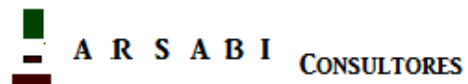


INFORME TÉCNICO  
“ANÁLISIS DE LA EJECUCIÓN DE  
REFORESTACIONES PARA COMPENSAR EMISIONES  
DE MATERIAL PARTICULADO”

RES. EX. N° 12 / ROL D-127-2019, de 14 de junio de 2022

Julio de 2022



INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN ..... 3

2. OBJETIVOS ..... 4

3. CONSIDERACIONES A LA COMPENSACIÓN DE EMISIONES ..... 4

    a. Identificación de áreas candidatas para ejecutar la reforestación ..... 5

    b. Adquisición del terreno candidato..... 7

    c. Levantamiento detallado de los sectores ..... 7

    d. Provisión de plantas para la reforestación..... 7

    e. Selección de especies ..... 8

    f. Actividades de preparación de suelos previa a la plantación..... 9

    g. Plantación..... 9

    h. Ejecución del PCE en plazos acotados de tiempo..... 10

4. ESTIMACIÓN CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO POR DEPOSITACIÓN SECA..... 10

5. CONCLUSIONES ..... 13

6. REFERENCIAS ..... 15

7. ANEXOS..... 17

1. INTRODUCCIÓN

La Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°275, de fecha 26 de febrero de 2010 y la RCA N°1124 de fecha 24 de agosto de 2006, ambas de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Valparaíso, calificaron ambientalmente los Proyectos “Central Termoeléctrica Campiche” y Central Termoeléctrica Nueva Ventanas (LFC)”, respectivamente (en adelante, “los Proyectos”). En tanto, respecto de dichos proyectos, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), en el marco de la aprobación del Programa de Cumplimiento presentado en el proceso sancionatorio ROL D-127-2019, requirió compensar emisiones de material particulado MP de acuerdo a la siguiente forma:

Tabla 1. Unidades totales de MP a reducir por unidad generadora

Unidad Generadora	MP (ton)
Nueva Ventanas	6
Campiche	1

Fuente: RES. EX. N° 12 / ROL D-127-2019, de 14 de junio de 2022, de la SMA.

En particular, mediante RES. EX. N° 12 / ROL D-127-2019, de 14 de junio de 2022, la SMA solicitó remitir un plan de acción y una propuesta técnica que describa pormenorizadamente la forma en que se ejecutará la reducción de emisiones mediante la pavimentación de un tramo de camino o la reforestación de un área determinada, el que será ejecutado dentro del plazo más acotado posible.

No obstante esta exigencia, al menos para el caso de implementar una reforestación, se deben tener presente una serie de consideraciones desde el punto de vista técnico y logístico que impiden cumplir en un tiempo acotado de ejecución y que hacen inviable la implementación de las actividades de compensación de emisiones de MP del Plan de Compensación de Emisiones en un periodo breve de tiempo. Estas consideraciones se exponen en el presente informe.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la implementación de reforestaciones para compensar MP en la zona de Puchuncaví.

Objetivos específicos

- Estimar plazo real de ejecución de reforestaciones considerando las limitantes de implementación y gestión.
- Estimar la capacidad de remoción de MP10 por depositación seca de una reforestación con especies nativas considerando el crecimiento potencial de estas plantas en la zona a compensar las emisiones.

3. CONSIDERACIONES A LA COMPENSACIÓN DE EMISIONES

Las reforestaciones de los Planes de Compensación de Emisiones tienen por objeto repoblar con especies arbóreas o arbustivas, por siembra, plantación o manejo de la regeneración natural, a un terreno que haya estado cubierto con bosque y que actualmente no lo posea (MMA, 2019). Esta actividad tiene por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso, identificado en el componente Calidad de Aire durante el proceso de evaluación ambiental del Proyecto, que no sea posible mitigar o reparar.

En este sentido, deberán asegurar un cierto nivel de éxito, que según la “*Guía Para Desarrollar Programas de Compensación de Emisiones (PCE) por Mp10, en Áreas Verdes y Masas de Vegetación, en la Región Metropolitana de Santiago (RMS)*” (MMA, 2020), debe alcanzar como mínimo un 85% de prendimiento.

Atendido lo anterior, resulta imprescindible tener en cuenta los requerimientos técnicos mínimos necesarios para asegurar dicho estándar de éxito, que especialmente en el caso de las reforestaciones incluyen una serie de consideraciones técnicas de múltiples factores que van más allá de ejecutar únicamente la plantación y cumplir con los plazos formales administrativos para dar inicio a la actividad.

Contar con los tiempos necesarios para establecer un diagnóstico de la reforestación, permiten tener información esencial respecto de las limitaciones y posibilidades, tanto técnicas como culturales de la zona en que se desea forestar, así como los requerimientos que debe satisfacer la futura plantación (Benedetti y Perret, 1995).

Estas consideraciones técnicas conllevan plazos de tiempo que no son posibles de acortar y que resultan esenciales para dar cumplimiento al objetivo último de compensar las emisiones atmosféricas de manera eficiente en la Comuna de Puchuncaví.

**a. Identificación de áreas candidatas para ejecutar la reforestación**

El primer criterio a tener en cuenta dice relación con el lugar de implementación de las medidas de compensación de las emisiones, que de acuerdo a MMA (2019) deben ser en la cercanía de la(s) fuente(s) o los receptores sensibles identificados en el proceso de evaluación ambiental, teniendo como referencia los límites que establecen la zona saturada establecida en el D.S. N°10/2015 del Ministerio del Medio Ambiente y que declara zona saturada a las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Como principio para la búsqueda se debe considerar que las compensaciones se realicen cercanas a las áreas contaminadas donde la depositación es más efectiva, dado que el material particulado no se moviliza grandes distancias (MMA-ONU Medio Ambiente, 2018).

