



Facultad de
Ciencias
Agrarias y
Forestales



INFORME FINAL

ACCIÓN 5: EVALUACIÓN FINAL DE LAS PLANTACIONES *CITRONELLA* *MUCRONATA*

Autores: Dr. Rómulo Santelices y Dr. Antonio M. Cabrera
Mag. Cristián Sepúlveda

Octubre 2025



Tabla de contenido

1. Antecedentes.....	1
2. Introducción.....	2
3. Resultados	3
2.2 Variables morfológicas.....	3
2.3 Variables fisiológicas	11
4. Conclusiones	19



1. Antecedentes

La Empresa Eléctrica Portezuelo SpA, al no haber implementado oportunamente la medida de compensación correspondiente al enriquecimiento de 9,25 ha con 3.700 ejemplares de *Citronella mucronata* (naranjillo), se encuentra obligada a dar cumplimiento a lo establecido en la RCA N° 7/2013 y en la Resolución N° 14/2016, referentes a la ejecución de dicha acción de enriquecimiento. Adicionalmente, la empresa se compromete a incorporar 300 ejemplares más y a compensar los efectos negativos derivados de la pérdida de producción y crecimiento ocasionados por la implementación tardía de este compromiso.

En este marco, se celebra el presente contrato tecnológico con el Centro del Secano de la Universidad Católica del Maule, con el propósito de realizar el seguimiento y la evaluación de la repoblación efectuada.

2. Introducción

El presente informe expone el seguimiento efectuado a la repoblación de *Citronella mucronata* (Ruiz & Pav.) D. Don, realizada en el área de quebrada de Medina, comuna de Colbún, Región del Maule. Esta repoblación se llevó a cabo durante el invierno de 2022, en el marco de un proyecto orientado a la restauración de la biodiversidad del bosque nativo. En total, se establecieron 4.002 individuos distribuidos en 10 rodales (Figura 1).

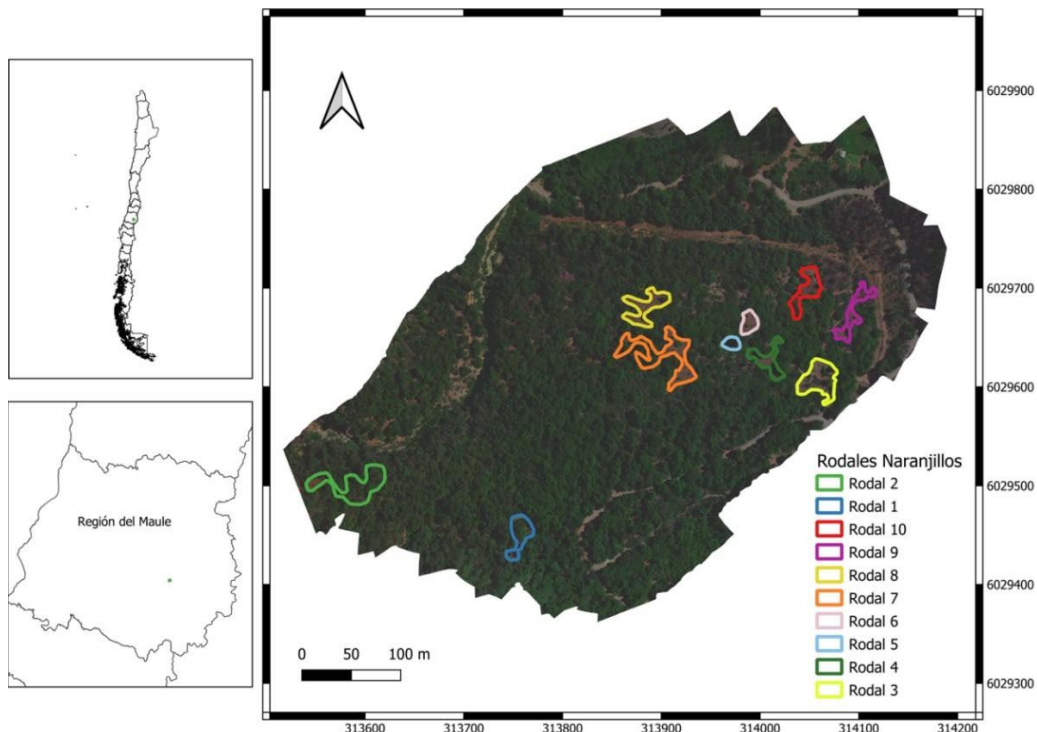


Figura 1: Disposición de los rodales de Naranjillo en la zona de estudio

Cuadro ubicación rodales y cantidad de plantas

Rodal N°	Coordenadas		Cantidad Plantas/Rodal
	E	N	
1	313.605	6.029.493	480
2	313.750	6.029.473	201
3	314.077	6.029.585	499
4	314.013	6.029.633	412
5	313.967	6.029.641	52
6	313.982	6.029.659	220
7	313.935	6.029.646	974
8	313.898	6.029.677	533
9	314.077	6.029.659	417
10	314.062	6.029.700	214
Total			4.002

El objetivo de este informe es evaluar el éxito de la repoblación de *C. mucronata*, analizando el crecimiento y la supervivencia de los ejemplares en el sitio de plantación.



Para complementar esta evaluación, se incorpora el uso de una herramienta de teledetección que permite obtener información más precisa y detallada sobre el estado de la vegetación. Esta metodología consiste en la captura de imágenes multiespectrales mediante un dron, con las que se calculan valores del índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de la zona.

El NDVI es un indicador ampliamente utilizado para evaluar la salud y el vigor de la vegetación, ya que refleja tanto la cantidad como la calidad de la cobertura vegetal. En etapas posteriores, cuando la repoblación esté más desarrollada y las plantas alcancen un mayor crecimiento, este índice permitirá determinar su vigor y capacidad de adaptación a las condiciones del sitio de plantación.

La captura de imágenes multiespectrales mediante dron ofrece datos de alta resolución espacial y temporal, lo que resulta especialmente útil para monitorear de manera continua el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, se trata de una herramienta no invasiva, que no requiere intervención directa en el sitio, minimizando así los impactos sobre la vegetación y el ecosistema.

