



INFORME TECNICO FINAL

Nombre del proyecto	Desarrollo de un modelo combinado de producción de trufas y piñones de pino piñonero, alternativa productiva rentable en un escenario de restricciones hídricas crecientes
Código del proyecto	PYT-2016-0038
Informe final	Informe Final
Período informado (considerar todo el período de ejecución)	Desde el 2 mayo 2016 hasta el 30 octubre 2021
Fecha de entrega	30 noviembre 2021

Nombre coordinador	Claudia Delard R.
Firma	

CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES GENERALES	3
2.	EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO	3
3.	RESUMEN EJECUTIVO	4
4.	OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO.....	7
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE).....	7
6.	RESULTADOS ESPERADOS (RE).....	8
7.	CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO.....	27
8.	ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO.....	29
9.	POTENCIAL IMPACTO.....	31
10.	CAMBIOS EN EL ENTORNO.....	33
11.	DIFUSIÓN.....	34
12.	PRODUCTORES PARTICIPANTES	35
13.	CONSIDERACIONES GENERALES.....	36
14.	CONCLUSIONES	38
15.	RECOMENDACIONES	39
16.	ANEXOS.....	40
17.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	41

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre Ejecutor:	INSTITUTO FORESTAL
Nombre(s) Asociado(s):	Valle Exploradores Ltda., Cristián Jara Taito, Corporación Nacional Forestal, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Agrícola Girasol SpA, Agrícola Santa Rita del Alto, Truferos SpA, Awake Chile SpA, Cristián Labrin, Manuel Antonio Neira Riffo, Agrícola Santa Carmen, Agrícola y Forestal Nahuelbuta, Agrícola y Forestal Las Peñas, Agrícola y Forestal Flor del Lago S.A., Abelardo León.
Coordinador del Proyecto:	Claudia Delard R.
Regiones de ejecución:	RM, VI, VIII, IX y XIV
Fecha de inicio iniciativa:	2 de mayo 2016
Fecha término Iniciativa:	30 de octubre 2021

2. EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO

Costo total del proyecto	
Aporte total FIA	
Aporte Contraparte	Pecuniario
	No Pecuniario
	Total

Acumulados a la Fecha	
Aportes FIA del proyecto	
1. Total de aportes FIA entregados	
2. Total de aportes FIA gastados	
3. Saldo real disponible (Nº1 – Nº2) de aportes FIA	
Aportes Contraparte del proyecto	
1. Aportes Contraparte programado	Pecuniario
	No Pecuniario
2. Total de aportes Contraparte gastados	Pecuniario
	No Pecuniario
3. Saldo real disponible (Nº1 – Nº2) de aportes Contraparte	Pecuniario
	No Pecuniario

3. RESUMEN EJECUTIVO

3.1 Resumen del período no informado

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante el período comprendido entre el último informe técnico de avance y el informe final. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

Durante este período de ejecución, desde el 1 de diciembre de 2020 hasta el 30 de octubre de 2021, las principales actividades ejecutadas y resultados obtenidos corresponden a:

- Se mantuvieron y evaluaron 7 unidades experimentales establecidas de pino piñonero inoculado con *Tuber borchii*. Mantenimiento en términos de riego estival, control de malezas, poda de raíces y poda aérea en casos necesarios. La evaluación consideró sobrevivencia, crecimiento, vigor y presencia de flores en las plantas, tanto inoculadas como no inoculadas. La sobrevivencia media general es del 96%, levemente superior en la situación con riego (95,8% vs 95,5% sin riego), y superior en las inoculadas (96,9%) que en las plantas no inoculadas (94,4%). El crecimiento promedio en altura, diámetro de cuello (DAC) y diámetro de copa fue siempre superior en las inoculadas (30 vs 28 cm; 16,4 vs 14,9 mm; 23,8 vs 21,5 cm, respectivamente), en relación a las no inoculadas. El riego también impactó positivamente estas variables, aumentando la altura (9,8% superior), DAC (14% superior) y diámetro de copa (32% mayor) en relación a plantas sin riego (tanto inoculadas como no inoculadas). El vigor promedio al tercer año fue elevado, con un 75,4% de plantas vigorosas; este vigor es superior en plantas inoculadas en relación a las no inoculadas (81,2% vs 69,6%) y con riego en relación a las sin riego (78,5 vs 72,3%). Se observaron las primeras flores femeninas en arbolitos inoculados, lo que es inusual para la corta edad de los individuos; en 3 en el ensayo de Cabrero y en 1 en el ensayo de Chacaico. Además, se monitoreó la micorrización, para lo cual se colectó muestras de raíces de los individuos inoculados y posteriormente en laboratorio se constató la presencia del hongo. Al tercer año de evaluación se mantiene una elevada micorrización, en promedio de 4,9 (en escala ordinal de 0 – 5) para todos los ensayos (4,7-5,0) (Anexos 1 y 2).
- Actividades difusión y transferencia:
 - o Realización de Día de campo en el predio Las Dunas, Cabrero, región del Bío, el día 6 de octubre de 2021. Contó con la participación de 19 personas, que conversaron, recorrieron el ensayo y participaron en una búsqueda de trufa con perros entrenados. En Anexo 3 se adjunta invitación, lista de asistencia y algunas imágenes que dan cuenta de la actividad.
 - o Realización de Seminario Final del proyecto, “Avances en el cultivo combinado de piñones de pino y trufas de Borch en Chile”, vía plataforma Teams, el día 7 de octubre de 2021. Contó con la participación de más de 60 personas y con expositores del ámbito productivo y científico, de Chile y del experto italiano Dr. Gianluigi Gregori. En Anexo 3 se adjunta afiche, invitación

presentaciones y lista asistencia.

- Elaboración de estrategia de transferencia tecnológica para la masificación de los resultados obtenidos. Ésta busca dar a conocer la cadena de valor, el ámbito de acción para cada actor de la cadena, junto a sus etapas y mecanismos de acción (Anexo 4).
- Búsqueda de trufas con perros entrenados. A pesar de la corta edad de los ensayos establecidos (máximo 3 años), se realizó una búsqueda de trufas en cuatro ensayos ubicados en la Región Metropolitana (1), y región del Bío Bío (3 en Los Ángeles, Cabrero y Yumbel). A pesar del marcaje y excavación de varias plantas por parte de los 2 perros utilizados, no se encontraron trufas aún (registro fotográfico en Anexo 5), lo que puede deberse a que las primeras trufas son muy pequeñas o se encontraban muy profundas, como suele suceder con las primeras producciones.
- Realización de Protocolo de establecimiento y manejo: en conjunto con el asesor internacional Dr. Gregori, se elaboró un documento técnico que aborda aspectos relacionados a los requerimientos de sitio, de establecimiento y manejo de un sistema de producción combinado piñones – trufas, validado también por los asociados del proyecto (Anexo 6).
- Solicitud de registro de patente de invención a INAPI de protocolo de inoculación de Pino piñonero con *Tuber borchii* en vivero; solicitud de patente N° 2021-001167, aceptada para su trámite el 21/09/2021 (Anexo 7).

3.2 Resumen del proyecto

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante todo el período de ejecución del proyecto. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

Hace casi un lustro, a partir de una idea disruptiva, se formuló y adjudicó el proyecto de innovación “Desarrollo de un modelo combinado de producción de trufas y piñones de pino piñonero, alternativa productiva rentable en un escenario de restricciones hídricas crecientes”, financiado por FIA y ejecutado por INFOR entre mayo del 2016 y octubre del 2021, en alianza con asociados del mundo público y privado. Esta iniciativa buscó desarrollar tecnología para producir simultáneamente piñones de pino mediterráneo (*Pinus pinea*) y trufas comestibles (*Tuber borchii*) bajo criterios de eficiencia hídrica, añadiendo valor agregado a ambos cultivos por separado.

El pino piñonero es una especie de interés comercial debido a su fruto, el piñón mediterráneo o *pinoli*, ingrediente esencial del pesto italiano, tan apreciado en el mercado que es el fruto seco más caro a nivel mundial (€ 20-70/Kg al por mayor). Por otra parte, las trufas son consideradas, desde hace siglos, como un lujo en la gastronomía mundial, alcanzando la trufa de Borch valores de € 100-400/Kg. La ventaja de combinar ambos es que la asociación simbiótica otorga ventajas productivas al árbol, acelerando su crecimiento, adelantando la entrada en producción, mejorando su

resistencia y las propiedades del fruto.

Chile puede convertirse en productor de piñones dado que la especie se adapta muy bien a las condiciones climáticas y edáficas de la zona centro sur, donde está presente desde hace más de un siglo. La superficie potencial con vocación frutal alta supera 1,2 millones de hectáreas, y existe interés creciente de productores por establecer plantaciones, injertadas o no. También existe una industria naciente de truficultura centrada en la trufa negra en unas 500 ha, con una superficie potencial estimada muy superior.

Esta interesante oportunidad técnica y comercial que el proyecto aprovecha, cobra especial relevancia en el contexto del cambio climático, que implicará mayores temperaturas y menores precipitaciones, con una disminución significativa de la disponibilidad hídrica de la zona centro-sur del país. Esta nueva realidad provocará un desplazamiento hacia el sur de parte de los huertos frutales tradicionales, dejando a los propietarios con reducidas alternativas de mantener una producción con niveles de rentabilidad similares. Es por ello que este esquema productivo combinado es un aporte a la sustentabilidad del sector silvoagropecuario, que va a permitir producir dos productos -trufa y piñón- en tierras que, debido a la menor disponibilidad hídrica, se harán marginales para la fruticultura tradicional.

Dado que esta tecnología requiere menos agua que las especies frutales tradicionales (25-50% menor), constituye y constituirá un sistema productivo alternativo, rentable y apto a las condiciones ambientales. Su impacto además beneficiará la pequeña agricultura, ya que con pequeños huertos podrán sustentar la familia. Y aumentará la diversidad de productos gastronómicos de nicho en Chile, destinados principalmente a la exportación. A mediano plazo este proyecto incentivará la producción de piñones y trufas, contribuyendo al desarrollo económico del país.

Los objetivos específicos del proyecto incluyeron: desarrollar un esquema de establecimiento de pino piñonero micorrizado con trufa de Borch; desarrollar un esquema de manejo de pino piñonero micorrizado con trufas para producir piñones y trufas; y diseñar e implementar un programa de difusión y transferencia tecnológica.

El proyecto estableció, en propiedad de propietarios privados, siete ensayos experimentales entre las regiones Metropolitana y Aysén, tres más de lo comprometido, en los cuales se prueba un esquema de establecimiento y manejo aplicando el mejor conocimiento disponible tanto para el pino piñonero como para las trufas; incluye riego, fertilización, enclavado, podas y control de malezas, entre otras prácticas culturales. Estas unidades forman parte de un ensayo multiambiental que proporcionará información de inestimable valor a futuro, ya que es único en el mundo.

El equipo de trabajo, en el que participan expertos internacionales de renombre, permitió ejecutar el proyecto con excelencia en la calidad técnica, a lo que se suman los asociados que participan, tanto del sector público como del sector privado, representando una conjunción de intereses que han facilitado su difusión y transferencia tecnológica, lo que permitirá su implementación a mayor escala, impactando positivamente el sector silvoagropecuario.

FIA aportó el 36,8% del costo total del proyecto, mientras que la contraparte (INFOR y asociados) hizo un aporte no pecuniario del 57,1% y 6,1% pecuniario. Los asociados suscribieron un convenio de colaboración a 10 años plazo, lo que confirma su interés y compromiso, y estimamos servirá como efecto multiplicador del modelo en desarrollo.

La propuesta es altamente innovativa por cuanto el desarrollo de la truficultura en Chile sólo se ha desarrollado con latifoliadas y trufa negra, ampliándose tanto la especie

hospedera como la trufa; y la generación de plantaciones con doble propósito productivo corresponde a una innovación del modelo productivo.

4. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Desarrollar un paquete tecnológico para producir simultáneamente piñones de pino mediterráneo (*Pinus pinea*) y trufas comestibles (*T. borchii*) bajo criterios de eficiencia hídrica.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)

5.1 Porcentaje de Avance

El porcentaje de avance de cada objetivo específico se calcula luego de determinar el grado de avance de los resultados asociados a éstos. El cumplimiento de un 100% de un objetivo específico se logra cuando el 100% de los resultados asociados son alcanzados.