Esto implica la búsqueda activa de terrenos candidatos en la zona que cumplan **criterios** adecuados para ejecutar en ellos reforestaciones, tales como:

- Clase de uso de suelos: Idealmente los suelos deben ser de clase de uso V, VI, VII y VIII que son suelos aptos para el pastoreo y/o forestación, con y sin limitaciones de uso, excluyendo aquellos suelos de valor agrícola cultivables (Clases I a la IV).
- Nivel de pendiente presente: Las pendientes pronunciadas dificultan el trabajo logístico en terreno de los operadores forestales, haciendo menos eficiente el avance de la plantación, adicionalmente, estos terrenos con pendientes pronunciadas presentan menor preñimiento. Suelos de mayor pendiente son más desfavorables debido a que son muy delgados y los vientos muy fuertes (Benedetti y Perret, 1995). y requieren además, de la implementación de una serie de medidas previas a la plantación tendientes a proteger los suelos de la erosión y asegurar la acumulación posterior de agua para las plantas, ya sea mediante la ejecución de obras lineales, surcos de infiltración y aterrazamiento del talud, entre otras.
- Nivel de pedregosidad presente: Esto incide en los tiempos de hoyadura, en la disposición final de las plantas y eventualmente en la necesidad de limpiar el terreno para ejecutar la plantación.
- Fuentes de agua cercanas para abastecimiento de riego: Se deben conocer las alternativas de riego para planificar las actividades de riego y diseño del sistema de riego (tecnificado, por goteo, entre otros) y procedencia del recurso hídrico.
- Grado de cobertura vegetal preexistente: Requisito fundamental para poder establecer la plantación y que además debe cumplir el criterio de superficie requerida.

- Presencia de especies protegidas: Se debe tener en cuenta la presencia de especies en categoría de conservación, en especial la existencia de cactáceas en el área de plantación.
- Presencia de quebradas, cursos de aguas o zonas de protección: éstas deben ser identificadas y excluidas del área de plantación.
- Superficie útil efectiva para la reforestación.
- Grado de herbivoría: La presencia de ganado y/o lagomorfos, implican adoptar medidas especiales para proteger la plantación (i.e. cerco, mallas, etc.).
- Nivel de erosión de los suelos: Que implique eventualmente ejecutar medidas de protección a la degradación y erosión de los suelos, y que a niveles elevados, se vinculan a prendimientos bajos y necesidad de complementar con enmiendas orgánicas.
- Revisión Carpeta predial en CONAF: Conocer compromisos de reforestación comprometidos en virtud de la legislación forestal vigente (Ley N°20.283/2008 y DL N°701/1974) mediante vía Solicitud Ley de Transparencia que tiene un plazo máximo para responder una solicitud de información es de veinte (20) días hábiles, pero que puede ser prorrogado por otros 10 días hábiles, cuando existan circunstancias que hagan difícil reunir la información solicitada, conforme lo dispone el artículo 14 de la Ley de Transparencia.

De acuerdo a Benedetti y Perret (1995), la mayoría de los sitios destinados a la reforestación forestal, en especial en las zonas áridas y semiáridas como las del área de compensación, son aquellos cuyo uso anterior fue la ganadería o agricultura de secano, lo que indica que los problemas más frecuentes de encontrar en ellos son: fuerte compactación del suelo, mal drenaje, deficiencias de nutrientes, suelos delgados y por lo general pedregosos.

En el caso de la zona implicada, la búsqueda de sitios para reforestar cercanos a la fuente de contaminación puede resultar dificultosa dado a que los suelos adyacentes a la empresa, corresponden a suelos recientes desarrollados en paleodunas (Cabello 2021, Paskoff 1970), los cuales son suelos arenosos muy permeables, con baja capacidad de retención hídrica, lo cual implica riego más intensivo que el normal para lograr rendimientos y crecimiento razonables. De esta manera es de suma importancia la elección adecuada del área de reforestación de forma que los individuos encuentren las mejores condiciones para maximizar la remoción de MP, ya que árboles en buenas condiciones fitosanitarias y de mayores tamaños captan más material particulado (Dobbs, 2018).

Según lo anterior, todas las actividades indicadas previamente, implican la búsqueda iterativa de predios candidatos y destinar el tiempo necesario para: i) ubicar zonas candidatas que cumplan con criterios edafológicos y ambientales adecuados para realizar en ellos la reforestación, ii) Poseer de manera conjunta o desagregada, la(s) superficie(s) que se necesita(n) para compensar un total de 7 ton de emisiones de MP, iii) encontrarse en venta, arriendo y/o usufructo y sin restricciones para ejecutar el compromiso y materializarlo.

**b. Adquisición del terreno candidato**

Una vez identificado los predios candidatos que cumplen las condiciones adecuadas para poder ejecutar de manera exitosa en ellos la reforestación y dar inicio al proceso de adquisición mediante compra, arriendo, convenio u otra modalidad, se deben considerar los plazos de tiempo necesarios para revisar desde el punto de vista jurídico y administrativo el predio elegido, que implican la obtención de firmas para contratos, la revisión jurídica del mecanismo de compra/arriendo y usufructo, firmas notariales, inscripciones, entre otras.

**c. Levantamiento detallado de los sectores**

Para el predio adquirido, tanto en terreno como en gabinete se deberán considerar los tiempos necesarios para revisar las superficies de trabajo, relevando las particularidades propias del área y sus características ambientales (existencia de cursos de agua temporales o permanentes, presencia de especies vegetales protegidas o de relevancia ambiental, avistamiento de especies de fauna en categoría de conservación, benéficas para la agricultura y/o con movilidad de reducida, actividades de protección de incendios forestales dependiendo del material combustible del predio elegido).

