres bloques, cada uno compuesto por cuatro parcelas experimentales. Cada parcela presenta diferentes densidades de plantación, específicamente de 3x2 m y 3x4 m, con dos repeticiones por bloque. Las parcelas están distribuidas completamente al azar (Figura 6).

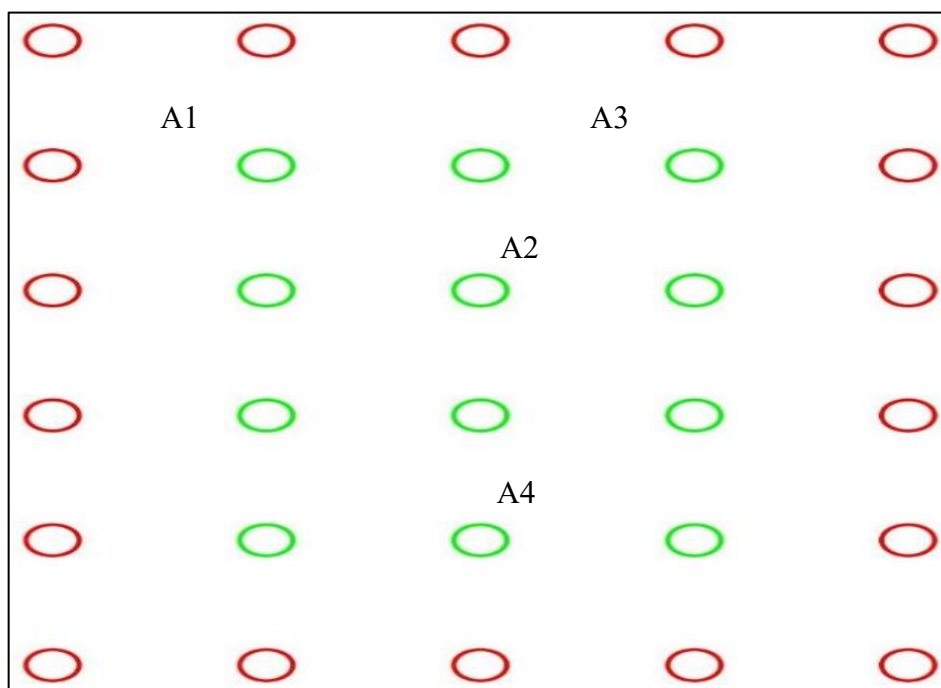


Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Distribución de las parcelas experimentales.

En los primeros años, la plantación era solo de *C. spruceanum*. Sin embargo, tras experimentar pérdidas de individuos debido a factores naturales, se realizó un recalce con la misma especie y con *Cedrela odorata*. También se llevó a cabo un raleo que varió entre el 25% y el 35%. Actualmente, la plantación incluye 36 árboles plus, distribuidos aleatoriamente entre 2 a 4 árboles en cada parcela experimental, excluyendo los bordes (Figura 7). La selección de estos árboles plus se realizó cinco años después de su establecimiento, con el objetivo de

llevar a cabo propagación vegetativa mediante estacas. Además, cada año se aplica fertilizante a la plantación como preparación para la extracción de estacas de los árboles plus.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Distribución de los árboles de *Calycophyllum spruceanum*.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Material Vegetativo

Una plantación de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. de 7 años, con densidades de plantación de 3x2 m y 3x4 m.

3.2.2. Materiales, equipos y softwares

Los materiales que se utilizaron fueron: cinta métrica de 1,5 m, alcohol de 96°, franela, cicatrizante hormonal agrícola Sanix, brocha, wincha de 5 m, pilas CR123A y AA, baterías de litio 9v, lapicero, formatos de evaluación y tablero.

Los equipos que se utilizaron fueron: tomógrafo forestal, cámara fotográfica, laptop. Asimismo, se utilizó la tecnología Field-Map que comprende lo siguiente: Trupulse 360R, jalón con reflector, trípode, un braket (soporte del Trupulse), forcípula digital (MASSER BT Caliper) y Tablet Getac.

Los softwares que se utilizaron fueron: Field-Map Project Manager, Field-Map Data Collector, Microsoft Excel, ImageJ y ArborSonic 3D Fakopp,

3.2.3. Metodología

Se evaluaron 36 árboles plus de *C. spruceanum* (Anexo D).

3.2.3.1. Determinación de las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

Para determinar las variables dasométricas (diámetro a la altura del pecho, altura total y altura comercial), se utilizó la tecnología Field-Map y los datos recolectados fueron exportados en formato “xlsx”.

a. Calibración de los equipos de medición

Antes de comenzar con la recolección de los datos, se verificó que el trípode se encuentre correctamente posicionado y ajustado con el Trupulse 360R. Asimismo, se comprobó la sincronización del Bluetooth entre la Tablet Getac, el Trupulse y la forcípula digital.

b. Medición del dap

De acuerdo con la Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR, en condiciones ideales, se determinó el diámetro a 1,30 m de altura con relación al nivel del suelo. Se realizó dos mediciones con la forcípula digital, para obtener datos de manera eficaz y precisa; los datos obtenidos se registraron de manera automática en la Tablet Getac.

c. Medición de la altura total y comercial

Se midieron las alturas con el equipo Trupulse 360R, para ello se realizó tres disparos, de las cuales dos fueron para medir la altura total, donde el primero fue al jalón (2,00 m) que estuvo posicionado delante y al centro del fuste, el segundo a la copa del árbol; mientras que, para la altura comercial, el tercero fue a la base de la copa del árbol; todos los datos se registraron de manera automática en la Tablet Getac.

d. Volumen comercial

Para la estimación del volumen comercial, se utilizaron los datos registrados en la Tablet Getac, de las cuales fueron exportados en formato “xlsx” para que en el Software Microsoft Excel sean procesados utilizando la fórmula propuesta en la Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR.

$$V = \frac{\pi}{4} * DAP^2 * AC * CF \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- V = Volumen (m³)
dap = Diámetro a la altura del pecho (m)
AC = Altura comercial (m)
π = 3,1416
CF = Coeficiente de forma 0,65

3.2.3.2. Caracterización de las variables morfológicas de los árboles plus de *C. spruceanum*

Se evaluaron las siguientes categorías para cada árbol plus de acuerdo con los criterios a considerar en un árbol semillero según la Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR:


Tabla 3. Variables morfológicas.

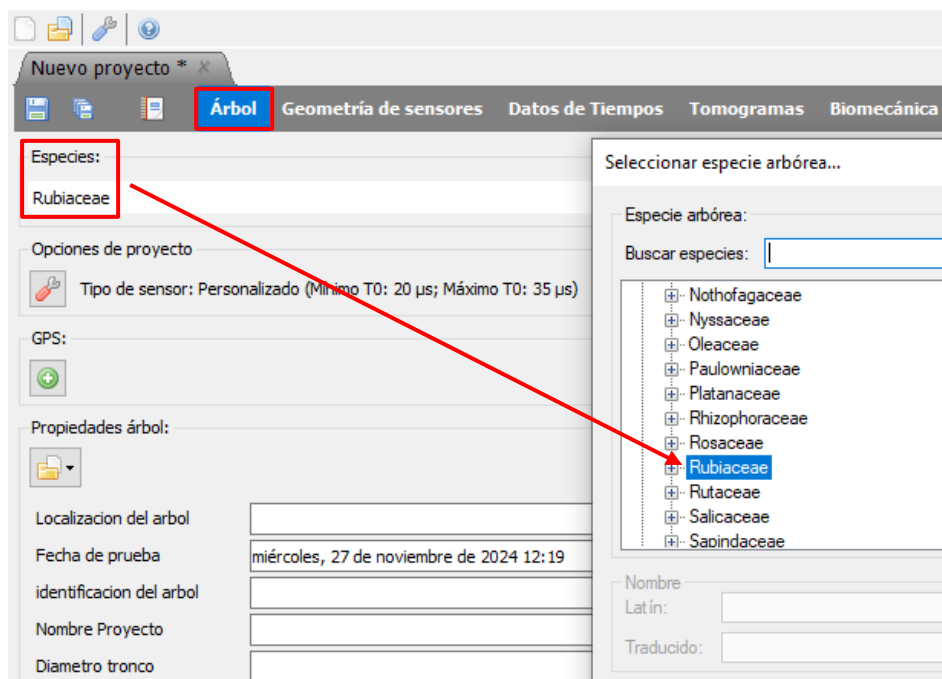
Variables morfológicas	Calificación
Rectitud de fuste	1: recto 2: ligeramente torcido 3: torcido 4: muy torcido
Forma de copa	1: círculo completo 2: círculo irregular 3: medio círculo 4: menos que medio círculo 5: solamente ramas
Bifurcaciones	1: ausente 2: presente
Estado fitosanitario	1: sano 2: ataque de insectos 3: ataques de hongos 4: ataque de insectos y hongos

3.2.3.3. Determinación de la sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum*

Según el Manual para el Tomógrafo Acústico ArborSonic 3D (2015), se consideraron los siguientes pasos para la evaluación de la sanidad interna:

a. Fase de campo

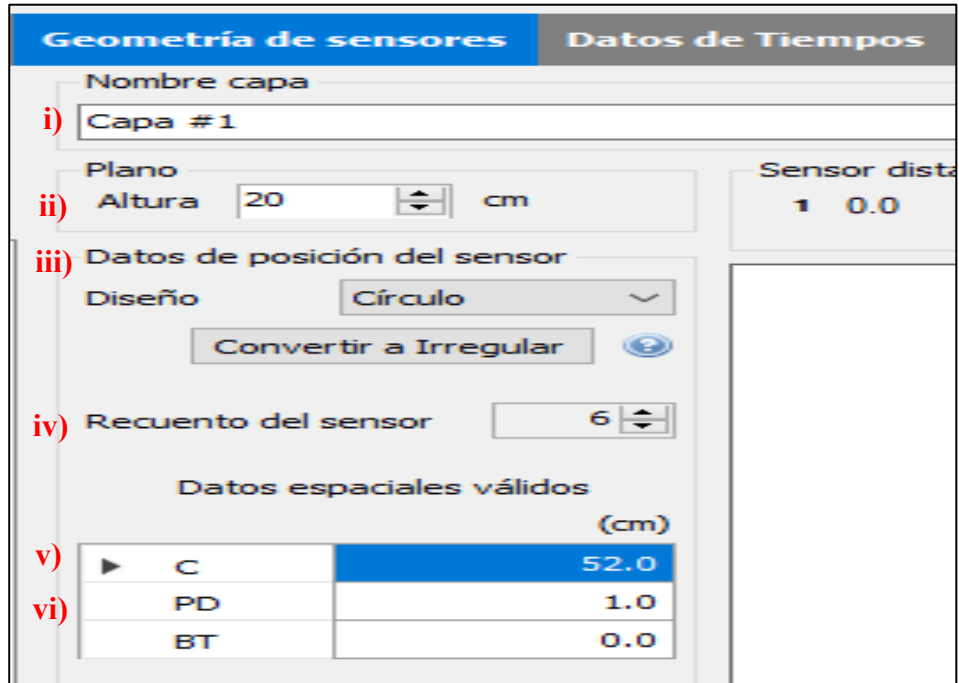
Para iniciar la evaluación, se abrió el programa ArborSonic 3D en la Tablet, se creó un nuevo proyecto y se guardó con el nombre de la evaluación (Árbol #). Luego, se dirigió a la pestaña “Árbol” y se hizo clic en el ícono de búsqueda , donde se seleccionó la familia de la especie (Figura 8).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Pestaña “Árbol” en el software ArborSonic 3D.

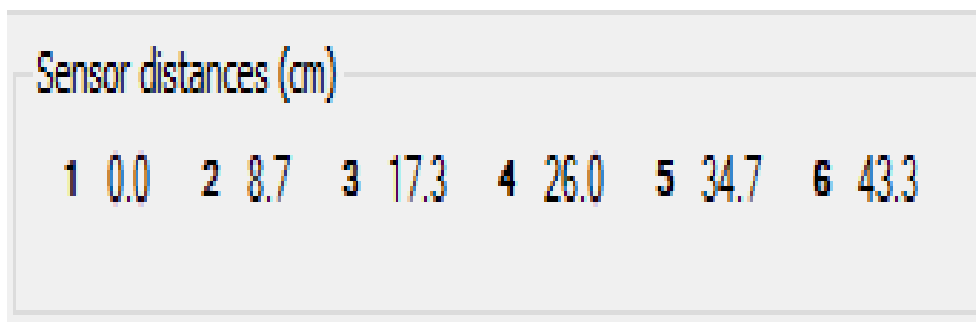
Luego se dirigió a la pestaña “Geometría de sensores”, se ingresaron: i) nombre de la capa que se evaluará (Capa #_árbol #), ii) altura de la evaluación (20 cm), iii) posición de los sensores (circulo), iv) número de sensores (6 sensores), v) circunferencia del fuste (cm), vi) penetración de los sensores (1 cm, especie a evaluar no presenta mucha corteza).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Pestaña “Geometría de sensores” en el software ArborSonic 3D.

Se colocó una cinta métrica alrededor del perímetro del fuste a evaluar a una altura de 20 cm de la base del árbol., iniciando desde el norte en sentido antihorario. Posteriormente, los sensores fueron instalados utilizando martillo de goma, respetando las distancias establecidas (las equidistancias) (Figura 10), y se conectaron a las cajas amplificadoras en pares secuenciales (1-2, 3-4, 5-6) y luego, se interconectaron mediante cables. Finalmente, se integró un transmisor Bluetooth que permitió la transferencia de los datos hacía una Tablet para su registro y posterior análisis.



Fuente: Elaboración propia.

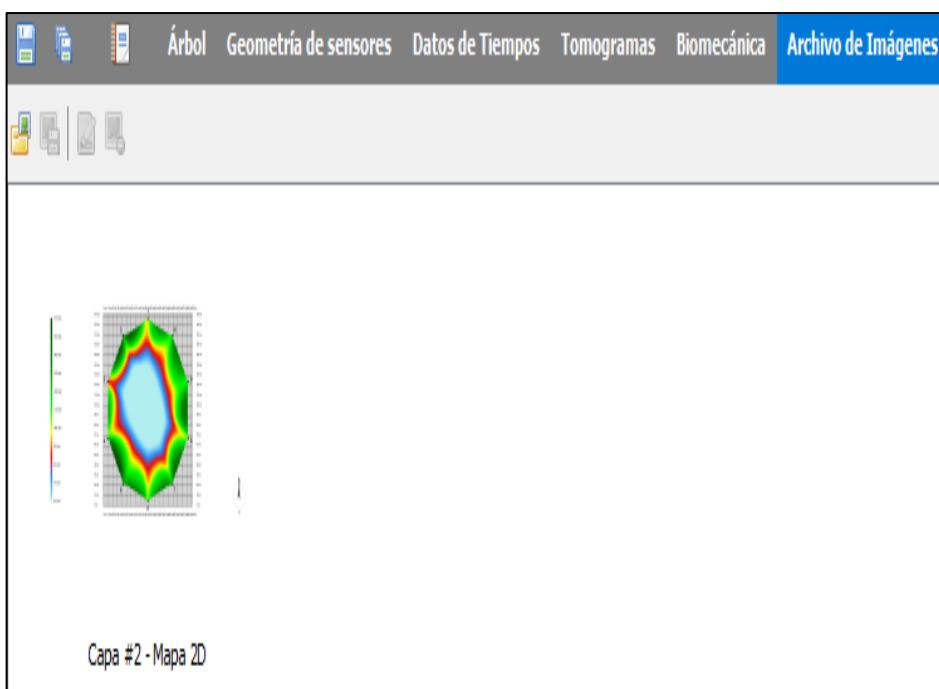
Figura 10. Distribución equidistante de los sensores en el Software ArborSonic 3D.

Una vez instalado el tomógrafo, se accedió a la pestaña "Datos de Tiempos" y se encendió el transmisor para iniciar la evaluación. El procedimiento consistió en golpear tres veces cada sensor con un martillo de acero, aplicando una fuerza uniforme y dirigida al centro, con el fin de registrar los tiempos de propagación de las ondas. Finalizada la toma de datos, se apagó el transmisor, se retiraron los sensores con la herramienta correspondiente, y estos fueron desinfectados con alcohol.

Posteriormente, se accedió a la pestaña "Tomogramas" para visualizar y guardar la imagen tomográfica generada, la cual fue almacenada en el "Archivo de Imágenes". Finalmente, los orificios dejados por los sensores fueron sellados con cicatrizante hormonal agrícola (Sanix), y se repitió el mismo procedimiento para la evaluación de los árboles plus restantes.

b. Fase de gabinete

Los archivos guardados, fueron exportados a una computadora portátil mediante una unidad USB, donde previamente se instaló el programa ArborSonic 3D Fakopp. Se inició abriendo el archivo del primer árbol plus evaluado (Árbol_1) en dicho programa. Luego se dirigirá a la pestaña "Archivo de imágenes" (Figura 11), posteriormente, se guardaron las imágenes con sus respectivos nombres.




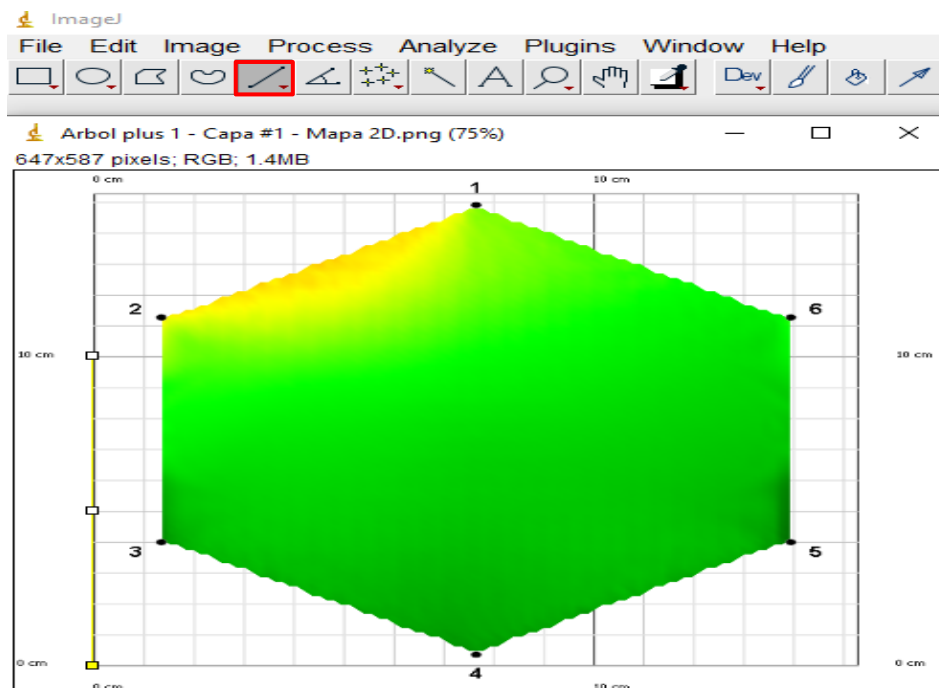
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Pestaña "Archivo de imágenes" en el Software ArborSonic 3D.

▪ Procesamiento de las imágenes mediante el Software ImageJ

Para este procedimiento se adaptaron los parámetros propuestos por Gilbert *et al.* (2016) en una investigación realizada con tomógrafo sónico PiCUS 3, junto con los conceptos básicos sobre interpretación de colores asociados estado interno del fuste, según el manual técnico del ArborSonic 3D Fakopp.

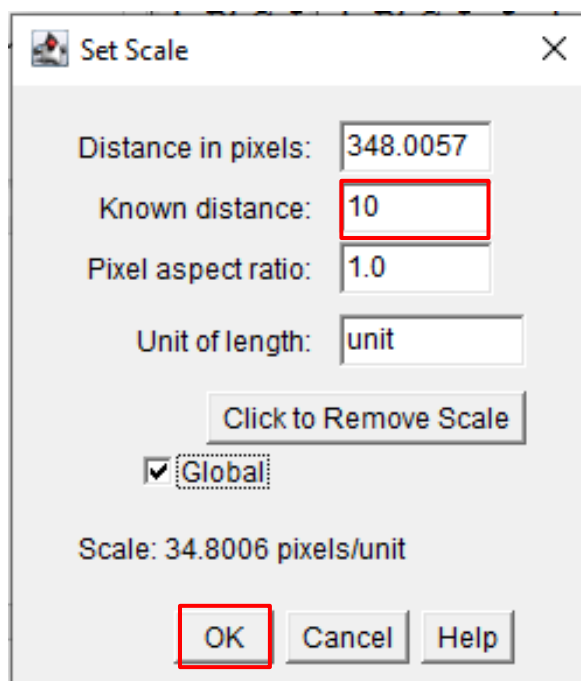
Para el análisis de las imágenes tomográficas, se utilizó el programa ImageJ, En primer lugar, se abrió el software y se importó la imagen correspondiente mediante la opción “File > Open”, luego con la herramienta “Freehand Lines” , se trazó una línea desde el punto 0,0 hasta la distancia visualizada en el eje Y (Figura 12).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Trazado de la línea con la herramienta “Freehand Lines”.

A continuación, se seleccionó la opción “Analyze > Set Scale” en ImageJ, lo que abrió una ventana emergente. En esta ventana, se hizo clic en la opción “Known Distance” (Distancia conocida), el cual se determinó en función de la medida establecida y la línea previamente trazada en la imagen. Posteriormente se marcó la casilla Global para aplicar la escala a todas las imágenes del análisis, finalmente se hizo clic en Ok para confirmar los ajustes. (Figura 13)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Insertado de la distancia conocida.

Una vez referenciada la escala, se procedió a seleccionar la opción “Image > Adjust > Color Threshold”, donde se abrió una ventana emergente constituida por tres paneles de colores, luego se hizo clic en la opción “Color space” para seleccionar el modelo de color “HSB”.

Para la determinación de las superficies en las imágenes, se realizó un ajuste en el panel de color Hue. El procedimiento consistió en los siguientes pasos:

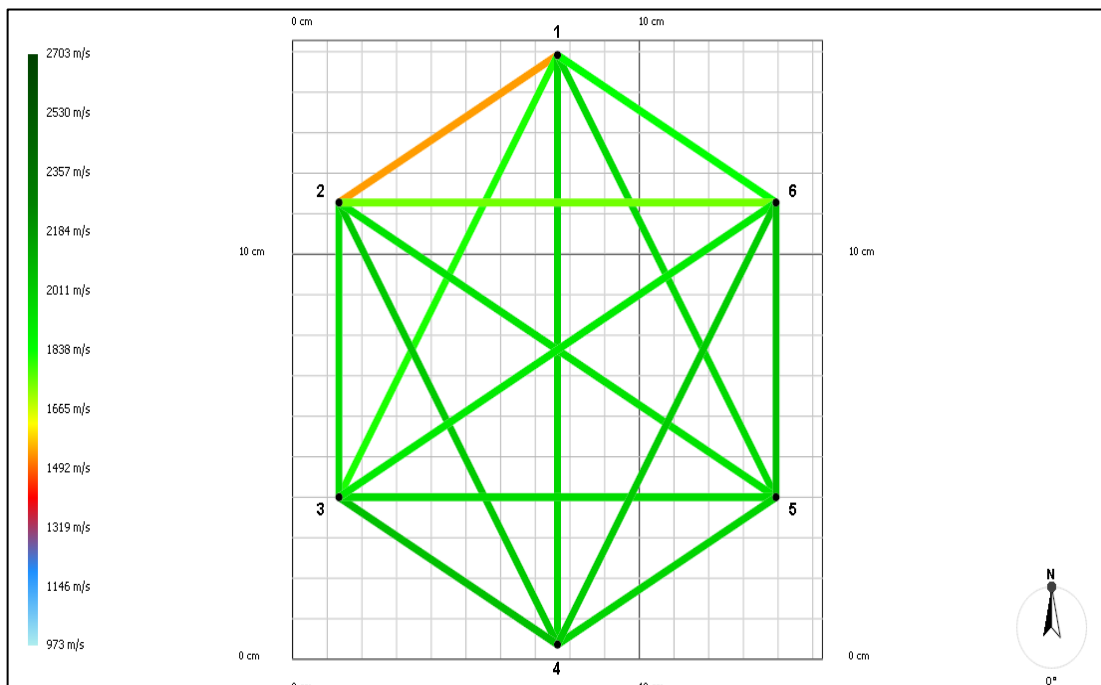
- A. Superficie Total:** Se configuraron los controles superior e inferior del panel de Hue a los valores de 0 y 255.
- B. Superficie Sana:** Los controles se ajustaron a los valores de 60 y 120.
- C. Superficie de Inicio de Descomposición:** Se establecieron los valores de 30 y 59.
- D. Superficie de Descomposición:** Este ajuste se llevó a cabo en dos pasos; primero, se configuraron los controles a los valores de 0 y 29, y posteriormente a 241 y 255.
- E. Superficie Hueca:** Finalmente, se ajustaron los controles a los valores de 121 y 240.

Es importante destacar que los paneles de color de Saturation y Brightness se mantuvieron constantes durante todo el proceso, con valores de control inferior de 255 y superior de 40 y 0.

Una vez completados los ajustes, se hizo clic en la opción “Select” para marcar las áreas de interés. Luego, se seleccionó opción “Analyze > Measure” para obtener el área correspondiente en centímetros cuadrados (cm²). Este enfoque sistemático asegura la precisión en la medición de las superficies analizadas.

3.2.3.4. Relación de la velocidad radial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

La velocidad radial se calculó mediante un protocolo que involucró la suma de velocidades de sensores diametralmente opuestos (Sensor 1 + Sensor 4, Sensor 2 + Sensor 5 y Sensor 3 + Sensor 6). Posteriormente, se calculó el promedio de estas tres velocidades compuestas dividiendo entre 3. Finalmente, los valores obtenidos se correlacionaron con el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total del fuste utilizando la Correlación r de Pearson.

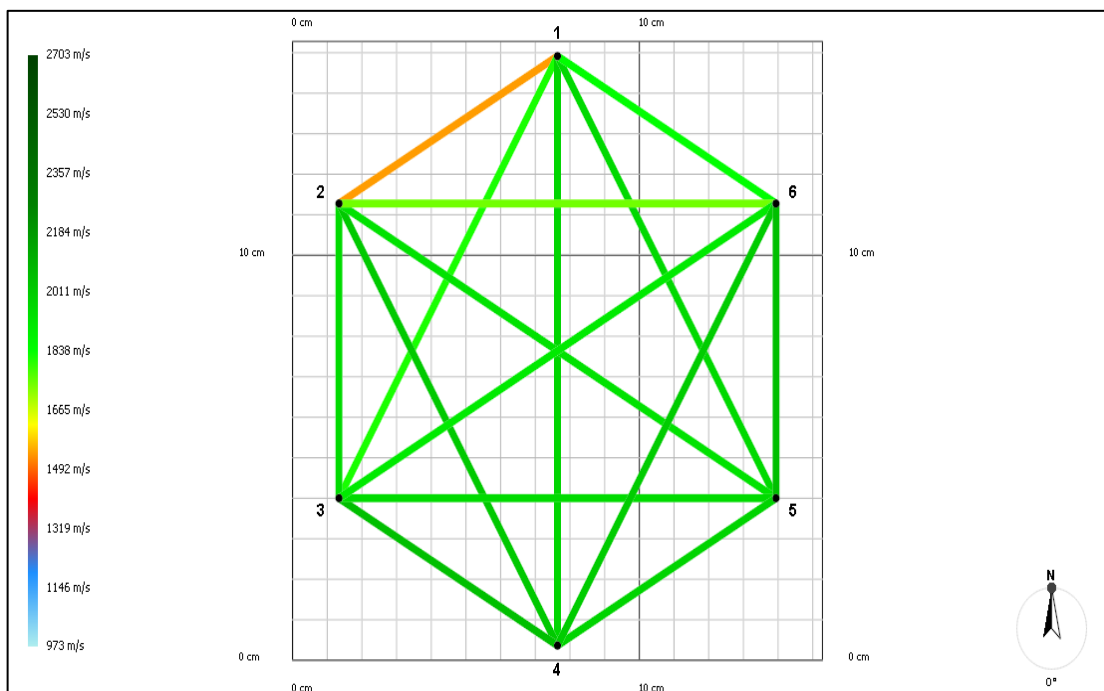


Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Velocidad radial del ultrasonido.