Nº OE	Descripción del OE	% de avance al término del proyecto ¹
1	Desarrollar un esquema de establecimiento de pino piñonero micorrizado con <i>Tuber borchii</i> para la producción combinada de piñones y trufas.	100%
2	Desarrollar un esquema de manejo inicial de pino piñonero micorrizado con trufa de Borch para la producción combinada de piñones y trufas.	70,7%
3	Generar e implementar un programa de difusión y transferencia de las tecnologías generadas al ámbito público y privado.	100%
4	Validar técnica y económicamente un protocolo de producción de plantas de pino piñonero inoculadas con <i>Tuber borchii</i> para lograr su patentamiento	100%

¹ Para obtener el porcentaje de avance de cada Objetivo específico (OE) se promedian los porcentajes de avances de los resultados esperados ligados a cada objetivo específico para obtener el porcentaje de avance de éste último.

6. RESULTADOS ESPERADOS (RE)

Para cada resultado esperado debe completar la descripción del cumplimiento y la documentación de respaldo.

6.1 Cuantificación del avance de los RE al término del proyecto

El porcentaje de cumplimiento es el porcentaje de avance del resultado en relación con la línea base y la meta planteada. Se determina en función de los valores obtenidos en las mediciones realizadas para cada indicador de resultado.

El porcentaje de avance de un resultado no se define según el grado de avance que han tenido las actividades asociadas éste. Acorde a esta lógica, se puede realizar por completo una actividad sin lograr el resultado esperado que fue especificado en el Plan Operativo. En otros casos se puede estar en la mitad de la actividad y ya haber logrado el 100% del resultado esperado.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)							% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta Programada	Resultado real logrado	Fecha alcance meta real	
1	1	Unidades experimentales establecidas con plantas micorrizadas en vivero con <i>Tuber borchii</i>	Unidades experimentales establecidas de 1 ha cada una	Nº unidades experimentales establecidas con una densidad de 278 plantas/Ha.	0	4	30-10-2018	7	24/07/19	100%
1	2	Sobrevivencia exitosa en ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero	Porcentaje de sobrevivencia con riego de plantas inoculadas en vivero	$(\text{N}^\circ \text{ total plantas vivas} / \text{N}^\circ \text{ total plantas establecidas}) * 100$	80%	100%	30-09-2018	100%	30/09/18	100%
					(con riego y sin inoculación)	95%	30-09-2019	98,1%	30/09/19	100%
						90%	30-12-2020	98,6%	30/11/20	100%
								98,1%	30/10/21	100%

1	3	Sobrevivencia exitosa en ensayos sin riego de plantas inoculadas en vivero	Porcentaje de sobrevivencia sin riego de plantas inoculadas en vivero	(N° total plantas vivas/ N° total plantas establecidas)*100	75% (sin riego y sin inoculación)	95%	30-09-2018	96%	30/04/19	100%
						90%	30-09-2019	95%	15/11/19	100%
						85%	30-12-2020	95%	30/11/20	100%
								95%	30/10/21	100%
1 y 2	4	Las plantas inoculadas en vivero son vigorosas en ensayos con riego	Porcentaje de vigor con riego de plantas inoculadas en vivero	(N° total plantas vigorosas/N° total plantas establecidas)*100	60% (con riego y sin inoculación)	80%	30-09-2018	92%	30/09/18	100%
						80%	30-09-2019	98%	15/11/19	100%
						80%	30-12-2020	94,4%	30/11/20	100%
								84,5%	30/10/21	100%
1 y 2	5	Las plantas inoculadas en vivero son vigorosas en ensayos sin riego	Porcentaje de vigor sin riego de plantas inoculadas en vivero	(N° total plantas vigorosas/N° total plantas establecidas)*100	40% (sin riego y sin inoculación)	60%	30-09-2018	92%	30/09/18	100%
						60%	30-09-2019	91%	15/11/19	100%
						60%	30-12-2020	82,4%	30/11/20	100%
								77,9%	30/10/21	100%

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

En los años 2018 y 2019, se establecieron 6 ensayos experimentales con Pino piñonero (*Pinus pinea*) que incluyen plantas con y sin inoculación con *Tuber borchii*, para evaluar los efectos de la inoculación en el crecimiento y fructificación, y cuantificar la producción de trufas. Se utilizaron plantas de *P. pinea* de 1 temporada, producidas en el Centro Tecnológico de la Planta Forestal (CTPF) de INFOR ubicado en la región del Bío. Los ensayos corresponden a:

- Pirque, Región Metropolitana, de clima cálido y templado, con temperatura media anual de 14,2 °C y 206 mm de precipitación anual. El terreno es plano, con ondulaciones menores. Suelo de origen aluvial, de textura areno-francoso.

- La Estrella, Litueche, Región O'Higgins, de clima templado cálido con lluvias invernales, con temperatura media anual de 13,2 °C y 363 mm de precipitación anual. Terreno plano con ondulaciones de textura franco-arenosa.

- Cabrero, Región del Bío, cuyo clima es cálido y templado, con lluvias concentradas en invierno y con veranos secos y cálidos. La temperatura promedio es 13,3 °C; la temperatura generalmente varía de 3°C a 29°C y rara vez baja de -2°C o sube sobre 33°C. Las precipitaciones anuales alcanzan 498 mm. El terreno es principalmente plano, con ondulaciones menores, de textura franco-arenosa.

- Yumbel, Región del Bío, cuyo clima es cálido y templado, con lluvias concentradas en invierno y con veranos secos y cálidos. La temperatura promedio es 14,3°C, y las precipitaciones son de 498 mm. El terreno es principalmente plano, con ondulaciones menores, con una textura areno francosa.

- Chacaico, Los Angeles, Región del Bío, con clima cálido templado, con veranos cálidos y secos e inviernos fríos y lluviosos. La temperatura promedio es de 13,6°C; generalmente varía de 3°C a 28°C y rara vez baja de -2°C o sube a más de 33°C. La precipitación media es de 407 mm. El terreno es principalmente plano, con ondulaciones menores y textura franco-arenosa.

- Flor del Lago, Región de la Araucanía, cuyo clima presenta temperatura media anual de 10,9°C con precipitación anual de 1.460 mm. Suelo casi plano con textura franco arenosa.

- Exploradores, Región de Aysén, cuyo clima presenta temperatura media anual de 9,6°C, precipitación anual de 874 mm incluyendo nieve en invierno. Suelo relativamente plano con textura franco arenosa.

La densidad de plantación de todos los ensayos fue de 6 x 6 m, establecidos en diseño de bloques al azar con 4 repeticiones y además con parcelas divididas (con y sin riego) en los ensayos de Pirque, Cabrero y Chacaico. En 2019 y en 2020, en éstos tres ensayos, se establecieron parcelas adicionales de plantas con y sin inoculación, también en bloques al azar, para constituir 3 ensayos plurianuales. Se plantaron aproximadamente 520 plantas en total por ensayo establecido el 2018, de las cuales 144 son inoculadas. Los años 2019 y 2020 se plantaron 140 plantas totales en cada ensayo, con 24 inoculadas en cada uno.

Todos los ensayos se mantuvieron desde su establecimiento, incluyendo riego (en sectores correspondientes) durante el período de primavera y verano, salvo la unidad establecida en Aysén, que no contempló riego debido a las elevadas precipitaciones que se registran en la zona. Para evaluar los efectos de la inoculación y del riego en el crecimiento y fructificación, y cuantificar la producción de trufas, en cada ensayo se realizó un seguimiento anual de la sobrevivencia de plantas. En cada ensayo se replantaron las plantas muertas o robadas. En las parcelas con riego, en promedio el 96% de las plantas establecidas sobrevivió. En las sin riego, la sobrevivencia media fue de 95,5%. Las plantas inoculadas con riego presentaron mayor sobrevivencia que las no inoculadas con riego (98,1% vs 93,5%). Las plantas inoculadas sin riego también presentaron una mayor sobrevivencia que las no inoculadas (95,7% vs 95,2%). Tres ensayos -La Estrella, Chacaico y Flor del Lago-, presentaron 100% sobrevivencia.

En las mediciones anuales también se evaluó visualmente el vigor de cada individuos basándose en 3 categorías de acuerdo al color y abundancia del follaje y estado de desarrollo de la planta (vigor alto: planta sana, con abundantes acículas sin decoloración, de color verde intenso; vigor medio: planta en apariencia sana con follaje menos denso y/o moderada decoloración de acículas (verde opaco y con tintes amarillos), y vigor bajo: planta con algún daño, poco follaje y/o acículas severamente decoloradas, de color amarillento). Para cada categoría de vigor se contabilizaron las plantas, y se obtuvo el promedio en cada una; el resultado de la evaluación realizada al tercer año (2021), indica que un 85% de las plantas inoculadas con riego presentaron vigor elevado, valor que sin riego bajó a 78%. La inoculación, si bien también favoreció el vigor de las plantas, (vigor elevado en el 81% de las plantas en relación al 70% sin inoculación), no fue estadísticamente diferente en relación a la no inoculación. La excepción de lo anterior son los ensayos Exploradores y Cabrero con riego.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)

En Anexo 1 se presenta detalle de unidades experimentales establecidas de pino piñonero inoculadas con *Tuber borchii*, en lo que se refiere a producción de plantas (pp. 2-22) y establecimiento (pp. 23-48). Subanexo 1a: Contrato Treetec (pp. 52-60). Subanexo 1b; origen inóculo Treetec (pp 61-65). Subanexo 1c: Informe evaluación micorrización Dr. Davide Sisti (pp. 66-77). Subanexo 1d: Informe asesor internacional Dr. Gianluigi Gregori (pp 78-102). En Anexo 2 se presentan las evaluaciones de sobrevivencia (pp. 2 y 12 para los plurianuales) y vigor (pp. 3, 4 y 13) de las plantas establecidas.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)							% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta Programada	Resultado real logrado	Fecha alcance meta real	
2	6	Crecimiento satisfactorio en ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero	Crecimiento promedio anual en altura de plantas inoculadas en vivero (cm/año)	$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$ $X = \text{Altura (a+1)} - \text{Altura (a)}$ n=número de plantas medidas a=año	30 cm/año altura	40 cm altura /año 40 cm altura /año	30-09-2019 30-12-2020	26 cm/año 31,6 cm/año		16%
			Crecimiento promedio anual en el diámetro a la altura del cuello (DAC) de plantas inoculadas en vivero (cm/año)	$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$ $X = \text{DAC (a+1)} - \text{DAC (a)}$ n=número de plantas medidas a=año	1,5 cm DAC/año	1,8 cm DAC/año y 1,8 cm DAC/año	30-09-2019 30-12-2020	1,3 cm/año 1,8 cm/año	30/10/21	100%
2	7	Crecimiento satisfactorio de plantas inoculadas en vivero sin riego	Crecimiento promedio anual en altura de plantas inoculadas en vivero (cm/año)	$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$ $X = \text{Altura (a+1)} - \text{Altura (a)}$ n=número de plantas medidas a=año	25 cm altura /año	30 cm altura/año 30 cm altura/año	30-09-2019 30-12-2020	24 cm/año 28 cm/año		60%
			Crecimiento promedio anual en el diámetro a la altura del cuello (DAC) de plantas inoculadas en vivero (cm/año)	$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$ $X = \text{DAC (a+1)} - \text{DAC (a)}$ n=número de plantas medidas a=año	1,0 cm DAC/año	1,0 cm DAC/año 1,0 cm DAC/año	30-09-2019 30-12-2020	1,2 cm/año 1,5 cm/año	30/11/20 30/10/21	100% 100%

2	8	Presencia de flores en pino piñonero de ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero	Número promedio de flores en plantas inoculadas en vivero	N° flores/N° de plantas inoculadas en vivero	0	1	31-12-2020	0,014		1,4%
2	9	Presencia de flores en pino piñonero de ensayos sin riego de plantas inoculadas en vivero	Número promedio de flores en plantas inoculadas en vivero	N° flores/N° de plantas inoculadas en vivero	0	0,5	31-12-2020	0,047		9,4%
2	10	Presencia de flores en pino piñonero de plantaciones preestablecidas	Número promedio de flores en plantas inoculadas	N° flores/N° de plantas inoculadas	0	0 0,5 1,5	31-10-2017 31-10-2018 31-10-2019	0 0,5 1,3	25/1/2018 30/3/2019 30/11/2020	100% 100% 87%
2	11	Presencia de micorrización con <i>T. borchii</i> en plantas de pino piñonero de plantaciones preestablecidas inoculadas en campo, certificadas según protocolos de control italianos y franceses de acuerdo a la literatura vigente.	Nivel de micorrización de <i>T. borchii</i> sobre pino piñonero en plantaciones preestablecidas inoculadas en campo	(N° de plantas resultantes micorrizadas con <i>T. borchii</i> ≥ 3 / N° total de plantas inoculadas en terreno con <i>T. borchii</i>) * 100 Media \pm SD y cálculo de cuartiles Q1, Q2, Q3, Q4, usando la escala ordinal: 0, 1, 2, 3, 4, 5	0%	20% 30% 40%	30-4-2018 30-9-2019 30-8-2021	0% 0% 0%		0%