La caracterización general, debe incluir inspecciones en terreno y/o levantamiento con mediante un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), que conlleven un tiempo de realización de al menos 1 semana.

**d. Provisión de plantas para la reforestación**

Los viveros seleccionados para la compra de las plantas deben contar con inscripción en el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y prioritariamente estar ubicados en la Región de Valparaíso. Dado lo avanza de la temporada de plantación, donde la mayoría de los viveros ya han vendido o comprometido para la venta el stock de plantas disponibles, resulta difícil poder asegurar el abastecimiento de plantas, más si aún no se dispone de predios candidatos ni elegidos que den una idea de las condiciones y requerimientos específicos de las plantas a adquirir. Por lo general, los manuales de reforestación para el hemisferio sur, recomiendan realizar la compra de plantas en los meses de enero, febrero y marzo, a fin de asegurar su calidad y la revisión adecuada de los individuos (ver Sotomayor et al., 2001).

Además, incluso si se encontrara stock, se deberá privilegiar aquellos viveros que tengan procedimiento de aclimatación de plantas y que contemplen prepararlas para robustecerlas a fin de que se adapten mejor al terreno, atendida la escasez hídrica de la comuna y la Región, que resulta en una de las principales limitantes para el prendimiento exitoso de plantaciones.

Adicionalmente, se debe tener en consideración actividades como:

- Disminución del riego dependiendo de la época, aplicación de calcio, retiro de la malla raschel al menos 4 semanas previo despacho a plantación, tendiente a exponer las plantas al sol y así endurecer los tejidos foliares.
- Chequeo riguroso por parte de un Ingeniero Forestal de los parámetros cualitativos para la elección de plantas como tipo, forma y tamaño de los contenedores de las plantas, forma y arquitectura de las plantas, tamaño de la planta, sistema radicular bien desarrollado y simétrico, número de temporadas en vivero, tamaño de cepellón y estado sanitario general de las plantas (sin clorosis, síntomas o signos de plagas o patógenos activos).
- De acuerdo a lo indicado por MMA (2020), la altura de los árboles deberá ser mayor a 50 cm de altura<sup>1</sup> (equivalentes a 3 a 4 temporadas), los que son más difíciles de conseguir a corto plazo y deben reservarse con tiempo para la próxima temporada. Además de presentar un mayor estrés post plantación y mayores requerimientos hídricos, que implican la necesidad de realizar un replante y contar con plantas adicionales para ello.

Junto con lo anterior, dependiendo de las limitantes del predio elegido y de la forma en que se ejecutará la plantación, las plantas podrían requerir ser almacenadas en sectores específico para ello, seleccionando el sitio y procurando que no existan especies vegetales en el área y cercado del sector para resguardar las plantas de la desecación, sustracción y daño por lagomorfos.

**e. Selección de especies**

La selección de especies a considerar requiere tener en cuenta no sólo la disponibilidad de plantas en ventas, su estado fitosanitario y la altura/desarrollo adecuado para establecer la reforestación de compensación, sino también cuán eficientes son en la capacidad de remoción de MP 10 y MP 2.5 por depositación seca.

La capacidad de retención de MP de la vegetación depende de características en la superficie de las hojas, número de surcos y tricomas, pero no de la forma foliar y la venación de hoja

<sup>1</sup> MMA, 2020:



ancha (Egas et al., 2018, Chen et al., 2017), lo que podría usarse como indicador para la efectividad de la captura de MP2,5, mientras que el intercambio gaseoso se ve afectado por MP, alterando la actividad fisiológica de la planta, que obstruye los estomas de las hojas (Gajbhiye et al., 2016),

Egas et al., (2018), evaluaron el efecto de la contaminación por material particulado sobre las características morfo-anatómicas de las especies arbóreas Quillaja saponaria (quillay), Schinus molle (molle), Olea europea (olivo) y Melia azedarach (árbol del paraíso) en la ciudad de Santiago, mostrando diferencias significativas en la densidad de estomas abaxial de quillay y melia evidenciando un efecto negativo del contaminante sobre el funcionamiento biológico de los árboles.

Otros trabajos también han mostrado afectación diferencial entre especies en la depositación de MP sobre el follaje (ver Dalmasso et al., 2017; Guerrero-Leiva, 2016).

La selección de especies es importante a tener en cuenta, en especial si el sitio de la plantación se encuentra en áreas cercanas a fuentes de contaminación de MP, por lo que requiere de una evaluación detallada y los estudios que sustenten la elección.

**f. Actividades de preparación de suelos previa a la plantación**

Prevía a la plantación y dependiendo del predio elegido, se deberán ejecutar actividades de preparación de suelo, que busquen modificar la topografía, generar zonas receptoras de agua/nutrientes y mejorar condiciones para mantener vegetación de manera adecuada en el tiempo, idealmente en los meses de marzo, abril y mayo (Sotomayor et al., 2011). La selección de obras deberá basarse en el nivel de erosión de los suelos, limitaciones y criterios estéticos, además de privilegiar el uso de materiales disponibles localmente, poniendo especial atención a la vegetación natural adyacente. Se podrán considerar tratamientos lineales con sacos rellenos de tierra, con fajina en ramas, cubierta superficial con ramas, cubierta superficial con malla (vegetal u otros), instalación de bancal, limán, murete de piedras, sacos rellenos de tierra, surco en medialuna, terrazas en círculo (piedra), terraza forestal y/o trincheras para laderas, dependiendo de las características y estado de los suelos del predio donde se ejecutará la compensación de emisiones.