En síntesis, la aplicación del NDVI a partir de imágenes multiespectrales obtenidas con dron constituye una estrategia efectiva para disponer de información detallada y confiable sobre el estado de la repoblación de *C. mucronata*, lo que contribuirá al análisis de los resultados del seguimiento y a la toma de decisiones en futuros proyectos de restauración y conservación de la biodiversidad.

3. Resultados

2.2 Variables morfológicas

La evaluación del crecimiento y desarrollo de especies forestales constituye un aspecto clave en proyectos de restauración y conservación de bosques. En este estudio se analizaron los resultados de altura, diámetro y crecimiento de *Citronella mucronata*. La medición de estos parámetros resulta fundamental para determinar el éxito de la repoblación forestal y la viabilidad de la especie en el sitio de estudio.

Los resultados obtenidos entregan información relevante para el diseño e implementación de futuros proyectos de restauración en la región, así como para la toma de decisiones en materia de manejo y conservación de la biodiversidad.

A continuación, en las Tablas 1 a 10, se presentan los resultados correspondientes a los 10 rodales evaluados tras el establecimiento del ensayo durante el verano de 2023.

Tabla 1: Datos crecimiento Rodal 1

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	3	15	10	14	4	29	4
2	4	21	5	15	3	14	0
3	2	9	0	16	0	0	0
4	0	0	0	17	2,5	14	0
5	2	11	2	18	2	30	10
6	2	12	0	19	3	12	0
7	2	10	0	20	2	23	0
8	2	11	0	21	2	16	0
9	2	12	0	22	2,5	28	0
10	2	12	3	23	2	15	0
11	3	22	0	24	4	42	8
12	2	8	0	Media		2,38	16,54
13	4	31	8	sd		1,05	3,48

Tabla 2: Datos crecimiento Rodal 2

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	3	7	12	7	3	4	13
2	4	0	15	8	3	0	15
3	4	5	13	9	2,5	4	15
4	3	0	18	10	3	3	21
5	3	4	10	Media	3,15	2,9	15
6	3	2	18	sd	0,48	2,38	3,27

Tabla 3: Datos crecimiento Rodal 3

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	4	5	23	14	2	0	7
2	2	4	13	15	2	2,5	15,5
3	2,5	3	19	16	5	5	25
4	3	3	15	17	4	4	15
5	3	2	18	18	3,5	4	19
6	3,5	3	16	19	3	0	13
7	2	6	17	20	3	0,5	10,5
8	2,5	0	9	21	4	3	18
9	2,5	3	15	22	3,5	2	18
10	3,5	0	12,5	23	0	0	0
11	3	3	15	24	3,5	3	17
12	2	0	8	25	2,5	2	11
13	3,5	4	27	Media	2,92	2,48	15,06
				sd	0,99	1,80	5,78

Tabla 4: Datos crecimiento Rodal 4

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	2	3	8	12	2,5	1	10,5
2	2,5	0	9	13	3	3	16
3	2	0	10	14	2	2,5	10,5
4	2	2	12	15	2	0	4
5	3	0	9	16	2,5	1	15
6	2,5	1	6	17	3	1	12
7	0	0	0	18	2	1	8
8	2	0	7	19	2,5	2	16
9	3,5	0	11	20	3,5	4	17
10	2	1	10	Media	2,33	1,13	9,80
11	2	0	5	sd	0,75	1,23	4,30

Tabla 5: Datos crecimiento Rodal 5

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	3,5	1,5	11,5
2	3	0	8
3	3	0	11
Media	3,17	0,50	10,17
sd	0,29	0,87	1,89



Tabla 6: Datos crecimiento Rodal 5

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	2	0	12
2	2	2	9
3	2,5	1	9,5
4	4	1	13
5	2	1	9
6	2,5	1	12,5
7	0	0	0
8	3	2	20
9	2,5	1	12
10	2,5	1,5	14,5
Media	2,30	1,00	11,15
sd	1,01	0,71	5,08

Tabla 7: Datos crecimiento Rodal 7

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	2,5	5	18	26	2,5	4	11
2	2	5	16	27	1,5	4	11
3	2,5	5	19	28	2,5	0	13
4	3	1	18	29	1,5	2	10
5	4	0	12	30	3	6	19
6	2,5	0	18	31	3	6	16
7	3	0	21	32	2,5	6	18
8	3	0	9	33	2,5	3	16
9	2,5	1	19	34	3	6	15
10	2	0	15	35	2,5	0	8
11	2	4	14	36	2	2	8
12	2	1	9	37	2	4	15
13	2	1	9,5	38	2,5	6	16
14	2	1	17	39	2,5	3	15
15	2,5	0	7	40	3	5	13
16	2,5	1	11	41	2,5	0	12
17	2,5	1	11	42	3	4	13
18	2	1	12	43	4	7	24
19	4	4	18	44	3	3	13
20	2	0	12	45	3	0	15
21	2,5	3	11	46	0	0	0
22	2,5	1	11	47	3	4	13
23	2,5	4	13	48	2	4	11
24	3	1	11	49	2,5	9	22
25	2	0	9	Media	2,50	2,61	13,62
				sd	0,66	2,39	4,36

Tabla 8: Datos crecimiento Rodal 8

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	2,5	5	18	15	3,5	6	16
2	2,5	2	20	16	2	3	18
3	2	4	19	17	2,5	7	30
4	2,5	0	15	18	2	3,5	17,5
5	5	3	20	19	3	5	22
6	4	0	18	20	3	7	27
7	0	0	0	21	2,5	0	10
8	4,5	6	29	22	0	0	0
9	4,5	6	26	23	3	0	15
10	2,5	3	19	24	0	0	0
11	4	6	23	25	3,5	0	14
12	3	4	24	26	2,5	5	19
13	4	6	21	27	3,5	0	15
14	3,5	3	20	Media	2,80	3,13	17,61
				sd	1,29	2,58	7,82