2	12	Ensayos experimentales establecidos con riego presentan un porcentaje satisfactorio de micorrización con <i>Tuber borchii</i> inoculado en vivero, certificado según protocolos de control italianos y franceses de acuerdo a la literatura vigente	Permanencia de micorrizas de <i>T. borchii</i> sobre pino piñonero en ensayos con riego	(N° de plantas resultantes micorrizadas con <i>T. borchii</i> ≥ 3 / N° total de plantas inoculadas de una muestra representativa en terreno con <i>T. borchii</i>)*100 Media±SD y cálculo de cuartiles Q1, Q2, Q3, Q4, usando la escala ordinal: 0, 1, 2, 3, 4, 5	0%	100% 90%	30-8-2018 30-8-2021	96% 100%	30/6/2019 30-8-2021	96% 100%
			Porcentaje promedio de infestación de <i>T. borchii</i> sobre pino piñonero en ensayos con riego	$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$ X= (N° de raíces activas con micorrización/ N° raíces muestreadas)* 100 n=número de plantas medidas	30%	40% 60%	30-4-2018 30-8-2021	87% 100%	30/6/2019 30-8-2021	100% 100%

2	13	Ensayos experimentales establecidos sin riego presentan un porcentaje satisfactorio de micorrización con <i>Tuber borchii</i> inoculado en vivero, certificado según protocolos de control italianos y franceses de acuerdo a la literatura vigente.	Permanencia de micorrización de <i>T. borchii</i> sobre pino piñonero en ensayos sin riego	(N° de plantas resultantes micorrizadas con <i>T. borchii</i> ≥ 3 / N° total de plantas inoculadas en terreno con <i>T. borchii</i>)*100 Media±SD y cálculo de cuartiles Q1, Q2, Q3, usando la escala ordinal: 0, 1, 2, 3, 4, 5	0%	100% 50%	30-4-2018 30-8-2021	98% 99%	30/6/2019 30-8-2021	98% 100%
			Porcentaje promedio de infestación de <i>T. borchii</i> sobre pino piñonero en ensayos sin riego	$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$ X=(N° de raíces activas con micorrización/ N° raíces muestreadas) *100 n=número de plantas medidas	30%	10% 15%	30-4-2018 30-8-2021	88% 99%	30/6/2019 30-8-2021	100% 100%

1 y 2	14	El protocolo de establecimiento inicial y manejo combinado de pino piñonero y trufas satisface técnica y económicamente a los productores del proyecto	Porcentaje de aprobación del documento con protocolo de manejo integral para producción combinada de piñones y trufas	(N° de aprobaciones del protocolo/N° total de productores del proyecto) *100 Aprobación=El productor está satisfecho con más del 80% de su contenido.	0	80%	20-08-2021	100%	30/9/2021	100%
2	15	Búsqueda de trufas con perro entrenado en plantación establecida con plantas inoculadas en vivero	Búsqueda de trufas realizada	N° búsquedas realizadas	0	1	30-10-2021	1	30-10-2021	100%

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

Cada año desde el establecimiento de los ensayos experimentales con plantas de pino piñonero inoculadas con trufa de Borch y no inoculadas, éstos fueron evaluados en primavera midiendo el crecimiento (diámetro a la altura del cuello (DAC), altura y diámetro de copa (DCOP)) de cada planta en cada ensayo; para ello se utilizó pie de metro y huincha, respectivamente. Las mediciones se ingresaron en una planilla Excel y luego se procesaron con el software INFOSTAT. El tamaño medio anual de las plantas inoculadas en vivero en las parcelas regadas al tercer año desde su establecimiento fue en promedio de 31,6 cm de altura y 1,8 cm de DAC. Se ha apreciado que lentamente las plantas, luego de un período inicial de establecimiento de su sistema radicular, empiezan a expresar un mayor crecimiento. Sin embargo, hay que considerar que el manejo empleado no busca obtener un crecimiento vegetativo elevado, sino más bien que este permita que los nuevos ápices radiculares alcancen a ser micorrizados por el *T. borchii*. Junto con las mediciones de altura y diámetro de las plantas, se evaluó la presencia de flores; dada la corta edad biológica de los individuos, sólo se observaron pocas flores en 3 plantas del ensayo de Cabrero (inoculadas sin riego) y en una en el de Chacaico (inoculada con riego). Por otra parte, se establecieron 3 unidades de inoculación en campo en plantaciones experimentales de pino piñonero preestablecidas, de 3 a 5 años de edad, en las localidades de Hidango (región de O'Higgins), Cauquenes (región del Maule) y La Quila (región de Los Ríos). Luego de la inoculación (2016 y 2017 en Hidango y Cauquenes, y 2017 en La Quila), se contabilizó la cantidad de flores en cada individuo. La cantidad de flores por individuo inoculado observadas el año 2020 es de 1,3 flores/individuo. Esta presencia de flores no es atribuible a la inoculación realizada ya que no se encontró presencia de micorrización con *Tuber borchii* ni uno ni dos años después de la inoculación. Para determinar esto, en abril del 2018 se visitaron los ensayos Cauquenes e Hidango y se obtuvieron muestras de raíces para evaluar la micorrización (4 muestras por planta, una de cada cuadrante N-S-E-O). Previamente se habían obtenido muestras durante la reinoculación en octubre de 2017 de cada cuadrante (4 muestras/planta). En abril de 2019 se volvieron a tomar muestras, de los ensayos Cauquenes (dada la presencia del morfotipo "Tuber like") y en La Quila; este último ensayo también se muestreó el 2020. El proceso consideró lo siguiente para cada muestra de raíz: se envolvió en toalla nova humedecida, se introdujo en bolsa plástica debidamente etiquetada y se conservó en nevera para su traslado al laboratorio, donde se conservaron congeladas hasta la observación. La evaluación se realizó en laboratorio en mayo-junio, bajo estereoscopio y microscopio óptico. Los resultados evidenciaron que ninguna de las plantas inoculadas en campo, evaluadas en todas las fechas, presentaron micorrizas de *Tuber borchii*, lo que era esperable dado que las plantas ya tenían micorrizas establecidas antes de la inoculación. Esto fue previsto por dos expertos internacionales, y también señalado por el equipo de trabajo a FIA. Dentro de las unidades experimentales establecidas con plantas inoculadas en vivero, se establecieron tres ensayos plurianuales (Pirque, Chacaico, Cabrero) los años 2019 y 2020. En mayo de 2019 se colectaron muestras de raíces de dichos ensayos, evaluándose la micorrización de *Tuber borchii* casi un año después de su establecimiento, y a los dos años (total de plantas evaluadas: 74/ensayo cada vez). La colecta se realizó destapando las raíces de cada planta por cuadrante hasta llegar a los ápices radiculares, donde se obtuvo una sección de raíz. Cada muestra de raíz se trató de la misma forma indicada anteriormente.

La observación y evaluación realizada bajo estereoscopio y microscopio óptico indicó que un 100% de las plantas inoculadas con riego y un 99% de las inoculadas sin riego presentaron micorrización superior a 3 de la escala ordinal de 0-5. Para plantas sin riego la micorrización con *tuber borchii* fue de 98% y con riego 99,7%. El crecimiento para todos los ensayos plurianuales para las variables evaluadas fue superior en las plantas inoculadas. El crecimiento medio en altura de las plantas inoculadas evaluado el año 2021 para las parcelas establecidas los años 2018, 2019 y 2020 fue 29,6 cm/año, 27,3 cm/año y 21,7 cm/año, respectivamente. De la misma manera, el crecimiento en DAC fue 1,6 cm/año, 14,2 cm/año y 10,5 cm/año, respectivamente.

Se elaboró un protocolo de establecimiento y manejo de pino piñonero inoculado con trufa de Borch, el que fue validado tanto por el asesor internacional como por los productores asociados al proyecto; posteriormente se distribuyó entre interesados.

Por último, también se realizó una búsqueda de trufas con perros entrenados en la plantación ubicada más al norte (Pirque), y en los tres ensayos ubicados en la región del Bío Bío (Chacaico, Yumbel y Cabrero). En todas las unidades los perros marcaron varias plantas, escarbando para encontrar la trufa, aunque no encontraron trufas, lo que podría deberse al tamaño pequeño de esas primeras trufas, o a que se encuentran a mayor profundidad que lo buscado, y a la corta edad de las plantas.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)

En Anexo 2 se presentan los antecedentes de crecimiento, presencia de flores y micorrización, de las plantas en las diferentes unidades experimentales establecidas con plantas inoculadas y no inoculadas en vivero, tanto con como sin riego. Esta información se descompone en los 7 ensayos evaluados y en los ensayos plurianuales. En Anexo 8 se presentan los resultados de la inoculación de plantaciones preestablecidas de pino piñonero. En Anexo 6 se presenta el Protocolo de establecimiento y manejo de pino piñonero inoculado con trufa de Borch, y en Anexo 5 la imagen gráfica de la búsqueda de trufas con perros entrenados en los diferentes ensayos.

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)							% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta Programada	Resultado real logrado	Fecha alcance meta real	
3	16	Público objetivo capacitado	Propietarios frutales, forestales, técnicos y extensionistas capacitados en técnicas de establecimiento y manejo para la producción combinada de piñones y trufas	Nº asistentes según lista de asistencia.	0	100	30-9-2021	308	7-10-2021	100%
			Calidad de la transferencia efectuada	% de asistentes satisfechos	0	90	30-9-2021	93	7-10-2021	100%

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

En enero de 2017, el experto italiano, Dr. Gianluigi Gregori, realizó una charla técnica “Elementos fundamentales para la truficultura”, en INFOR Valdivia, asistiendo diversos interesados del rubro (26 asistentes) a quienes, además, se les entrega material de difusión del proyecto.

En octubre 2019 se realizó un Taller de producción de piñones y trufas en la Sede Metropolitana del Instituto Forestal. El objetivo fue dar a conocer avances del proyecto, presentar la visión de la Asociación de Truficultores respecto a la truficultura en Chile, avances y perspectivas de mercado, y también conocer la experiencia de una truficultora asociada al proyecto. El evento contó con la participación de más de 50 personas, quienes evaluaron positivamente la actividad.

El día 10 de junio de 2020 se realizó vía Teams una charla/taller de producción de piñones y trufas, con el objetivo de dar a conocer esta alternativa de producción combinada y avances del proyecto: la actividad finalizó con preguntas de los asistentes. El evento contó con la participación de más de 100 personas tanto del sector privado como público; empresas, asociados al proyecto, Universidades, y otros. Dado el formato del taller no se realizó una evaluación formal de la charla, sin embargo, en las preguntas y comentarios se recibieron agradecimientos y felicitaciones, y posteriormente también se recibieron mails con el mismo motivo.

Posteriormente, el día 6 de octubre de 2021 se realizó un día de campo en el predio el predio Las Dunas, ubicado en el sector Los Castaños, comuna de Cabrero, región del Bío Bío, para dar a conocer la experiencia del cultivo de *Tuber borchii* y pino piñonero y sus oportunidades para Chile, que contó con la presencia de 19 asistentes debido a la situación de pandemia. En la oportunidad se describió la unidad experimental establecida, se hizo una búsqueda de trufas con perro entrenado y una demostración de poda de formación en pino piñonero. La totalidad de los asistentes quedó muy satisfecha con la actividad realizada.

Por último, el día 7 de octubre se realizó el seminario internacional online “Avances en el cultivo combinado de piñones de pino y trufas de Borch en Chile”, que contó con la participación de más de 60 asistentes y la participación de 5 expositores.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)

En Anexo 3, se presenta antecedentes sobre charlas realizadas. Del 2017: invitación (p.2), presentación Dr. Gregori (pp. 3-19) y listado de asistentes (pp. 20-21). Charla realizada 2018, Dr. Davide Sisti: listado de asistentes (pp. 22-24). En relación al taller de 2019 se adjunta invitación (pp. 25), presentaciones (pp. 26-66), asistentes (pp. 67-76) y evaluación (pp. 76-79). Sobre la charla del 2020 se adjunta la invitación (p. 80), presentación (pp. 81-97), asistentes (pp. 98-101), y comentarios (pp. 102-103). Para el día de campo realizado se adjunta invitación (p. 104), material divulgativo entregado (pp. 105-112) y lista de asistentes (pp. 113-114). En relación al Seminario internacional se adjuntan afiche (p.115), programa (p.116), presentaciones de expositores (pp.117-157), y asistentes (pp.158-159).