Estas actividades conllevan un tiempo de preparación variable de entre 2 a 4 semanas dependiendo de las condiciones del terreno, el método empleado para su ejecución (manual y/o mecanizado), los recursos humanos y financieros para su ejecución.

**g. Plantación**

La faena de plantación corresponde a una de las actividades de mayor relevancia en el proceso del establecimiento de especies nativas y de no ser realizada de manera adecuada, todo lo realizado previamente puede perderse (SEREMI MMA, 2018).

La actividad de plantación suele ser realizada después de las primeras lluvias, lo que para el caso de la IV y V Regiones del país se recomienda en los meses de junio y julio, pudiéndose adelantar, dependiendo de la ocurrencia de lluvias (Sotomayor et al., 2011) y luego de haber realizado la adquisición de plantas, confección de cercos y la preparación del suelo, además del control de malezas pre-plantación y la construcción de cortafuegos. Otros autores indican que la plantación de especies nativas debe ser realizada en el periodo comprendido entre fines de mayo a la primera quincena de agosto (SEREMI MMA, 2018).

La definición de la época de plantación tiene por objeto asegurar que las plantas cuenten con la humedad suficiente para su establecimiento para asegurar un buen establecimiento y desarrollo, por lo que es fundamental realizarla en el periodo de latencia invernal. Atendido lo avanzado de la temporada, que no se cuenta con predio ni plantas, es altamente improbable que pueda realizarse una plantación antes de finalizar el invierno.

**h. Ejecución del PCE en plazos acotados de tiempo**

La ejecución de una reforestación para dar cumplimiento a la reducción de emisiones requeridas, implica no sólo definir el modo adecuado de cómo se realizará la compensación mediante la reforestación de masa vegetal, sino también elaborar y preparar material complementario, tales como cartografías, delimitación de áreas de compensación, cálculos de estimaciones en cuanto a superficie, reuniones con la Autoridad, entre otras, que conllevan tiempo y que atendidos los plazos acotados exigidos, no es posible realizar.

**4. ESTIMACIÓN CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO POR DEPOSITACIÓN SECA**

Se realizó una estimación para determinar la capacidad de remoción de material particulado por una plantación tipo a ejecutarse en el área, considerando diferentes supuestos e información bibliográfica disponible, ver Anexo2.

Para la modelación se consideraron las especies *Quillaja saponaria* (Quillay), *Cryptocaria alba* (peumo) y *Peumus boldus* (Boldo), considerando una densidad final de plantación de 330 ind/ha, 550 ind/ha y 800 ind/ha siguiendo las recomendaciones de MMA (2020) y de CONAF, considerando un 85% de prendimiento.

Para estimar el crecimiento diametral de los árboles, se consideraron funciones alométricas de crecimiento diametral<sup>2</sup> para las especies del bosque esclerófilo y se realizó una construcción del crecimiento del diámetro a la altura del pecho (DAP) por año en base a la bibliografía disponible para otras especies, al igual que para el índice de área foliar<sup>3</sup>.

La metodología del cálculo fue desarrollada en base a Dobbs et al (2018), mientras que las concentraciones de MP fueron obtenidas del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire de la Región de Valparaíso, estación Los Maitenes.

De acuerdo a la modelación obtenida y considerando MP la captura de 7 ton ocurriría a los 16, 13 y 12 años de establecida la plantación, respectivamente, de acuerdo a las densidades de plantación final, antes mencionadas.

Tabla 2. Estimación remoción de MP10 en 15 ha según densidad de plantación (individuos/ha)

Año plantación	Promedio anual captura MP 10/planta en gr	Captura MP10 ton/ha	Captura MP10 15 ha ton	Capturas acumuladas MP 10 (330 ind/ha)	Capturas acumuladas MP 10 (550 ind/ha)	Capturas acumuladas MP 10 (800 ind/ha)
1	0,23	0	0	0	0	0
2	2,63	0	0,01	0,01	0,02	0,03
3	7,58	0	0,04	0,05	0,09	0,13
4	15,01	0	0,07	0,13	0,21	0,31
5	24,87	0,01	0,12	0,25	0,42	0,6
6	37,08	0,01	0,18	0,43	0,72	1,05
7	51,59	0,02	0,26	0,69	1,15	1,67
8	68,32	0,02	0,34	1,03	1,71	2,49
9	87,22	0,03	0,43	1,46	2,43	3,53
10	108,23	0,04	0,54	1,99	3,32	4,83
11	131,29	0,04	0,65	2,64	4,41	6,41
12	156,33	0,05	0,77	3,42	5,7	8,28
13	183,29	0,06	0,91	4,32	7,21	10,48
14	212,12	0,07	1,05	5,37	8,96	13,03
15	242,76	0,08	1,2	6,58	10,96	15,94
16	275,14	0,09	1,36	7,94	13,23	19,24
17	309,22	0,1	1,53	9,47	15,78	22,96
18	344,92	0,11	1,71	11,18	18,63	27,09
19	382,21	0,13	1,89	13,07	21,78	31,68
20	421,01	0,14	2,08	15,15	25,25	36,73

<sup>2</sup> Para especies del bosque esclerófilo. Compendio de funciones y tablas para el Manejo del Bosque Nativo Chileno. Claudio Fuentevilla. 1999.

<sup>3</sup> Área y bioma foliar de *Nothofagus glauca* en la zona Andina de la Región del Maule. Autor: Oscar Vallejos, año 2019. DOI: <https://doi.org/10.14483-2256210x.14312>

Si bien el 10% del material re-suspendido corresponde a MP2.5, los cálculos fueron establecidos considerando únicamente MP10 de forma referencial.