3.2.3.5. Relación de la velocidad tangencial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

La velocidad tangencial se calculó siguiendo un protocolo que consiste en la suma de las velocidades registradas por los sensores en pares específicos (Sensor 1 + Sensor 2, Sensor 2 + Sensor 3, Sensor 3 + Sensor 4, Sensor 4 + Sensor 5, Sensor 5 + Sensor 6 y Sensor 6 + Sensor 1). Luego, se obtuvo el promedio de estas seis velocidades dividiendo entre 6. Finalmente, los valores obtenidos se correlacionaron con el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total del fuste utilizando la Correlación r de Pearson.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Velocidad tangencial del ultrasonido.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Determinación de las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para las variables dasométricas de los árboles evaluados. El diámetro a la altura del pecho (dap) presentó valores mínimo, promedio y máximo de 9,30 cm, 13,27 cm y 16,60 cm. En cuanto a la altura total, se determinaron valores: mínima 12,1 m, promedio 14,82 m y máxima de 17,3 m. Para la altura comercial los valores fueron: mínimo 6,90 m, promedio 9,23 m y máximo de 12,70 m. Además, se obtuvo valores de volumen comercial mínimo 0,0336 m³, promedio 0,0849 m³ y máximo de 0,1421 m³. Las variables dasométricas presentaron una alta homogeneidad, evidenciada por una desviación estándar cercana a cero, lo que indica una baja variabilidad en los datos obtenidos.

Tabla 4. Variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

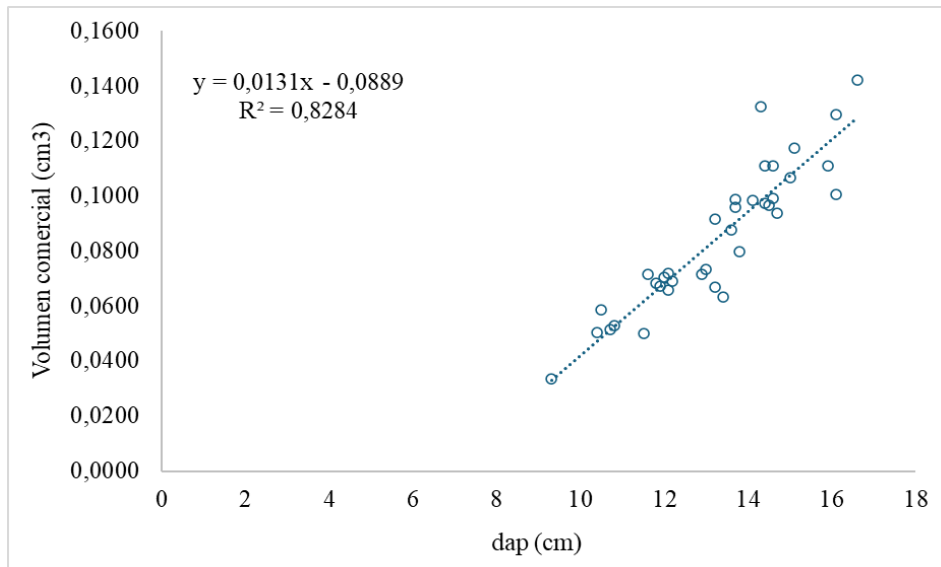
Estadístico	dap (cm)	Ht (m)	Hc (m)	VC (m ³)
Mínimo	9,30	12,10	6,90	0,0336
Promedio	13,27	14,82	9,23	0,0849
Máximo	16,60	17,30	12,70	0,1421
Rango	7,30	5,20	5,80	0,0900
Desviación estándar	1,79	1,35	1,12	0,0258
CV (%)	13,51	9,12	12,09	30,39

dap = diámetro a la altura del pecho, Ht = Altura total, Hc = Altura comercial, VC = Volumen Comercial, CV: Coeficiente de variación.

Las variables dasométricas de *C. spruceanum* a los 7 años mostraron una notable heterogeneidad, con una alta variabilidad en el volumen comercial evidenciada por un coeficiente de variación (CV) superior al 30%. En comparación, el estudio de López *et al.* (2018) en plantaciones de *Tectonis grandis* de 14 y 15 años reportó un CV de 25.4% y 12.1%, respectivamente. Por su parte, Muñoz (2023) investigó una plantación de *Cedrelinga cateniformis* de 24 años, obteniendo un CV notablemente alto de 55.3%. La variabilidad en las variables dasométricas puede atribuirse a diversos factores, incluyendo la calidad de las semillas, las prácticas de manejo, así como las diferencias entre especies y edades de las plantaciones Pereira *et al.* (2015).

En la Figura 16 se ilustra la relación entre el volumen comercial (VC), que actúa como variable dependiente, y el diámetro a la altura del pecho (dap), considerado como variable independiente. La ecuación que describe esta relación es $VC = 0,0131 * dap - 0,0889$. Además,

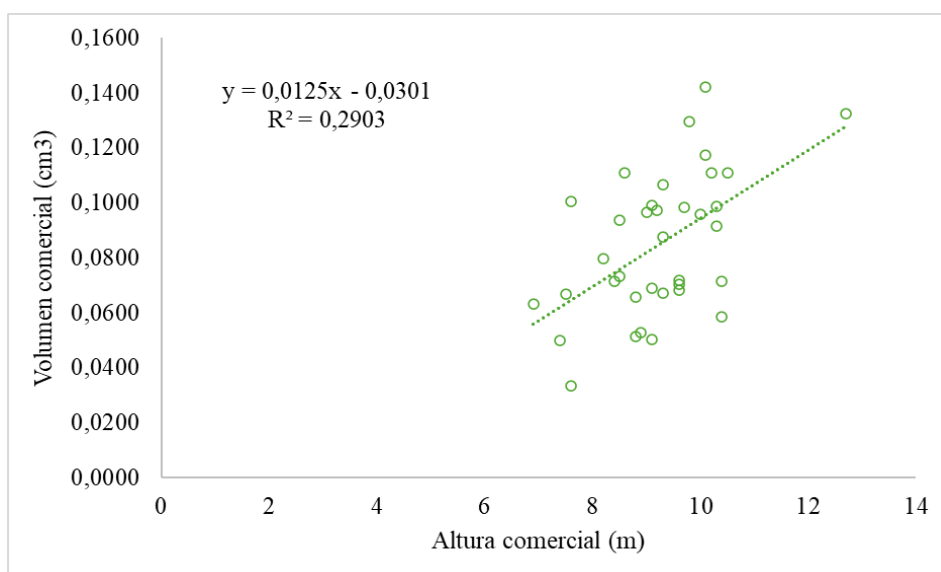
el coeficiente de determinación (R^2) de 0,8284 indica una fuerte relación entre variables como lo menciona Gil (2017).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Relación entre el volumen comercial y el dap de *C. spruceanum*.

Por otro lado, la Figura 17 representa la relación entre el volumen comercial (VC) y la altura comercial (AC). La ecuación que establece esta relación es $VC = 0,0125 * AC - 0,0301$, la cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0,2903 que indica una relación baja entre variables como lo menciona Gil (2017). Este valor sugiere que la altura comercial no es una variable significativa para predecir el volumen comercial.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Relación entre el volumen y la altura comerciales de *C. spruceanum*.

Autores como Husch *et al.* (2003) destacan que, en muchas especies forestales, el diámetro es una variable clave para estimar el volumen debido a su relación directa con la biomasa y la cantidad de madera. Esto es aún más evidente en plantaciones comerciales, donde los árboles se manejan en función de su diámetro y no tanto de su altura. Además, estudios como el de Avery y Burkhart (2002) refuerzan esta idea, señalando que, aunque la altura se usa en algunos modelos, el diámetro a la altura del pecho (dap) es mucho más determinante para predecir el volumen, sobre todo cuando se manejan plantaciones intensivas o bosques comerciales.

4.2. Caracterización de las variables morfológicas de los árboles plus de *C. spruceanum*

En la Tabla 5 se muestra la distribución de las características morfológicas evaluadas en los árboles plus de *C. spruceanum*. Se observa que 36 individuos presentan un fuste recto y sin bifurcaciones. En cuanto a la forma de la copa 30 árboles tienen una copa irregular, mientras que 6 presentan una copa circular completa. Respecto al estado fitosanitario, 32 de los árboles están sanos, mientras que 4 presentan ataques de insectos.

Tabla 5. Variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

Variable	Categoría	Frecuencia	Porcentaje (%)
Rectitud de fuste	1 (Recto)	36	100,0
Forma de copa	1 (Círculo completo)	6	16,7
	2 (Círculo irregular)	30	83,3
Bifurcación	1 (Ausente)	36	100,0
Estado fitosanitario	1 (Sano)	32	88,9
	2 (Ataque de insectos)	4	11,1

En este estudio se identificaron cuatro árboles de *C. spruceanum* de 7 años que presentaban infestaciones por insectos, específicamente hormigas. A pesar de las condiciones propicias para el desarrollo de hongos, debido a que la plantación se ubica en un área propensa a inundaciones durante la temporada de lluvias y con un terreno notablemente húmedo, no se observó ninguna afectación fúngica en los árboles evaluados. Adicionalmente, en una investigación realizada por Muños (2023) en una plantación de *Cedrelinga cateniformis* de 24 años, se documentó la presencia de un árbol afectado por insectos, nuevamente destacando el ataque de hormigas. Este hallazgo sugiere que, aunque ambos tipos de árboles están expuestos a condiciones ambientales similares, las respuestas a las infestaciones pueden variar

significativamente entre especies, lo que sugiere que las interacciones entre hormigas y árboles pueden variar según la especie involucrada Alarcon (2020).

4.3. Determinación de la sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum*

En la Tabla 6 se muestra el análisis de las superficies en las distintas categorías se puede observar que presentan una alta variabilidad, tanto la categoría total y sana, tiene un rango amplio de superficies y alta dispersión, con coeficientes de variación 38-39%, indicando que las mediciones no son homogéneas, debido a que las superficies no son uniformes y pueden estar influenciadas por factores externos o las condiciones de medición, por otro lado la categoría inicio de descomposición tiene una media baja (2,75 cm²), pero una variabilidad extremadamente alta (CV=170, 25%) esto indica que la descomposición es un fenómeno poco frecuente o que ocurre de manera desigual en las superficies medidas, Mientras que la categoría descomposición se puede observar un promedio bajo (0,05 cm²), lo que indica que la mayoría de las mediciones son cercanas a cero, sin embargo el CV es extremadamente alto (601,45%), indicando variabilidad extrema. Esto podría reflejar que, aunque la descomposición en general es mínima, existen condiciones o situaciones excepcionales que favorecen una descomposición más avanzada, y finalmente en la categoría hueco no se detectaron ya que todos los valores son cero.

Tabla 6. Sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum*

Estadístico	Superficie (cm ²)				
	Total	Sana	Inicio de descomposición	Descomposición	Hueco
Mínimo	73,55	70,33	1,65	0,00	0,00
Promedio	170,00	167,21	2,75	0,05	0,00
Máximo	350,45	350,45	20,72	1,66	0,00
Rango	276,90	280,12	19,07	1,66	0,00
Desviación estándar	65,67	65,70	4,68	0,28	0,00
CV (%)	38,63	39,29	170,25	601,45	0,00

CV: Coeficiente de variación

En la Tabla 7 se presentan los resultados de la sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum*. De estos, 22 árboles se encuentran en estado sano. Por otro lado, 13 árboles muestran superficies en etapa inicial de descomposición, y 1 árbol presenta descomposición en la superficie evaluada. Además, no se detectó la presencia de superficies huecas en ninguno de los individuos.

Tabla 7. Árboles plus de *C. spruceanum* según la sanidad interna

Sanidad interna	N° de árboles plus	Porcentaje (%)
Sana	22	61
Inicio de descomposición	13	36
Descomposición	1	3
Hueco	0	0
Total	36	100

Los resultados indican que el 61 % de los árboles evaluados se encuentran en buen estado fitosanitario, lo cual sugiere que la mayoría presenta una adecuada conservación estructural y no muestran evidencias visibles de deterioro o procesos avanzados de desarrollo. Por otro lado, el 36 % presenta signos iniciales de diagnóstico, lo cual sugiere un posible deterioro incipiente, posiblemente asociado a factores ambientales, biológicos o prácticas de manejo. Mendoza (2018) señala que podas mal realizadas pueden facilitar la entrada de patógenos, lo que acelera la degradación de la madera y reduce la estabilidad estructural del árbol.

Solo el 3 % de los árboles evaluados presentan signos de deterioro avanzado. Aunque este porcentaje es bajo, estos individuos merecen especial atención, ya que este nivel de deterioro compromete seriamente la estabilidad estructural del árbol, pudiendo llevar a la pérdida de funcionalidad ecológica o incluso a su caída. Angulo (2018) también reportó que en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*, en todas las capas evaluadas mostraban signos de descomposición, lo cual refuerza la necesidad de monitorear el estado interno de los árboles y aplicar medidas de manejo oportunas para evitar el agravamiento del deterioro estructural.

Se observa un 0 % de individuos en la categoría “hueco”, lo cual puede considerarse un indicador positivo, ya que sugiere que ninguno de los árboles evaluados presenta cavidades internas visibles, lo que generalmente se asocia a una buena integridad estructural. No obstante, Muñoz (2018), en una evaluación de una plantación de *Cedrelinga cateniformis*, encontró que la totalidad de los árboles analizados presentaban huecos en la médula. Este patrón parece estar relacionado con una característica anatómica propia de *C. cateniformis*, que tiende a desarrollar cavidades internas a medida que envejece.

Angulo (2018), validó la tomografía acústica como una técnica no destructiva para evaluar el estado interno de los fustes en plantaciones forestales. Wang y Bruce (2008) también respaldaron esta eficacia al demostrar que el tomógrafo sónico Picus identifica con precisión los defectos internos del fuste, corroborando sus hallazgos mediante la tala de un árbol. Esto resalta la fiabilidad de esta técnica para detectar problemas que pueden comprometer la salud y estabilidad del árbol.

4.4. Relación de la velocidad radial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

En la Tabla 8 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre la velocidad radial, el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total (HT) de los árboles plus de *C. spruceanum*. Se observa una correlación positiva débil entre la velocidad y el dap ($r_{\text{Pearson}} = 0,472$). De manera similar, la correlación entre la velocidad y la altura total es positiva débil ($r_{\text{Pearson}} = 0,408$), indicando una relación menos pronunciada. Esto sugiere que otros factores están influyendo en la velocidad radial y que no se puede predecir la velocidad radial únicamente con el dap o la Altura.

Tabla 8. Correlación de Pearson entre la velocidad radial del ultrasonido y las variables dasométricas

Variables	dap (cm)	HT (m)
Velocidad radial (m/s)	$r_{\text{Pearson}} = 0,472$	$r_{\text{Pearson}} = 0,408$

Asimismo, en el presente estudio se obtuvo un valor promedio de velocidad radial de 1 844,86 m/s para *C. spruceanum*. Al comparar este resultado con los reportados por Dackermann *et al.* (2016), quienes evaluaron la velocidad de ultrasonido en *Corymbia maculata* y *Eucalyptus microcorys*, se observa que estas especies presentan valores mayores: 1 982 m/s y 2 095 m/s, respectivamente. Esta diferencia en las velocidades de propagación del sonido puede atribuirse principalmente a las características anatómicas y físicas de cada especie, siendo una de las más influyentes la densidad básica de la madera. *C. spruceanum* posee una densidad básica inferior a la de *C. maculata* y *E. microcorys*, lo que reduce su capacidad para transmitir ondas ultrasónicas con mayor rapidez.

En el estudio realizado por Ortiz *et al.* (2009), se reportó una velocidad radial de propagación del ultrasonido en *Pinus radiata* de 2 100 m/s. De manera similar, Macedo y Sotomayor (2021) registraron una velocidad radial de 2 300 m/s en *Pinus pseudostrobus*,

mientras que Sotomayor *et al.* (2020) informaron un valor de 2 127 m/s para *Tabebuia rosea*. Todos estos valores son superiores al obtenido para *C. spruceanum* en el presente estudio (1 844,86 m/s), a pesar de que *C. spruceanum* presenta una mayor densidad básica que las otras especies mencionadas. Esta diferencia sugiere que la densidad no es el único factor determinante en la velocidad de propagación del sonido. Otras variables anatómicas, como el contenido de humedad, pueden influir significativamente en la velocidad de las ondas ultrasónicas, por lo que es necesario considerar el efecto del contenido de humedad en las mediciones de ultrasonido, debido a que se produce un aumento en los tiempos de transmisión desde el estado seco hasta el punto de saturación de las fibras (Ross y Hunt, 2000).

4.5. Relación de la velocidad tangencial del ultrasonido con las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

La tabla 9 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre la velocidad tangencial, el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total (HT). Se observa que la velocidad tangencial del ultrasonido presenta una correlación positiva moderada con el dap ($r_{\text{Pearson}} = 0,624$), lo que sugiere que, a mayor diámetro del árbol, la velocidad tiende a incrementarse. De manera similar, la correlación con la HT es positiva moderada ($r_{\text{Pearson}} = 0,508$), indicando que los árboles más altos también pueden presentar mayores velocidades, pero con una relación menos fuerte en comparación con el dap.

Tabla 9. Correlación de Pearson entre la velocidad tangencial del ultrasonido y las variables dasométricas

Variables	dap (cm)	HT (m)
Velocidad tangencial (m/s)	$r_{\text{Pearson}} = 0,624$	$r_{\text{Pearson}} = 0,508$

En el presente estudio, se obtuvo un valor promedio de velocidad tangencial de 1 817,19 m/s para *C. spruceanum*. Al comparar este resultado con otros estudios, se observa que las velocidades tangenciales de las especies evaluadas varían considerablemente. Ortiz *et al.* (2009) determinaron que la velocidad tangencial en *Pinus radiata* fue de 1 670 m/s, mientras que Dackermann *et al.* (2016) reportaron 1 760 m/s para *Corymbia maculata* y 1 820 m/s para *Eucalyptus microcorys*. Macedo y Sotomayor (2021), en su estudio sobre *Pinus pseudostrobus*, encontraron una velocidad tangencial de 1 652 m/s, mientras que Sotomayor *et al.* (2020) determinaron 1 643 m/s para *Tabebuia rosea*.

Como se puede observar, la velocidad tangencial de *C. spruceanum* se encuentra dentro de este rango, aunque ligeramente por debajo de *Eucalyptus microcorys*, pero superior a *Tabebuia rosea*, *Pinus radiata* y *Pinus pseudostrobus*. Las diferencias en las velocidades tangenciales entre especies pueden estar relacionadas con factores anatómicos como la densidad de la madera, la orientación de las fibras, y la presencia de parénquima, que afectan la propagación de las ondas ultrasónicas a lo largo de las diferentes direcciones del grano. Debido a la naturaleza orgánica de la madera, la velocidad de propagación de ultrasonido varía dependiendo de la orientación de los componentes anatómicos que la constituyen, siendo los tiempos de transmisión más cortos en el sentido longitudinal (Ross y Hunt, 2000).

V. CONCLUSIONES

- Se determinaron las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*, evidenciando una alta homogeneidad en los datos. Los valores promedio obtenidos fueron: diámetro a la altura del pecho (13,27 cm), altura total (14,82 m), altura comercial (9,23 m) y volumen comercial (0,0849 m³).
- Se caracterizaron las variables morfológicas de los árboles plus de *C. spruceanum*, destacando que 36 tienen un fuste recto y sin bifurcaciones, 30 presentan copas irregulares y 32 están sanos, mientras que 4 muestran ataques de insectos.
- Se determinó la sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum* mediante imágenes tomográficas de 36 individuos, de las cuales 22 árboles se encuentran en estado sano, 13 árboles muestran superficies en etapa inicial de descomposición, 1 árbol presenta descomposición y no se encontraron superficies huecas, indicando un estado general de sanidad favorable.
- Se evaluó la relación entre la velocidad radial del ultrasonido y las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*, encontrándose una correlación positiva débil tanto con el diámetro a la altura del pecho ($r_{\text{Pearson}} = 0,472$) como con la altura total ($r_{\text{Pearson}} = 0,408$). Asimismo, se obtuvo un valor promedio de velocidad radial del ultrasonido de 1 844,86 m/s.
- Se evaluó la relación entre la velocidad tangencial del ultrasonido y las variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*, encontrándose una correlación positiva moderada con el diámetro a la altura del pecho ($r_{\text{Pearson}}=0,624$) y con la altura total ($r_{\text{Pearson}}=0,508$). Asimismo, se obtuvo un valor promedio de velocidad tangencial del ultrasonido de 1 817,19 m/s.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Establecer un programa de evaluación a largo plazo en la plantación de *C. spruceanum* utilizando tomografía forestal, con el fin de analizar su comportamiento estructural y sanitario en respuesta a las condiciones de alta humedad e inundaciones periódicas.
- Ampliar las investigaciones sobre la sanidad interna de *C. spruceanum* y otras especies forestales de la región Ucayali mediante equipos no invasivos, como tomógrafos sónicos y resistógrafos, en plantaciones de distintas edades
- Promover políticas públicas y normativas técnicas que prioricen el uso de tecnologías no destructivas en el sector maderero. La detección temprana de defectos internos permite optimizar el aprovechamiento de los árboles, reducir pérdidas por madera de baja calidad y aumentar la rentabilidad de las plantaciones comerciales.
- Fomentar alianzas estratégicas entre universidades, centros de investigación, empresas madereras y organizaciones ambientales para desarrollar proyectos multidisciplinarios.
- Explorar la combinación de tomografía acústica con herramientas de machine learning para automatizar la interpretación de datos y generar alertas tempranas de deterioro interno.

VII. REFERENCIAS

- Aguirre, C., & Fassbender, D. (2013). Selección de árboles plus de siete especies forestales nativas de importancia ecológica y económica en la selva central del Perú. Documento de trabajo 18.
- Alarcon, A. (2020). Factores asociados a infestaciones de hormiga arriera en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus sp.* en san Martín [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. Repositorio institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/items/1188f1df-767d-4d44-b1b0-0953a579ad2b>
- Angulo, W. (2018). Estudio de Sanidad Forestal mediante Técnicas Acústicas no Destructivas de una Plantación Forestal “Tornillo” proveniente de la Región Loreto. INIA. Pucallpa, Perú.
- Aróstegui, A. (1974). Estudio tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa): características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país.
- Avery, T., & Burkhart, H. (2002). *Forest Measurements*. Waveland Press, Inc.
- Basterrechea, M. (2016). *Comparación de las técnicas no destructivas de tomografía ultrasónica y resistencia a la perforación en la evaluación de discos de madera* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/44444/>
- Cancino, J. (2012). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción.
- Chavesta, M. (2005). Maderas para pisos.
- Congreso del Perú. (22 de julio de 2011). Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763. *Diario Oficial el Peruano*, 25p. <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29763.pdf>
- Cronquist, A. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press.
- Dackermann, U., Elsener, R., Li, J., & Crews, K. (2016). A Comparative Study of using Static and Ultrasonic Material Testing Methods to Determine the Anisotropic Material Properties of Wood. *ScienceDirect*, 102(2), 963-976.

- Dudkiewicz, M., & Durlak, W. (2021). Sustainable Management of Very Large Trees with the Use of Acoustic Tomography. *Sustainability*, 13(21), 12315. <https://doi.org/10.3390/su132112315>
- Fakopp Enterprise Bt. (2015). Manual de usuario de ArborSonic 3D v5.1.30. Agfalva, Hungría.
- Ferreira, T., & Rasband, W. (2012). ImageJ User Guide. Maryland, Estados Unidos.
- Flores, Y. (2002). Manual de semilla de especies forestales de importancia económica en la región Ucayali. Primera edición. INIA. Pucallpa, Perú.
- Franco, T., & Hidalgo, R. (2003). Boletín técnico de Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia.
- Gally, T., Giachino, V., & Craig, E. (2016). Puntos críticos para la acreditación de ensayos en laboratorios de sanidad forestal. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 20(3), 33–41
- García, Y., Ramos, J., & Becerra, J. (2011). Semillas forestales nativas: para la restauración ecológica. *Biodiversitas*, 94, 12-15.
- Gil, C. (2017). *Modelo de predicción de irradiación solar ajustado al clima de Barranquilla, para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos* [Tesis de maestro, Universidad de la Costa]. Repositorio institucional. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/fdda939f-1085-4806-8765-5a58f19b353d>
- Gilbert, G., Ballesteros, J., Barrios-Rodríguez, C., Bonadies, E., Cedeño-Sánchez, M., Fossati-Caballero, N., Trejos-Rodríguez, M., Pérez-Zuñiga, J., Holub-Young, K., Henn, L., Thompson, J., García-López, C., Romo, A., Johnston, D., Barrick, P., Jordan, F., Hershovich, S., Russo, N., Sánchez, J., Fábrega, J., Lumpkin, R., McWilliams, H., Chester, K., Burgos, A., Wong, E., Diab, J., Renteria, S., Harrower, J., Hooton, D., Glenn, T., Faircloth, B., & Hubbell, S. (2016). Uso de la tomografía sónica para detectar y cuantificar la descomposición de la madera en árboles vivos. *Applications in Plant Sciences*, 4(12), 1-21. <https://doi.org/10.3732/apps.1600060>
- Holdridge, L. (1978). Ecología basada en zonas de vida. IICA.
- Husch, H., Beers, T., & Kershaw, J. (2003). *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons, Inc.

- IFER. (2009). Institute of Forest Ecosystem Research, Ltd., is an independent - IFER. Republica checa.
- Íñiguez, G. (2007). *Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluaciones de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.415>
- Ipinza, R. (1997). Actas 1er. Taller de mejora genética e Roble y Raulí, Aspectos teóricos en la selección de árboles superiores Valdivia, Chile.
- Ipinza, R. (1998). Métodos de Selección de Árboles Plus. Curso Mejora Genética Forestal Operativa. Valdivia, Chile: Artes Gráficas y Centenario LTDA, pp. 105-128.
- Jara, L. (1995). Identificación y selección de fuentes semilleras. En: Identificación, Selección y Manejo de Fuentes Semilleras. Conif, Bogotá. Serie técnica 32.
- Juárez, Y. (2014). *Dasometría: apuntes de clase y guía de actividades prácticas*.
- Kinga, A., & Goncz, B. (2015). Comparison of trees and NDT methods. *Wood research*. 60(1), 45-58
- Kloiber, M., Drdácý, M., Machado, J. S., Piazza, M., & Yamaguchi, N. (2015). Prediction of mechanical properties by means of semi-destructive methods: A review. *Construction and Building Materials*. 101, 1215-1234. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.134>.
- Kometter, R., & Mavari, E. (2007). *Metodología para elaborar tablas nacionales de conversión volumétrica de madera rolliza en pie a madera aserrada calidad exportación*. The World Bank.
- López, H., Vaides, E., & Alvarado, A. (2018). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costarricense*. 42(1), 137-153. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32201>
- Macedo, I., & Sotomayor, J. (2021). Densidad, velocidad del ultrasonido y módulo dinámico de madera sólida y laminada de *Pinus pseudostrobus*. *Madera y Bosques*. 27(3), 1-14
- Martín-García, J., Jactel, H., & Diez, J. (2013). Gestión forestal sostenible en plantaciones de chopo: Criterios de sanidad forestal y biodiversidad. *Foresta*, (58), 2-17.