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)							% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta Programada	Resultado real logrado	Fecha alcance meta real	
4	17	Solicitud de registro de patente del protocolo de producción de plantas de pino piñonero inoculadas con trufa de Borch en vivero ingresada en INAPI	Solicitud de patente del protocolo de producción de plantas de pino piñonero inoculado con trufa de Borch finalizada	Nº de solicitudes de patente del protocolo de producción de plantas de pino piñonero inoculadas con trufa de Borch realizados	0	1	20-6-2021	1	4-5-2021	100%

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

En mayo de 2021 se presentó a INAPI la solicitud de patente de invención Inoculación de plantas de *Pinus pinea* con *Tuber borchii* en vivero. En septiembre se recibió desde INAPI la Resolución de aceptación a trámite.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)

En Anexo 7 se entregan antecedentes que dan cuenta del trámite realizado ante INAPI.

6.2 Análisis de brecha.

Cuando corresponda, justificar las discrepancias entre los resultados programados y los obtenidos.

No se presentaron discrepancias entre los resultados programados y los obtenidos, salvo en el RE 11 y 15, lo que se explica en el siguiente detalle:

Resultado esperado (RE) 1 (Obj. 1). Unidades experimentales establecidas con plantas micorrizadas en vivero con *T. borchii*. Este resultado consideró el desarrollo e implementación de la metodología de producción de plantas inoculadas, la selección de sitios a partir de requerimientos ecológicos (clima y suelo) y de gestión, y su establecimiento en campo, de acuerdo a lo planificado.

RE 2 (Obj. 1). Supervivencia exitosa en ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero. Este resultado fue logrado ampliamente, obteniéndose valores medios de supervivencia muy elevados bajo riego (98,6%) al segundo año desde el establecimiento, superior a lo planificado (90%).

RE 3 (Obj. 1). Supervivencia exitosa en ensayos sin riego de plantas inoculadas en vivero. Este resultado fue logrado ampliamente, obteniéndose valores promedio de supervivencia también muy elevados sin riego (95%) al segundo año, superior a lo planificado (85%).

RE 4 (Obj. 1 y 2). Las plantas inoculadas en vivero son vigorosas en ensayos con riego. Se obtuvo un 94,4% de plantas vigorosas al segundo año, muy superior a lo planificado (80%).

RE 5 (Obj. 1 y 2). Las plantas inoculadas en vivero son vigorosas en ensayos sin riego, de acuerdo a lo planificado. Se obtuvo un 82,4% de plantas vigorosas al segundo año, muy superior a lo planificado (60%).

RE 6 (Obj. 2). Crecimiento satisfactorio en ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero. Al tercer año, el crecimiento medio anual en altura alcanzó 31,6 cm y 1,8 cm en DAP; la altura fue inferior a lo estimado inicialmente (40 cm/año), pero el DAP superior a lo estimado (1,5 cm/año).

RE 7 (Obj. 2). Crecimiento satisfactorio de plantas inoculadas sin riego, de acuerdo a lo planificado. Al tercer año, el crecimiento medio anual en altura alcanzó 28 cm/año no superando la meta planificada de 30 cm, pero el crecimiento en DAP fue 1,5 cm/año superando lo estimado inicialmente (1,0 cm/año).

RE 8 (Obj. 2). Presencia de flores en pino piñonero de ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero, de acuerdo al ciclo biológico de la especie. Si bien no se logró la meta, se observan algunos individuos que a pesar de su corta edad (3 años) ya presentan algunas flores masculinas y femeninas, lo que muy precoz.

RE 9 (Obj. 2). Presencia de flores en pino piñonero de ensayos sin riego con plantas inoculadas en vivero. Por la corta edad y ciclo fenológico de pino piñonero, normalmente no es factible observar flores. Sólo se observó un individuo de uno de los ensayos con una flor femenina.

RE 10 (Obj. 2). Presencia de flores en pino piñonero de plantaciones preestablecidas. Los valores obtenidos (0, 0,5 y 0,3 y 1,3 a los años 0, 1, 2 y 3) concuerdan con lo planificado solo los dos primeros años (0, 0,5 y 1,5 unidades), lo que se explica porque el aumento previsto al año 3 por la micorrización no se logró por cuanto la asociación entre la trufa y el pino piñonero no pudo establecerse.

RE 11 (Obj. 2). Presencia de micorrización con *T. borchii* certificado genéticamente en plantas de pino piñonero de plantaciones preestablecidas. Este resultado, solicitado expresamente por FIA y no incluido en la propuesta presentada, no fue logrado por razones biológicas, como manifestado por el equipo técnico y por los dos asesores internacionales especializados en truficultura. Esto se debe a que raíces ya colonizadas por años con otras micorrizas no permiten el establecimiento de otras, aun si se emplean técnicas apropiadas de inoculación (de hecho, por ello esta técnica sólo se usa en truferas poco productivas, es decir, para potenciar el hongo que ya existe).

RE 12 (Obj. 2). Ensayos experimentales establecidos con riego presentan un porcentaje satisfactorio de micorrización con *T. borchii* certificado genéticamente inoculado en vivero, muy superior a lo planificado (99% de árboles muestreados tienen ápices radiculares micorrizados con *T. borchii* al año 3, versus 90% comprometido). Por otra parte, al tercer año se alcanzó un 82% de ápices radiculares muestreados infestados con la trufa, que es muy superior al valor comprometido (60%).

RE 13 (Obj. 2). Ensayos experimentales establecidos sin riego presentan un porcentaje satisfactorio de micorrización con *T. borchii* certificado genéticamente inoculado en vivero, muy superior a lo planificado (98% de árboles muestreados tienen ápices radiculares micorrizados con *T. borchii* al año 3, versus 50% comprometido). Por otra parte, al tercer año se alcanzó un 73% de ápices radiculares muestreados infestados con la trufa, que es muy superior al valor comprometido (15%).

RE 14 (Obj. 1 y 2). El protocolo de establecimiento inicial y manejo combinado de pino piñonero y trufas satisface técnica y económicamente a los productores del proyecto. Este resultado se obtuvo de acuerdo a lo planificado, por cuanto todos los asociados revisaron y aprobaron el documento, declarándose satisfechos.

RE 15 (Obj. 2). Cosecha de primeras trufas en plantaciones preestablecidas inoculadas, realizado de acuerdo a lo planificado, sin encontrar cuerpos fructíferos, lo que es esperable según el ciclo biológico tanto del pino piñonero como de la trufa estudiada en esta edad.

RE 16 (Obj. 3). Público objetivo capacitado. Se superó el compromiso inicial (100 asistentes y 90% satisfecho), ya que se capacitaron 308 personas, satisfechas en un 93% según encuestas recibidas de las actividades en que pudo aplicarse el instrumento.

RE 17 (Obj. 4). Registro de solicitud de patente, incorporado durante el proyecto, y logrado, lo que es muy relevante desde el punto de vista de innovación en el área.

6.3 Evaluación económica con y sin proyecto

Para realizar la evaluación económica, se recolectaron datos primarios y secundarios para el establecimiento y manejo de una unidad productiva de una hectárea, que se describen a continuación.

Costos: el costo laboral corresponde a valores de mercado en la zona central de Chile. Los costos de suministros se obtuvieron de búsquedas de precios a minoristas de tiendas departamentales especializadas locales (Homecenter, Easy, ANASAC, entre otras).

Producción: la producción de conos se basó en registros obtenidos de Chile (Loewe y Delard, 2012; Loewe et al., 2016, 2017, 2018, 2020a, b) y de una revisión de la literatura realizada utilizando las bases de datos disponibles (ACS Web Editions, Annual Reviews, Nature collection, Colección Elsevier Science Direct-Freedom, Oxford University Press, Science Magazine, Springerlink, Wiley-Blackwell, entre otros). La producción de conos se estimó mediante una simulación. El pino piñonero se caracteriza por la producción añera en su hábitat nativo (Calama et al., 2008) y en el país (Loewe et al., 2020b); por lo tanto, la producción anual proyectada es seguida por dos años de producción reducida a la mitad. En el esquema de manejo propuesto, debido al riego, la producción esperada es seguida por dos años de una producción reducida en un 40% (Fig. 1 izq.), suavizada respecto a la situación base por efecto de la micorriza. Se consideró un peso medio del cono de 495 g (Loewe et al., 2018). La producción de trufa de Borch se simuló en base a antecedentes de producción nacional de trufa negra, con valores crecientes desde los 4 años hasta estabilizarse en 100 kg/ha a los 15 años (existe información de trufera de *T. melanosporum* con producción de 100 kg/ha a los 10 años) (Fig. 1 der).

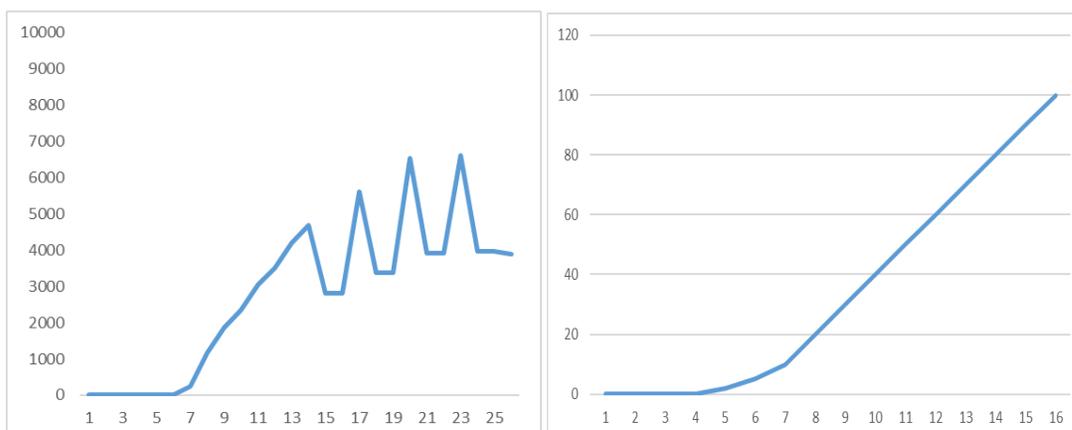


Figura 1. Producción proyectada de piñas (kg/ha) (izq.) y de trufa de Borch (kg/ha) (der.)

Ingresos: Los conos se valoraron en 1,05 US\$/kg (Correia, 2019). Las trufas se valoraron en 200 €/kg como precio esperado y 300 €/kg como precio optimista.

La situación sin proyecto, considera esquema de manejo similar para producción de piñones, sólo no considera la producción y costos asociados a las trufas. En anexo 9 se adjunta detalle de actividades y costos asociados. Los resultados obtenidos con y sin proyecto se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Indicadores de rentabilidad de la situación con y sin proyecto, a diferentes horizontes de evaluación y escenarios (esperado y optimista de precio de la trufa de Borch).

Indicador rentabilidad – horizonte evaluación/ TIR	Sin Proyecto	Con proyecto (200 €/kg trufa)	Con proyecto (300 €/kg trufa)
VAN (12%) - 10 AÑOS	-\$ 7.605.314	-\$ 2.899.402	\$ 2.192.275
TIR	-19%	7%	15%
VAN (12%) - 15 AÑOS	-\$ 5.356.145	\$ 13.602.449	\$ 26.243.265
TIR	1%	21%	27%
VAN (12%) - 20 AÑOS	-\$ 3.954.924	-	-
TIR	6%		
VAN (12%) - 25 AÑOS	-\$ 2.961.530	-	-
TIR	9%		

Como se aprecia en la tabla 1, sin proyecto no se alcanza un valor presente neto positivo, ni a 10 ni en horizontes de evaluación mayores; esto se explica por el período que debe esperarse sin producción de piñones, que alcanza el máximo recién a los 40 años. Con proyecto y considerando un precio esperado de trufa de Borch de 200 €/kg trufa, éste se hace rentable a los 15 años de evaluación, pero en una situación optimista de precio, la rentabilidad es muy interesante a 10 años de evaluación. Para todos los casos descritos

el período de recuperación de capital es de 7 años.

7. CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO

Especificar los cambios y/o problemas enfrentados durante el desarrollo del proyecto. Se debe considerar aspectos como: conformación del equipo técnico, problemas metodológicos, adaptaciones y/o modificaciones de actividades, cambios de resultados, gestión y administrativos.