5. CONCLUSIONES

El diseño, la organización y posteriormente la ejecución de una plantación para reforestar áreas desprovistas de vegetación y que compensen emisiones de MP, implican tener en cuenta múltiples factores ambientales, técnicos y logísticos, tales como la búsqueda y adquisición de terrenos, levantamiento detallado de las áreas a reforestar, selección de las especies adecuadas, provisión de plantas, actividades de preparación de suelo y las faenas propias de la plantación, entre otras.

Son factores primordiales y cruciales para contribuir en la captación de MP, la disponibilidad sitios de reforestación cercanos a las fuentes de contaminación, además de la época en que se ejecute la plantación, ya que, si la reforestación es planificada adecuadamente, es posible obtener una mayor sobrevivencia e individuos en mejores condiciones para realizar la remoción de MP.

De esta forma, se estiman aproximadamente 24 meses como plazo mínimo para ejecutar la reforestación, considerando todas las etapas implicadas en el proceso (planificación, adquisición de terreno, faenas de reforestación, entre otras), ya que los requerimientos para realizarla conllevan un tiempo de planificación y ejecución que no puede ser reducido y que es necesario tener disponible para poder asegurar un correcto desarrollo de la actividad.

En cuanto a la capacidad de remoción de MP, considerando únicamente MP 10, se estima que 15 ha de una plantación de especies del bosque esclerófilo (i.e. quillay, boldo y peumo), requiere mantenerse por al menos 16 años para recién compensar la exigencia de la captura de MP10 establecida por la Autoridad. Durante todo este periodo de tiempo, se deben mantener estables las condiciones de la plantación, a fin de asegurar que no haya un déficit de disponibilidad hídrica, herbívora y/o sustracción de plantas, que impliquen una reducción del prendimiento, que debe ser de al menos de un 85%, y mantener una densidad de 330 árboles por hectárea durante todos los años mencionados, con los costos técnicos y logísticos que implica mantener por 16 años la plantación. Por otra parte, la densidad de plantación influye en el tiempo en que se depositan el MP10 de una compensación mediante forestación, contemplando el uso de especies nativas del bosque esclerófilo, por lo que si se considera aumentar la densidad de plantación a 800 y 550 pl/ha, la compensación de MP10 se realizaría a los 12 y 13 años respectivamente. De esta manera, compensar 7 ton de MP10 en 15 ha se puede lograr en 12 años con una plantación de 800 ind/ha, o 16 años, con una densidad final de 330 ind/ha.

Ahora, en caso de que la plantación se efectuara, se debe tener presente que actualmente la temporada de plantación ya se encuentra próxima a su fin (segunda quincena de julio de 2022), y resulta muy poco probable poder compensar emisiones de MP en esta temporada, por lo que su implementación debiera considerarse al menos para la temporada 2023.

Considerando lo anterior, además de que el tiempo estimado para alcanzar el umbral de remoción de 7 ton de MP por más de 12 años, e incluso sobrepasando los 16 años, se concluye que la compensación de MP mediante reforestaciones es de larga data, por lo que es recomendable tener en cuenta otras alternativas que permitan compensar emisiones de MP de manera más rápida y eficiente, lo que concuerda con lo señalado por Dobbs (2018), en relación a que puede ser más efectivo en cuanto a depositación de MP pavimentar que plantar un árbol, y que para hacer la elección de plantación más competitiva frente a otras alternativas, se contemplan e integran otros servicios ecosistémicos que entrega el bosque.

Por otra parte, la reforestación como medio para compensar 7 toneladas de MP, debe considerar el escenario de déficit hídrico que sufre la V Región de Valparaíso, ya que se debe asegurar un alto porcentaje de sobrevivencia, de al menos 85% y convertirse en una plantación autosustentable en el tiempo, lo que resulta incierto bajo el contexto analizado y el escaso tiempo que existe para planificar la actividad.

6. REFERENCIAS

Benedetti Ruiz, S., Perret, S. (1995). Manual 21: Manual de forestación. Zonas áridas y semiáridas. Santiago, Chile: INFOR: CORFO. <https://doi.org/10.52904/20.500.122>

Cabello 2021. EVOLUCIÓN MORFOESTRATIGRAFICA DE PALEODUNAS Y PALEOSUELOS EN LA ENSENADA DE QUINTERO, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE. Tesis Magister U. Catolica de Chile. 126 p.

Chen, L., C. Liu y otros cuatro autores, Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter (PM2.5), Scientific Reports, 7, 3206 (2017).

Dalmasso, A.; Candia, R.; Llera, J. 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. Multequina, núm. 6, 1997, pp. 85-91. Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas Mendoza, Argentina.

Dobbs, C. 2018. [GEF Montaña]. “Potencial de depositación de PM10 y PM2,5 del bosque esclerófilo: una alternativa sustentable para los planes de descontaminación”. Seminario: Contribución del bosque esclerófilo a la descontaminación del aire. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=cfhgeADeztU> Recuperado el 18 de julio de 2022.


Egas,C., Naulin, P. y Préndez. M. 2018 Información Tecnológica. Vol. 29(4), 111-118 (2018). Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto sobre las Características Morfo-Anatómicas de Cuatro Especies Arbóreas de Santiago de Chile.

Gajbhiye, T., S. Kumar y otros tres autores, Science of the Total Environment Airborne foliar transfer of PM bound heavy metals in Cassia siamea: A less common route of heavy metal accumulation, Science of the Total Environment, 573,123–130 (2016).