- Mendoza, G. (2018). Uso de Métodos no destructivos para determinar el riesgo de caída de árboles urbanos, en el Parque de las Leyendas [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio La Molina. <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/3755>
- Muñoz, O. (2023). Uso del tomógrafo para determinar sanidad en plantación forestal de tornillo en El Dorado – INIA, distrito de San Juan Bautista, Loreto, 2022 [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio institucional UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/9485>
- Ondrejka, V., Gergel, T., Bucha, T., & Pástor, M. (2021). Innovative methods of non-destructive evaluation of log quality. *Central European Forestry Journal*. 67, 3-13
- Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (20 de setiembre de 2018). Resolución de Jefatura N° 001-2018-OSINFOR. *Diario Oficial el Peruano*, 273p. <https://www.gob.pe/institucion/osinfor/normas-legales/794882-001-2018-osinfor-i>
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales. (1996). *Informe final: Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú*. Organización Internacional de las Maderas Tropicales. <https://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD37%2088/pd-37-88%20s.pdf>
- Ortiz, R., Baradit, E., & Navarrete, J. (2009). Estudio del efecto de la dirección de medición y contenido de humedad en la velocidad de ultrasonido en madera de *Pinus radiata* D. Don a través de análisis de varianza. *Ingeniería e investigación*, 29(3), 139-141.
- Pereira, S., Prieto, A., Calama, R., & Diaz-Balteiro, L. (2015). Optimal management in *Pinus pinea* L. stands combining silvicultural schedules for timber and cone production. *Silva Fennica*, 49(3), 1-16.
- Pérez-García, B., & Mendoza, A. (2002). Morfología vegetal neotropical. *Biología Tropical*, 50(3-4), 893-902.
- Quintero, H., Henao, E., Monroy, M., & Camargo, J. (2011). Métodos experimentales para la medición de las propiedades mecánicas de frutos y maderos. *Scientia Et Technica*, 2(48), 41-46. <https://doi.org/10.22517/23447214.1229>

- Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T. flores, C., & Daza, A. (2003). *Arboles útiles de la Amazonia peruana y sus usos*. ICRAF. Lima Perú.
- Richter, D.D., & Calvo, J.C. (1995). ¿Es una plantación forestal un bosque?. *Revista Forestal Centroamérica*, 11(1), 12-15
- Ross, R., & Hunt, M. (2000). *Stress Wave Timing Nondestructive Evaluation Tools for Inspecting Historic Structures*. USDA.
- Sotomayor, J., Macedo, I., & Chávez, H. (2020). Variabilidad en las densidades, las velocidades del ultrasonido y los módulos dinámicos en tres maderas mexicanas y tres maderas japonesas. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(2) 382-399.
- Universidad del Bío-Bío (2023). Ficha de Portafolio de Tecnologías. Biobío, Chile.
- Universidad Nacional de Ucayali. (2013). Estación meteorológica, datos climáticos de ocho años en la zona de Pucallpa, PE.
- Vallejos, J., Badilla, Y., Picado, F., & Murillo, O. (2010). Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*. 34(1), 105-119. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32201>
- Zobel, B., & Talbert, J. (1984). *Applied Forest Tree Improvement*. The Blackburn Press.
- Zou, K., Tuncali, K., & Silverman, S. (2013). Correlation and simple linear regression. *Radiology*, 227, 617-622.
- Wang, X., & Bruce, A. (2008). Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(1),1-4.

VIII. ANEXOS

Anexo A. Datos registrados de los árboles plus de *C. spruceanum*Tabla 10. Variables dasométricas de los árboles plus de *C. spruceanum*

N° de árbol	Coordenadas		dap (cm)	Hc (m)	Ht (m)	VC (m ³)
	Este	Norte				
1	544941,82	9077537,80	12,2	9,1	12,1	0,0691
2	544947,12	9077538,63	13,7	10,0	14,6	0,0958
3	544949,91	9077546,53	14,7	8,5	15,1	0,0938
4	544952,57	9077549,47	14,4	10,5	16,3	0,1112
5	544955,91	9077549,01	16,1	9,8	17,4	0,1297
6	544953,28	9077554,49	13,7	10,3	16,6	0,0987
7	544958,06	9077555,35	15,9	8,6	17,3	0,1110
8	544954,76	9077560,75	15,0	9,3	16,2	0,1068
9	544957,86	9077565,46	12,9	8,4	14,6	0,0714
10	544961,47	9077563,00	16,1	7,6	16,0	0,1006
11	544964,64	9077562,51	14,3	12,7	13,8	0,1326
12	544970,41	9077560,47	14,5	9,0	15,7	0,0966
13	544972,95	9077561,48	13,2	10,3	16,9	0,0916
14	544966,88	9077569,11	14,4	9,2	15,7	0,0974
15	544968,17	9077570,56	16,6	10,1	15,9	0,1421
16	544972,14	9077571,11	14,1	9,7	15,5	0,0984
17	544971,02	9077578,60	13,6	9,3	15,9	0,0878
18	544979,48	9077586,89	13,8	8,2	15,6	0,0797
19	544978,23	9077593,68	13,4	6,9	13,3	0,0633
20	544988,73	9077588,70	13,2	7,5	14,9	0,0667
21	544993,58	9077590,05	13,0	8,5	14,8	0,0733
22	544999,09	9077591,59	12,1	9,6	15,1	0,0718
23	544994,18	9077594,63	11,5	7,4	13,4	0,0500
24	545004,07	9077597,09	15,1	10,1	15,4	0,1176
25	545003,14	9077608,41	12,0	9,6	14,6	0,0706
26	545002,72	9077620,31	10,8	8,9	14,6	0,0530
27	545005,85	9077627,97	11,6	10,4	13,9	0,0714
28	545011,78	9077621,93	14,6	9,1	13,6	0,0990
29	545015,61	9077617,94	9,3	7,6	12,2	0,0336
30	545019,77	9077626,29	11,9	9,3	13,5	0,0672

N° de árbol	Coordenadas		dap (cm)	Hc (m)	Ht (m)	VC (m ³)
	Este	Norte				
31	545028,32	9077623,50	10,7	8,8	14,4	0,0514
32	545021,99	9077632,73	10,5	10,4	14,5	0,0585
33	545028,34	9077631,19	12,1	8,8	14,0	0,0658
34	545027,65	9077642,69	10,4	9,1	13,9	0,0502
35	545041,54	9077641,66	14,6	10,2	14,3	0,1110
36	545038,38	9077650,76	11,8	9,6	12,2	0,0682

Tabla 11. Variables morfológicas de los árboles plus de *C. spruceanum*.

N° de árbol	Rectitud de fuste	Forma de copa	Bifurcación	Estado fitosanitario
1	1	2	1	1
2	1	2	1	1
3	1	2	1	1
4	1	2	1	2
5	1	1	1	1
6	1	2	1	2
7	1	1	1	1
8	1	1	1	1
9	1	2	1	1
10	1	1	1	2
11	1	2	1	1
12	1	2	1	1
13	1	2	1	1
14	1	2	1	2
15	1	1	1	1
16	1	2	1	1
17	1	2	1	1
18	1	2	1	1
19	1	2	1	1
20	1	2	1	1
21	1	2	1	1
22	1	2	1	1
23	1	2	1	1

N° de árbol	Rectitud de fuste	Forma de copa	Bifurcación	Estado fitosanitario
24	1	1	1	1
25	1	2	1	1
26	1	2	1	1
27	1	2	1	1
28	1	2	1	1
29	1	2	1	1
30	1	2	1	1
31	1	2	1	1
32	1	2	1	1
33	1	2	1	1
34	1	2	1	1
35	1	2	1	1
36	1	2	1	1

Anexo B. Sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum*

Tabla 12. Superficie de la sanidad interna de los árboles plus de *C. spruceanum*

N° de árbol	Superficie (cm ²)				
	Total	Sana	Inicio	Descomposición	Hueco
1	135,258	123,073	12,185	0,000	0,000
2	208,662	203,121	5,541	0,000	0,000
3	192,720	189,734	2,986	0,000	0,000
4	178,973	177,326	1,647	0,000	0,000
5	231,358	210,633	20,725	0,000	0,000
6	166,686	166,686	0,000	0,000	0,000
7	246,046	246,046	0,000	0,000	0,000
8	192,720	192,720	0,000	0,000	0,000
9	147,342	147,342	0,000	0,000	0,000
10	271,358	271,358	0,000	0,000	0,000
11	186,794	186,794	0,000	0,000	0,000
12	172,159	172,159	0,000	0,000	0,000
13	350,447	350,447	0,000	0,000	0,000

N° de árbol	Superficie (cm ²)				
	Total	Sana	Inicio	Descomposición	Hueco
14	238,317	238,317	0,000	0,000	0,000
15	342,686	342,686	0,000	0,000	0,000
16	186,828	184,442	2,386	0,000	0,000
17	180,162	169,783	10,379	0,000	0,000
18	141,271	137,057	4,214	0,000	0,000
19	165,528	165,528	0,000	0,000	0,000
20	152,726	152,726	0,000	0,000	0,000
21	199,449	188,138	9,651	1,660	0,000
22	117,400	109,577	7,823	0,000	0,000
23	200,890	200,890	0,000	0,000	0,000
24	112,608	107,835	4,773	0,000	0,000
25	134,750	134,750	0,000	0,000	0,000
26	92,034	92,034	0,000	0,000	0,000
27	112,038	112,038	0,000	0,000	0,000
28	193,880	184,942	8,938	0,000	0,000
29	73,554	70,336	3,218	0,000	0,000
30	107,138	107,138	0,000	0,000	0,000
31	96,992	96,992	0,000	0,000	0,000
32	82,578	78,040	4,538	0,000	0,000
33	106,898	106,898	0,000	0,000	0,000
34	91,613	91,613	0,000	0,000	0,000
35	186,791	186,791	0,000	0,000	0,000
36	123,598	123,598	0,000	0,000	0,000

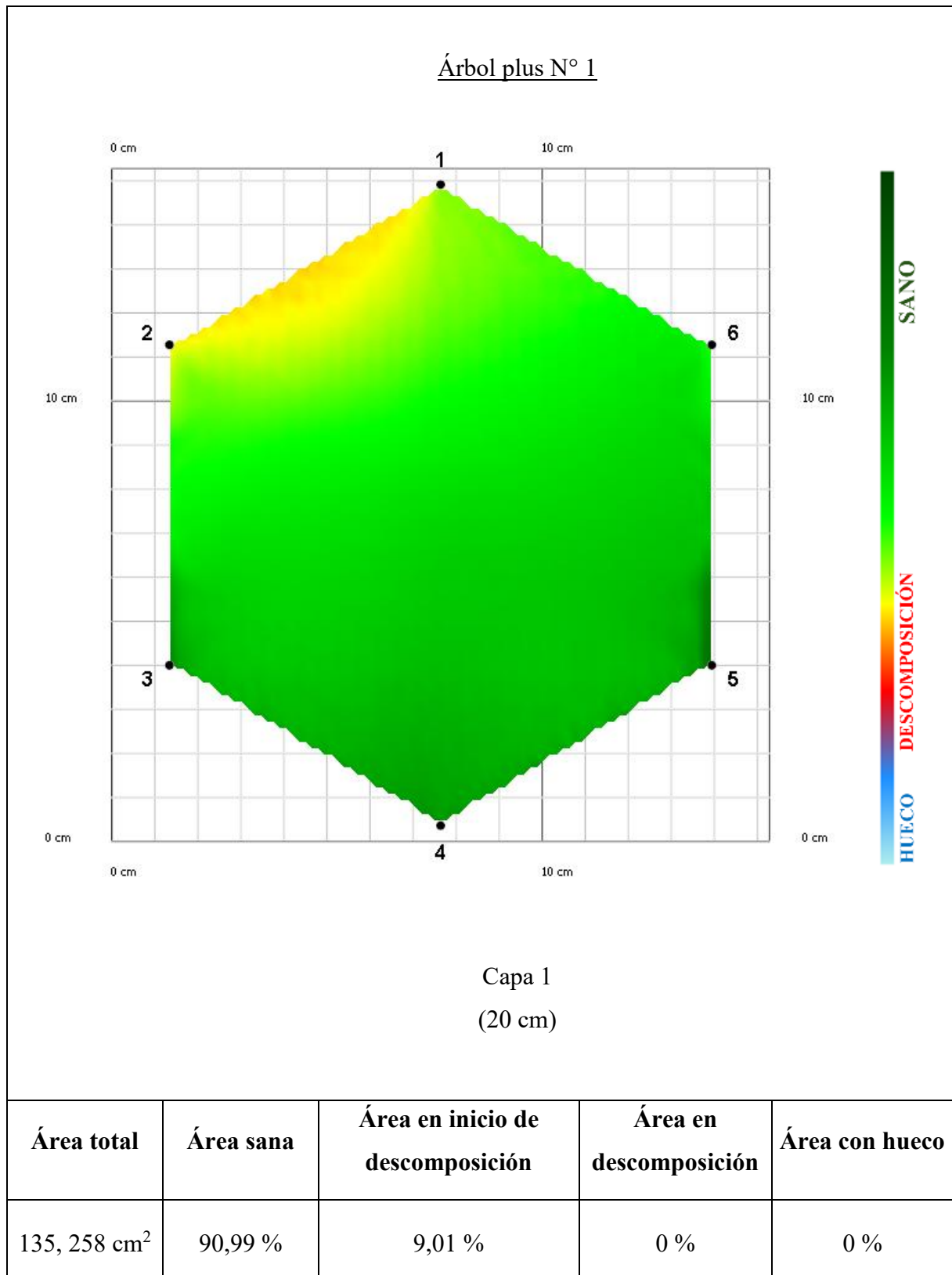
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 18. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 1.

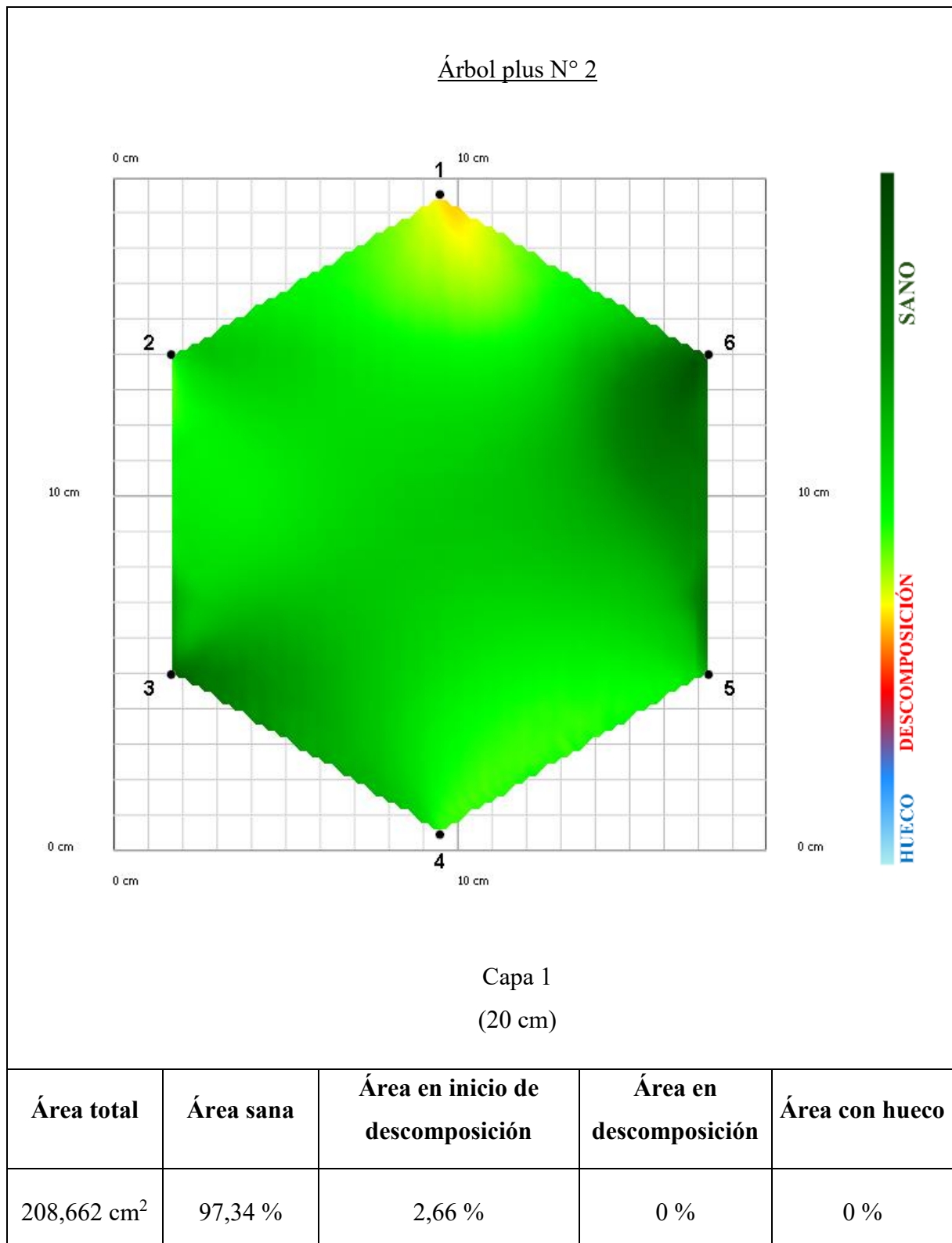
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 19. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 2.

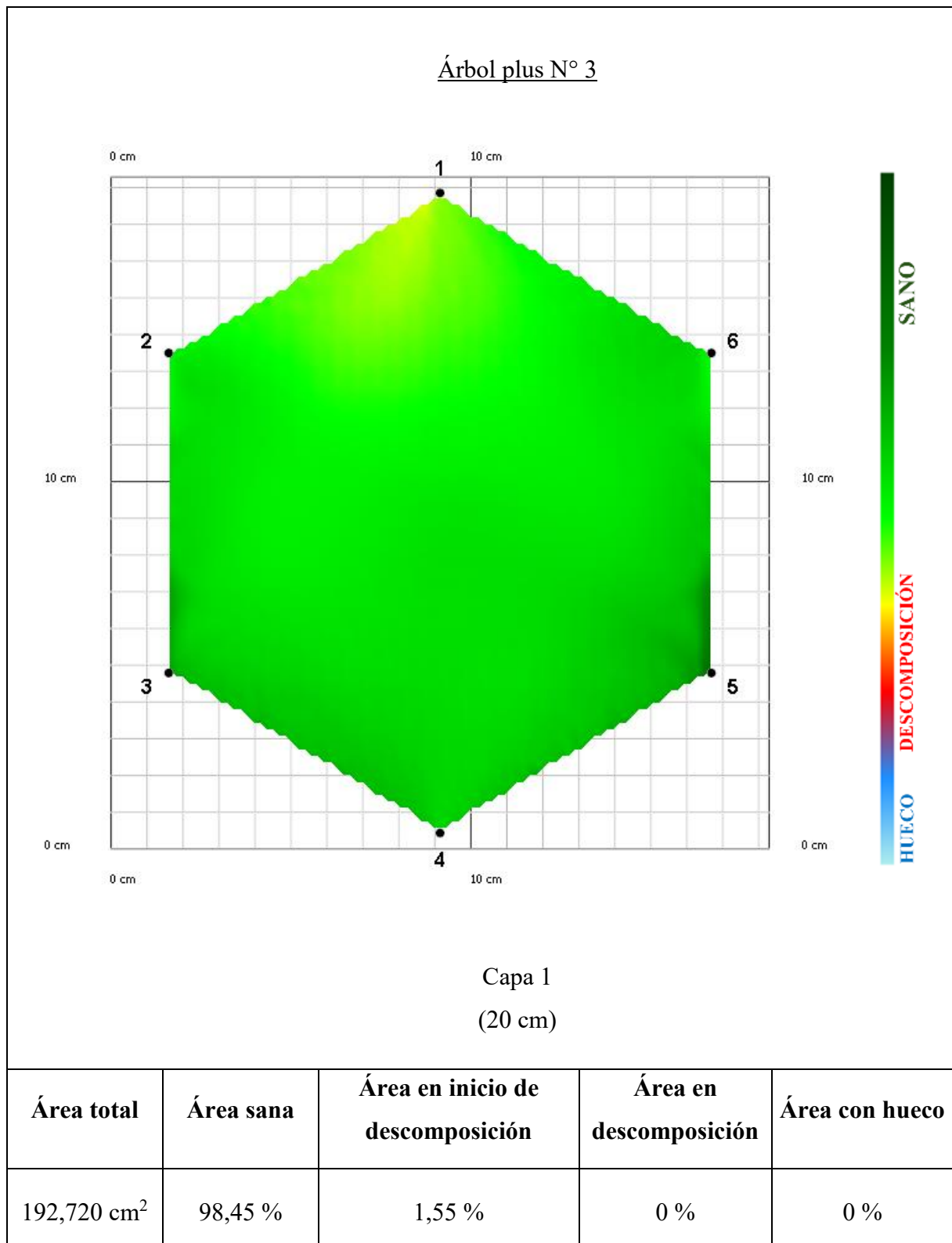
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 20. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 3.

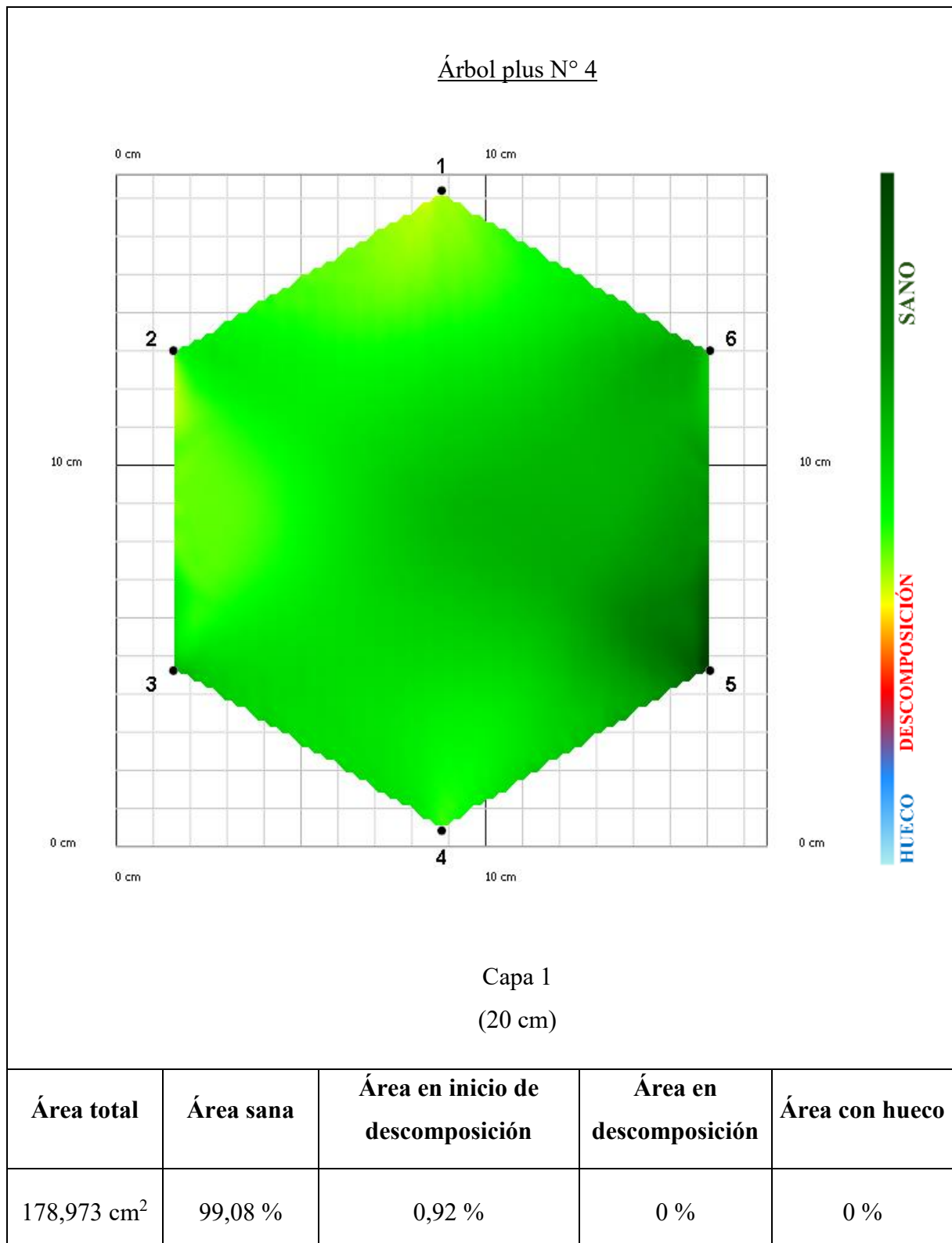
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 21. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 4.