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
<p>La adquisición de plantas inoculadas para el establecimiento de unidades experimentales, falló. La empresa a la cual se encargó este trabajo el 2016, Treetec, produjo plantas que presentaron mortalidad superior al 90%, producto de un patógeno asociado a manejo hídrico inadecuado en vivero. Al segundo año ocurrió situación similar, si bien las plantas estaban vivas, no se obtuvo la micorrización deseada.</p>	<p>No fue posible realizar la plantación de los ensayos comprometidos el año 2017, con lo que se afectarían el logro de los objetivos 1 y 2, y general.</p>	<p>Se estableció un acuerdo entre el equipo de trabajo de INFOR y el Centro Tecnológico de la Planta Forestal (CTPF) de INFOR, para la producción de plantas de pino piñonero inoculadas con <i>T. borchii</i>, en donde el material biológico, semillas e inóculo (a obtenerse directamente de Italia) fue proporcionado por el equipo de trabajo, así como los protocolos de producción y manejo en vivero. Se debió extender el proyecto en un año, reprogramar actividades, y reitemizar gastos. Con este cambio se obtuvo las plantas requeridas para el establecimiento de las unidades experimentales, y poder continuar con la ejecución del proyecto y lograr sus objetivos.</p>
<p>La contingencia nacional producto del 18-10-2019 ocasionó dificultades para desplazarse por el territorio y áreas de ensayos, producto del corte de carreteras, horarios de funcionamiento del</p>	<p>La ejecución de actividades planificadas se encareció y se vieron dificultadas, en especial aquellas relacionadas a la inoculación, y seguimiento de ensayos.</p>	<p>Se optó por el uso de caminos alternativos extendiendo el tiempo y costo de las actividades.</p> <p>Se flexibilizaron actividades hasta lograr las metas propuestas, alcanzando los objetivos planteados.</p>

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
comercio y otros.		
<p>La situación producto de COVID-19 impidió la medición de raíces en otoño del 2020, para monitorear el estado de la micorrización.</p> <p>Esta misma situación dificultó en vivero la evaluación de micorrización de las plantas inoculadas y su transporte hacia los sitios de los ensayos plurianuales. Hubo dificultades para realizar las mediciones de unidades experimentales.</p>	<p>La imposibilidad de coleccionar raíces para la evaluación de la micorrización con <i>T. borchii</i> esa temporada no presentó consecuencias negativas sino más bien positivas, ya que según el experto italiano en truficultura, es mejor no intervenir el sistema radicular los primeros años después de establecida la trufera. Además, no se alteró el cumplimiento de los objetivos propuestos.</p> <p>La dificultad para transitar dentro del territorio por las cuarentenas y cordones sanitarios dificultó la evaluación en vivero de plantas inoculadas y su posterior traslado a los sitios para el establecimiento de los ensayos y replante.</p> <p>No hubo consecuencias para el logro de los objetivos, solo hubo que anticiparse y considerar la colaboración de colegas de INFOR y de los asociados presentes en el territorio para realizar mediciones.</p>	<p>La colecta de raíces para evaluación de micorrización se postergó un año, Producto de COVID se postergó el término del proyecto en 6 meses.</p> <p>Para la evaluación de las plantas en vivero se solicitó apoyo a nuestro equipo de INFOR Concepción, quien afortunadamente tiene la capacitación requerida para la observación de las raíces con la misma metodología aplicada a la fecha. El transporte de plantas para el establecimiento de las unidades plurianuales fue realizado por los asociados del proyecto, y también se consideró el apoyo de otros profesionales de INFOR sede Bío Bío que fueron a terreno en esas fechas para llevar las plantas a un lugar fuera del área del cordón sanitario, constituyendo una cadena hasta su llegada a destino.</p> <p>Se logró contar con apoyo de INFOR para realizar las mediciones en la región del Bío Bío, dada la dificultad para alojar y alimentarse en áreas con cuarentena. En la región de La Araucanía la medición fue realizada por personal de la empresa previa coordinación e instrucciones por parte de nuestro equipo, logrando completar la actividad.</p>

8. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO

8.1 Actividades programadas en el plan operativo y realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

Las actividades programadas en el plan operativo y ejecutadas durante la ejecución del proyecto, son:

- Adquisición de plantas.
- Contrato de asesoría nacional manejo trufas.
- Preselección sitios y diseño experimental ensayos
- Elaboración y firma de convenios de colaboración (Anexo 10 pp.35-64)
- Establecimiento ensayo inoculación en plantación joven preestablecida
- Elaboración documento preliminar requerimientos de sitio y establecimiento de sistema de producción combinado.
- Elaboración folleto divulgativo (Anexo 10 pp. 2-3)
- Selección final sitios de ensayos con experto italiano
- Establecimiento ensayos con y sin riego
- Mantenimiento y medición inicial de ensayos
- Establecimiento ensayos sin riego plurianuales
- Búsqueda de trufas con perro entrenado
- Elaboración publicación científica
- Realización de taller de capacitación/difusión
- Realización de un día de campo
- Elaboración de documento protocolo establecimiento
- Generación de publicación divulgativa
- Elaboración estrategia de transferencia tecnológica
- Mantenimiento y mediciones periódicas de ensayos
- Monitoreo de micorrización
- Sistematización y análisis estadístico de información de mediciones de ensayos experimentales
- Elaboración Protocolo de Manejo y documento final Manual protocolo manejo elaborado
- Seminario final
- Elaboración protocolo de producción de plantas de pino piñonero inoculadas con trufa de Borch y presentación de solicitud de patente a INAPI

8.2 Actividades programadas y no realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

No hubo actividades no realizadas en el transcurso del proyecto, sí actividades adicionales que enriquecieron los resultados de este proyecto.

8.3 Analizar las brechas entre las actividades programadas y realizadas durante el período de ejecución del proyecto.

Las brechas entre las actividades programadas y realizadas tienen que ver con la oportunidad en su ejecución, como se indicó anteriormente, situaciones externas al proyecto como el estallido social, o la pandemia de COVID-19, que generaron dificultades en la realización de actividades de establecimiento de ensayos y monitoreo. Sin embargo, con la extensión del proyecto se pudo reprogramar y realizar todas las actividades comprometidas.

Las brechas existentes tienen relación con la realización de más actividades que las comprometidas (7 en vez de 4 unidades experimentales), realización de un video promocional (link: https://youtu.be/D9fJJ_uV7Zw?t=969), un informe de Mercado elaborado por nuestro asesor internacional y la evaluación de la restricción hídrica en plantas inoculadas y no inoculadas de pino piñonero inoculado con trufa de Borch (tesis de pregrado) (Anexo 10 pp. 10-31 y 32-34, respectivamente).

9. POTENCIAL IMPACTO

9.1 Resultados intermedios y finales del proyecto.

Descripción y cuantificación de los resultados obtenidos al final del proyecto, y estimación de lograr otros en el futuro, comparación con los esperados, y razones que explican las discrepancias; ventas y/o anuales (\$), nivel de empleo anual (JH), número de productores o unidades de negocio que pueden haberse replicado y generación de nuevas ventas y/o servicios; nuevos empleos generados por efecto del proyecto, nuevas capacidades o competencias científicas, técnicas y profesionales generadas.

Los resultados obtenidos superan en cantidad y magnitud los previstos inicialmente, lo que corresponde a la oportunidad del bien público generado, que aporta una opción productiva rentable en un escenario de restricciones hídricas crecientes en el marco del cambio climático.

RE 1 (Obj. 1). Siete unidades experimentales establecidas con plantas micorrizadas en vivero con *T. borchii* entre las regiones Metropolitanas y Aysén, que forman parte de un ensayo multi ambiental de inestimable valor por los resultados generados a la fecha, y por generar a futuro.

RE 2 (Obj. 1). Supervivencia exitosa (98,1%) en ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero.

RE 3 (Obj. 1). Supervivencia exitosa (95,7%) en ensayos sin riego de plantas inoculadas en vivero.

RE 4 (Obj. 1 y 2). Plantas inoculadas en vivero vigorosas en ensayos con riego; se obtuvo una media de 94,4% de plantas vigorosas al segundo año y 84,5% al tercer año.

RE 5 (Obj. 1 y 2). Plantas inoculadas en vivero vigorosas en ensayos sin riego; se obtuvo una media de 82,4% de plantas vigorosas al segundo año y 77,9% al tercer año.

RE 6 (Obj. 2). Crecimiento satisfactorio en ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero; medias de 31,6 cm/año de altura, 1,75 cm/año de DAC y 27,2 cm/año de diámetro de copa a los 3 años a lo largo de los diferentes ambientes.

RE 7 (Obj. 2). Crecimiento satisfactorio de plantas inoculadas sin riego; medias de 28,4 cm/año de altura, 1,5 cm/año de DAC y 20,5 cm/año de diámetro de copa a los 3 años a lo largo de los diferentes ambientes.

RE 8 (Obj. 2). Presencia de flores en pino piñonero de ensayos con riego de plantas inoculadas en vivero; debido a su corta edad (3 años) se observó un promedio de 0,014 flores femeninas por árbol.

RE 9 (Obj. 2). Presencia de flores en pino piñonero de ensayos sin riego de plantas inoculadas en vivero; a pesar de su corta edad (3 años) se observó un promedio de 0,05 flores femeninas por árbol.

RE 10 (Obj. 2). Presencia de flores en pino piñonero de plantaciones preestablecidas. En promedio se observaron 0,5 flores femeninas por individuo a los 8 años en Hidango; 3,8 flores femeninas por individuo a los 8 años en La Quila, y ausencia de flores femeninas por individuo a los 4 años en Cauquenes.

RE 11 (Obj. 2). Presencia de micorrización con *T. borchii* certificado genéticamente en plantas de pino piñonero de plantaciones preestablecidas. No se encontró presencia de

T. borchii en raíces de árboles establecidos previamente (3 a 5 años de edad), lo que se debe a que raíces ya colonizadas por años con otras micorrizas no permiten el establecimiento de otras.

RE 12 (Obj. 2). En ensayos experimentales establecidos con riego, un 99% de los individuos presentan micorrización con *T. borchii*, con un 82% de ápices radiculares muestreados infestados.

RE 13 (Obj. 2). En ensayos experimentales establecidos sin riego, un 98% de los individuos presentan micorrización con *T. borchii*, con un 73% de ápices radiculares muestreados infestados.

RE 14 (Obj. 1 y 2). El protocolo de establecimiento inicial y manejo combinado de pino piñonero y trufas satisface técnica y económicamente a los productores del proyecto; el 100% de los asociados se manifestó satisfecho con el protocolo desarrollado.

RE 15 (Obj. 2). Cosecha de primeras trufas en plantaciones preestablecidas inoculadas: se realizó búsqueda especializada con perros entrenados en cuatro ensayos experimentales, y no se encontraron trufas, lo que se debe al ciclo biológico tanto del pino piñonero (solo 3 años de edad) como de la trufa estudiada.

RE 16 (Obj. 3). Público objetivo capacitado, habiéndose alcanzado un total estimado de 308 personas.

RE 17 (Obj. 4). Solicitud de registro de patente, actualmente en estudio por INAPI en función de sus procedimientos.

Estimación de lograr otros en el futuro: en los próximos doce meses, se espera publicar 2 publicaciones indexadas en revistas de alto impacto.

Comparación con los resultados esperados y razones que explican las discrepancias: tal como descrito, durante la implementación del proyecto se produjeron discrepancias limitadas, originadas en el incumplimiento del contrato de producción de plantas del vivero especializado contratado inicialmente, problema que generó una innovación actualmente en vías de patentación; y en resultados negativos de la inoculación en campo, lo que biológica y económicamente se sabía con anterioridad, y que fue incorporado como solicitud expresa de FIA en la fase de negociación.

Ventas (\$): se vendió un excedente de plantas inoculadas producidas durante el establecimiento de los ensayos experimentales durante dos temporadas, en pequeña cantidad, existiendo demanda por este tipo de plantas, no cuantificada, pero creciente.

Nivel de empleo anual (JH): las 12 hectáreas de ensayos implican el empleo estimado de 144 JH/año para su mantención y manejo (en promedio, 12 JH/ha/año).

Número de productores o unidades de negocio que pueden haberse replicado y generación de nuevas ventas y/o servicios: durante el transcurso del proyecto, 7 propietarios no asociados al proyecto establecieron plantas inoculadas, que se estima generarán unidades de negocio en los próximos años. Dado que el mercado potencial es considerablemente mayor, se espera que en un mediano plazo se multipliquen los beneficios económicos y ambientales derivados de esta nueva opción productiva.

Nuevos empleos generados por efecto del proyecto: se estima en 360 JH/año.