Guerrero-Leiva, N., S.A. Castro et al. 2016. Retention of Atmospheric Particulate by Three Woody Ornamental Species in Santiago, Chile, Water, Air & Soil Pollution, 227(12), 435

MMA. 2020. Guía para desarrollar programas de compensación de emisiones por MP10, en áreas verdes y masas de vegetación en la Región Metropolitana de Santiago (RM). Área de Recursos Naturales y Biodiversidad, Seremi del Medio Ambiente RMS. Disponible en: [https://issuu.com/mmarm2018/docs/guia\\_pce-seremi-rm\\_vf](https://issuu.com/mmarm2018/docs/guia_pce-seremi-rm_vf) Recuperado el 15.07.2022.

MMA. 2019. Guía para la compensación de emisiones de proyectos que ingresan el SEIA, en el marco del Plan de descontaminación atmosférica para las comunas de Concón, Quintero

Proyectos: “Central Termoeléctrica Campiche” y “Central Termoeléctrica Nueva Ventanas”.	
---	---

y Puchuncaví, DS 105/2018. Disponible en: <https://ppda.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/09/guia-SEA-compensacion-de-emisiones.pdf> Recuperado el 15.07.2022.

MMA-ONU Medio Ambiente, 2018. Determinación del Servicio Ecosistémico de Purificación del Aire en el Área del Proyecto GEF Montaña. Estudio encargado a: *Dr. Marcelo Miranda, Dr. Cynnamon Dobbs, Magdalena Olave & Pilar Olave*. Departamento de Ecosistema y Medio Ambiente, Pontificia Universidad Católica de Chile. Financiado en el marco del proyecto GEFSEC ID 5135 Ministerio del Medio Ambiente - ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. 60pp. Disponible en: <https://gefmontana.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/02/INFORME-AIRE-GEF-Montana.pdf> Recuperado el 15.07.2022.


Paskoff, R. (1970). Le Chili semi-aride, recherches géomorphologiques. Biscaye frères. Traducción al español por José Enrique Novoa Jerez. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 1993.

SEREMI del Medio Ambiente Región del Biobío, Gobierno Regional de Biobío. 2020. Manual de técnicas básicas de restauración de ecosistemas forestales a escala de paisaje, Chile. 155 pp.

Sotomayor, A., García, E., Valdebenito, G. 2001. Manual de Plantaciones Forestales para Pequeñas Propiedades. Manual 30. Instituto Forestal (INFOR). 41 p.

Vargas, R., Francke, S., Tokugawa, K., Makita, M. 1998. Manual de Control de Erosión. Ministerio de Agricultura. Proyecto Cuencas CONAF – JICA “Control de Erosión y Forestación en Cuencas Hidrográficas de la Zona Semiárida de Chile”. 73 p.



Proyectos: “Central Termoeléctrica Campiche” y “Central Termoeléctrica Nueva Ventanas”.	
---	---

7. ANEXOS

ANEXO N° 1: Responsables y participantes de la elaboración del informe

Nombre	Cargo	Título	Funciones desempeñadas
Mariangela Paratori	Especialista	Ingeniero Forestal Universidad de Chile	- Elaboración y revisión informe. - Revisión de literatura y antecedentes. - Elaboración de consideraciones a la compensación de emisiones.
Manuel Carvajal	Especialista	Ingeniero Forestal Universidad de Chile	- Elaboración y revisión informe. - Revisión de literatura y antecedentes. - Estimación capacidad de remoción MP por depositación seca
María Francisca Cornejo D'Ottone	Supervisora ambiental	Médico Veterinario, Universidad de Chile.  Magister Gestión Ambiental, Universidad de Valparaíso.	- Elaboración y revisión informe. - Revisión de literatura y antecedentes. -Revisión plazos proceso de reforestación