Tabla 9: Datos crecimiento Rodal 9

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	2,5	5	12	12	2	0	8
2	2,5	8	23	13	2	4	17
3	3	5	18	14	2,5	0	12
4	2	0	10	15	2,5	6	22
5	6	5	18	16	3,5	5	22
6	2	6	15	17	2,5	4	19
7	2	5	15	18	3	4	18
8	0	0	0	19	2	0	10
9	3,5	5	20	20	2	3	16
10	3	4	16	21	2	0	8
11	3	0	16	Media	2,55	3,29	15,00
				sd	1,08	2,57	5,60

Tabla 10: Datos crecimiento Rodal 10

Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)	Planta	DAC (mm)	Altura (cm)	Crecimiento (cm)
1	3,5	5	21	7	2,5	3	18
2	3	4	19	8	3	2,5	16,5
3	2,5	3	13	9	2,5	2	16
4	4	0	17	10	3	3	20
5	2,5	3	19	11	3,5	6	23
6	3	5,5	21,5	Media	3,00	3,36	18,55
				sd	0,50	1,70	2,85

En general, el DAC tiene valores que varían entre 1,5 y 6 mm, con un valor medio de 2,63 mm. En cuanto a la altura, los valores varían entre 4 y 42 cm, con un valor medio de 14,67 cm, en cuanto al crecimiento este ha variado entre 0,5 y 10 cm, con un valor medio de 2,47 cm.



Mediciones Desarrollo Final Temporada 2025

Durante la temporada 2025 se realiza inventario total para ver porcentajes de prendimiento; además se efectúa evaluación de desarrollo (altura y diámetro de cuello DAC) en una muestra superior al 5% de lo plantado inicialmente en los rodales 1,2,3,4, 5 y 7 en los cuales también se le evaluaron las condiciones fitosanitarias en base a observación visual de follaje, hay que mencionar que durante la temporada 2023 se realizó un replante de 350 plantas.

Rodal 1

Plantación con riego por goteo y aspersión, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 72%, sector bajo dosel de bosque de Hualo y esclerófilo

Coordenada UTM WGS84 H19s asociada a rodal y fotografías E 313.605 N 6.029.493

Submuestra de Desarrollo a 21 plantas vivas

Planta N°	Altura cm	DAC cm	Estado Fitosanitario
1	16,5	0,4	Bueno
2	27,5	0,4	Bueno
3	29,5	0,4	Bueno
4	21,5	0,3	Bueno
5	55,0	0,9	Bueno
6	50,0	1,0	Bueno
7	70,0	1,2	Bueno
8	40,0	0,7	Bueno
9	49,0	0,5	Bueno
10	21,0	0,4	Bueno
11	17,0	0,3	Bueno
12	20,0	0,4	Bueno
13	15,0	0,3	Bueno
14	7,0	0,3	Bueno
15	37,0	0,4	Bueno
16	42,0	1,0	Bueno
17	52,0	1,0	Bueno
18	21,0	0,4	Bueno
19	57,0	0,8	Bueno
20	20,0	0,3	Bueno
21	38,0	0,6	Bueno



Fotografías Rodal 1: Riego y medición desarrollo de plantas



Rodal 2

Plantación con riego por goteo y aspersión, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 74%, sector bajo dosel de bosque de Hualo de abundante cobertura

Coordenada UTM WGS84 H19s asociada a rodal y fotografías E 313.750 N 6.029.473

Submuestra de Desarrollo a 31 plantas vivas

Planta N°	Altura cm	DAC cm	Estado Fito Sanitario	Planta N°	Altura cm	DAC cm
1	31,5	0,5	Bueno	27	32,0	0,5
2	48,0	0,4	Bueno	28	17,0	0,3
3	17,5	0,3	Bueno	29	42,0	0,6
4	44,0	0,6	Bueno	30	32,5	0,4
5	41,0	0,4	Bueno	31	34,5	0,4
6	32,0	0,4	Bueno			
7	70,0	0,7	Bueno			
8	32,0	0,4	Bueno			
9	69,5	0,7	Bueno			
10	79,0	0,8	Bueno			
11	21,0	0,4	Bueno			
12	52,0	0,6	Bueno			
13	43,0	0,5	Bueno			
14	54,0	0,6	Bueno			
15	45,0	0,6	Bueno			
16	17,0	0,3	Bueno			
17	42,0	0,5	Bueno			
18	34,0	0,4	Bueno			
19	40,0	0,5	Bueno			
20	46,5	0,5	Bueno			
21	42,0	0,4	Bueno			
22	38,0	0,4	Bueno			
23	33,0	0,4	Bueno			
24	28,0	0,3	Bueno			
25	46,0	0,5	Bueno			
26	27,0	0,5	Bueno			



Fotografías Rodal 2: Riego, estado de cerco, registro coordenadas y medición de plantas



Rodal 3

Plantación con riego por goteo y aspersión, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 43%, sector bajo dosel de bosque de Hualo y esclerófilo con cobertura media

Coordenada UTM WGS84 H19s asociada a rodal y fotografías E 314.077 N 6.029.585

Submuestra de Desarrollo a 27 plantas vivas

Planta N°	Altura cm	DAC cm	Estado Fito Sanitario	Planta N°	Altura cm	DAC cm
1	35,0	0,3	Bueno	27	21,0	0,3
2	33,0	0,4	Bueno			
3	15,5	0,3	Bueno			
4	23,0	0,4	Bueno			
5	16,0	0,3	Bueno			
6	41,0	0,5	Bueno			
7	10,0	0,3	Bueno			
8	12,5	0,3	Bueno			
9	17,5	0,3	Bueno			
10	22,0	0,5	Bueno			
11	15,0	0,4	Bueno			
12	17,0	0,3	Bueno			
13	22,0	0,4	Bueno			
14	26,0	0,5	Bueno			
15	52,0	0,7	Bueno			
16	32,0	0,5	Bueno			
17	28,5	0,3	Bueno			
18	20,0	0,3	Bueno			
19	17,5	0,3	Bueno			
20	22,0	0,4	Bueno			
21	13,0	0,2	Bueno			
22	19,0	0,4	Bueno			
23	20,0	0,3	Bueno			
24	22,5	0,4	Bueno			
25	15,0	0,3	Bueno			
26	17,0	03	Bueno			