Nuevas capacidades o competencias científicas, técnicas y profesionales generadas: el equipo de trabajo adquirió competencias no existentes en el país relacionadas a conocimiento preliminar del ciclo biológico de *T. borchii* en un ambiente no nativo, y al desarrollo de un protocolo de producción de plantas de pino piñonero inoculadas con *T. borchii*. Adicionalmente, el equipo se capacitó en certificación de estas plantas siguiendo el protocolo oficial europeo. Cabe señalar que este conocimiento es relevante para el rubro de la truficultura en Chile, ya que existen solo dos viveros que venden plantas inoculadas, y ambos se auto certifican, lo que es completamente parcial, y constituye un freno al desarrollo de la truficultura en Chile.

10. CAMBIOS EN EL ENTORNO

Indique si existieron cambios en el entorno que afectaron la ejecución del proyecto en los ámbitos tecnológico, de mercado, normativo y otros, y las medidas tomadas para enfrentar cada uno de ellos.

Durante la ejecución del proyecto no se observaron cambios significativos en el entorno. Desde el punto de vista técnico, no se presentaron cambios que modifiquen lo planificado. Con el proyecto se logró un know-how en Chile para poder producir plantas inoculadas de pino piñonero con trufa de Borch. Por otra parte, se mantiene la vigencia innovadora de los productos esperados del proyecto, y existe un interés creciente por desarrollar este modelo productivo por parte de distintos tipos de productores e inversionistas. Esto se ha constatado en numerosos emails y llamados telefónicos, donde se han recibido consultas e interés por participar del proyecto; además la participación en las instancias de difusión lo confirman.

La producción nacional de trufa negra sigue aumentando cada año, y su comercialización ha sido exitosa, aun cuando la truficultura está en etapa de desarrollo en el país. Las exportaciones se duplicaron (1,6 ton el 2021), y los países de destino aumentaron. La aptitud de Chile para la truficultura es elevada y creciente, donde la trufa de Borch, de amplia capacidad de adaptación a distintos sitios, viene a ampliar la oferta y la temporada de comercialización de trufas producidas en Chile.

A nivel internacional, el precio de piñones se ha incrementado debido a una baja en la producción en Europa. Por su parte las trufas, con algunas dificultades de comercialización por COVID estos últimos dos años, siguen siendo demandadas, y la trufa de Borch en Italia es la tercera en importancia comercial después de *T. magnatum* y *T. melanosporum* (Gregori, 2021) con un precio relativamente estable. Lo anterior da una interesante perspectiva de desarrollo para Chile y no se vislumbran, en el mediano plazo, cambios significativos que alteren la concreción y pertinencia de los resultados e impactos de la presente iniciativa.

Desde el punto de vista climático, el pronóstico es de un calentamiento significativo, con variaciones en las precipitaciones y mayor frecuencia e intensidad de sequías (IPCC, 2021), por lo que este modelo productivo constituye una alternativa de bajo requerimiento hídrico y factible de ser implementado por distintos tipos de productores.

11. DIFUSIÓN

Describe las actividades de difusión realizadas durante la ejecución del proyecto. Considere como anexos el material de difusión preparado y/o distribuido, las charlas, presentaciones y otras actividades similares.

	Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes	Documentación Generada
1	12/1/2017	Valdivia	Charla asesor internacional Dr. Gianluigi Gregori	26	Presentación Dr. Gregori, Lista asistentes, invitación
2	20/4/2018	Concepción	Charla internacional Dr. Davide Sisti	45	Asistentes
3	16/8/2019	Santiago	Taller Producción trufas y piñones en Chile	53	Invitación Presentaciones de Asociación truficultores de Chile, Claudia Cerda, truficultora y asociada al proyecto y de INFOR Asistentes y su evaluación
4	10/6/2020	On line (Teams)	Charla	101	Invitación, presentación, asistentes y valoraciones
5	6/10/2021	Cabrero, Bío Bío	Día campo	19	Invitación, documento de difusión de la unidad visitada, asistentes.
6	7/10/2021	On Line (Teams)	Seminario internacional final	64	Invitación, presentaciones, asistentes
Total participantes				308	

Dentro de la difusión del proyecto se encuentran: folleto divulgativo, publicación en Chile Forestal, documento de difusión en la Asociación de truficultores de Chile (todos en Anexo 10), y video promocional (link: https://youtu.be/D9fJJ_uV7Zw?t=969).

12. PRODUCTORES PARTICIPANTES

Complete los siguientes cuadros con la información de los productores participantes del proyecto.

12.1 Antecedentes globales de participación de productores

Debe indicar el número de productores para cada Región de ejecución del proyecto.

Región	Tipo productor	N° de mujeres	N° de hombres	Etnia (Si corresponde, indicar el N° de productores por etnia)	Totales
RM	Productores pequeños				
	Productores medianos-grandes	1			1
O'Higgins	Productores pequeños		1		1
	Productores medianos-grandes				
Bío Bío	Productores pequeños		2		2
	Productores medianos-grandes		1		1
Araucanía	Productores pequeños				
	Productores medianos-grandes		1		1
Aysén	Productores pequeños	1			1
	Productores medianos-grandes				
Totales		2	5		7

12.2 Antecedentes específicos de participación de productores

Nombre	Ubicación Predio			Superficie (ha)	Fecha ingreso al proyecto
	Región	Comuna	Dirección Postal		
Claudia Cerda	Aysén	Río Ibáñez	Km 23 valle exploradores, Puerto Tranquilo	0,7	2016
Cristián Jara T.	Bío Bío	Coihueco	cristianjarataito@gmail.com	0	2016

Nombre	Ubicación Predio			Superficie (ha)	Fecha ingreso al proyecto
	Región	Comuna	Dirección Postal		
Alejandra Ewing	R.M.	Pirque		3,0	2016
Jordi Grau	Los Ríos	Futrono		0	2016
Mirentxu Ruiz	Los Ríos	Futrono		0	2016
Cristián Labrín	Bío	Quilleco		0	2017
Manuel Antonio Neira	Maule	Longaví		0	2016
Rodrigo Varela	Bío	Los Angeles		3,0	2018
Asher Permuth	Bío Bío	Yumbel		0,9	2018
Roberto Peña	Bío Bío	Cabrero		3,0	2018
Juan Pablo Searle	Araucanía	Villarrica		0,9	2018
Abelardo León	O'Higgins	La Estrella		0,93	2018

13. CONSIDERACIONES GENERALES

13.1 ¿Considera que los resultados obtenidos permitieron alcanzar el objetivo general del proyecto?

Los resultados obtenidos permitieron alcanzar el objetivo general (desarrollar un paquete tecnológico para producir simultáneamente piñones de pino mediterráneo y trufas comestibles bajo criterios de eficiencia hídrica), de manera satisfactoria, de acuerdo a lo programado y a los recursos disponibles.

Si bien se han sentado las bases para el desarrollo del cultivo combinado, el paquete tecnológico desarrollado, que se traduce en protocolos de producción, establecimiento y manejo, a futuro estos deberán adaptarse a los resultados obtenidos, mejorándose con el conocimiento que se desarrolle durante el transcurso del tiempo a fin de optimizar la producción. Para ello se requerirán nuevos recursos para continuar monitoreando la red de ensayos experimentales –única en el mundo- en relación a su crecimiento y productividad de ambos productos finales, piñones y trufas.

13.2 ¿Cómo fue el funcionamiento del equipo técnico del proyecto y la relación con los asociados, si los hubiere?

El equipo de trabajo tuvo alta motivación y compromiso durante la ejecución del proyecto; solo dos integrantes tuvieron una participación menor a la esperada dada su dedicación elevada en otros proyectos. Dado que se contó en forma permanente con un asesor internacional de experiencia sobresaliente, se pudo enfrentar cada decisión técnica con base en el mejor conocimiento disponible. Además, la visita de un experto certificador oficial italiano, capacitó al equipo de trabajo con conocimientos prácticos, lo que significó un importante input para el desarrollo del proyecto.

La relación con los asociados fue excelente, ya que se eligieron inicialmente, e incorporaron en forma posterior, propietarios y empresas muy interesados en los resultados del proyecto (también esto se evidencia en su importante aporte pecuniario y no pecuniario), que tuvieron un rol central en la fase de implementación y seguimiento del proyecto.

13.3 A su juicio, ¿Cuál fue la innovación más importante alcanzada por el proyecto?

La innovación más importante alcanzada en el proyecto dice relación con la factibilidad técnica y económica del cultivo combinado de piñonero y trufa de Borch, que constituye una opción productiva rentable para muchos agricultores que se dedican a la agricultura extensiva, y que poseen superficies reducidas, y que están interesados en la diversificación productiva, sobretodo en el escenario de restricciones hídricas crecientes. De hecho, el asociado Roberto Peña, en su exposición en el seminario final, expuso cuanto sigue: “cuando contacté a INFOR busqué la mejor tierra en una parcela y en otra la peor, y para mi sorpresa eligieron la peor tierra, por lo tanto, me dieron la posibilidad de desarrollar un producto en una parte muy marginal del campo, en la parte arenosa con muy poca capa vegetal. La gracia de este proyecto es que a zonas marginales les entrega una tremenda posibilidad. El piñón no tiene presión de venta como la fruta fresca; se puede cosechar y guardar y comercializar cuando se tiene el tiempo para hacerlo. La trufa si exige un tiempo de cosecha, pero no es en la temporada alta con alta demanda de mano de obra; basta una persona para 3 ha con los perros entrenados. Hay una serie de detalles que no conocemos para el futuro, por ejemplo, no hay claridad respecto a la nutrición que necesita el árbol.... En un terreno de rulo poder sacar tres productos, trufas, piñones y animales, lo que lo hace tremendamente atractivo para muchos pequeños agricultores. Es una tremenda oportunidad, y la irradiación de este proyecto puede ser muy buena”.

En segundo lugar, la innovación que se tradujo en una solicitud de Patente de Invención “Inoculación de plantas de *Pinus pinea* con *Tuber borchii* en vivero” (N° Solicitud 202101167) presentada con fecha 4/05/2021. El solicitante es INFOR y los inventores son Claudia Delard, Verónica Loewe, Rodrigo Del Río, Gianluigi Gregori, Marta González, Eduardo Cartes y Manuel Acevedo.

Esta invención describe un Método para inocular plantas de pino piñonero (*Pinus pinea*) con el hongo *Tuber borchii* en vivero en un ambiente no nativo para ambas especies. Este método permite una micorrización o asociación simbiótica entre las raíces de pino

piñonero y el hongo en más de un 70%, muy superior a la norma europea que exige un mínimo de 30% de ápices radiculares micorrizados. El desarrollo de este método se fundamenta en la creciente demanda que presenta Chile por plantas inoculadas con esta trufa, para una producción combinada de piñones y trufas. Ambos productos presentan una demanda creciente y con elevado precio en el mercado internacional. El método de inoculación de plántulas de pino piñonero (*P. pinea*) con *T. borchii*, que permite una elevada micorrización incluye las siguientes etapas: A. Siembra, B. Repique de plántulas de *P. pinea* e inoculación con *T. borchii*, y C. Manejo en vivero de plantas inoculadas.

Una tercera innovación relevante a nivel mundial corresponde al establecimiento de un ensayo multi ambiental que incluye plantas inoculadas y no inoculadas con diferentes dosis de aporte hídrico, que comprende siete sitios distribuidos en aproximadamente 2.000 Km de latitud, que constituye una riqueza para el estudio de esta alternativa productiva de características únicas para el desarrollo del cultivo.

13.4 Mencione otros aspectos que considere relevante informar, (si los hubiere).

La inexistencia de antecedentes técnicos previos de la trufa tanto en el hábitat nativo como en las condiciones del país que sirvieran como guía en el desarrollo de esta innovación, representó un desafío significativo al equipo de trabajo. Esto se enfrentó incorporando expertos internacionales, y posteriormente con sus ideas y experiencias en el tema, se reflexionó mucho en forma colaborativa con los diferentes participantes, de modo de construir en conjunto y con las mejores bases posibles, esta innovación.

14. CONCLUSIONES

Realice un análisis global de las principales conclusiones obtenidas luego de la ejecución del proyecto.

En particular, el proyecto informado que propuso y sentó las bases para el desarrollo de un nuevo cultivo de elevada rentabilidad se considera relevante por:

-Sus resultados describen una solución tecnológica que corresponde a una innovación a nivel nacional e internacional, herramienta útil para hacer frente en forma concreta a los efectos del cambio climático, que determinan un estrés abiótico sin precedentes, y que modificarán en forma significativa el sistema de producción de alimentos en la zona centro-sur del país.

-Sus beneficios, ya que este cultivo permite el acceso de PYMPF/PYME a una opción de alta rentabilidad que se puede implementar en una superficie reducida y, aun así, tener un mejoramiento de su calidad de vida por los mejores ingresos.