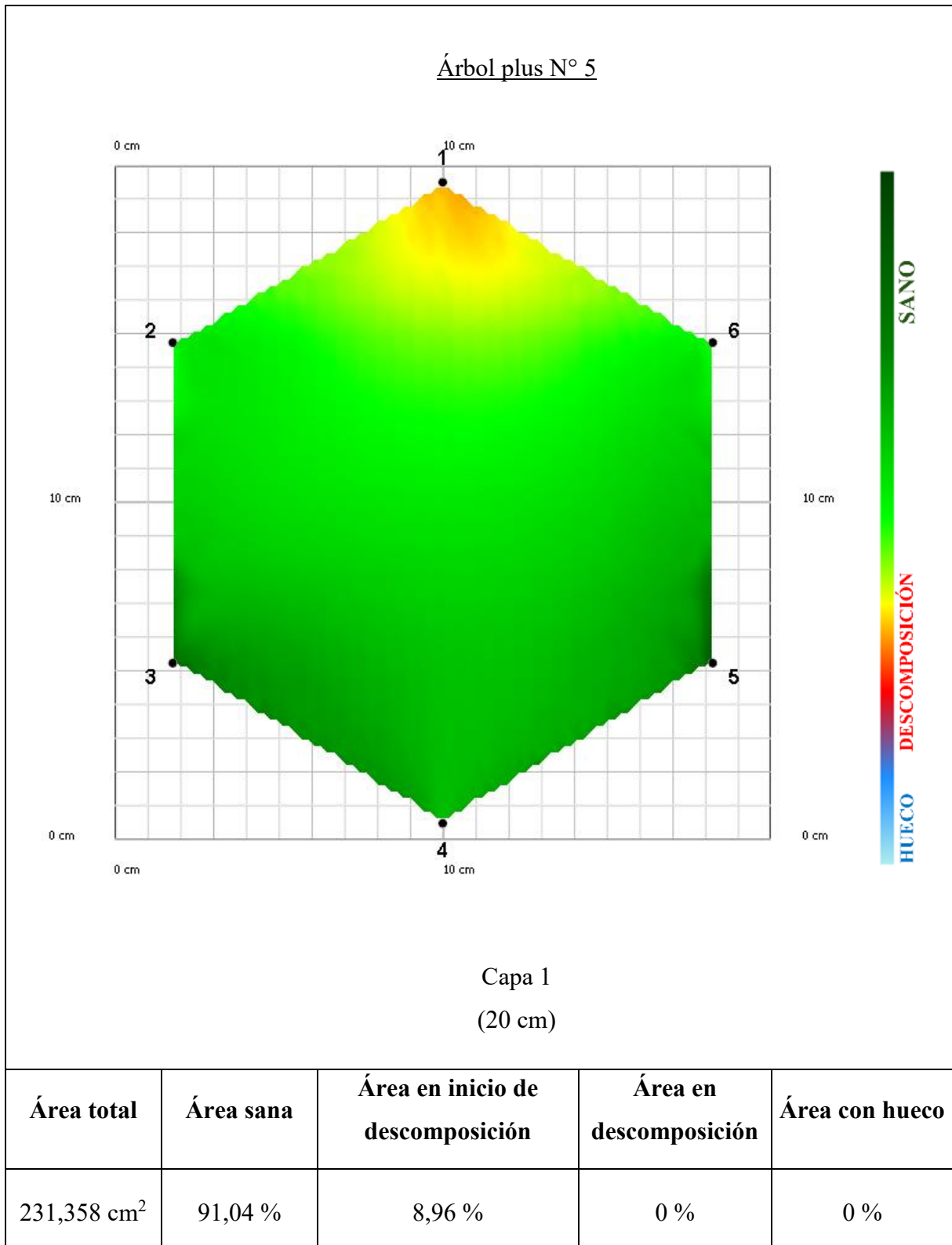
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 22. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 5.

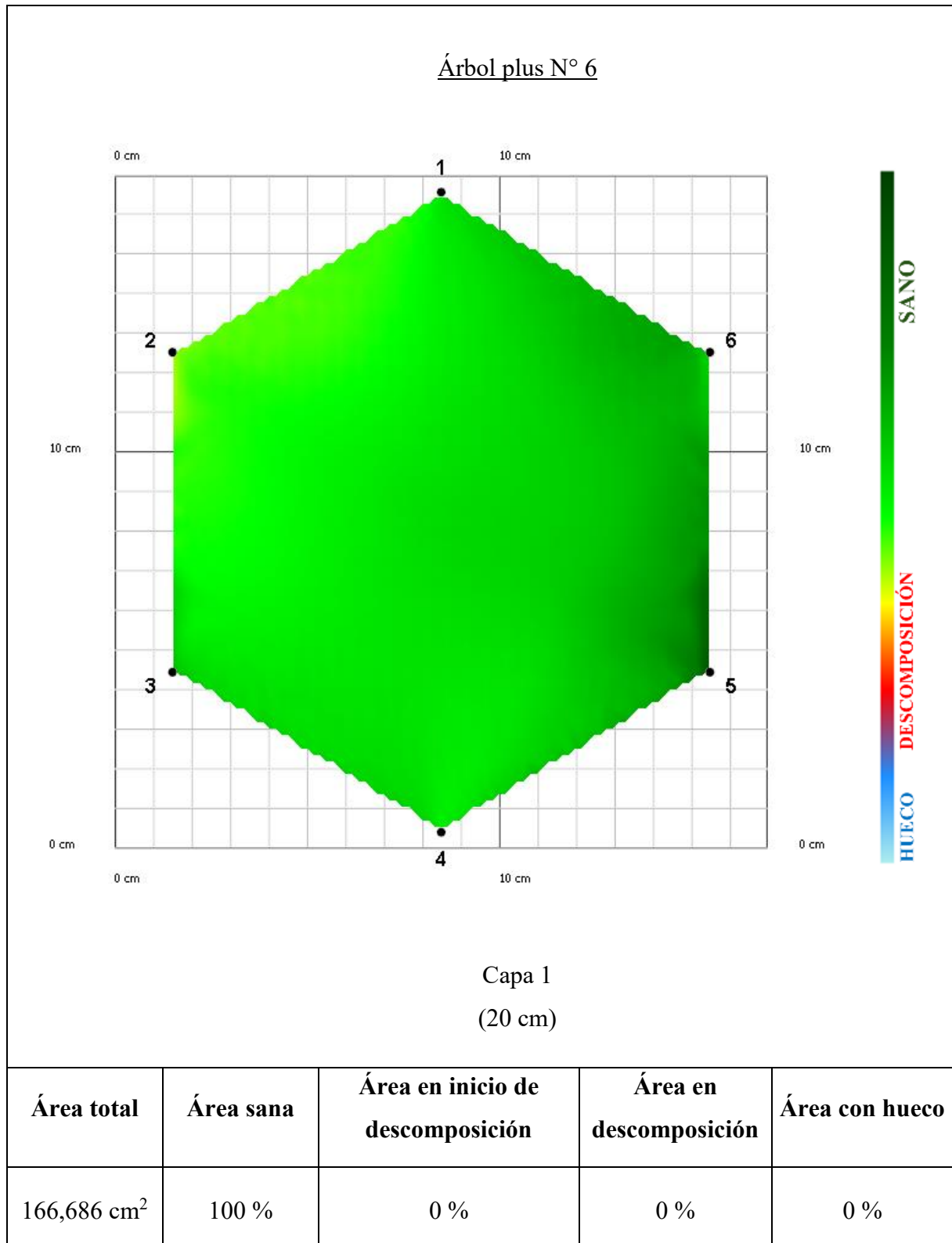
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 23. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 6.

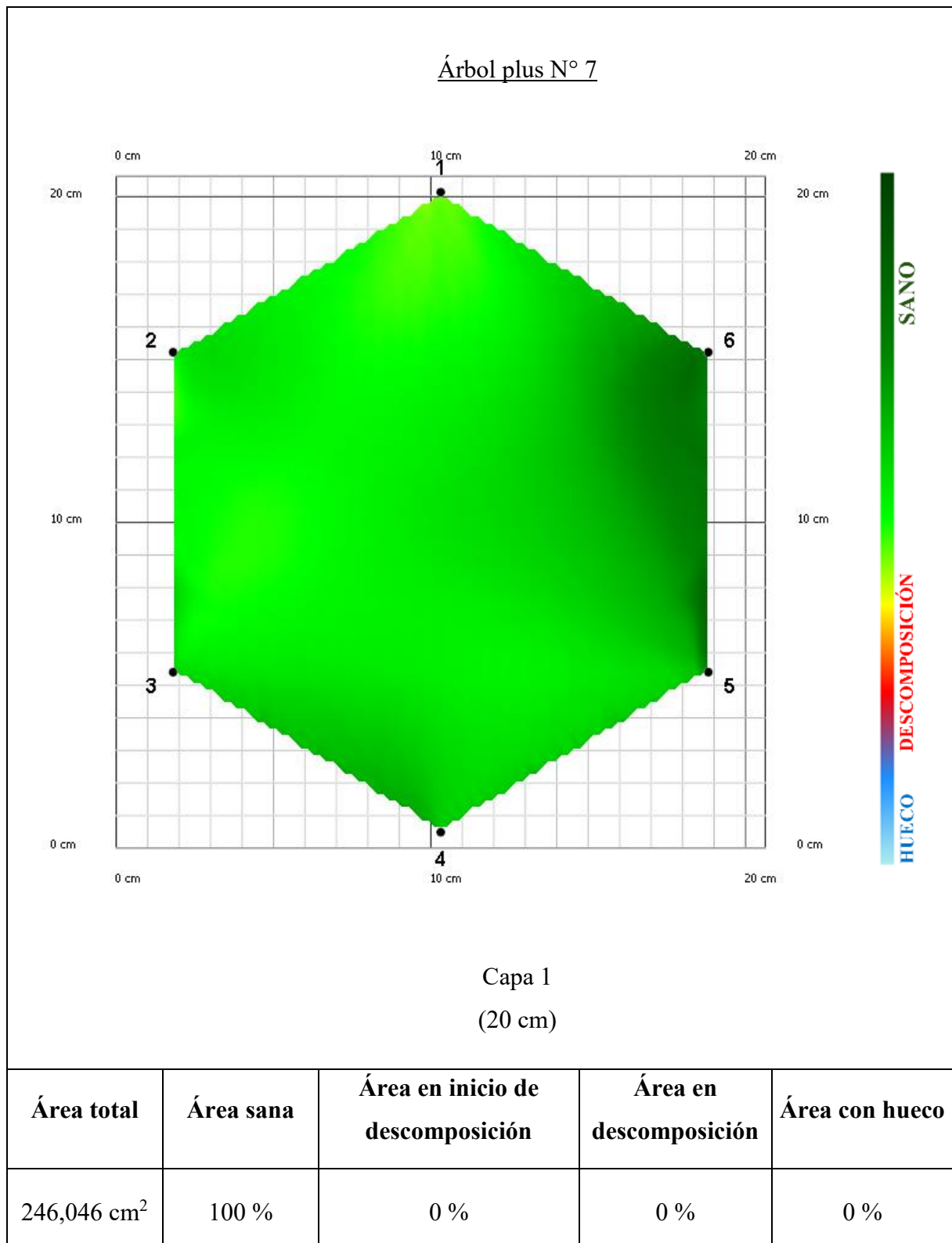
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 24. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 7.

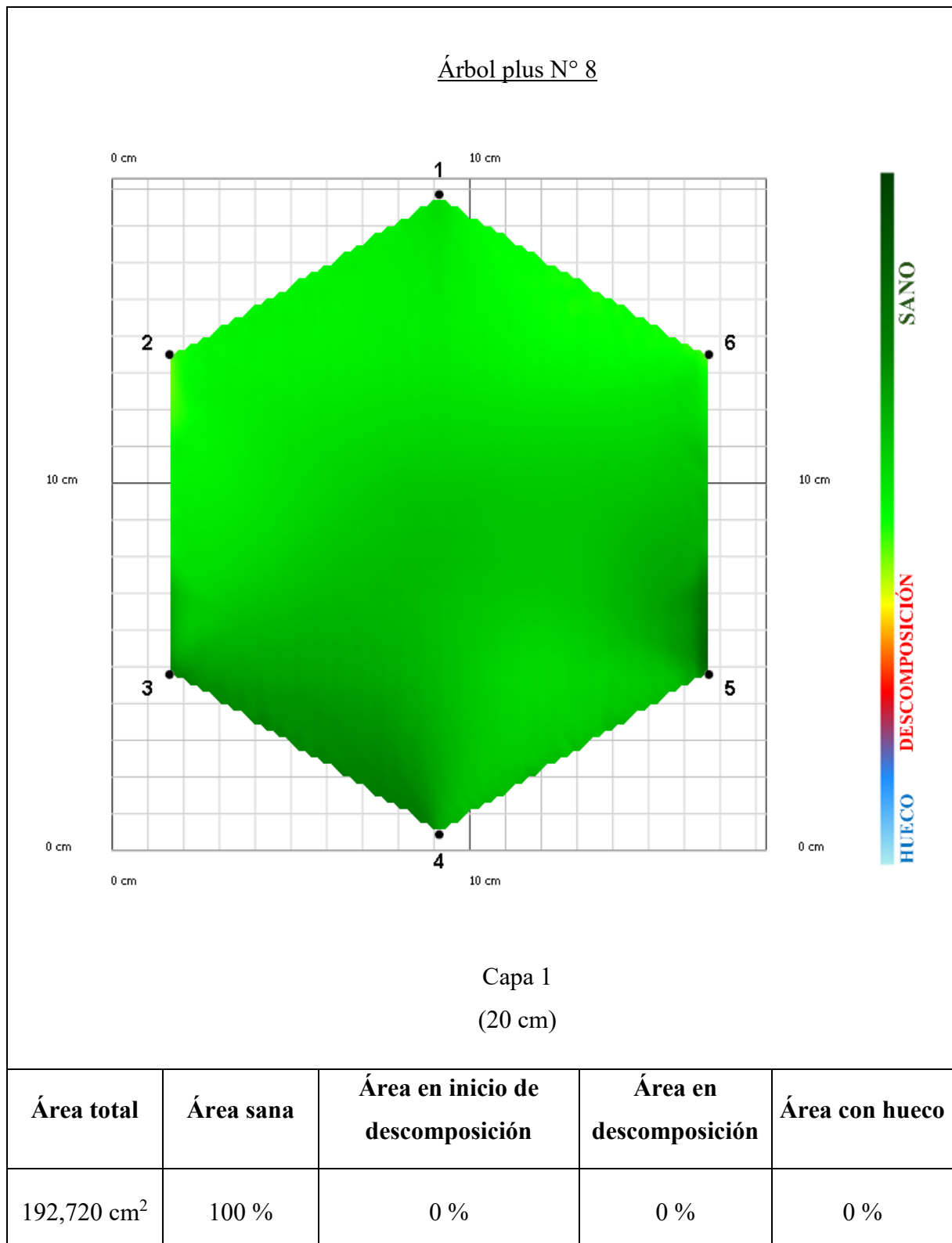
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 25. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 8.

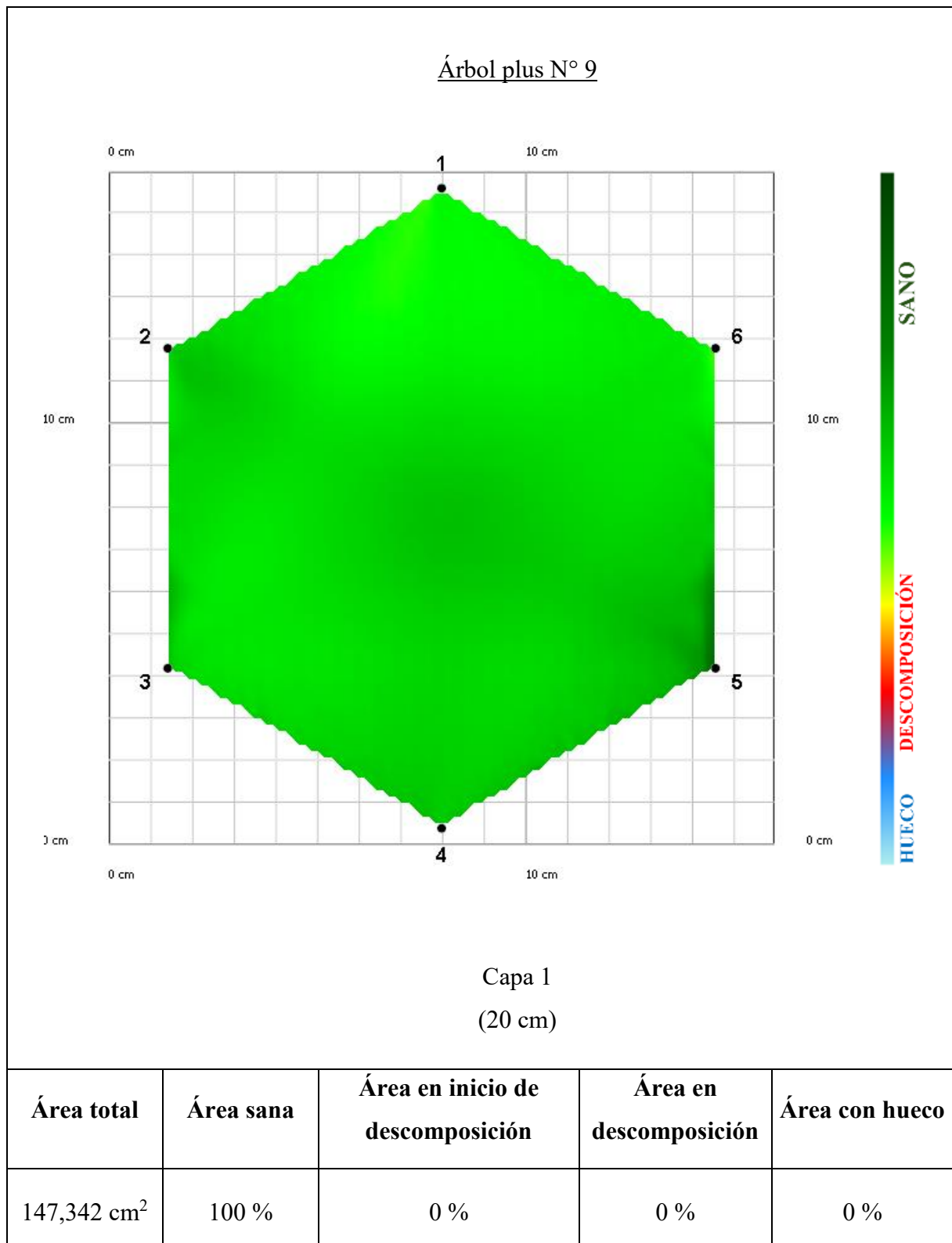
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 26. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 9.

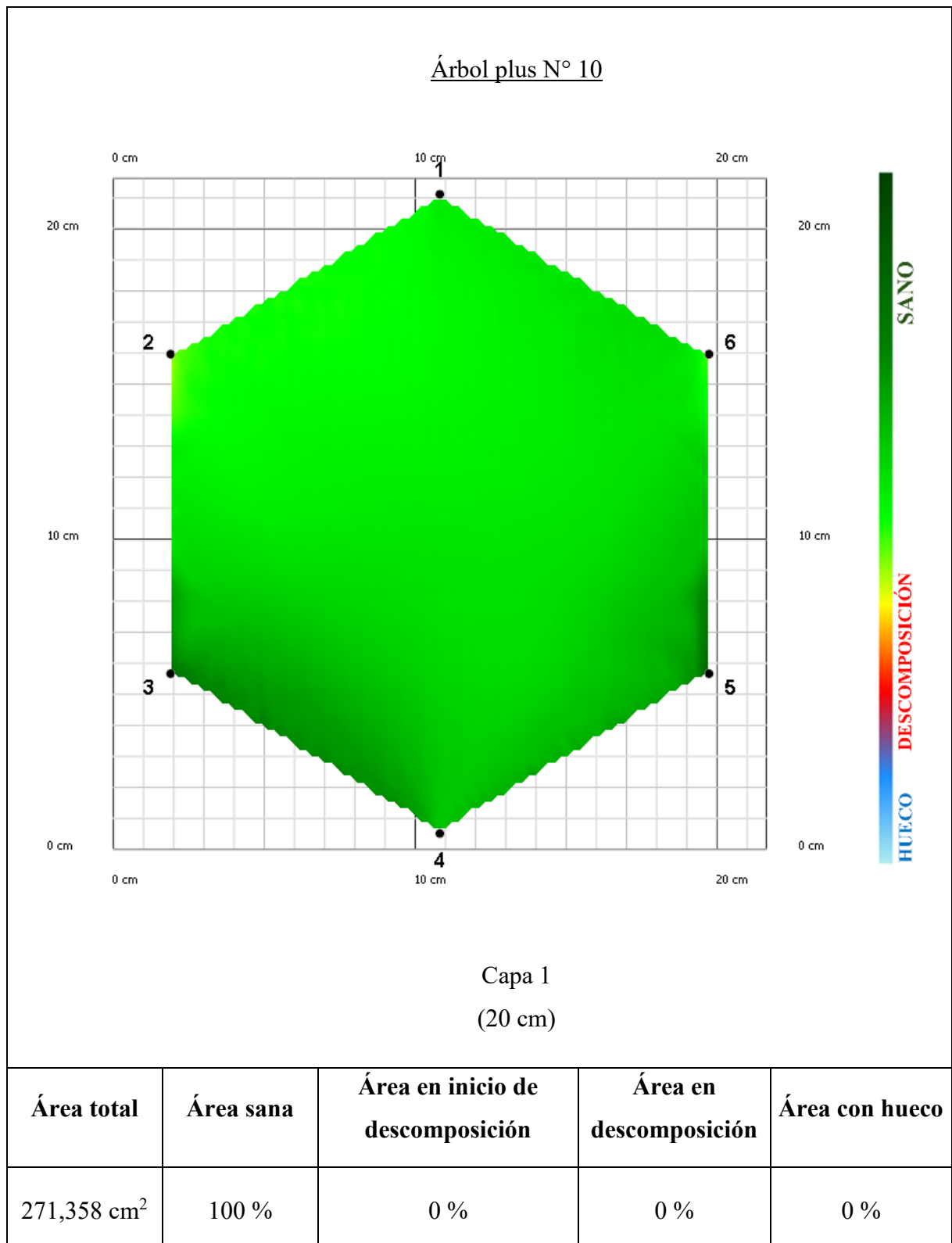
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 27. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 10.

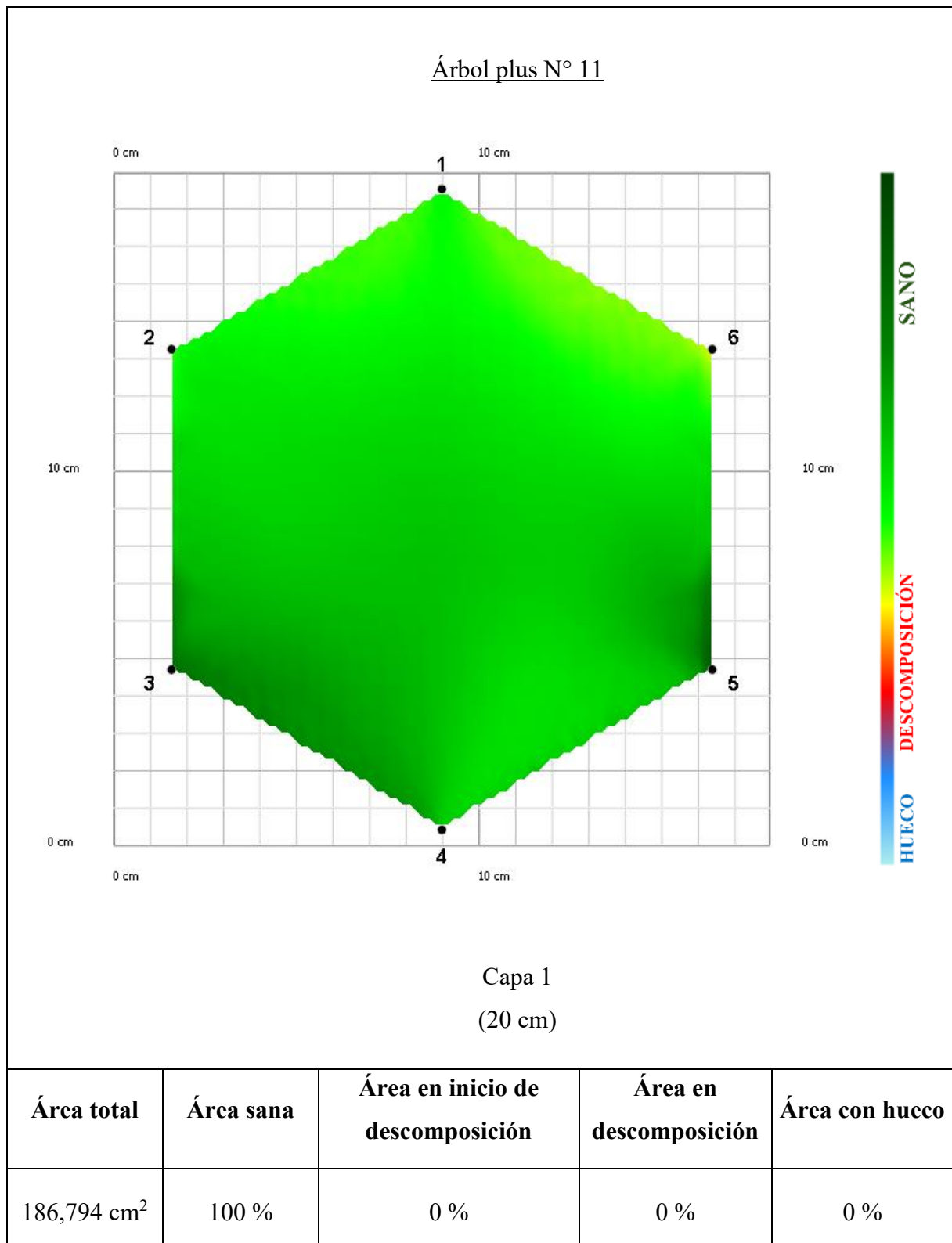
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 28. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 11.

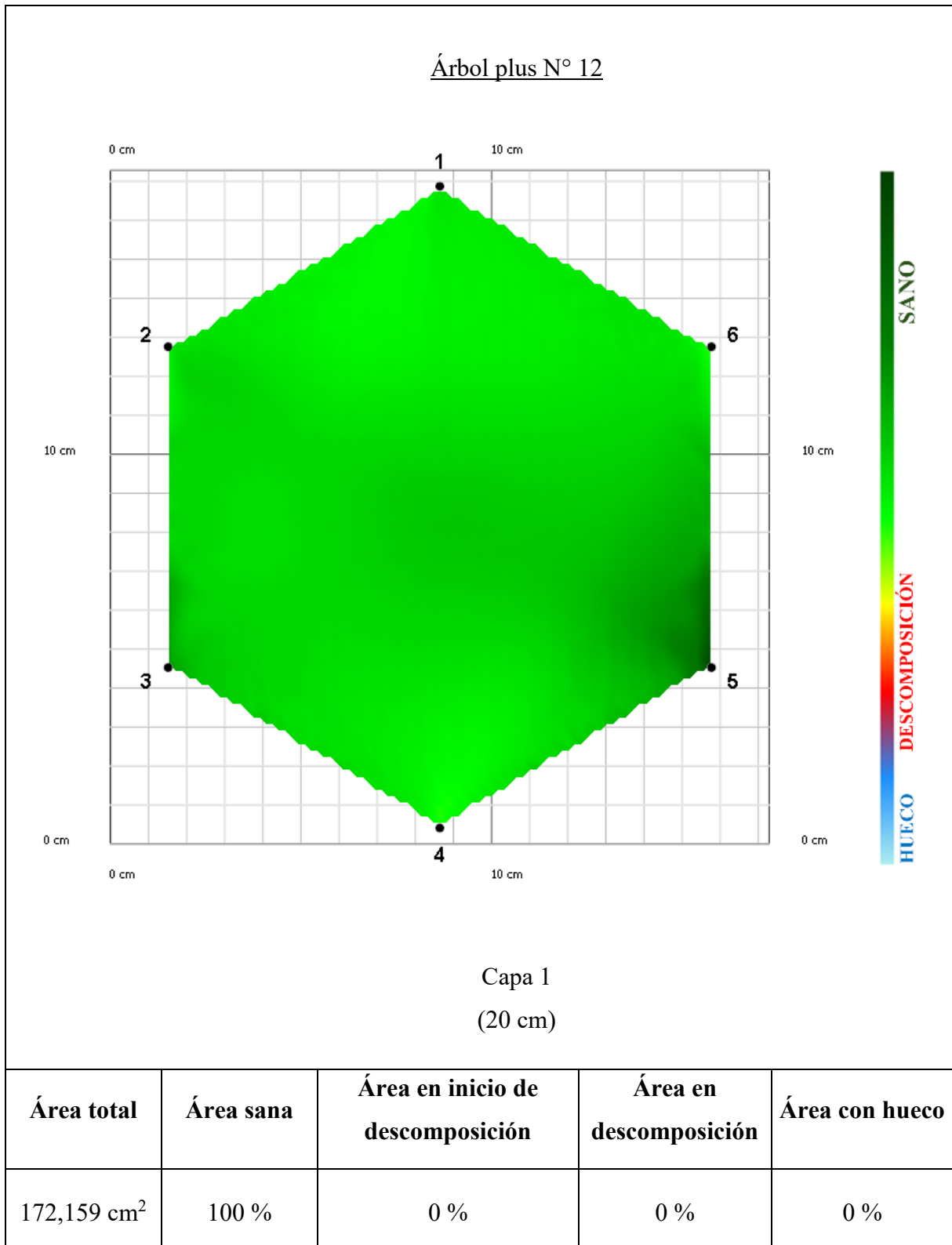
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 29. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 12.