Fotografías Rodal 3: Riego, estado plantación y registro coordenadas



Rodal 4

Plantación con riego por goteo y aspersión, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 49%, sector bajo dosel de bosquetes de Hualo y esclerófilo con cobertura media

Coordenada UTM WGS84 H19s asociada a rodal y fotografías E 314.013 N 6.029.633

Submuestra de Desarrollo a 15 plantas vivas

Planta N°	Altura cm	DAC cm	Estado Fito Sanitario
1	24,0	0,3	Bueno
2	13,0	0,3	Bueno
3	15,5	0,4	Bueno
4	21,5	0,3	Bueno
5	30,0	0,5	Bueno
6	28,5	0,4	Bueno
7	22,0	0,3	Bueno
8	26,0	0,4	Bueno
9	39,0	0,6	Bueno
10	35,5	0,5	Bueno
11	27,5	0,4	Bueno
12	38,0	0,6	Bueno
13	28,5	0,5	Bueno
14	30,0	0,4	Bueno
15	29,0	0,4	Bueno



Fotografías Rodal 4: Riego, registro coordenadas, medición de plantas y detalle rebrote



Rodal 5

Plantación con riego por goteo y aspersión, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 37%, sector bajo dosel de bosquetes de Hualo y esclerófilo con cobertura baja

Coordenada UTM WGS84 H19s asociada a rodal y fotografías E 313.967 N 6.029.641

Submuestra de Desarrollo a 10 plantas vivas

Planta N°	Altura cm	DAC cm	Estado Fito Sanitario
1	18,0	0,3	Bueno
2	35,0	0,3	Bueno
3	38,5	0,4	Bueno
4	27,5	0,4	Bueno
5	16,0	0,3	Bueno
6	23,0	0,4	Bueno
7	18,0	0,3	Bueno
8	23,0	0,4	Bueno
9	21,0	0,3	Bueno
10	20,5	0,3	Bueno



Fotografías Rodal 5: Riego, registro coordenadas y detalle rebrote

Rodal 6

Plantación con riego por goteo, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 59%, sector bajo dosel de bosquetes de Hualo y esclerófilo con cobertura baja



Rodal 7

Plantación con riego por goteo y aspersión, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 51%, sector bajo dosel de bosquetes de Hualo y esclerófilo de baja cobertura

Coordenada UTM WGS84 H19s asociada a rodal y fotografías E 313.935 N 6.029.646

Submuestra de Desarrollo a 32 plantas vivas

Planta N°	Altura cm	DAC cm	Estado Fito Sanitario	Planta N°	Altura cm	DAC cm
1	20,0	0,3	Bueno	27	21,0	0,4
2	51,0	0,5	Bueno	28	26,0	0,4
3	46,0	0,4	Bueno	29	29,5	0,4
4	37,5	0,4	Bueno	30	35,5	0,5
5	38,0	0,4	Bueno	31	29,5	0,4
6	10,0	0,2	Bueno	32	32,0	0,5
7	18,0	0,3	Bueno			
8	42,0	0,3	Bueno			
9	37,0	0,4	Bueno			
10	25,5	0,3	Bueno			
11	21,5	0,3	Bueno			
12	19,0	0,3	Bueno			
13	14,0	0,2	Bueno			
14	25,5	0,3	Bueno			
15	48,0	0,4	Bueno			
16	35,0	0,3	Bueno			
17	17,0	0,3	Bueno			
18	24,0	0,3	Bueno			
19	32,0	0,0	Bueno			
20	30,5	0,4	Bueno			
21	40,0	0,4	Bueno			
22	33,0	0,3	Bueno			
23	35,0	0,4	Bueno			
24	54,5	0,5	Bueno			
25	38,0	0,4	Bueno			
26	27,5	0,5	Bueno			



Fotografías Rodal 7: Riego, medición de plantas, detalle rebrote

Rodal 8

Plantación con riego por goteo, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 34%, sector bajo dosel de bosquetes de Hualo y principalmente esclerófilo con cobertura baja

Rodal 9

Plantación con riego por goteo, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 39%, sector bajo dosel esclerófilo con cobertura baja

Rodal 10

Plantación con riego por goteo, presenta protección individual, cerco perimetral al sector en general, no al rodal, porcentaje de prendimiento del 30%, sector bajo dosel esclerófilo con cobertura baja



Fotografías otros rodales: Riego y situación general plantación



2.3 Variables fisiológicas

Actualmente, la medición de variables fisiológicas en plantaciones constituye una herramienta relevante para optimizar la productividad y la calidad de los cultivos. En este contexto, el uso de tecnologías como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la estimación de la tasa de fotosíntesis resulta fundamental para evaluar el estado fisiológico de las plantas y la eficiencia del proceso fotosintético.

En el presente estudio se efectuaron mediciones de estas variables en una repoblación de *Citronella mucronata*. Los resultados proporcionan información valiosa sobre la salud y el crecimiento de las plantas, contribuyendo con ello a la mejora de la calidad y cantidad de la producción de esta especie.

En la Figura 2 se presenta el valor del índice NDVI registrado en enero de 2023 en el bosque que alberga la repoblación.