-Los impactos generados, ya que hoy en día cualquier pequeño o mediano propietario interesando y con la capacidad de gestión requerida, podrá implementar este cultivo, lo

que es relevante dado el cambio climático, que se prevé disminuirá las precipitaciones y aumentará las temperaturas en la zona centro sur de Chile, donde se concentra la actividad agrícola y forestal del país.

En síntesis, este cultivo combinado:

-Constituye una oportunidad para incluir a los PYMPF y PYME forestales y agrícolas al desarrollo sectorial.

-Es una innovación a nivel nacional e internacional.

-Termina su fase inicial de manera exitosa, quedando el desafío de enriquecer/ajustar los protocolos de manejo en base a los resultados a obtener de la red de ensayos en los próximos años, y masificarlo en Chile.

15. RECOMENDACIONES

Señale si tiene sugerencias en relación a lo trabajado durante el proyecto (considere aspectos técnicos, financieros, administrativos u otro).

Llegando al cierre del proyecto, con el objetivo que el bien público generado beneficie al máximo de usuarios potenciales, incrementando el círculo de beneficios que su implementación ha iniciado, se recomienda cuanto sigue:

-Que el sistema combinado desarrollado se ofrezca como una alternativa productiva en el ámbito de INFOR, FIA y de MINAGRI.

-Cuenta con el apoyo de FIA en una nueva fase, ya que el monitoreo de la valiosa y amplia red de ensayos establecida será fuente de información extremadamente valiosa para el desarrollo del cultivo en Chile. Adicionalmente, llegar a la PYMPF/PYME no es tarea fácil, para lo que se requiere una innovación en gestión significativa para lograr un impacto productivo a nivel nacional; esto porque los propietarios y empresas PYME se caracterizan por una dispersión geográfica significativa y por características socio económicas que representan un elevado grado de complejidad. En particular, se considera necesaria la adaptación de metodologías, de acuerdo a diferentes tipologías de propietarios que corresponden a diferentes segmentos de beneficiarios directos e indirectos del proyecto.

-Respecto al financiamiento del costo de mantención del bien público generado una vez finalizado el proyecto, se aprecia como necesario un apoyo en la fase inicial de su masificación, hasta que logre una superficie plantada mínima.

-Evaluar la conveniencia del establecimiento de un subsidio estatal al establecimiento de este cultivo, ya que permitiría mejorar la competitividad de PYMP y de la PYME y enfrentar parte de los desafíos productivos impuestos por el cambio climático en el país.

16. ANEXOS

17. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Angelini P, Stefanelli S, Granetti B, Bellini M (2004) Effetti della micorrizzazione con *Tuber aestivum* Vittad. e con *Tuber borchii* Vittad. sull'accrescimento di piante di *Pinus pinea* L. *Micol Ital* 33: 27–33.
- ASSAM. 2013. La tartuficoltura nelle Marche. Región de Las Marcas, Italia, 24 p.
- Atzmon N, Van Staden J (1993) Transport and metabolism of Hiso-pentenyladenine following application to the tips of intact and decapitated tap roots of *Pinus pinea*. *Plant Growth Regulation*, 13 (3) 249-255.
- Atzmon N, Reuveni O, Riov J (1994) Lateral root formation in pine seedlings. *Trees Structure and Function*, 8 (6) 268-272.
- Avila A, Delard C, Loewe V (2020) Zonas potenciales para el cultivo de pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal, CIFOR* 26 (3): 51-64.
- Bach C, Beacco P, Cammaletti P, Babel-Chen Z, Levesque E, Todesco F, Cotton C, Robin B, Murat C (2021) First production of Italian white truffle (*Tuber magnatum* Pico) ascocarps in an orchard outside its natural range distribution in France. *Mycorrhiza*, <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01013-2>
- Baciarelli L, Benucci G, Bencivenga M, Donnini D (2012) Mycorrhization level in truffle plants and presence of concurrent fungi. *Acta Mycol* 47: 169–173.
- Baciarelli L, Marozzi G, Onofri A, Benucci GM, Albertini E, Donnini D (2020) How many samples do you need to assess mycorrhization in *Tuber melanosporum* orchards? A methodology for a reliable estimation. *Agroforestry Systems*, 94: 517-525.
- Bagioni F, Gardin L, Mazzei T, Nocentini G, Rizzo D, Zambonelli A (2016) I tartufi in Toscana, 2nd edn. Compagnia delle Foreste.
- Bagnacavalli P, Capecchi M, Zambonelli A (2012) Con la certificazione la qualità è garantita. Emilia-Romagna, Italia.
- Barroetaveña C, Rajchenberg M (2003) Las micorrizas y la producción de plántulas de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. en la Patagonia, Argentina. *Bosque* 24: 17–33. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002003000100002>
- Belfiori B, Riccioni C, Paolucci F, Rubini A (2016) Characterization of the reproductive mode and life cycle of the whitish truffle *Tuber borchii*. *Mycorrhiza*, 26: 515-527.
- Bencivenga M, Baciarelli L (2012) Esperienze di coltivazione dei tartufi in Umbria. Regione Umbria y Universita degli Studi di Perugia, Italia. 130 p.
- Benucci GM, Bonito G, Baciarelli L, Bencivenga M (2011) Mycorrhization of Pecan trees (*Carya illinoensis*) with commercial truffle species: *Tuber aestivum* Vittad, and *Tuber borchii* Vitadd. *Mycorrhiza*, 22: 383-392.
- Bledsoe C (1992) Physiological ecology of ectomycorrhizae: implications for field application. In: Allen MF (ed) *Mycorrhizal Functioning*. Chapman and Hall, New York, USA, pp 424–438.
- Bonnet-Masimbert M, Webber JE (1995) From flower induction to seed production in forest tree orchards. *Tree Physiology*, 15: 419-426.

- Borrero G (2004) El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía: Ecología, Distribución y Selvicultura. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, España. 261p.
- Bratek Z (2008) Mycorrhizal research applied to experiences in plantations of mycorrhizal mushrooms, especially in Central Europe. In: Mushroom biology and mushroom products. Proceedings of the Sixth International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Bonn, Germany, 29 September - 3 October 2008. GAMU GmbH, Institut für Pilzforschung, Krefeld, pp 272–286.
- Bussotti F (1997) Il pino domestico *Pinus pinea* L. (Famiglia Pinaceae). *Sherwood* 28:31–34
- Carnevale JA (1955) Árboles forestales, descripción, cultivo y utilización. Buenos Aires, Argentina. 689 p.
- Cañellas I, Finat L, Bachiller A, Montero G (1999) Comportamiento de planta de *Pinus pinea* en vivero y campo: ensayo de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. *Investig Agrar Sist y Recur For* 8: 335–360.
- Ceruti A (1960) Elaphomycetales e Tuberales. Bresadola J. *Iconographia Mycologica*, 28, suplemento 2.
- Chávez D, Pereira G, Machuca Á, Navias D, Honrubia M (2008) Efecto del pH del medio de cultivo sobre el crecimiento de *Tuber borchii*. In: IV Chilean Forest Science Congress. Talca, Chile, pp 16.
- Colinas C, Fischer C, Oliach D, Bonet JA (2020a) Mulching *Tuber melanosporum* seedling to accelerate fruiting. *Incredible, Innovation Network for cork, resin and edibles, Factsheet* 20454, 4 p.
- Colinas C, Fischer C, Oliach D, Bonet JA (2020b) Time and dose of irrigation impact *Tuber melanosporum* proliferation in young black truffle orchards. *Incredible, Innovation Network for cork, resin and edibles, Factsheet* 20455, 3 p.
- Conover WJ (1999) *Practical Nonparametric Statistics*. Wiley, Hoboken, NJ. 3rd edition. ISBN: 978-047116068-7. 592 p
- Costa R, Evaristo I (ed.) (2008) *Condução de Povoamentos de Pinheiro Manso e características Nutricionais do pinhao*. Lisboa, Portugal: Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, I.P. INRB, I.P. ISBN 978-989-95658-3-8.
- Cutini A (2002) Pines of silvicultural importance: *Pinus pinea* L. In: *Pines of silvicultural importance*. CABI Pub., New York, USA, pp 329–342.
- Daoust G, Plourde A, Beaulieu J (1995) Influences of crow size and maturation on flower production and sex expression in *Picea glauca* treated with gibberellin A4/7. *Tree Physiology*, 15: 471-475.
- Davis AS, Jacobs DF (2005) Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New For* 30: 295–311.
<https://doi.org/10.1007/s11056-005-7480-y>
- De Miguel AM, Águeda B, Sánchez S, Parladé J (2014) Ectomycorrhizal fungus diversity and community structure with natural and cultivated truffle hosts: applying lessons learned to future truffle culture. *Mycorrhiza* 24 (Suppl 1): S5-S18.

- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, Gonzalez L, Tablada M, Robledo C (2021) InfoStat version 2021. <http://www.infostat.com.ar>. Accessed 10 March 2021.
- Dickson A, Leaf A, Hosner I (1960) Quality appraisal of White Spruce and White Pine seedlings stock in nurseries. *For Chron* 36: 10–13.
- Domínguez-Núñez JD, Planelles R, Barreal JR, de Omeñaca JS (2004) Influencia de la micorrización con trufa negra (*Tuber melanosporum*) en el crecimiento, intercambio gaseoso y nutrición mineral de plántulas de *Pinus halepensis*. *Investig Agrar Sist y Recur For* 13: 317–327.
- Domínguez S, Oliet J, Ruiz P, Carrasco I, Peñuelas J, Serrada R (2000) Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. In: Congreso I Simposio del pino piñonero. Valladolid, pp 195–202.
- Donnini D, Benucci GMN, Bencivenga M, Baciarelli Falini L (2014) Quality assessment of truffle-inoculated seedlings in Italy: Proposing revised parameters for certification. *For Syst* 23: 385–393. <https://doi.org/10.5424/fs/2014232-05029>
- Duryea ML (1984) Nursery Cultural Practices: Impacts on Seedling Quality. In: Duryea ML, Landis TD, Perry CR (eds) *Forestry Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 143–164.
- Ferree DC (1992) Time of root pruning influences vegetative growth, fruit size, biennial bearing, and yield of Jonathan' Apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117 (2) 198-202.
- Fundación para la Innovación Agraria (FIA) (2009) Resultados y lecciones en cultivo de trufa en Chile. Serie Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario 41:36.
- García-Barreda S, Camarero J (2020) Tree ring and water deficit indices as indicators of drought impact on black truffle production in Spain. *Forest Ecology and Management*, 475 (1), <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118438>.
- García-Barreda S, Molina-Grau S, Reyna S (2016) Fertilization of *Quercus* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum*: effects on growth and mycorrhization of two host species and two inoculation methods. *iForest Biogeoscience For* 10: 267–272. <https://doi.org/10.3832/ifor2096-009>
- Giraud M (1988) Prélèvement et analyse de mycorhizes. *Bull FNPT-CTIFL (La truffe)* 10: 49–63.
- Gómez-Molina E, Sánchez S, Parladé J, Cirujeda A, Puig-Pey M, Marco P, García-Barreda S (2020) Glyphosate treatments for weed control affect early stages of root colonization by *Tuber melanosporum* but not secondary colonization. *Mycorrhiza* 30: 725–733.
- Gregori G (1991) Tartufi e tartuficoltura nel Veneto. Tipografia Rumor (VI). Vicenza, Italia, 58 p.
- Grossnickle SC, MacDonald JE (2018) Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New For* 49: 1–34. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>
- Harley J, Smith S (1983) *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London.
- IPLA SpA (2017) Tartufaie naturali e controllate, gestione un patrimonio. Región Piemonte, Italia. 36 p.