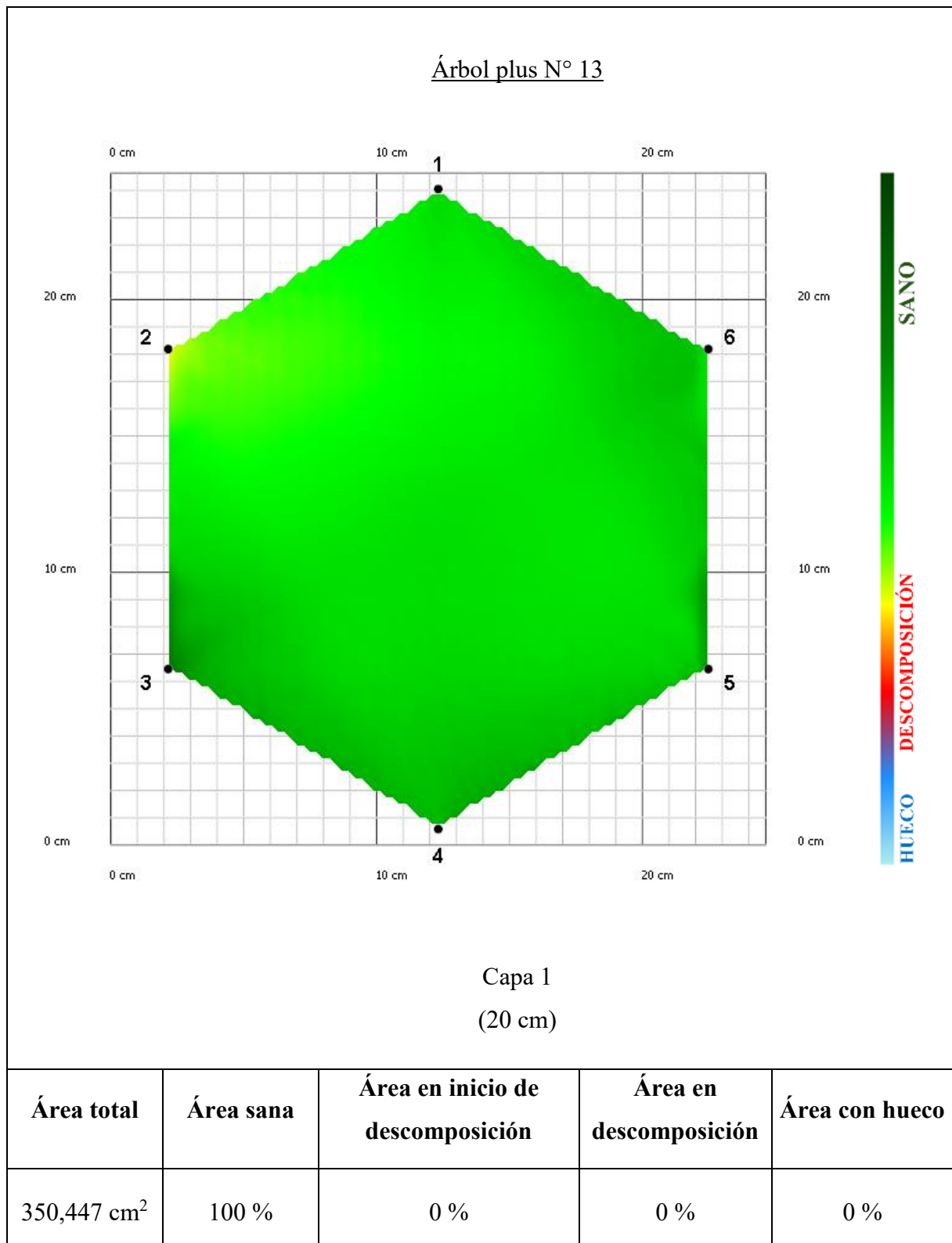
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 30. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 13.

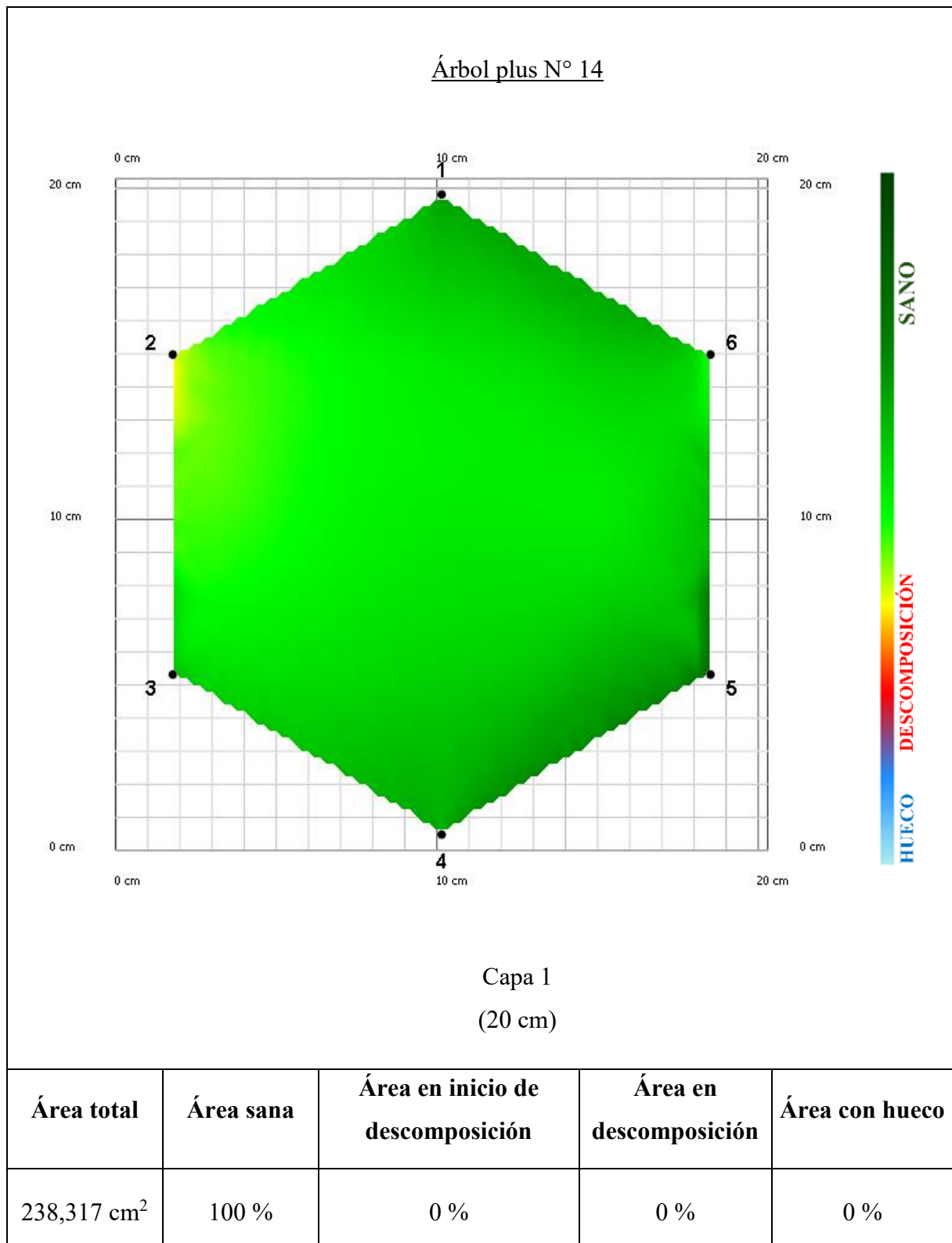
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 31. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 14.

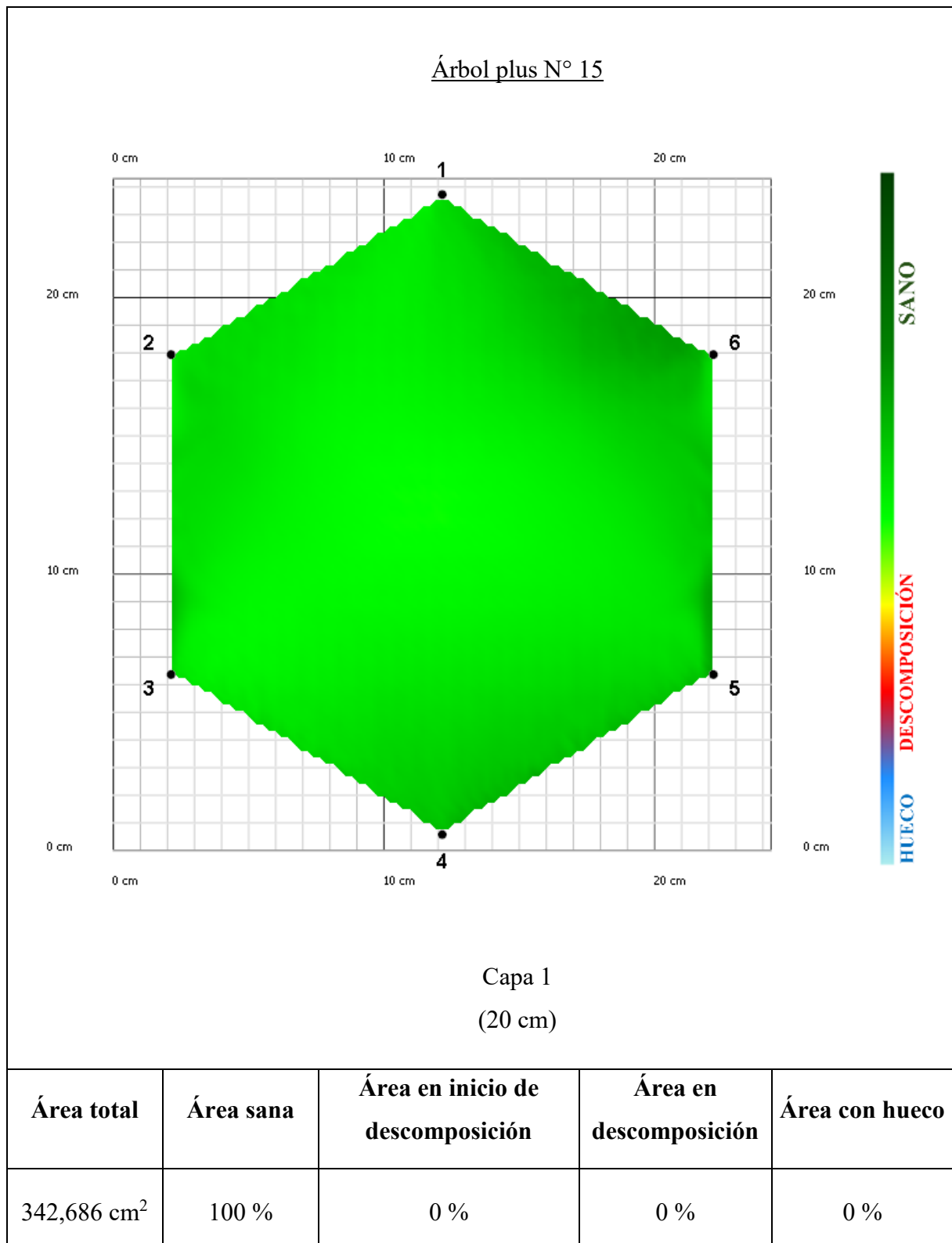
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 32. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 15.

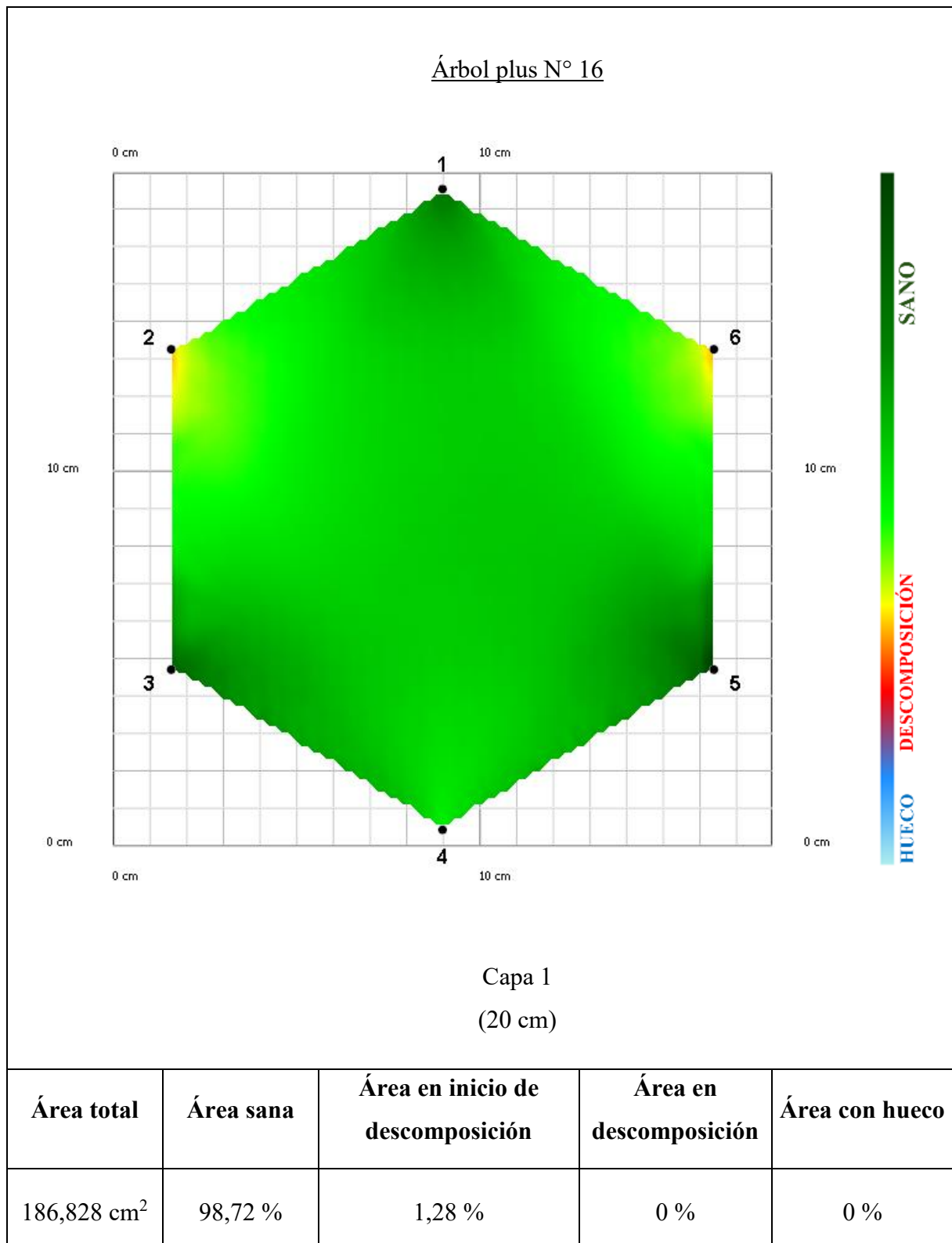
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 33. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 16.

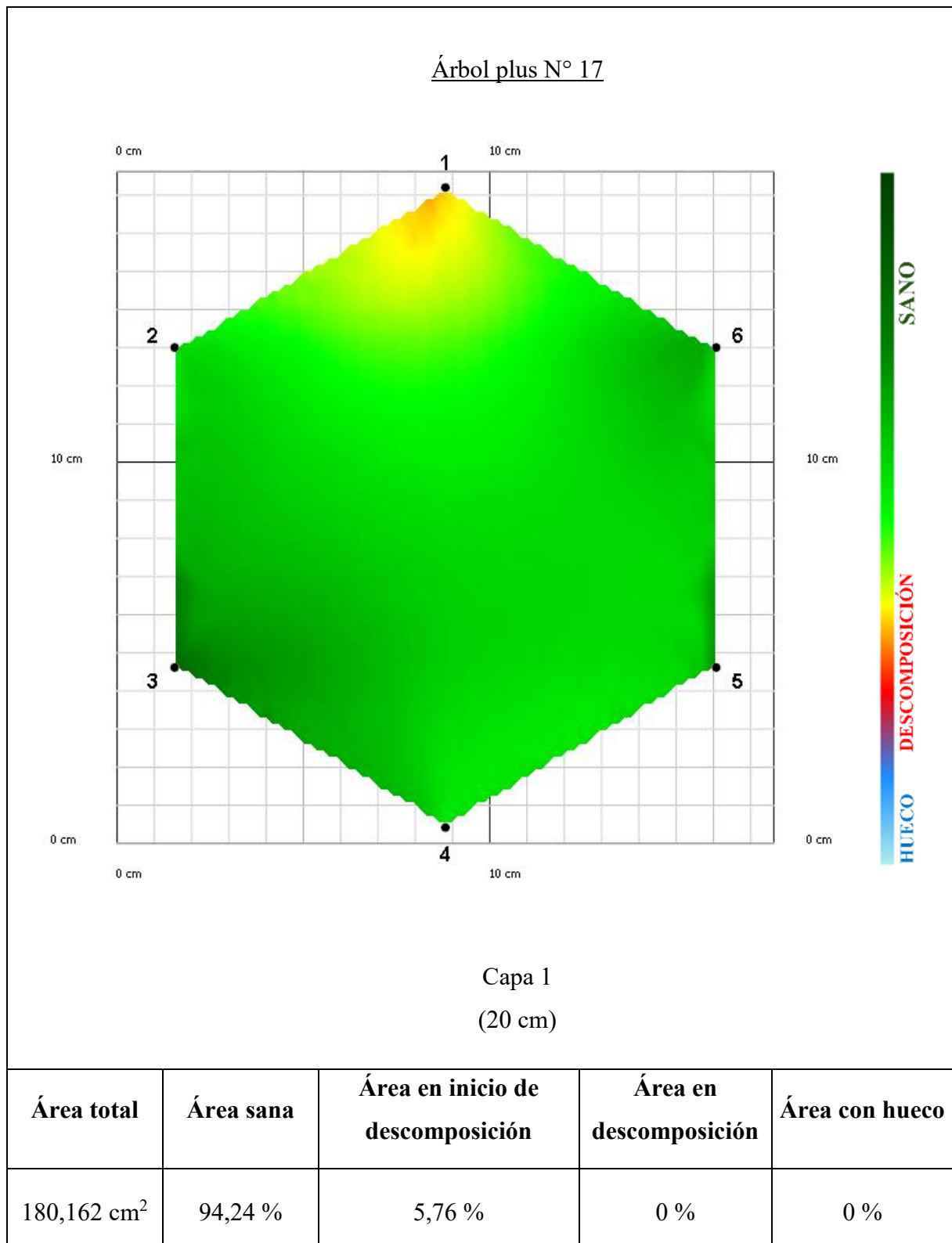
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 34. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 17.

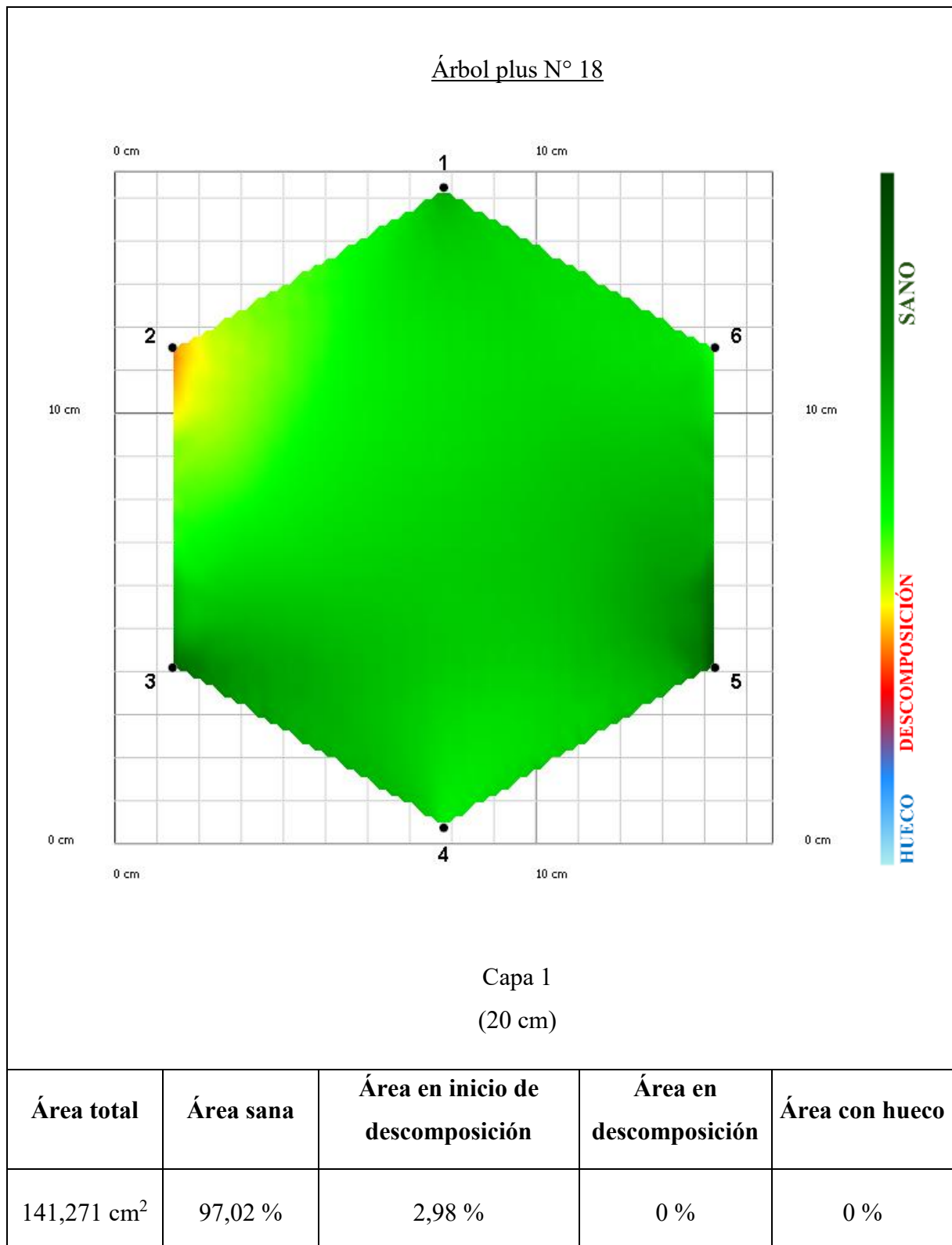
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 35. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 18.

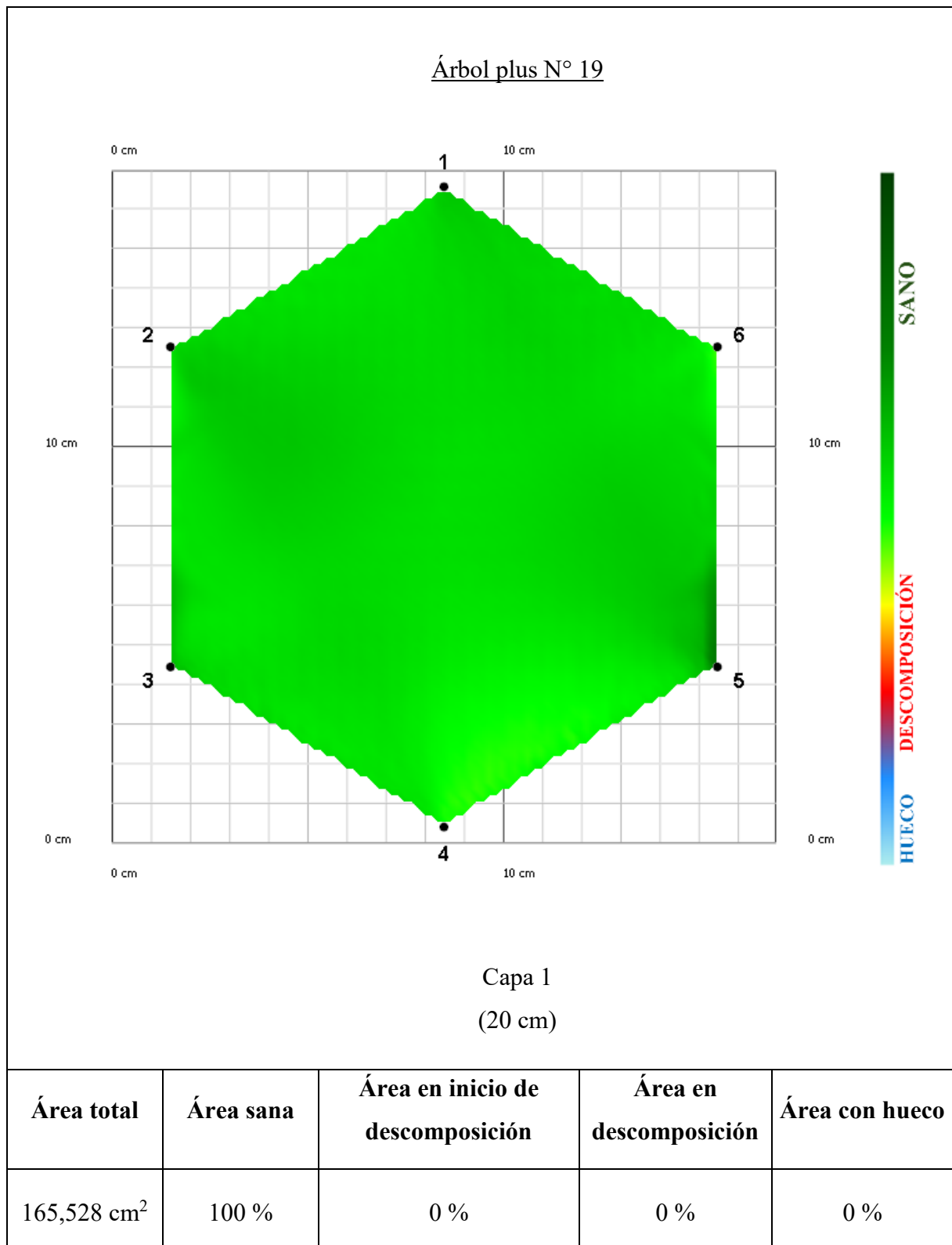
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 36. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 19.