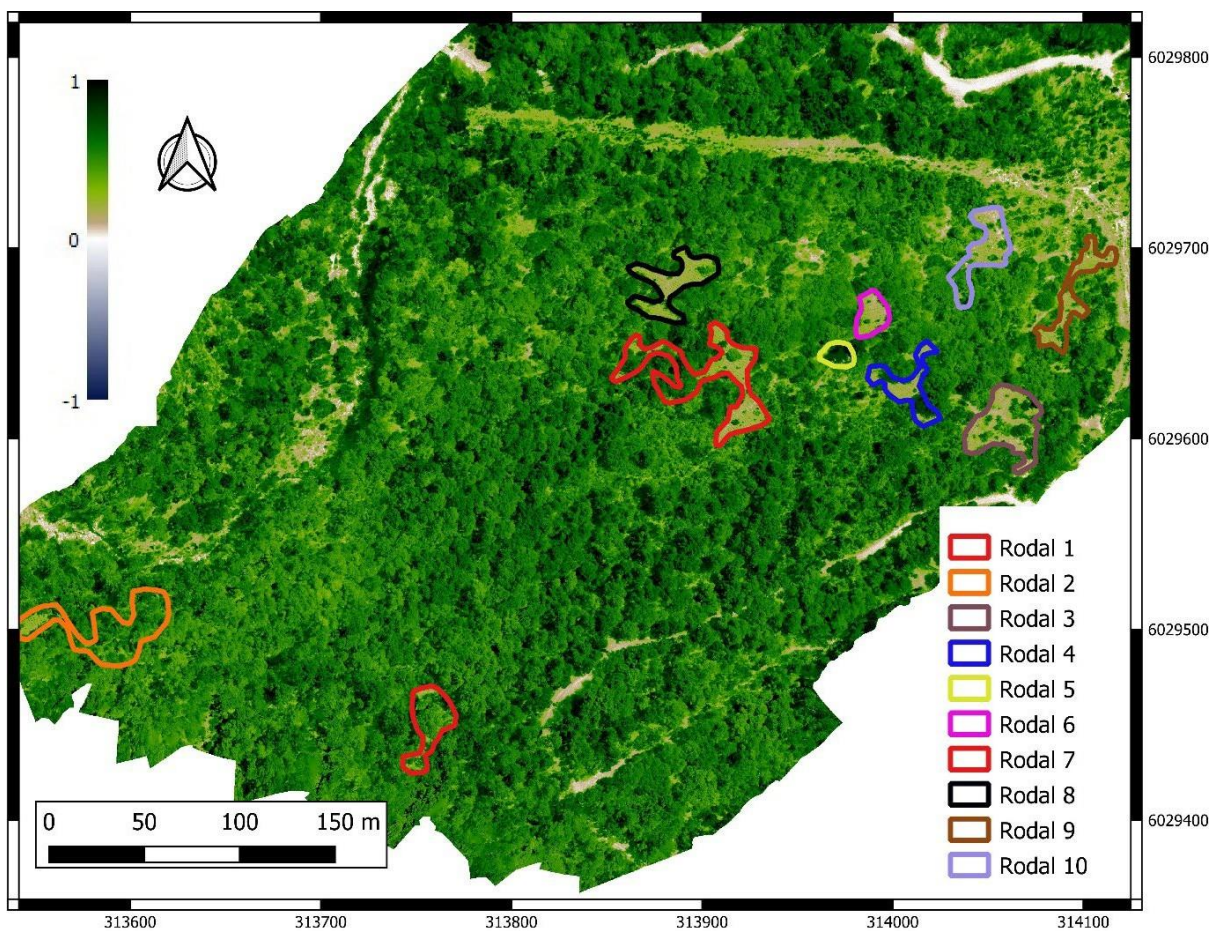


Figura 2. NDVI de la zona de estudio (enero 2023)

En la figura 3 se observa el valor del índice NDVI en enero 2024.