- Johnson R, Wichern D (2018) Applied Multivariate Statistical Analysis, 6th ed. Pearson. 808 p.
- Lancellotti E, Iotti M, Zambonelli A, Franceschini A (2016) The Puberulum group sensu lato (Whitish truffles), chapter 7. In Zambonelli, A. et al. (Eds). True truffle (*Tuber* spp) in the world. *Soil Biology* 47, doi 10.1007/978-3-319-31436-5_7
- Landis T (2000) Nutrientes, Minerales y Fertilización. In: Landis T (ed) Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor - Volumen 4: Fertilización y Riego. US Department of Agriculture, Forest Service, Washington DC, USA, p 125.
- Le Tacon F (2020) Impact of irrigation and fertilization on black truffle (*T. melanosporum*) fructification. Incredible, Innovation Network for cork, resin and edibles, Factsheet 19962, 3 p.
- Leonardi P, Murat C, Puliga F, Iotti M, Zambonelli A (2020) Ascoma genotyping and mating type analyses of mycorrhizas and soil mycelia of *Tuber borchii* in a truffle orchard established by mycelial inoculated plants. *Environmental Microbiology*, 22 (3) 964-975.
- Leonardi P, Graziosi S, Zambonelli A, Perini C, Salerni E (2017) Biodiversità in un rimboscimento di *Pinus nigra*. *Sherwood* 231: 35–39.
- Loewe MV (Ed.) (2003) Perspectivas para el desarrollo de la arboricultura para producción de madera de alto valor en Chile. INFOR-FIA, 289 p.
- Loewe MV, Delard RC (2016) Producción de piñón mediterráneo (*Pinus pinea* L.). Manual N° 48. INFOR, 108 p. Disponible en:
<http://biblioteca.infor.cl/index.asp?param=o%AD%88%92bj%91%90o%5E&Op=12>.
- Loewe MV, Delard RC (2012) Un nuevo cultivo para Chile, el Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.). INFOR-CORFO, 364 p. Disponible en:
<http://biblioteca.infor.cl/index.asp?param=o%AD%88%92bj%90%90p%5F&Op=12>.
- Loewe MV, Balzarini M, Álvarez A, Delard RC, Navarro-Cerrillo RM (2016) Fruit productivity of Stone pine (*Pinus pinea* L.) along a climatic gradient in Chile. *Agricultural and Forest Meteorology*, 223 (15) 203-216.
- Loewe V, Balzarini M, Del Río R, Delard C (2018) Effects of stone pine (*Pinus pinea* L.) plantation spacing on initial growth and conelet entry into production. *New Forests*, 50 (3) 489-503. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9672-2>
- Loewe V, Delard C, Del Río R, Balzarini M (2020) Long-term effect of fertilization on stone pine growth and cone production. *Annals of Forest Science*, 77: 69, <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00978-6>
- Loewe MV, Delard RC (2015) Informe gira técnica sobre pino piñonero (*Pinus pinea* L.) a Turquía e Israel. *Ciencia e Investigación Forestal*, 21 (3) 53-92.
- Martínez T, Santamargarita J, Barriga J (2004) Experiencias de micorrización en viveros forestales de la Junta de Extremadura. *Foresta* 27: 152–156.
- Maser C, Claridge A, Trappe J (2008) *Trees, Truffles, and Beasts: How Forest Function*. Rutgers University Press.
- Mc Lain R (2008) Management guidelines for expanding Pinyon nut production in Colorado's Pinyon-Juniper woodlands. [en línea]. Portland, EE.UU. [Consulta: 20 agosto

- 2011]. Disponible en: <http://www.ntfpinfo.us/docs/academicdocs/McLainFrazier2008-ManagementGuidelinesPinyon.pdf>.
- Molinier V, Murat C, Peter M, Gollote A, De la Varga H, Meier B, Egli S, Belfiori B, Paolocci F, Wipf D (2016) SSR-based identification of genetic groups within European populations of *Tuber aestivum* Vittad. Mycorrhiza 26: 99–110.
- Montecchi A, Lazzari G (1987) Tartufi del gruppo *Puberulum* nell'appennino Reggiano – Parmense. Micologia Italiana, 26.
- Montecchi A, Lazzari G (1992) Precisazioni su alcuni Tuber del “grupo” *Puberulum*, *T.borchii* e *T.gibbosum*. Rivista di Micologia, 35.
- Montoya J, Cámara M (1996) La planta y el vivero forestal. Madrid, España.
- Montoya JM (1990) El pino piñonero. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 98 p.
- Morcillo M, de Paz E, Vilanova X, Sánchez M (2017) Viabilidad y rentabilidad de una plantación de pino piñonero (*Pinus pinea*) micorrizado con trufa bianchetto (*Tuber borchii*). Montes 127: 14–17.
- Morcillo M, Sánchez M, Vilanova X (2015) Cultivar Trufas, una realidad en expansión. Barcelona, España.
- Muñoz H, Sáenz J, Coria V, García J, Hernández J, Manzanilla G (2014) Plant quality in the La Dieta forest nursery in Zitácuaro municipality, Michoacán State. Rev Mex Ciencias For 6: 72–89.
- Mutke S, Gordo J, Chambel MR, Prada MA, Álvarez D, Iglesias S, Gil L (2010) Phenotypic plasticity is stronger than adaptative differentiation among Mediterranean Stone pine provenances. For Syst 19(3): 354–366.
- Mutke S (2005) Impact of reproductive effort on shoot growth and crown development in a zoochorous pine. Presentación al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.
- Neri D (2014) Corso di arboricoltura. S.I.: Università Politecnica delle Marche.
- Neri D, Massetani F, Giorgi V (2010) La potatura. Bologna, Italia: Edagricole. ISBN 978-88-506-5283-9.
- Neri D, Sansavini S, Sugiyama N (1992) Summer and root pruning of split-root potted peach trees. Acta Horticulturae, 322: 177-189.
- Noguera-Talavera A, Reyes-Sánchez N, Membreño J, Duarte-Aguilar C, Mendieta-Araica B (2014) Calidad de plántulas de tres especies forrajeras (*Moringa oleifera* Lam., *Leucaena leucocephala* y *Cajanus cajan*) en condiciones de vivero. La Calera Rev Científica 14: 21–27
- Ocaña L, Domínguez S, Carrasco I, Peñuelas J, Herrero N (1997) Influencia del tamaño de la semilla y diferentes dosis de fertilización sobre el crecimiento y supervivencia en campo de cuatro especies forestales. In: 2º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Pamplona, Spain, pp 461–466.
- Olivera A, Fischer CR, Bonet JA, Martínez de Aragón J, Oliach D, Colinas C (2011) Weed management and irrigation are key treatments in emerging black truffle (*Tuber melanosporum*) cultivation. New Forests, 42: 227–239, <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9249-9>

- Olivier JM, Savignac JC, Sourzat P (2002) Truffe et Trufficulture. Ediciones FANLAC Perigueux, Francia.
- Pera J, Parladé J (2005) Inoculación controlada con hongos ectomicorrícicos en la producción de planta destinada a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Investig Agrar Sist y Recur For* 14: 419–433.
- Pinkas Y, Maimon M, Shabi E, Elisha S, Shmulewich Y, Freeman S (2000) Inoculation, isolation and identification of *Tuber melanosporum* from old and new oak host in Israel. *Mycol Res* 104: 472–477.
- Quiroz I, García E, González M, Chung P, Soto H (2011) Fertilización. In: *Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Gobierno de Chile, Infor, Centro Tecnológico de la planta forestal, pp 74–85.
- Rincón A, Parladé J, Pera J (2007) Influence of the fertilization method in controlled ectomycorrhizal inoculation of two Mediterranean pines. *Ann For Sci* 64: 577–583.
- Rincón A, Álvarez I, Pera J (2001) Inoculation of containerized *Pinus pinea* L. seedlings with seven ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 11: 265–271.
<https://doi.org/10.1007/s005720100127>
- Rossi S (2011) Tartufi, frutti della terra, Figli degli dei. Ed. SAGEP. Genova, Italia.
- Ruano JR (2008) *Viveros Forestales*, 2nd ed. Madrid, España.
- Sadzawka R, Carrasco M, Demanet R, Flores H, Grez R, Mora M, Neaman A (2007) *Métodos de análisis de tejidos vegetales*, 2nd ed. Instituto de investigaciones Agropecuarias Serie Actas INIA N°40, Santiago, Chile
- Salerni E, Perini C, Gardin L (2014) Linking climate variables with *Tuber borchii* sporocarps production. *Natural Resources*, 5: 408-418.
- Schwallier P (2011) Michigan State University Extension. Root pruning apple trees to control excessive vigor in 2011 [en línea]. [Consulta: 3 abril 2015]. Disponible en: http://msue.anr.msu.edu/news/root_pruning_apple_trees_to_control_excessive_vigor_in_2011.
- Segura R, Javierre C, Lizarraga M, Ros E (2006) Other relevant components of nuts, phytosterols, folate and minerals. *Br J Nutr* 96: S36–S44.
<https://doi.org/10.1017/BJN20061862>
- Smith S, Read D (2008) *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd ed. Academic Press, Elsevier, Great Britain.
- Sotomayor A, Moya I, Teuber O, Lucero A, Villarroel A, Villalobos E, Barrales L (2020) *Diseño, establecimiento y manejo de cortinas cortavientos*. Instituto Forestal, Chile. Manual N° 43, 37 p.
- Sourzat P (1995) *Guide pratique de trufficulture*. Station d'Experimentation sur la truffe. L.P.A. LE MONTAT Francia.
- Thompson B (1985) Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. In: M.L. D (Ed.) *Evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Forest Research Laboratory. Oregon State University, pp 59–71.
- Trappe J (1977) Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. *Annu Rev Phytopathol* 15:203–222.

- Trappe J (1962) Fungus associates of ectotrophic mycorrhizae. *Bot Rev* 28: 538–606
- Vahdatzadeh M, Splivallo R (2018) Improving truffle mycelium flavour through strain selection targeting volatiles of the Ehrlich pathway. *Scientific Reports*, 8: 9304.
- Van den Driessche R (1992) Changes in drought resistance and root capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen and potassium treatments. *Can J For Res* 22: 740–749
- Varga T, Merényi Z, Bratek Z, Solti Á (2014) Mycorrhizal colonization by *Tuber aestivum* has a negative effect on the vitality of oak and hazel seedlings. *Acta Biol Szeged* 58: 49–53.
- Villar Salvador P (2003) Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. In: Espigares Pinilla T, Nicolau Ibarra JM (eds) *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*. Universidad de Alcalá, Asociación Española de Ecología Terrestre, Guadalajara, España, pp 65–86
- Villar Salvador P, Domínguez Lerena S, Peñuelas Rubira J, Carrasco Manzano I, Herrero Sierra N, Nicolás Peragón J, Ocaña Bueno L (2000) Plantas grandes y mejor nutridas de *Pinus pinea* tienen mejor desarrollo en campo. In: I Simposio sobre el pino piñonero. Valladolid, Spain, pp 219–227
- Villar-Salvador P, Peñuelas JL, Jacobs DF (2013) Nitrogen nutrition and drought hardening exert opposite effects on the stress tolerance of *Pinus pinea* L. seedlings. *Tree Physiol* 33: 221–232. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps133>
- Vittadini C (1831) *Monographia Tuberacearum*, Milano, Italia.
- Wang Y, Travers S, Bertelsen MG, Thorup K, Petersen KK, Liu F (2014) Effects of root pruning and irrigation regimes on pear tree: growth, yield and yield components. *Horticultural Science*, 41 (1), 34-43.
- Webb D, Wood P, Smith J, Henman G (1984) *A Guide to Species Selection for Tropical and Sub-Tropical Plantations*. 2da Edición. Oxford, Inglaterra, Commonwealth Forestry Institute. 256 p.
- Yang S, Du H, Yu Y, Che Y, Yuan C, Xing S (2012) Effect of root pruning on competitive ability in Chinese jujube tree. *Fruits*, 67 (6) 429-437.
- Yin D, Song R, Qi J, Deng X (2018) Ectomycorrhizal fungus enhances drought tolerance of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seedlings and improves soil condition. *J For Res* 29:1775–1788. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0583-4>
- Zalloni E, Battipaglia G, Cherubini P, Saurer M, De Micco V (2018) Contrasting physiological responses to Mediterranean climate variability are revealed by intra-annual density fluctuations in tree rings of *Quercus ilex* L. and *Pinus pinea* L. *Tree Physiology*, 38(8), 1213–1224.
- Zambonelli A, Iotti M, Giomaro G, Hall I, Stocchi V (2002) *T. borchii* cultivation: an interesting perspective. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Edible Ectomycorrhizal Mushrooms*. Christchurch, New Zealand.
- Zambonelli A, Iotti M, Rossi I, Hall I (2000) Interactions between *Tuber borchii* and other ectomycorrhizal fungi in a field plantation. *Mycol Res* 104:698–702. <https://doi.org/10.1017/S0953756299001811>

Zucconi F (2003) Nuove tecniche per i frutteti. Fisiologia e metodi innovativi nell'allevamento dei fruttiferi. Bologna, Italia: Ed. Edagricole.

Zucconi F, Sabbatini P (2003) La potatura delle radici all'impianto. En: F. Zucconi (ed.), Nuove tecniche per i frutteti. Fisiologia e metodi innovativi nell'allevamento dei fruttiferi. Bologna, Italia: Ed. Edagricole, pp. 115-122.