ANEXO N°2: MEMORIA DE CÁLCULO

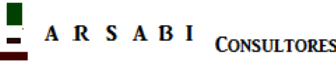
														mp10				
					Área Foliar 1 ind (m2)								Área Foliar 330 ind (m2)	F = Vd x C x 3600				
año proyecto	Edad	DAP	AB	Altura	1 Árbol (m2)	IAF	Vd	F (gramos/día)	gramos año	ton año	por edad	330 ind/ha	IAF	F (g x día)	F (ton/año)	15 ha	acumulado	Vd
1	4	0,1809	2,5702E-06	1,308735366	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,65	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5	0,6097	2,9196E-05	1,470358687	0,02	0,00	0,00	0,01	2,63	0,00	0,00	7,40	0,00	2,38	0,00	0,01	0,01	0,00
3	6	1,0349	8,4118E-05	1,627739937	0,06	0,00	0,00	0,02	7,58	0,00	0,00	21,32	0,00	6,85	0,00	0,04	0,05	0,00
4	7	1,4565	0,00016661	1,780990456	0,13	0,00	0,00	0,04	15,01	0,00	0,00	42,23	0,00	13,58	0,00	0,07	0,13	0,00
5	8	1,8745	0,00027597	1,930218663	0,21	0,00	0,00	0,07	24,87	0,00	0,00	69,95	0,01	22,48	0,01	0,12	0,25	0,00
6	9	2,2889	0,00041148	2,075530129	0,32	0,00	0,00	0,10	37,08	0,00	0,00	104,30	0,01	33,53	0,01	0,18	0,43	0,00
7	10	2,6997	0,00057243	2,217027655	0,44	0,00	0,00	0,14	51,59	0,00	0,00	145,10	0,01	46,64	0,02	0,26	0,69	0,00
8	11	3,1069	0,00075813	2,354811346	0,58	0,00	0,00	0,19	68,32	0,00	0,00	192,18	0,02	61,77	0,02	0,34	1,03	0,00
9	12	3,5105	0,00096789	2,488978676	0,74	0,00	0,00	0,24	87,22	0,00	0,00	245,35	0,02	78,86	0,03	0,43	1,46	0,00
10	13	3,9105	0,00120103	2,619624563	0,92	0,00	0,00	0,30	108,23	0,00	0,00	304,44	0,03	97,86	0,04	0,54	1,99	0,00
11	14	4,3069	0,00145687	2,746841433	1,12	0,00	0,00	0,36	131,29	0,00	0,00	369,29	0,04	118,70	0,04	0,65	2,64	0,00
12	15	4,6997	0,00173472	2,870719287	1,33	0,00	0,00	0,43	156,33	0,00	0,00	439,73	0,04	141,34	0,05	0,77	3,42	0,00
13	16	5,0889	0,00203394	2,991345762	1,56	0,00	0,00	0,50	183,29	0,00	0,00	515,57	0,05	165,72	0,06	0,91	4,32	0,00
14	17	5,4745	0,00235385	3,108806196	1,81	0,00	0,00	0,58	212,12	0,00	0,00	596,67	0,06	191,78	0,07	1,05	5,37	0,00
15	18	5,8565	0,00269381	3,223183686	2,07	0,00	0,00	0,67	242,76	0,00	0,00	682,84	0,07	219,48	0,08	1,20	6,58	0,00
16	19	6,2349	0,00305316	3,334559151	2,35	0,00	0,00	0,75	275,14	0,00	0,00	773,93	0,08	248,76	0,09	1,36	7,94	0,00
17	20	6,6097	0,00343126	3,443011383	2,64	0,00	0,00	0,85	309,22	0,00	0,00	869,77	0,09	279,57	0,10	1,53	9,47	0,00
18	21	6,9809	0,00382748	3,548617107	2,94	0,00	0,00	0,94	344,92	0,00	0,00	970,21	0,10	311,85	0,11	1,71	11,18	0,00
19	22	7,3485	0,00424119	3,651451035	3,26	0,00	0,00	1,05	382,21	0,00	0,00	1075,08	0,11	345,56	0,13	1,89	13,07	0,00
20	23	7,7125	0,00467176	3,751585916	3,59	0,00	0,00	1,15	421,01	0,00	0,00	1184,22	0,12	380,64	0,14	2,08	15,15	0,00
21	24	8,0729	0,00511857	3,849092593	3,93	0,00	0,00	1,26	461,27	0,00	0,00	1297,49	0,13	417,04	0,15	2,28	17,44	0,00
22	25	8,4297	0,00558103	3,944040045	4,29	0,00	0,00	1,38	502,95	0,00	0,00	1414,71	0,14	454,72	0,17	2,49	19,93	0,00
23	26	8,7829	0,00605851	4,036495445	4,65	0,00	0,00	1,50	545,98	0,00	0,00	1535,75	0,15	493,62	0,18	2,70	22,63	0,00
24	27	9,1325	0,00655042	4,126524201	5,03	0,00	0,00	1,62	590,31	0,00	0,00	1660,44	0,17	533,70	0,19	2,92	25,55	0,00
25	28	9,4785	0,00705617	4,214190003	5,42	0,00	0,00	1,74	635,89	0,00	0,00	1788,64	0,18	574,91	0,21	3,15	28,70	0,00
26	29	9,8209	0,00757517	4,299554871	5,82	0,00	0,00	1,87	682,66	0,00	0,00	1920,20	0,19	617,20	0,23	3,38	32,08	0,00
27	30	10,1597	0,00810684	4,382679198	6,23	0,00	0,00	2,00	730,57	0,00	0,00	2054,97	0,21	660,51	0,24	3,62	35,69	0,00
28	31	10,4949	0,00865061	4,463621789	6,64	0,00	0,00	2,14	779,57	0,00	0,00	2192,80	0,22	704,82	0,26	3,86	39,55	0,00

Proyectos: “Central Termoeléctrica Campiche” y “Central Termoeléctrica Nueva Ventanas”.