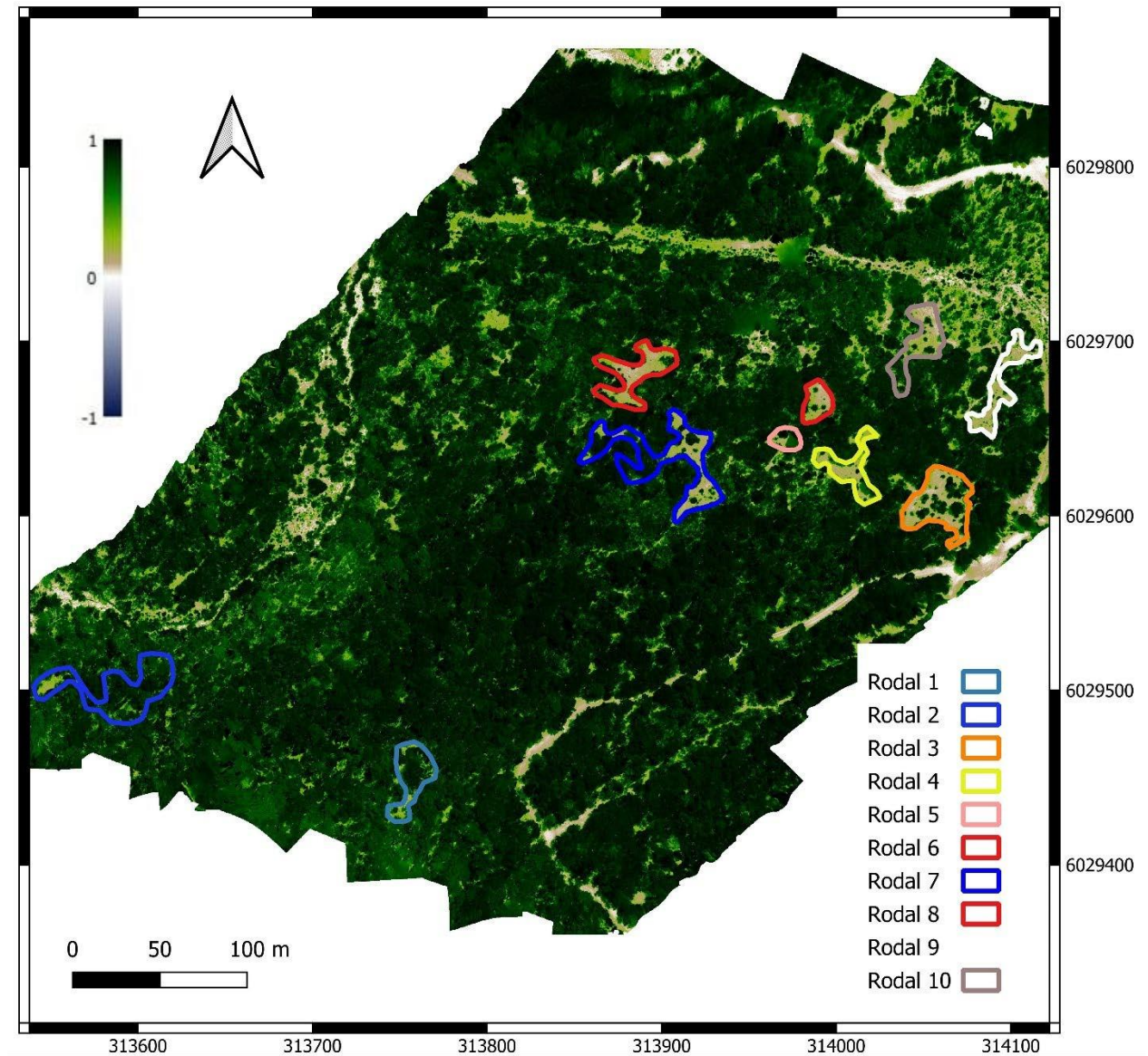


Figura 3. NDVI de la zona de estudio (enero 2024)

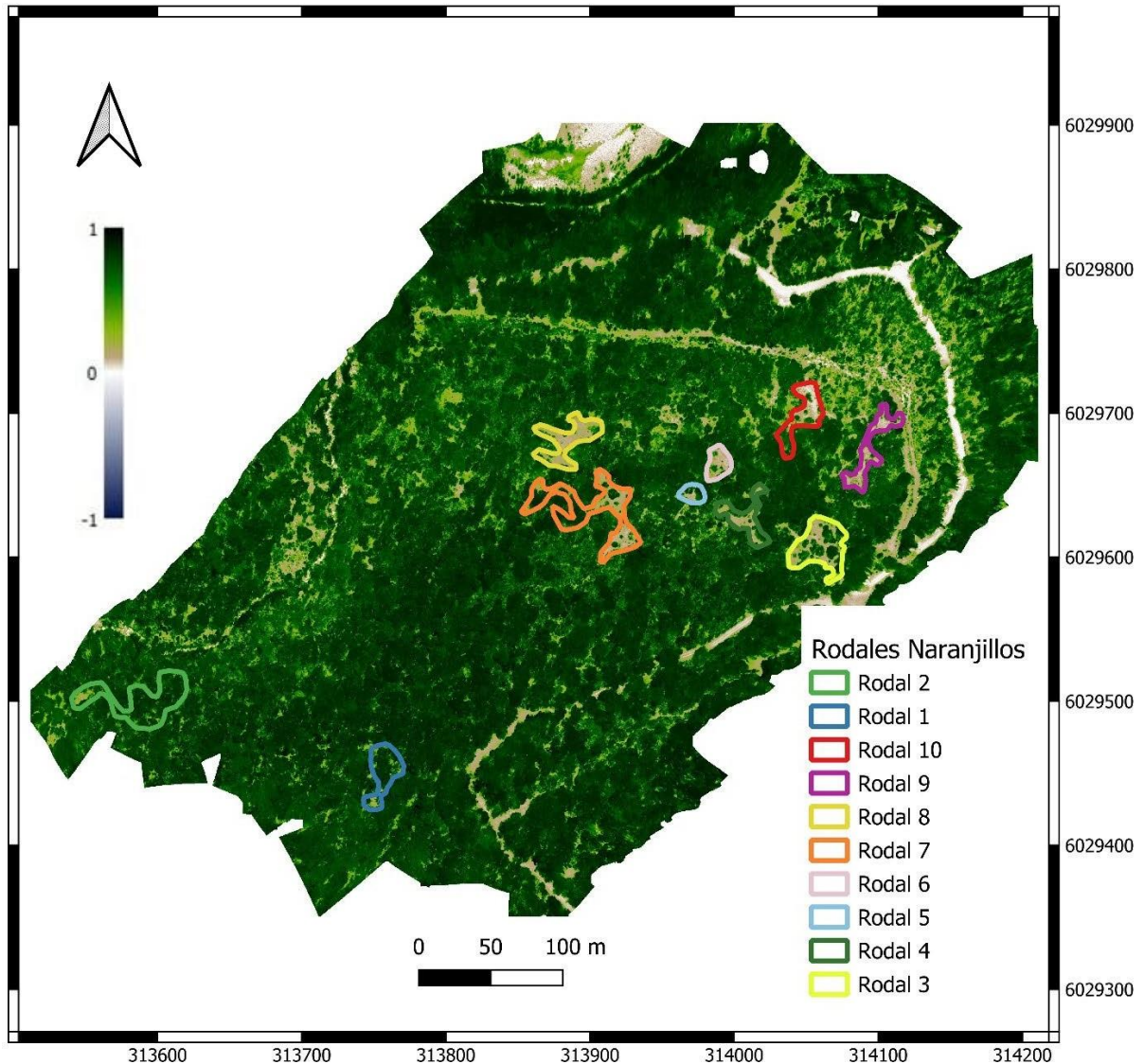


Figura 4. NDVI de la zona de estudio (enero 2025)

La comparación de las imágenes obtenidas mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) durante los años 2023, 2024 y 2025 en el rodal forestal evidencia diferencias significativas en los valores, lo que sugiere variaciones en las condiciones vegetativas a lo largo del período analizado.

En 2023, los valores de NDVI alcanzaron niveles considerados adecuados, reflejando un

estado de salud vegetal satisfactorio. Posteriormente, en 2024, se observó una mejora sustancial en dichos valores, lo que indica un incremento en la salud y el vigor del rodal. En 2025, los resultados confirmaron la continuidad de esta tendencia positiva, manteniéndose los valores de NDVI en rangos elevados, similares a los registrados el año previo. Esta consistencia sugiere una estabilización de las condiciones favorables y la consolidación de un estado robusto de salud vegetal en el rodal.