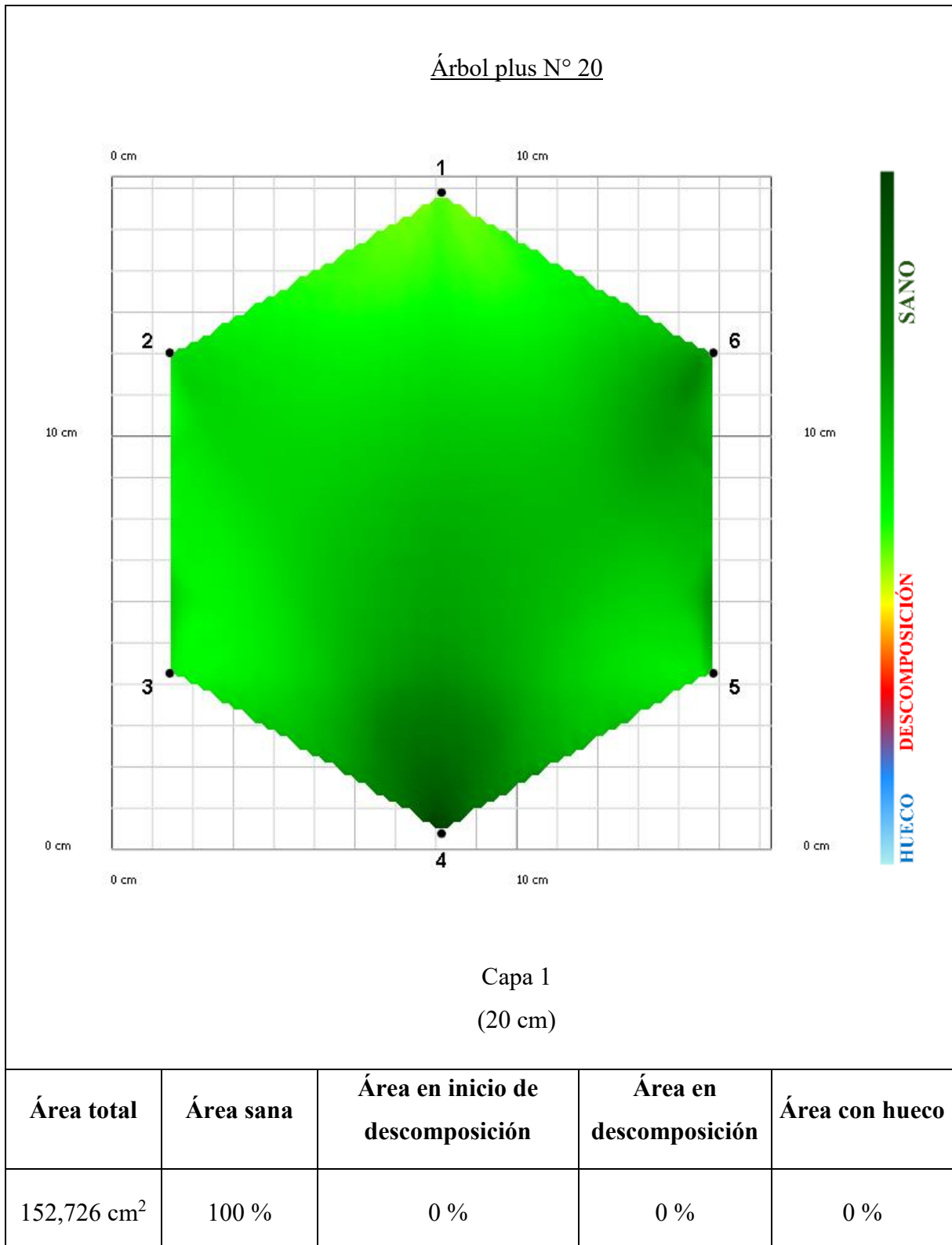
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 37. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 20.

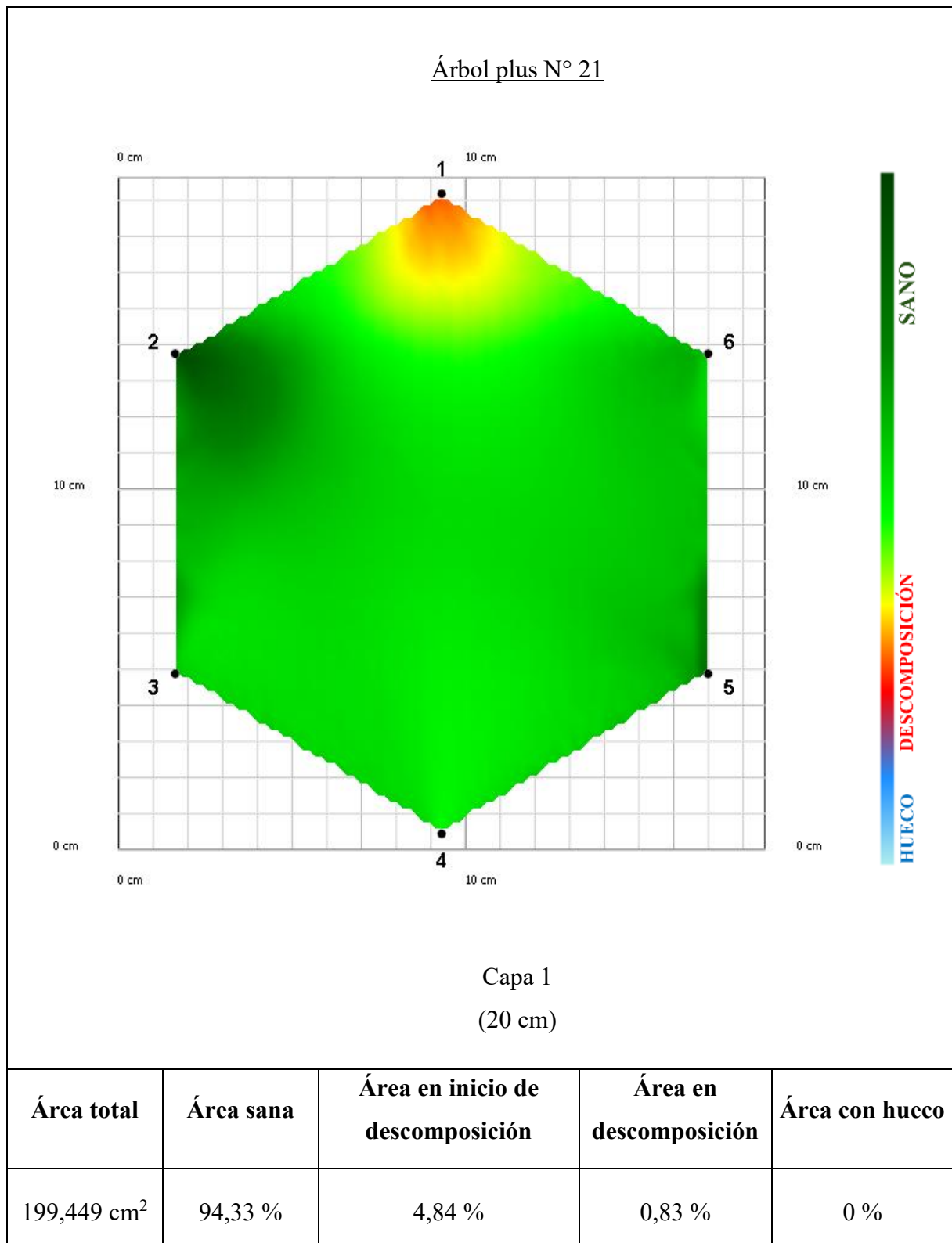
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 38. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 21.

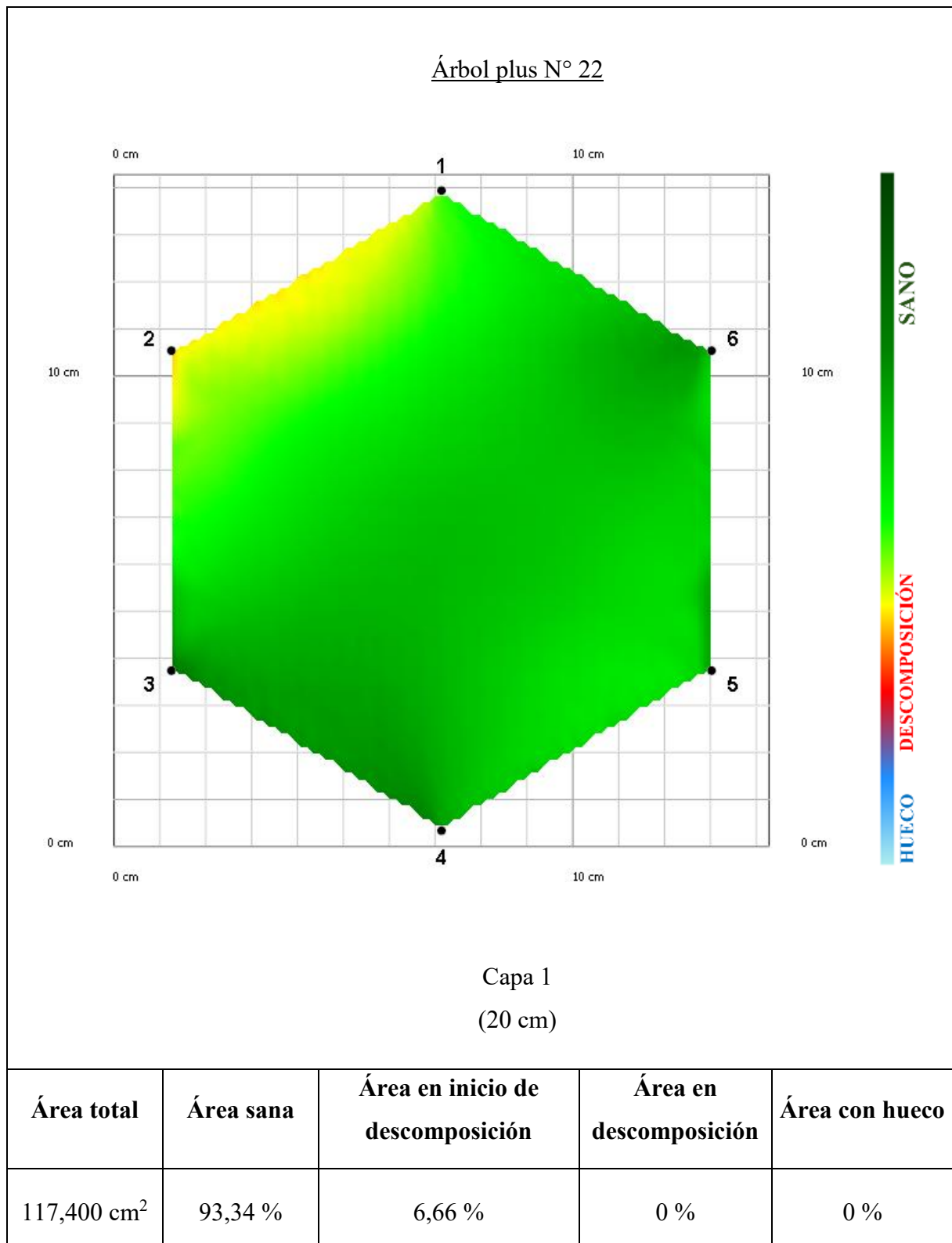
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 39. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 22.

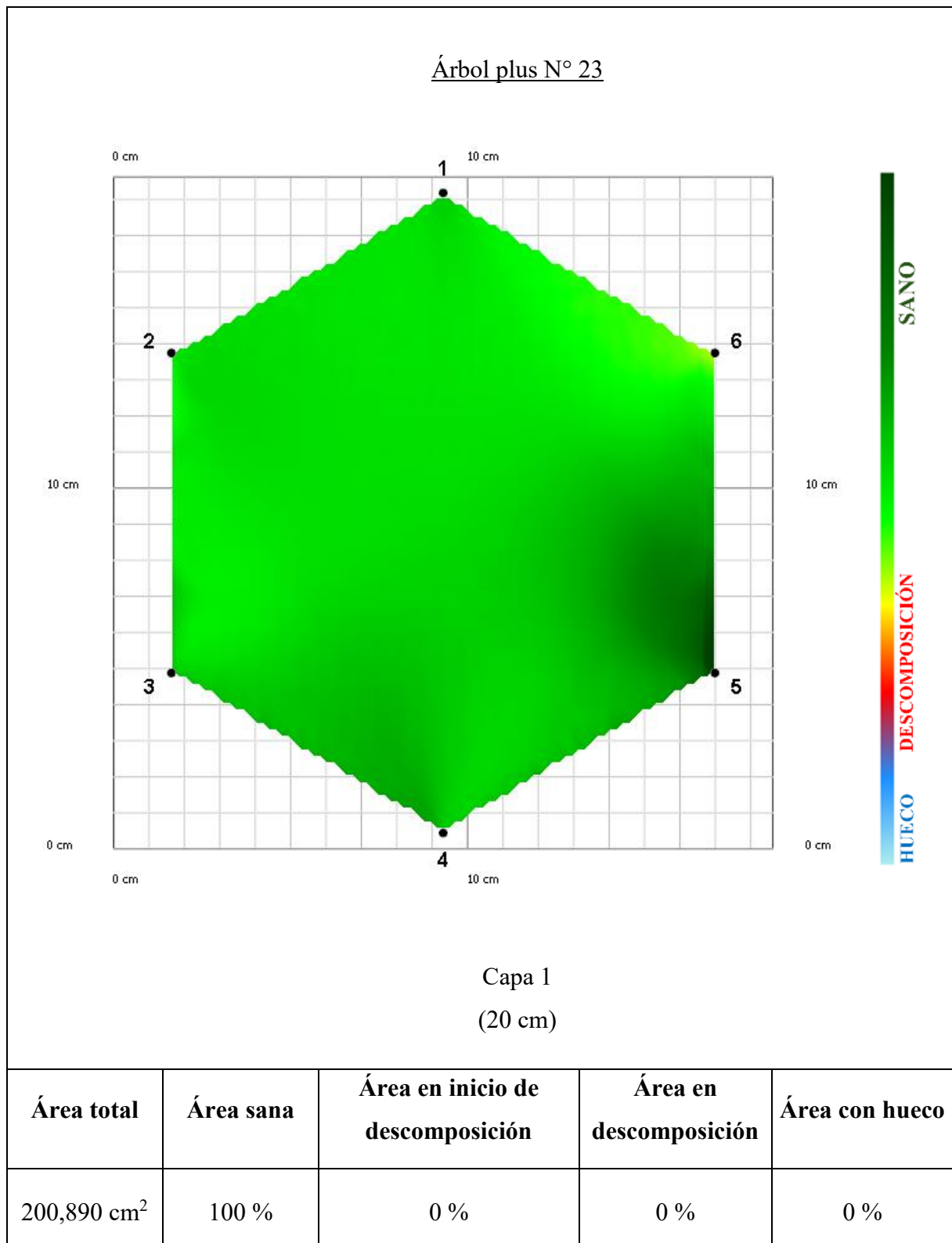
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 40. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 23.

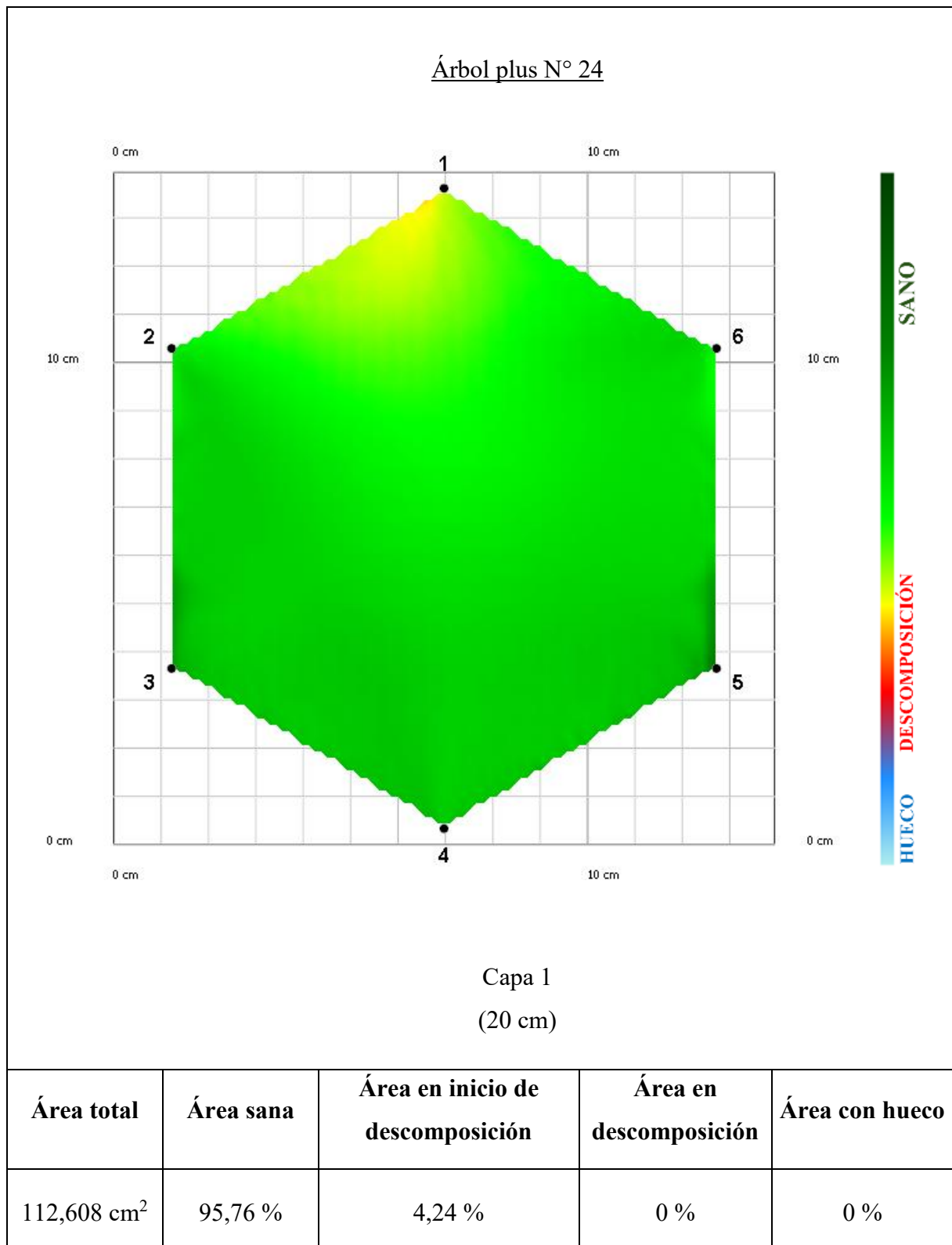
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 41. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 24.

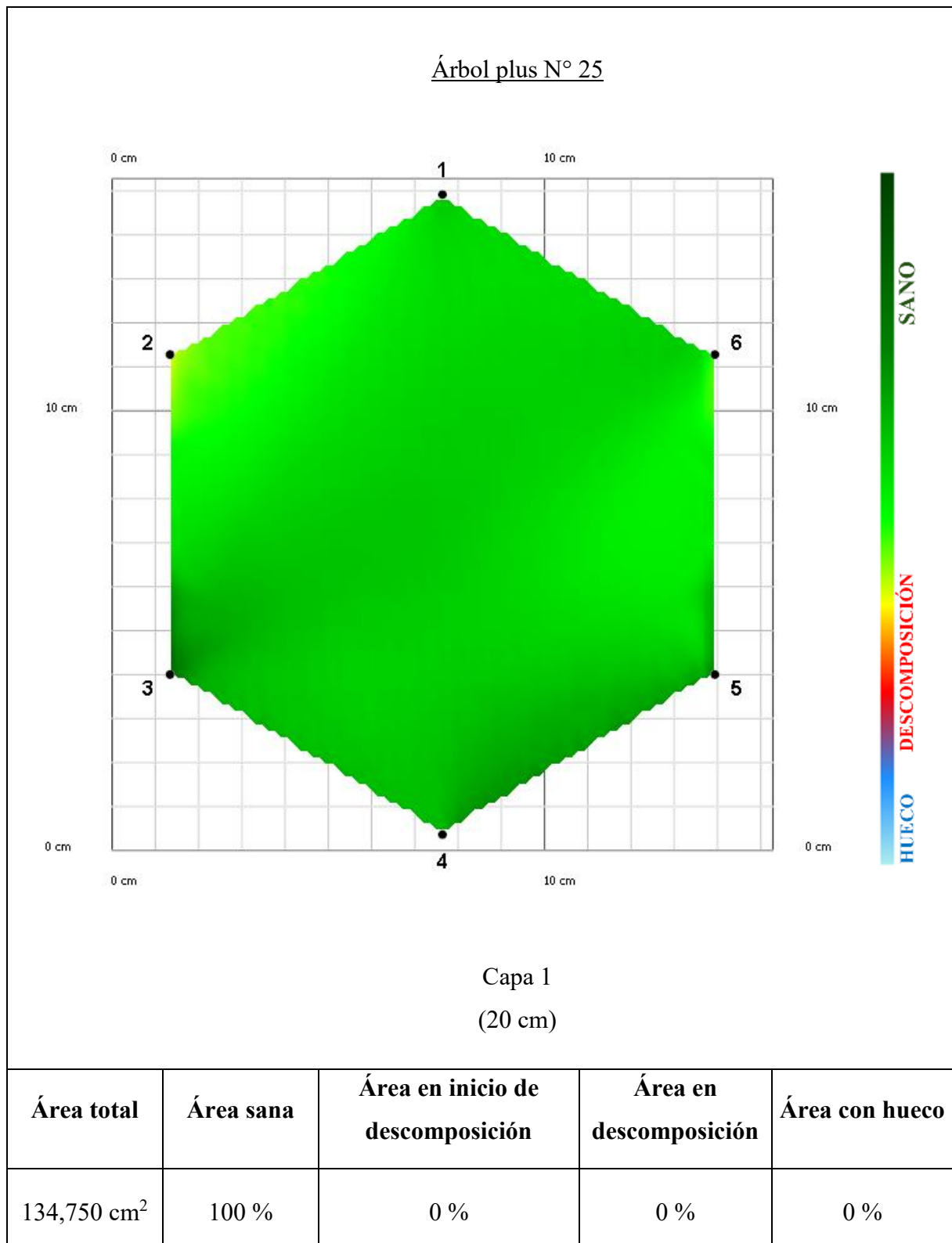
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 42. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 25.

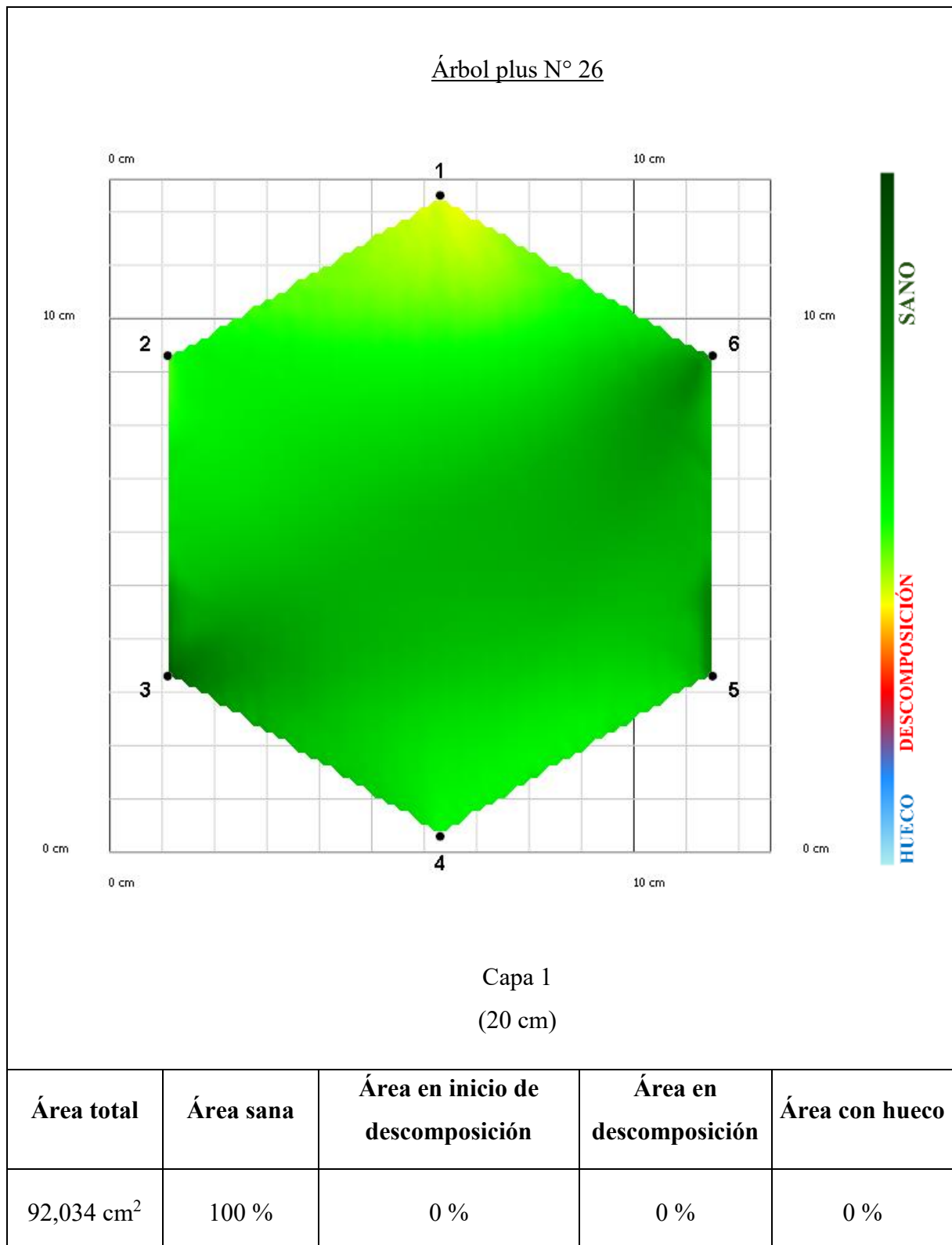
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 43. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 26.