													mp10					
					Área Foliar 1 ind (m2)							Área Foliar 330 ind (m2)		F = Vd x C x 3600				
año proyecto	Edad	DAP	AB	Altura	1 Árbol (m2)	IAF	Vd	F (gramos/día)	gramos año	ton año	por edad	330 ind/ha	IAF	F (g x día)	F (ton/año)	15 ha	acumulado	Vd
29	32	10,8265	0,0092059	4,542439909	7,07	0,00	0,00	2,27	829,61	0,00	0,00	2333,56	0,23	750,06	0,27	4,11	43,66	0,00
30	33	11,1545	0,00977215	4,619189317	7,51	0,00	0,00	2,41	880,64	0,00	0,00	2477,10	0,25	796,20	0,29	4,36	48,02	0,00
31	34	11,4789	0,01034881	4,69392431	7,95	0,00	0,00	2,56	932,61	0,00	0,00	2623,28	0,26	843,18	0,31	4,62	52,63	0,00
32	35	11,7997	0,01093533	4,766697759	8,40	0,00	0,00	2,70	985,47	0,00	0,00	2771,95	0,28	890,97	0,33	4,88	57,51	0,00
33	36	12,1169	0,01153116	4,83756115	8,86	0,00	0,00	2,85	1039,16	0,00	0,00	2922,98	0,29	939,52	0,34	5,14	62,66	0,00
34	37	12,4305	0,01213576	4,906564614	9,32	0,00	0,00	3,00	1093,65	0,00	0,00	3076,24	0,31	988,78	0,36	5,41	68,07	0,00
35	38	12,7405	0,01274861	4,973756968	9,79	0,00	0,00	3,15	1148,87	0,00	0,00	3231,59	0,32	1038,71	0,38	5,69	73,76	0,00
36	39	13,0469	0,01336917	5,039185748	10,27	0,00	0,00	3,30	1204,80	0,00	0,00	3388,89	0,34	1089,27	0,40	5,96	79,72	0,00
37	40	13,3497	0,01399693	5,102897241	10,75	0,00	0,00	3,46	1261,37	0,00	0,00	3548,02	0,35	1140,42	0,42	6,24	85,96	0,00
38	41	13,6489	0,01463138	5,164936521	11,24	0,00	0,00	3,61	1318,54	0,00	0,00	3708,84	0,37	1192,11	0,44	6,53	92,49	0,00
39	42	13,9445	0,015272	5,225347478	11,73	0,00	0,00	3,77	1376,28	0,00	0,00	3871,23	0,39	1244,30	0,45	6,81	99,30	0,00
40	43	14,2365	0,01591829	5,28417285	12,23	0,00	0,00	3,93	1434,52	0,00	0,00	4035,06	0,40	1296,96	0,47	7,10	106,40	0,00
41	44	14,5249	0,01656976	5,341454252	12,73	0,00	0,00	4,09	1493,23	0,00	0,00	4200,20	0,42	1350,04	0,49	7,39	113,80	0,00
42	45	14,8097	0,01722592	5,39723221	13,23	0,00	0,00	4,25	1552,36	0,00	0,00	4366,52	0,44	1403,50	0,51	7,68	121,48	0,00
43	46	15,0909	0,01788629	5,451546183	13,74	0,00	0,00	4,42	1611,87	0,00	0,00	4533,92	0,45	1457,31	0,53	7,98	129,46	0,00
44	47	15,3685	0,01855038	5,504434596	14,25	0,00	0,00	4,58	1671,72	0,00	0,00	4702,26	0,47	1511,41	0,55	8,27	137,73	0,00
45	48	15,6425	0,01921774	5,555934866	14,76	0,00	0,00	4,74	1731,86	0,00	0,00	4871,42	0,49	1565,79	0,57	8,57	146,31	0,00
46	49	15,9129	0,01988788	5,606083426	15,28	0,00	0,00	4,91	1792,25	0,00	0,00	5041,29	0,50	1620,39	0,59	8,87	155,18	0,00
47	50	16,1797	0,02056036	5,654915754	15,79	0,00	0,00	5,08	1852,85	0,00	0,00	5211,76	0,52	1675,18	0,61	9,17	164,35	0,00
48	51	16,4429	0,02123473	5,702466397	16,31	0,00	0,00	5,24	1913,62	0,00	0,00	5382,70	0,54	1730,13	0,63	9,47	173,82	0,00
49	52	16,7025	0,02191053	5,748768995	16,83	0,00	0,00	5,41	1974,52	0,00	0,00	5554,01	0,56	1785,19	0,65	9,77	183,60	0,00
50	53	16,9585	0,02258732	5,793856305	17,35	0,00	0,00	5,58	2035,52	0,00	0,00	5725,56	0,57	1840,33	0,67	10,08	193,67	0,00
51	54	17,2109	0,02326468	5,837760224	17,87	0,00	0,00	5,74	2096,56	0,00	0,00	5897,26	0,59	1895,52	0,69	10,38	204,05	0,00
52	55	17,4597	0,02394217	5,880511813	18,39	0,00	0,00	5,91	2157,61	0,00	0,00	6069,00	0,61	1950,72	0,71	10,68	214,73	0,00
53	56	17,7049	0,02461936	5,922141315	18,91	0,00	0,00	6,08	2218,64	0,00	0,00	6240,66	0,62	2005,89	0,73	10,98	225,71	0,00
54	57	17,9465	0,02529586	5,962678182	19,43	0,00	0,00	6,25	2279,60	0,00	0,00	6412,14	0,64	2061,01	0,75	11,28	237,00	0,00
55	58	18,1845	0,02597124	6,002151093	19,95	0,00	0,00	6,41	2340,47	0,00	0,00	6583,34	0,66	2116,04	0,77	11,59	248,58	0,00
56	59	18,4189	0,02664509	6,040587971	20,47	0,00	0,00	6,58	2401,19	0,00	0,00	6754,15	0,68	2170,94	0,79	11,89	260,47	0,00

Informe Técnico: “Análisis de la ejecución de reforestaciones para compensar emisiones de MP”



Proyectos: “Central Termoeléctrica Campiche” y “Central Termoeléctrica Nueva Ventanas”.



														mp10				
					Área Foliar 1 ind (m2)							Área Foliar 330 ind (m2)		F = Vd x C x 3600				
año proyecto	Edad	DAP	AB	Altura	1 Árbol (m2)	IAF	Vd	F (gramos/día)	gramos año	ton año	por edad	330 ind/ha	IAF	F (g x día)	F (ton/año)	15 ha	acumulado	Vd
57	60	18,6497	0,02731704	6,078016011	20,98	0,00	0,00	6,74	2461,75	0,00	0,00	6924,48	0,69	2225,69	0,81	12,19	272,65	0,00
58	61	18,8769	0,02798667	6,114461689	21,50	0,00	0,00	6,91	2522,09	0,00	0,00	7094,22	0,71	2280,25	0,83	12,48	285,14	0,00
59	62	19,1005	0,02865361	6,149950791	22,01	0,00	0,00	7,07	2582,20	0,00	0,00	7263,28	0,73	2334,59	0,85	12,78	297,92	0,00
60	63	19,3205	0,02931748	6,184508423	22,52	0,00	0,00	7,24	2642,02	0,00	0,00	7431,56	0,74	2388,68	0,87	13,08	311,00	0,00

Informe Técnico: “Análisis de la ejecución de reforestaciones para compensar emisiones de MP”



ARSABI CONSULTORES