Las variaciones detectadas en el NDVI pueden explicarse por diferentes factores ambientales. Entre ellos, las condiciones meteorológicas, en particular las precipitaciones, habrían tenido un rol determinante. Un aumento en la disponibilidad hídrica durante 2023 podría haber favorecido el crecimiento de la vegetación, derivando en los valores mejorados observados en 2024. Asimismo, la práctica de riego aplicada en la repoblación del rodal constituye otro factor relevante, ya que el aporte adicional de agua puede haber potenciado la recuperación y el desarrollo vegetativo, sobre todo en escenarios de déficit hídrico previo.

La evolución temporal del NDVI en el trienio 2023–2025 permite identificar una progresión positiva sostenida en la salud del ecosistema forestal. El mantenimiento de valores elevados durante dos años consecutivos (2024 y 2025) sugiere que las intervenciones de manejo implementadas —particularmente el riego en áreas de repoblación— han generado efectos duraderos y beneficiosos. Esta estabilización en niveles altos de NDVI refleja el logro de un equilibrio ecológico favorable, con condiciones óptimas para el crecimiento y la persistencia de la cobertura vegetal.

En conclusión, el aumento significativo de NDVI registrado en 2024 en comparación con 2023, y su consolidación en 2025, respalda la existencia de cambios positivos y sostenidos en la salud del rodal forestal. Aunque parte de esta variación puede atribuirse a factores climáticos, la influencia del riego emerge como un factor decisivo que debe ser considerado. Esta tendencia temporal aporta evidencia sólida sobre la efectividad de las prácticas de

manejo adoptadas y respalda un pronóstico favorable para la continuidad de las condiciones óptimas observadas. El análisis aquí presentado ofrece información valiosa para comprender las dinámicas del rodal y constituye una base técnica para la toma de decisiones en materia de planificación y manejo forestal.

Finalmente, en la Tabla 11 se presentan los resultados de la medición de la tasa de fotosíntesis correspondiente a una muestra de plantas de algunos rodales de plantación evaluados en 2024.

Tabla 11. Fotosíntesis, conductancia estomática y carbono interno de plantas de *Citronella mucronata*

Rodal	Ejemplar	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Carbono interno ($\mu\text{mol C}_2\text{O}$ μmol^{-1})
3	19	6,15	0,05	170,73
3	6	2,35	0,01	105,94
3	24	5,61	0,06	231,18
3	1	2,80	0,02	189,72
3	13	3,96	0,04	221,19
4	2	2,85	0,01	300,58
4	5	1,93	0,01	120,50
4	10	2,34	0,05	312,08
4	16	6,06	0,04	150,05
4	20	4,06	0,02	270,67
5	2	4,85	0,04	169,49
5	3	4,51	0,03	134,12
5	1	6,30	0,04	192,30
6	1	5,66	0,05	180,50
6	10	3,40	0,01	215,97

6	8	3,41	0,01	160,93
7	15	3,91	0,01	136,71
7	36	9,77	0,11	234,66
7	25	9,93	0,09	200,20
7	21	5,53	0,02	140,17
7	18	6,32	0,04	194,64
7	5	4,58	0,05	221,17
7	28	2,90	0,01	210,72
7	40	5,56	0,03	140,56
7	44	10,27	0,13	245,90
7	33	12,90	0,13	207,69
7	1	3,66	0,02	129,86
7	9	7,15	0,06	177,21
7	49	7,32	0,04	111,89
Media		5,38	0,04	188,87
sd		2,66	0,03	53,42

En la fotosíntesis se observan valores que varían entre 1,93 y 12,90 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mientras que para la conductancia estomática los valores varían entre 0.01 y 0.13 ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), finalmente, el carbono interno varía entre 105 y 312 $\mu\text{mol C}_2\text{O } \mu\text{mol}^{-1}$.

En el año 2025 se analizaron nuevamente algunos ejemplares (Tabla 12)

Tabla 12. Fotosíntesis, conductancia estomática y carbono interno de plantas de *Citronella mucronata*

Ejemplar	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Carbono interno ($\mu\text{mol C}_2\text{O}$ μmol^{-1})
1	0,11	0,01	349,4
2	0,32	0,01	295,9
3	0,14	0,01	360,7
4	1,25	0,02	295,2
5	0,86	0,01	274,4
6	0,27	0,01	233,92
7	1,60	0,03	284,3
8	0,19	0,01	351,1
9	1,46	0,05	330,9
10	0,68	0,02	329,3

El conjunto de datos corresponde a la evaluación de 10 plantas ($n = 10$), cada una con tres mediciones consecutivas, considerando variables fisiológicas críticas: tasa de asimilación neta de CO_2 (A), concentraciones intercelular y atmosférica de CO_2 (C_i , C_a), sus presiones parciales asociadas (P_{ci} , P_{ca}), conductancia estomática al vapor de agua (gsw) y flujo transpiratorio (E). Estas variables permiten caracterizar la eficiencia fotosintética y la dinámica de intercambio gaseoso de cada individuo bajo sus condiciones microambientales específicas.

Los resultados evidencian dos grupos diferenciados de respuesta fotosintética: uno con valores bajos de A ($\sim 0,1$ - $0,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y otro con valores altos ($\sim 1,1$ - $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Esta bimodalidad podría explicarse por heterogeneidad ambiental, variabilidad genética o diferencias en el estado fisiológico de las plantas. La conductancia estomática (gsw) mostró



correlación positiva con A , resultado esperado dada la función de los estomas en la regulación tanto de la entrada de CO_2 como de la transpiración. Así, plantas con mayor asimilación presentaron también mayor g_{sw} ; por ejemplo, planta 9 ($A \approx 1.46$; $g_{sw} \approx 0.0459$) en comparación con planta 1 ($A \approx 0,10$; $g_{sw} \approx 0,0048$).