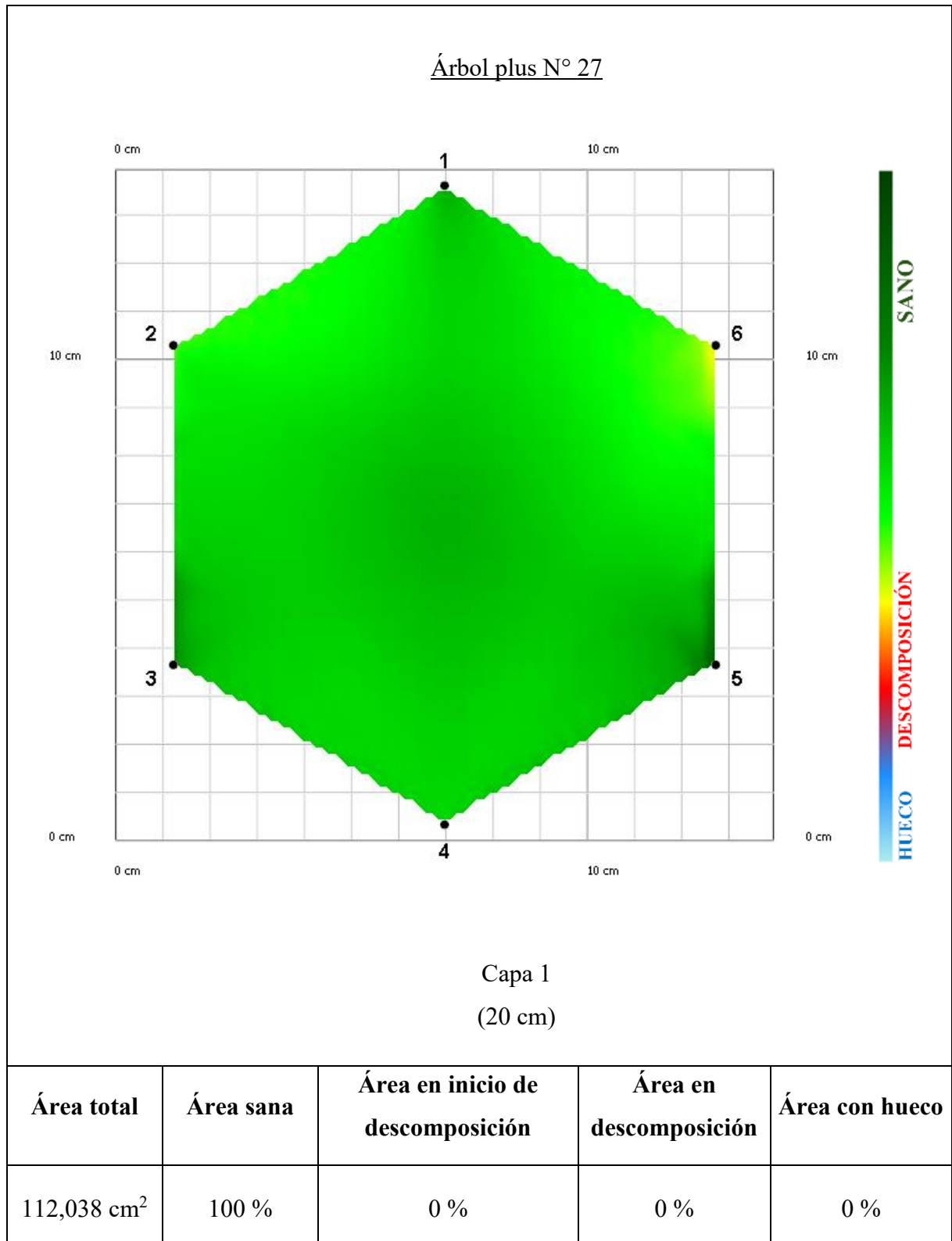
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 44. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 27.

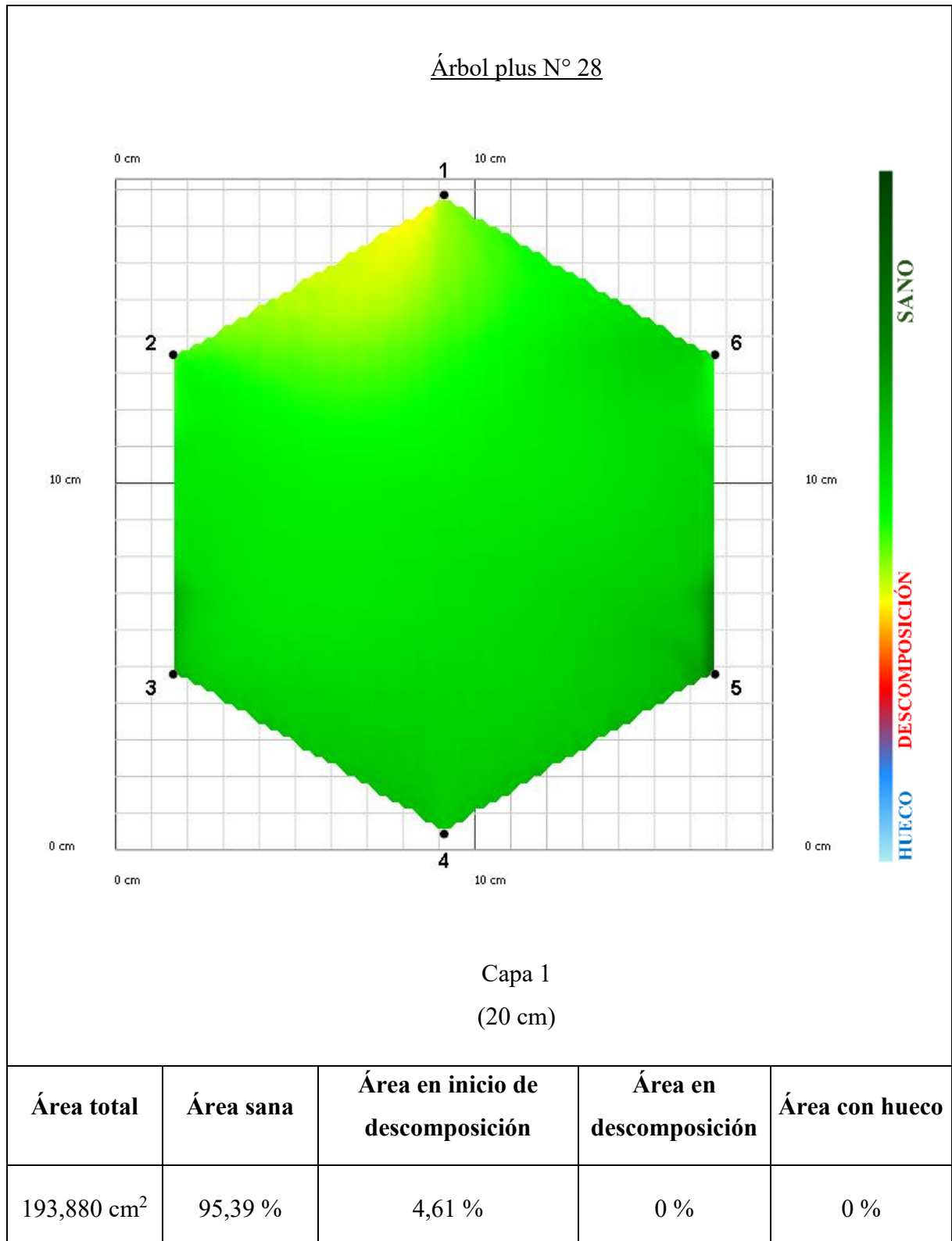
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 45. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 28.

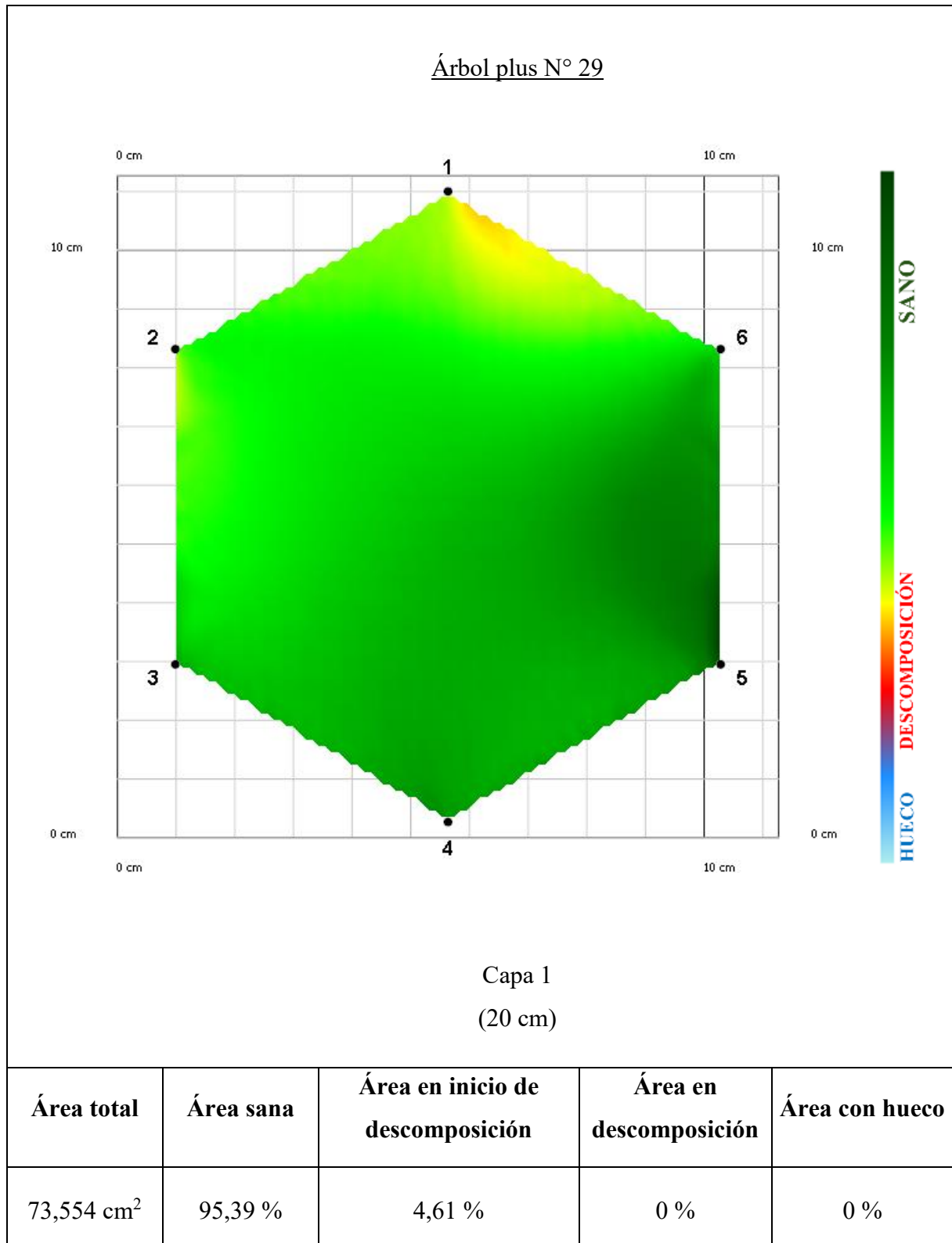
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 46. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 29.

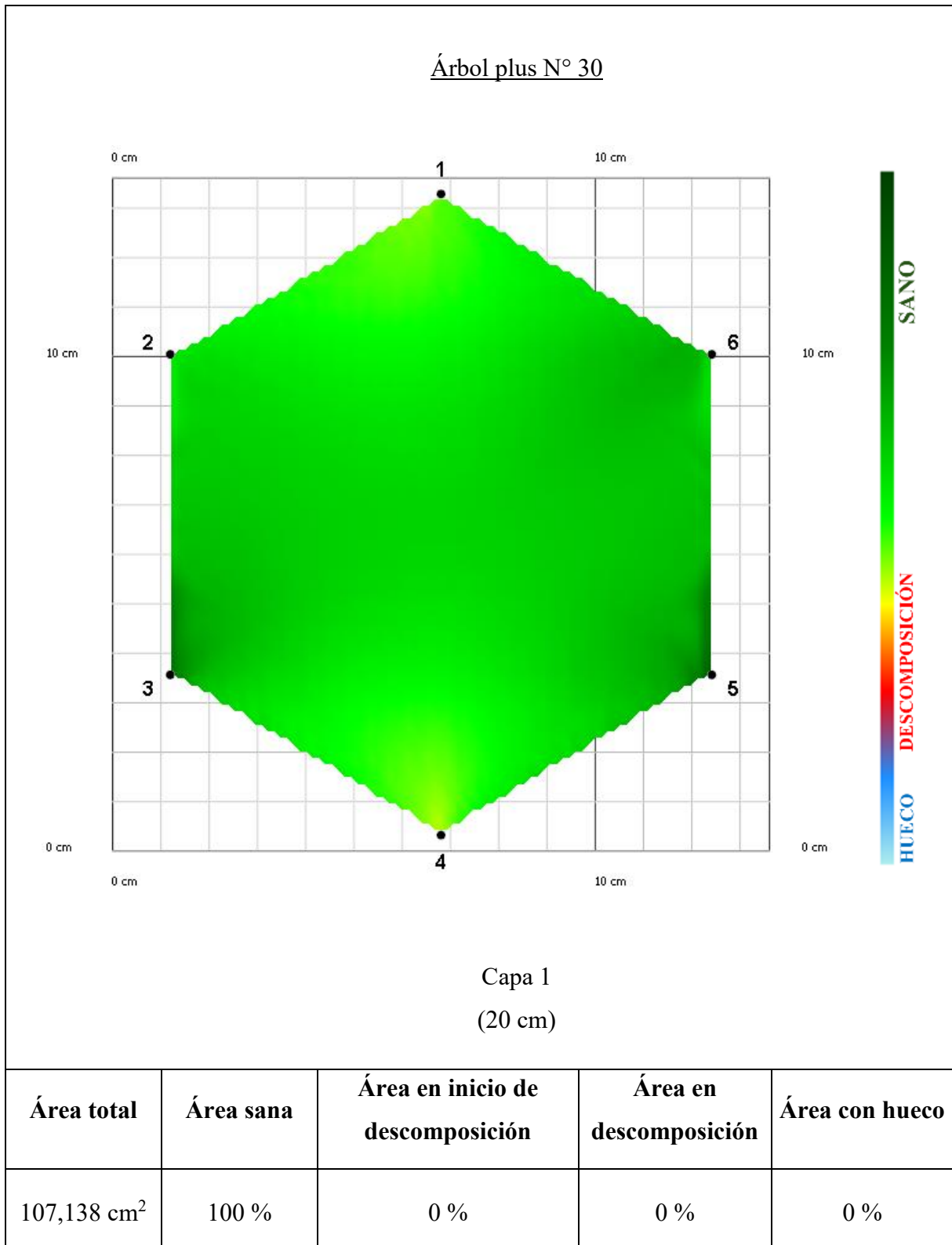
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 47. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 30.

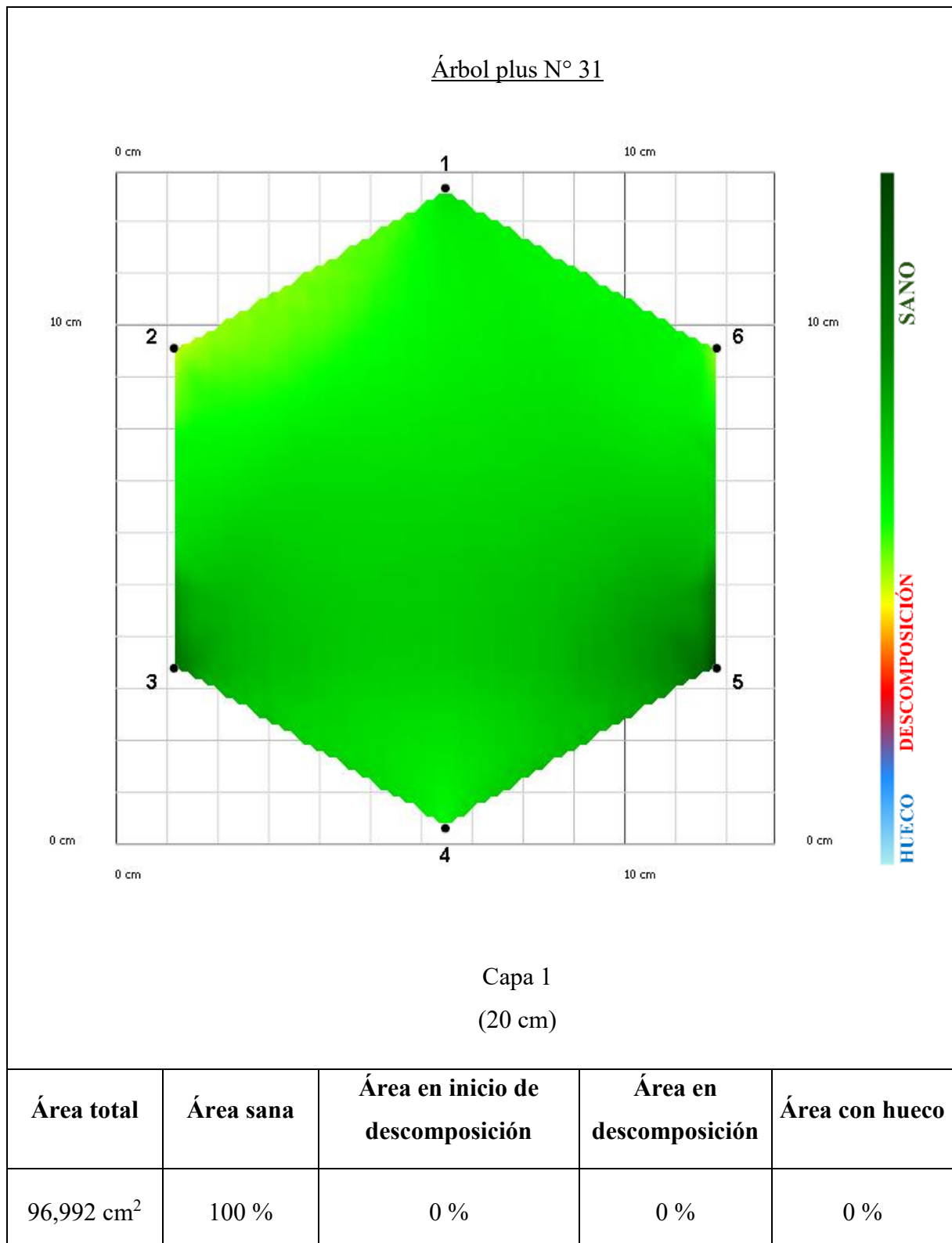
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 48. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 31.

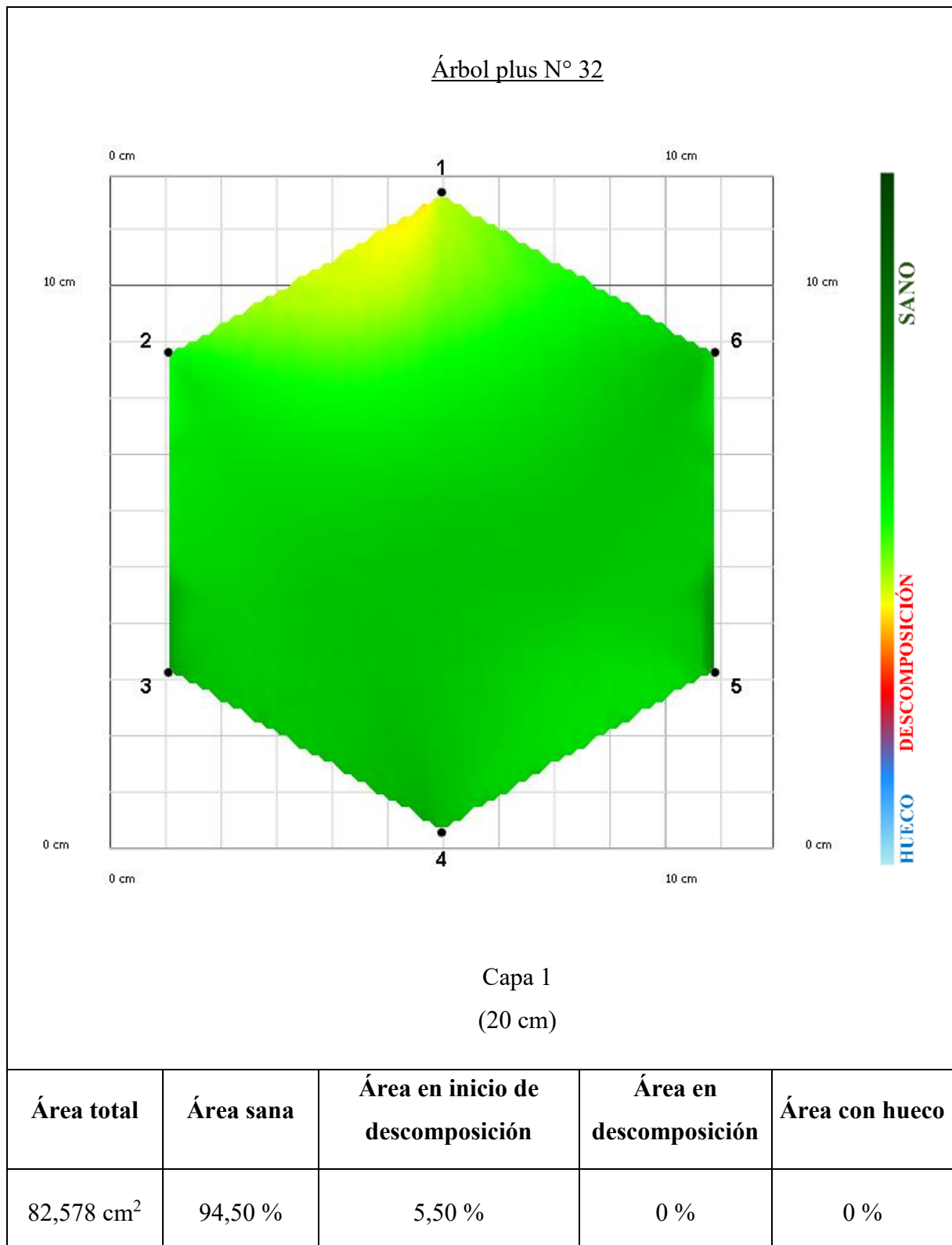
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 49. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 32.

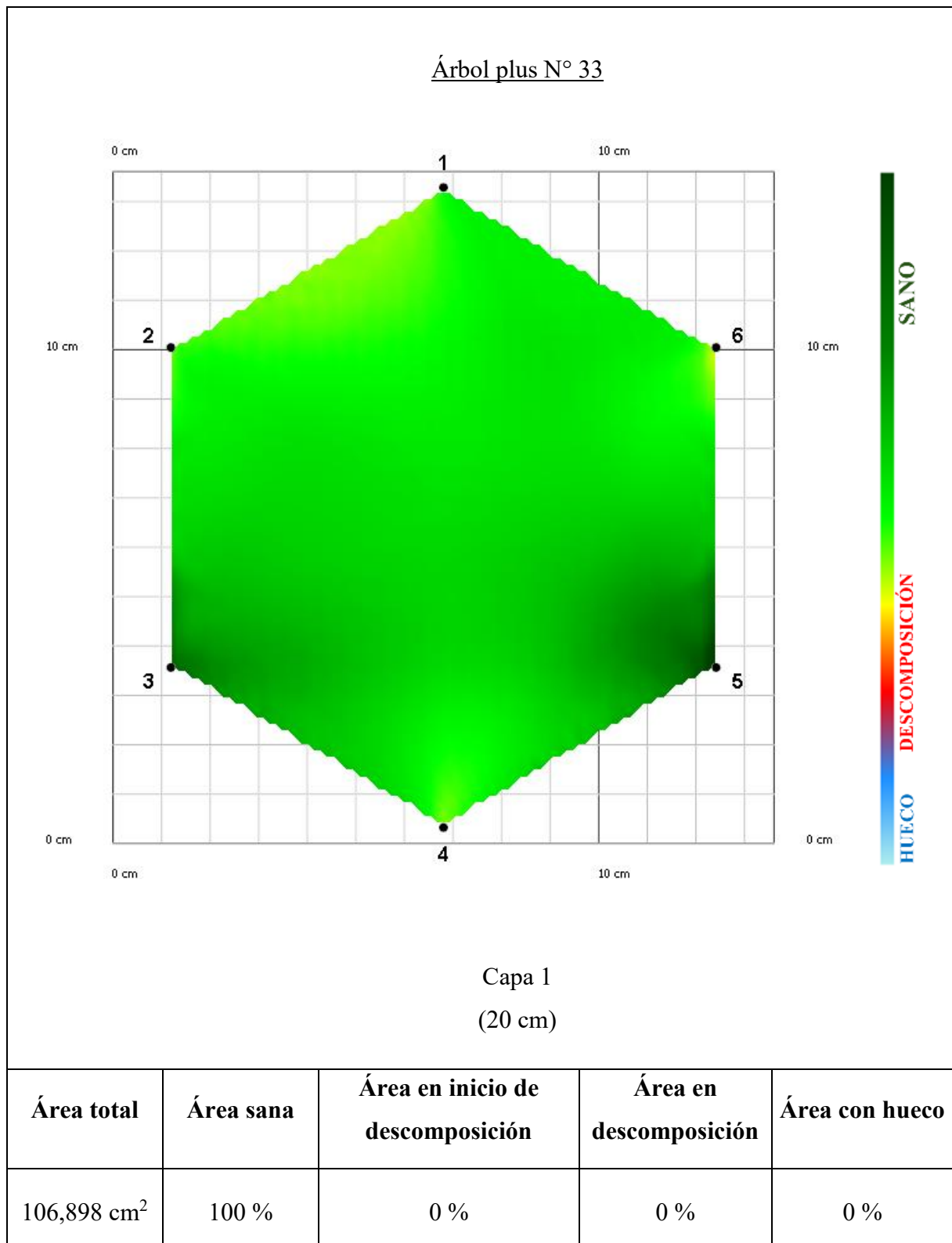
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 50. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 33.

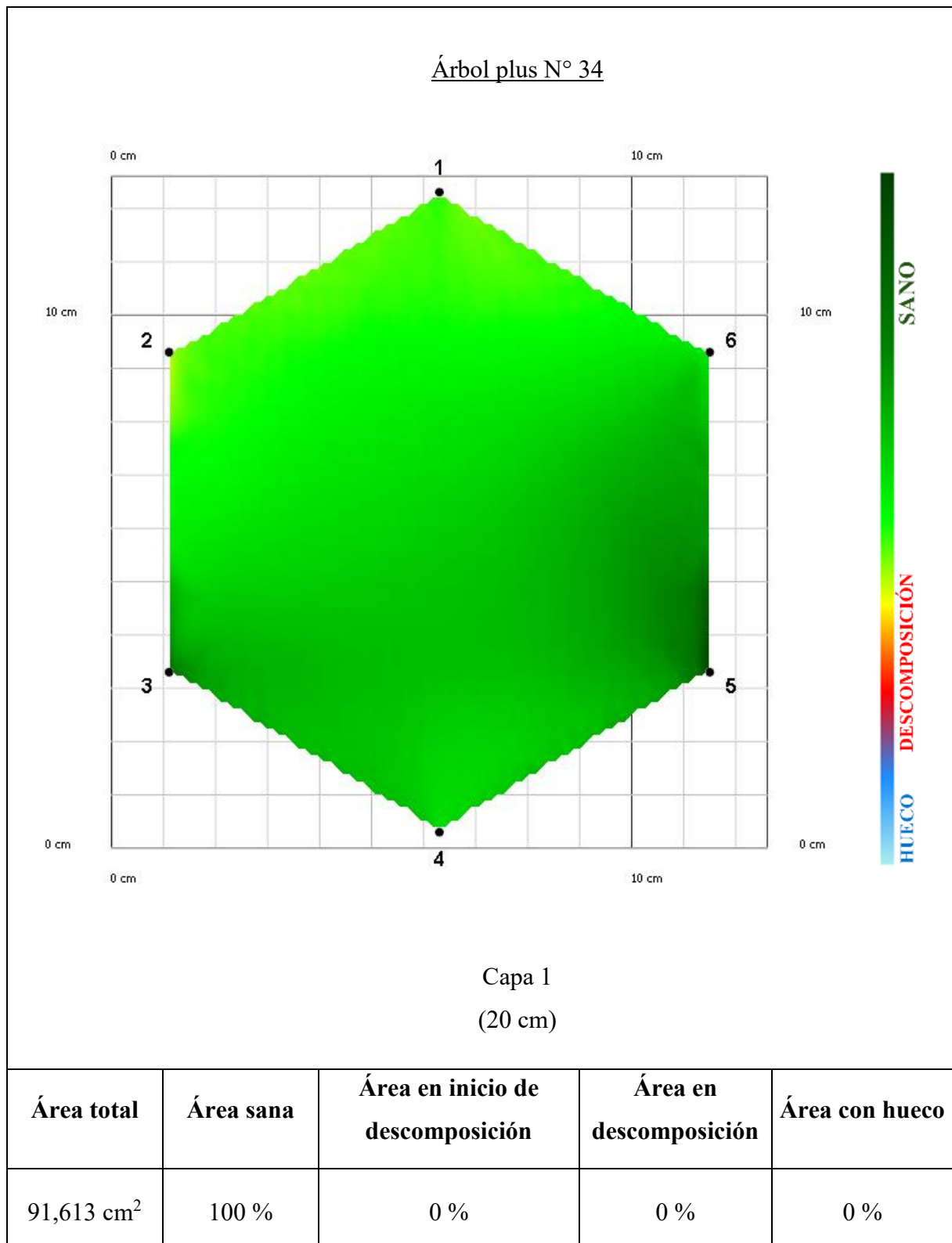
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 51. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 34.