Las concentraciones intercelulares de CO_2 (C_i) fueron en general consistentes, salvo casos atípicos como el registrado en la planta 6, con un valor extremo y negativo. Este resultado apunta a posibles errores instrumentales, fallas de calibración o ingreso incorrecto de datos, los cuales deben ser depurados antes de realizar análisis estadísticos robustos. En contraste, las presiones parciales de CO_2 presentaron baja variabilidad, lo que concuerda con condiciones ambientales relativamente estables durante la campaña, aspecto habitual en mediciones efectuadas bajo régimen controlado.

El patrón bimodal detectado en la tasa fotosintética sugiere un mosaico de condiciones microambientales o procesos de adaptación/aclimatación diferencial entre individuos de *C. mucronata*. No obstante, la solidez del análisis depende de una depuración cuidadosa de los valores anómalos y de la selección de enfoques estadísticos adecuados para series pequeñas con medidas repetidas, tales como ANOVA de medidas repetidas o modelos mixtos en caso de aumentar la complejidad experimental.



4. Conclusiones

Las conclusiones del informe sobre la repoblación de *Citronella mucronata* en la zona de la Central Portezuelo, comuna de San Clemente, Región del Maule, se sustentan en el análisis de variables morfológicas, fisiológicas y en la comparación de índices de vegetación (NDVI) entre 2023, 2024 y 2025.

1. **Éxito consolidado de la repoblación:** Los indicadores morfológicos evidencian un crecimiento y desarrollo significativo de *C. mucronata*. Con un total inicial de 4.002 individuos establecidos en 10 rodales, se registraron promedios de altura (14,67

cm), diámetro al cuello (2,63 mm) y crecimiento anual (2,47 cm). La variación entre rodales -desde el menor desempeño del rodal 5 hasta el mayor del rodal 8- confirma la influencia de las condiciones microambientales en el éxito del establecimiento.

2. **Salud y vigor sostenidos de la vegetación:** Los valores de NDVI muestran una progresión positiva a lo largo del período 2023–2025. El incremento observado en 2024 respecto de 2023 se mantuvo estable en 2025, lo que indica la consolidación de un estado de equilibrio ecológico favorable, con condiciones óptimas para el desarrollo y permanencia de la cobertura vegetal.
3. **Respuesta diferencial de las variables fisiológicas:** El análisis de fotosíntesis en 2025 evidenció dos grupos de respuesta: plantas con baja actividad ($0,1\text{--}0,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y plantas con alta actividad ($1,1\text{--}1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Esta heterogeneidad sugiere posibles diferencias genéticas, fisiológicas o relacionadas con microambientes específicos. Los promedios generales de fotosíntesis ($0,598 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($0,0151 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y concentración intercelular de CO_2 ($313,7 \mu\text{mol mol}^{-1}$) sostienen la adecuada funcionalidad del aparato fotosintético.
4. **Efectividad comprobada de las prácticas de manejo:** La tendencia positiva sostenida durante tres años refleja la eficacia de las prácticas implementadas, en particular el riego de la repoblación. La mejora y subsiguiente estabilización de los valores de NDVI en niveles elevados durante 2024 y 2025 demuestran efectos benéficos y persistentes en el ecosistema forestal.
5. **Cumplimiento exitoso de compromisos ambientales:** La instalación de 4.002 ejemplares -incluidos 300 adicionales a los 3.700 comprometidos- confirma el cumplimiento satisfactorio de las medidas de compensación establecidas en la RCA N° 7/2013 y Resolución N° 14/2016. Los resultados respaldan la superación efectiva del impacto negativo asociado a la implementación tardía del compromiso original.
6. **Recomendaciones para la sostenibilidad a largo plazo:** Se recomienda mantener un programa de monitoreo permanente, con énfasis en la variabilidad fisiológica entre

individuos; continuar con el aporte suplementario de agua en períodos críticos como período estival 2025; desarrollar estrategias de manejo diferenciadas considerando la heterogeneidad entre rodales; e integrar en los protocolos de seguimiento tanto indicadores morfológicos como fisiológicos para una evaluación integral del éxito de la restauración. Evaluar la realización de un replante en rodales más desfavorables, aunque dadas las características de la especie y los resultados obtenidos en otras experiencias de forestación o enriquecimiento realizados en otras regiones vecinas los cuales no superan en general un 25%, se puede determinar que la respuesta o el resultado ha sido exitoso desde el punto de vista del objetivo ecológico de repoblar la especie en la cuenca.

7. **Proyecciones favorables para la conservación:** La evolución positiva sostenida en el período 2023–2025 respalda un pronóstico favorable para la continuidad de estas condiciones óptimas, lo anterior es posible evidenciar por la existencia de rebrotes en la base de plantas que se apreciaban previamente secas, como es posible ver en registros fotográficos, lo anterior permite establecer una base sólida para el éxito a largo plazo del proyecto y su aporte a la restauración de la biodiversidad del bosque nativo en la Región del Maule.
8. **Respuesta en ambientes.** Es posible determinar que la especie responde mejor en términos porcentuales de prendimiento cuando se encuentra bajo doseles de mayor cobertura, los que entregan suelos con mayor cantidad de hojarazca o materia orgánica, en comparación a sitios mas bien de cobertura menor como son las áreas donde predomina matorral esclerófilo de menor altura.
9. **Daños.** En algunos sectores puntuales es posible visualizar daño mecánico en muy bajo porcentaje atribuible a caída de ramas, probablemente por efectos de nieve en época invernal, lo que es esperable por la zona. También es posible ver, principalmente en rodales del 6 al 10 rastros de lagomorfos, los que eventualmente pudiesen generar algún tipo de daño, aunque la evidencia no es tan visible; signos por presencia de insectos defoliadores u otros agentes también se puede considerar de baja cuantía, ya que en general las plantas se aprecian vigorosas.



En síntesis, los resultados confirman un proceso exitoso de repoblación de *C. mucronata*, con evidencia robusta de crecimiento morfológico, salud vegetal consolidada y funcionalidad fisiológica adecuada. La estabilización de indicadores clave durante tres años consecutivos garantiza la viabilidad y sostenibilidad del proyecto, demostrando el cumplimiento cabal de compromisos ambientales y generando aprendizajes valiosos para futuros programas de conservación y restauración del bosque nativo.