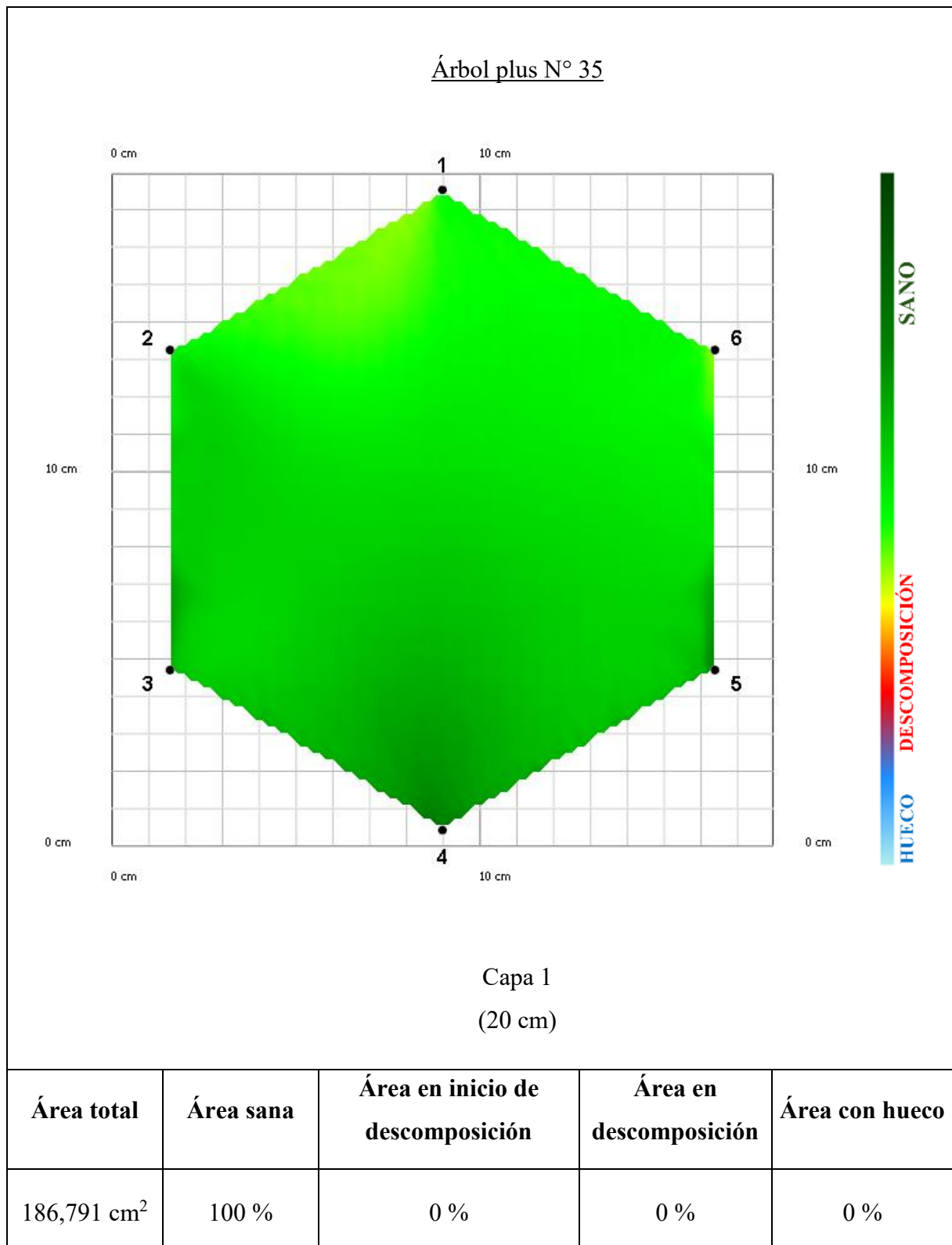
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 52. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 35.

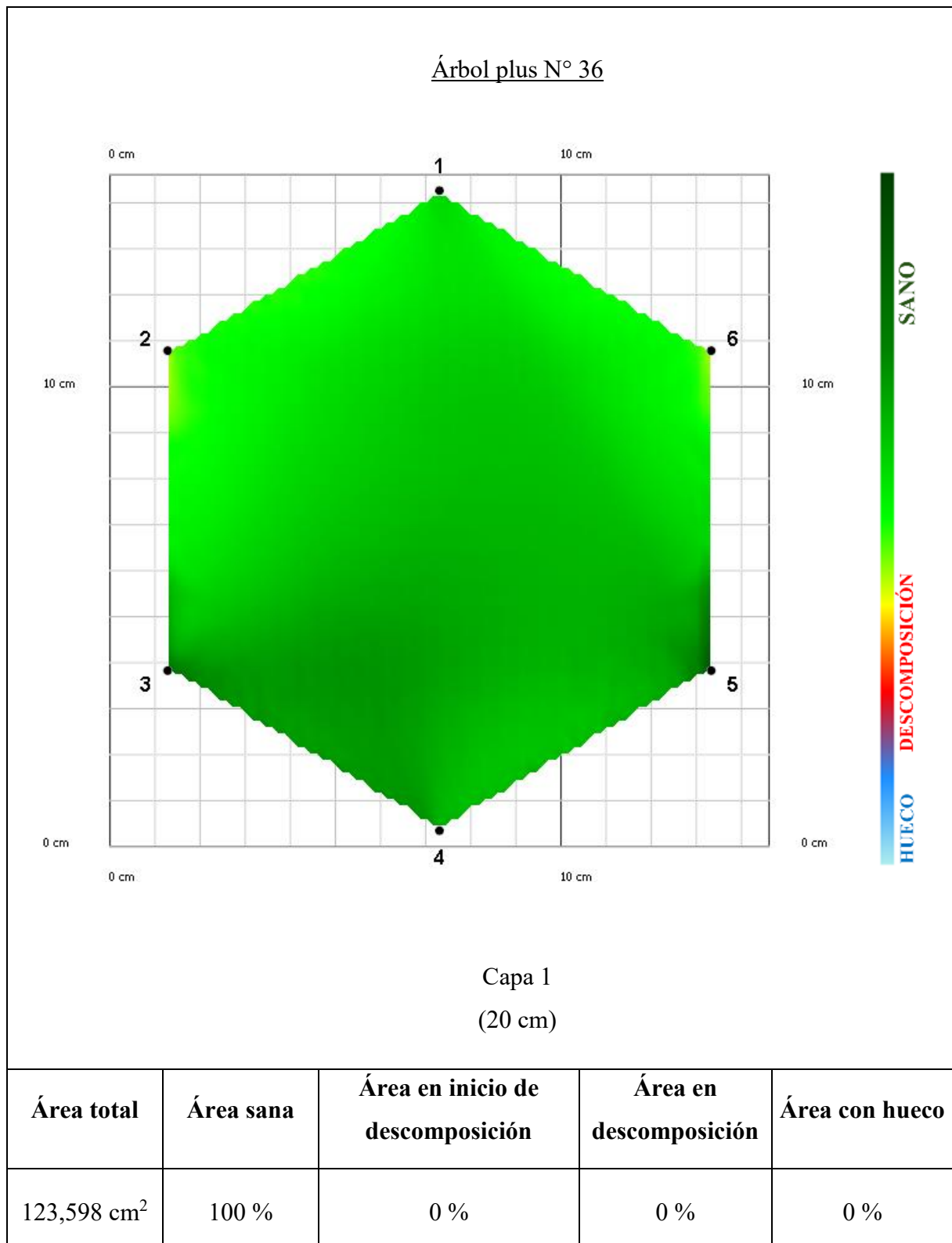
Fecha de evaluación: 27/11/2024Lugar: UNIANombre científico: *Calycophyllum spruceanum*Nombre común: Capirona

Figura 53. Tomograma de la sanidad interna del árbol plus de *C. spruceanum* N° 36.

Anexo C. Datos de la velocidad tangencial y radial del ultrasonido en los árboles plus de *C. spruceanum*

Tabla 13. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 1

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1516	1792	1949	1938	1816		
2	1516		1932	1993	1911	1717		
3	1792	1932		2028	1934	1882	1914	1879
4	1949	1993	2028		1955	1982		
5	1938	1911	1934	1955		2028		
6	1816	1717	1882	1982	2028			

Tabla 14. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 2

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1973	1796	1756	1792	1725		
2	1973		1711	1883	1991	2140		
3	1796	1711		2305	2032	2193	1980	1951
4	1756	1883	2305		1659	1999		
5	1792	1991	2032	1659		2332		
6	1725	2140	2193	1999	2332			

Tabla 15. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 3

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1618	1662	1768	1823	1892		
2	1618		1879	1909	1964	1827		
3	1662	1879		1988	1905	1808	1847	1853
4	1768	1909	1988		1861	1792		
5	1823	1964	1905	1861		1879		
6	1892	1827	1808	1792	1879			

Tabla 16. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 4

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1732	1604	1698	1889	1871		
2	1732		1559	1781	2142	2016		
3	1604	1559		2041	2076	1944	1928	1838
4	1698	1781	2041		1834	1778		
5	1889	2142	2076	1834		1990		
6	1871	2016	1944	1778	1990			

Tabla 17. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 5

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1801	1836	1834	1843	1687		
2	1801		1956	2021	2029	1930		
3	1836	1956		2231	2163	2022	1962	1973
4	1834	2021	2231		2071	2014		
5	1843	2029	2163	2071		2092		
6	1687	1930	2022	2014	2092			

Tabla 18. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 6

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1646	1713	1835	1997	2077		
2	1646		1742	1868	1981	1860		
3	1713	1742		1949	1913	1841	1886	1884
4	1835	1868	1949		1837	1821		
5	1997	1981	1913	1837		2053		
6	2077	1860	1841	1821	2053			

Tabla 19. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 7

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1883	1747	1871	1965	1973		
2	1883		1800	1987	2022	2037		
3	1747	1800		2176	1878	1981	1958	2005
4	1871	1987	2176		1836	2041		
5	1965	2022	1878	1836		2364		
6	1973	2037	1981	2041	2364			

Tabla 20. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 8

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1771	1778	1914	1932	1669		
2	1771		1724	1965	1914	1713		
3	1778	1724		2224	1874	1830	1886	1863
4	1914	1965	2224		1714	1816		
5	1932	1914	1874	1714		2073		
6	1669	1713	1830	1816	2073			

Tabla 21. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 9

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1655	1631	1773	1785	1740		
2	1655		1789	1845	1915	1728		
3	1631	1789		1808	1754	1739	1809	1760
4	1773	1845	1808		1764	1728		
5	1785	1915	1754	1764		1802		
6	1740	1728	1739	1728	1802			

Tabla 22. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 10

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1668	1703	1734	1814	1818		
2	1668		1706	1811	1842	1754		
3	1703	1706		2114	1918	1786	1787	1825
4	1734	1811	2114		1818	1721		
5	1814	1842	1918	1818		1823		
6	1818	1754	1786	1721	1823			

Tabla 23. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 11

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1677	1811	1943	1987	1653		
2	1677		1919	2018	1977	1730		
3	1811	1919		2217	1933	1800	1907	1866
4	1943	2018	2217		1697	1780		
5	1987	1977	1933	1697		2035		
6	1653	1730	1800	1780	2035			

Tabla 24. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 12

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1754	1782	1846	1973	1860		
2	1754		1892	1909	2041	1808		
3	1782	1892		1905	1917	1843	1910	1871
4	1846	1909	1905		1782	1790		
5	1973	2041	1917	1782		2032		
6	1860	1808	1843	1790	2032			

Tabla 25. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 13

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1725	1835	1843	1761	1851		
2	1725		1821	1759	1738	1737		
3	1835	1821		1882	1846	1926	1836	1850
4	1843	1759	1882		1948	1913		
5	1761	1738	1846	1948		1873		
6	1851	1737	1926	1913	1873			

Tabla 26. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 14

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1918	1871	1939	1959	2184		
2	1918		1729	1874	1942	1944		
3	1871	1729		2039	2063	1946	1942	1998
4	1939	1874	2039		2206	1937		
5	1959	1942	2063	2206		1913		
6	2184	1944	1946	1937	1913			

Tabla 27. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 15

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1893	1856	1932	1955	2200		
2	1893		1995	2012	1945	2052		
3	1856	1995		1950	1934	1916	1931	2009
4	1932	2012	1950		2048	1990		
5	1955	1945	1934	2048		1970		
6	2200	2052	1916	1990	1970			

Tabla 28. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 16

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1839	1893	1852	2009	1793		
2	1839		1648	1720	1900	1746		
3	1893	1648		2043	2072	1855	1869	1829
4	1852	1720	2043		1906	1710		
5	2009	1900	2072	1906		1744		
6	1793	1746	1855	1710	1744			

Tabla 29. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 17

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1525	1621	1632	1682	1754		
2	1525		1846	1885	1861	1828		
3	1621	1846		1983	1905	1851	1781	1761
4	1632	1885	1983		1676	1757		
5	1682	1861	1905	1676		1782		
6	1754	1828	1851	1757	1782			

Tabla 30. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 18

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1727	1865	1874	2021	1856		
2	1727		1647	1790	1882	1751		
3	1865	1647		2108	2036	1902	1886	1857
4	1874	1790	2108		1783	1831		
5	2021	1882	2036	1783		2022		
6	1856	1751	1902	1831	2022			

Tabla 31. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 19

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1759	1806	1852	2034	1935		
2	1759		1843	2011	2018	1864		
3	1806	1843		1942	1840	1771	1880	1841
4	1852	2011	1942		1631	1766		
5	2034	2018	1840	1631		1935		
6	1935	1864	1771	1766	1935			

Tabla 32. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 20

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1616	1672	1975	1724	1636		
2	1616		1758	2025	1772	1749		
3	1672	1758		1846	1656	1796	1848	1775
4	1975	2025	1846		1770	2081		
5	1724	1772	1656	1770		2026		
6	1636	1749	1796	2081	2026			

Tabla 33. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 21

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1860	1732	1727	1842	1842		
2	1860		2039	2159	2293	2267		
3	1732	2039		2060	2018	1993	2004	1955
4	1727	2159	2060		1926	1924		
5	1842	2293	2018	1926		2004		
6	1842	2267	1993	1924	2004			

Tabla 34. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 22

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1399	1591	1747	1767	1879		
2	1399		1596	1825	1789	1726		
3	1591	1596		2067	1820	1821	1786	1721
4	1747	1825	2067		1642	1755		
5	1767	1789	1820	1642		1743		
6	1879	1726	1821	1755	1743			

Tabla 35. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 23

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1776	1758	1928	2130	1690		
2	1776		1787	2044	2012	1729		
3	1758	1787		2082	1864	1694	1878	1875
4	1928	2044	2082		1700	1794		
5	2130	2012	1864	1700		2214		
6	1690	1729	1694	1794	2214			

Tabla 36. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 24

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1452	1588	1653	1739	1784		
2	1452		1835	1900	1832	1718		
3	1588	1835		1820	1809	1702	1729	1726
4	1653	1900	1820		1749	1726		
5	1739	1832	1809	1749		1715		
6	1784	1718	1702	1726	1715			

Tabla 37. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 25

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1708	1910	1850	1768	1872		
2	1708		1796	1764	1786	1838		
3	1910	1796		1816	1924	2003	1880	1836
4	1850	1764	1816		2144	1864		
5	1768	1786	1924	2144		1679		
6	1872	1838	2003	1864	1679			

Tabla 38. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 26

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1563	1640	1608	1615	1504		
2	1563		1639	1661	1727	1709		
3	1640	1639		1785	1810	1916	1750	1653
4	1608	1661	1785		1569	1795		
5	1615	1727	1810	1569		1859		
6	1504	1709	1916	1795	1859			

Tabla 39. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 27

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1542	1730	1862	1851	1708		
2	1542		1828	1778	1827	1602		
3	1730	1828		1722	1769	1692	1794	1704
4	1862	1778	1722		1735	1654		
5	1851	1827	1769	1735		1689		
6	1708	1602	1692	1654	1689			

Tabla 40. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 28

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1490	1641	1759	1823	1861		
2	1490		1855	1886	1886	1772		
3	1641	1855		1904	1845	1761	1802	1796
4	1759	1886	1904		1838	1794		
5	1823	1886	1845	1838		1829		
6	1861	1772	1761	1794	1829			

Tabla 41. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 29

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1632	1641	1731	1674	1325		
2	1632		1515	1699	1717	1613		
3	1641	1515		1813	1745	1764	1737	1688
4	1731	1699	1813		1693	1925		
5	1674	1717	1745	1693		2150		
6	1325	1613	1764	1925	2150			

Tabla 42. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 30

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1588	1701	1600	1722	1748		
2	1588		1822	1672	1817	1797		
3	1701	1822		1618	1826	1869	1762	1716
4	1600	1672	1618		1770	1709		
5	1722	1817	1826	1770		1748		
6	1748	1797	1869	1709	1748			

Tabla 43. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 31

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1499	1727	1712	1807	1683		
2	1499		1739	1696	1769	1606		
3	1727	1739		1718	1863	1732	1738	1695
4	1712	1696	1718		1777	1696		
5	1807	1769	1863	1777		1754		
6	1683	1606	1732	1696	1754			

Tabla 44. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 32

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1408	1585	1723	1733	1661		
2	1408		1785	1877	1786	1649		
3	1585	1785		1811	1704	1736	1748	1685
4	1723	1877	1811		1625	1778		
5	1733	1786	1704	1625		1820		
6	1661	1649	1736	1778	1820			

Tabla 45. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 33

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1460	1600	1600	1880	1837		
2	1460		1693	1766	1959	1705		
3	1600	1693		1927	2010	1683	1747	1714
4	1600	1766	1927		1687	1543		
5	1880	1959	2010	1687		1680		
6	1837	1705	1683	1543	1680			

Tabla 46. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 34

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1687	1800	1828	1889	1639		
2	1687		1746	1830	1876	1741		
3	1800	1746		1959	1964	1886	1863	1828
4	1828	1830	1959		1801	1917		
5	1889	1876	1964	1801		2136		
6	1639	1741	1886	1917	2136			

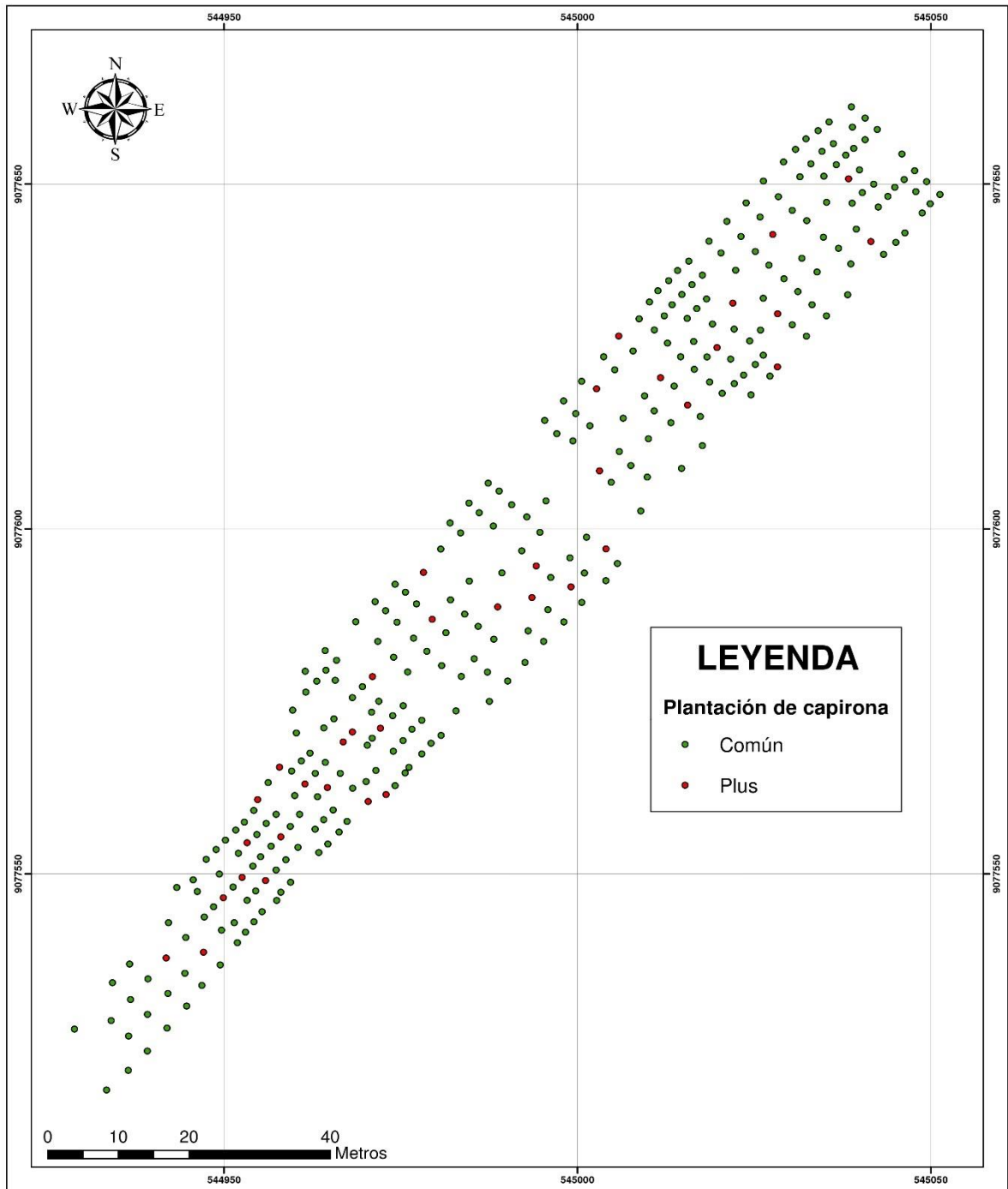
Tabla 47. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 35

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1463	1620	1829	1773	1697		
2	1463		1875	1945	1784	1617		
3	1620	1875		1821	1713	1639	1751	1718
4	1829	1945	1821		1728	1743		
5	1773	1784	1713	1728		1723		
6	1697	1617	1639	1743	1723			

Tabla 48. Velocidades del ultrasonido en el árbol plus de *C. spruceanum* N° 36

Sensores	1	2	3	4	5	6	Velocidad radial (m/s)	Velocidad tangencial (m/s)
1		1516	1576	1690	1754	1567		
2	1516		1497	1717	1747	1635		
3	1576	1497		1916	1840	1660	1699	1621
4	1690	1717	1916		1611	1597		
5	1754	1747	1840	1611		1616		
6	1567	1635	1660	1597	1616			

Anexo D. Mapa de dispersión





 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL</p> 		
<p>MAPA DE DISPERSIÓN DE LA PLANTACIÓN <i>Calycophyllum spruceanum</i> (CAPIRONA)</p>		
<p>Tesista: Bach. Alexis Junior Panduro Pezo</p>	<p>UBICACIÓN POLÍTICA Región : Ucayali Provincia : Coronel Portillo Distrito : Yarinacocha</p>	<p>Fecha: Diciembre 2024</p>
<p>Asesores: Ing. MSc. Brayan Andre Caldas de la Cruz Ing. Gloria Patricia Cárdenas Rengifo Ing. MSc. Karen Stephanny Córdova Flores</p>	<p>Sistema de Proyección Geográfica: UTM Zona 18 Sur DATUM - WGS 1984</p>	<p>Escala: 1:494</p> <p>Lámina N° 01</p>



Figura 54. Mapa de dispersión de la plantación *C. spruceanum*.

Anexo E. Panel fotográfico



Figura 55. Plantación de *C. spruceanum* de 7 años.

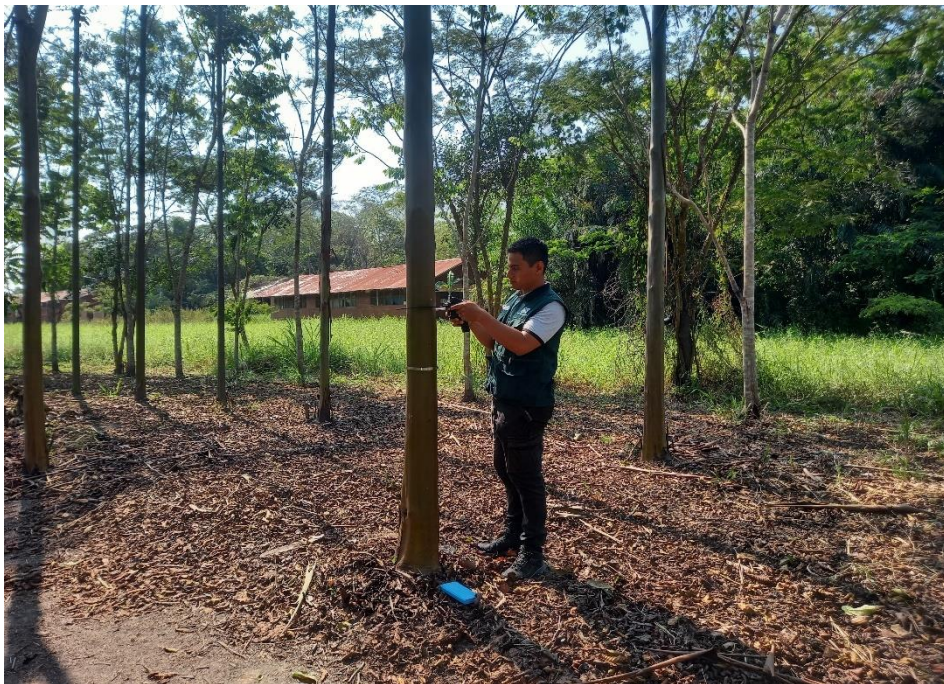


Figura 56. Medición de diámetros de los árboles de *C. spruceanum*.



Figura 57. Medición de la altura total y comercial de los árboles de *C. spruceanum*.



Figura 58. Sensores colocados en el árbol de *C. spruceanum*.



Figura 59. Medición de velocidades del árbol de *C. spruceanum*.



Figura 60. Aplicación del Sanix en los árboles de *C. spruceanum*.



Figura 61. Visita de los miembros del jurado a la plantación de *C. spruceanum*.



Figura 62. Inspección de la plantación de *C. spruceanum* por los miembros del jurado.