

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**“Diseño y evaluación de alternativas agroforestales para el
aprovechamiento de los efluentes tratados del Proyecto de
Planta Frigorífica de Cerdos en Bengolea, Córdoba”.**

Alumno: Guillermo Nicolás Pereira.

DNI: 38.169.803.

Director: Jorge Dante de Prada.

Co-Director: Emiliano Javier Cahe.

Río Cuarto – Córdoba.

Abril, 2023.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: **“Diseño y evaluación de alternativas agroforestales para el aprovechamiento de los efluentes tratados del Proyecto de Planta Frigorífica de Cerdos en Bengolea, Córdoba”.**

Autor: Guillermo Nicolás Pereira.

DNI: 38.169.803.

Director: Jorge Dante de Prada.

Co-Director: Emiliano Javier Cahe.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión
Evaluadora:

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A mi familia. Claudia, Rafael, Carina, Silvina y Agustina.

Por siempre creer en mí, apoyarme y brindarme motivación de forma constante. Por sus consejos, por inculcarme sus valores y la educación en la vida. Todo esto me hace ser una mejor persona cada día.

A mis amigos.

Por haberme apoyado a lo largo de toda la carrera, haciendo que los momentos de esparcimiento sean únicos. Por haberme brindado sus consejos y estar cada vez que los necesité.

A la UNRC.

Por permitirme lograr mi formación como profesional, como persona y como ciudadano.

A mi Director y Co-Director. Jorge y Emiliano.

Por haber estado presentes durante todo el proceso, compartiendo el trabajo y las inquietudes. Por haber mostrado siempre una gran predisposición y un aporte profesional desinteresado.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	VII
SUMMARY	IX
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
Presentación	1
Objetivos	3
<i>Objetivo general</i>	<i>3</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>3</i>
Alcance	3
Metodología general	3
Área de estudio	6
CAPÍTULO II: DISEÑO Y PARAMETRIZACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	
AGROFORESTALES	9
Estudio de Beneficiarios	9
Estudio de Mercado	10
<i>Producto forestal</i>	<i>10</i>
<i>Producto no forestal</i>	<i>11</i>
<i>Subproductos</i>	<i>11</i>
<i>Estructura del mercado forestal</i>	<i>11</i>
<i>Demanda del producto forestal</i>	<i>12</i>
<i>Oferta del producto forestal</i>	<i>13</i>
<i>Precios del producto principal y secundario</i>	<i>15</i>
<i>Canales de comercialización</i>	<i>15</i>
<i>Insumos principales del proyecto</i>	<i>15</i>
Estudios Técnicos	16
<i>Localización</i>	<i>16</i>
<i>Tamaño</i>	<i>17</i>
<i>Ingeniería</i>	<i>18</i>
<i>Sitio forestal</i>	<i>18</i>
<i>Sistema de plantación</i>	<i>20</i>
<i>Alternativa 1 (Eucalyptus spp.)</i>	<i>20</i>
<i>Alternativa 2 (Pinus spp.)</i>	<i>22</i>
<i>Alternativa 3 (Juglans spp.)</i>	<i>24</i>
<i>Alternativa 4 (Eucalyptus spp. & Medicago sativa)</i>	<i>25</i>
<i>Sistemas de riego</i>	<i>28</i>
Aspectos complementarios	29
<i>Etapas de inversión, operación y valoración de los recursos</i>	<i>29</i>

<i>Plan de producción hasta la obtención de los rendimientos normales</i>	30
Valoración Económica	32
<i>Egresos</i>	32
<i>Gastos de inversión y operación por alternativa</i>	32
<i>Ingresos</i>	34
<i>Resultados del análisis beneficio costo (ABC)</i>	36
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN MULTICRITERIO	38
Evaluación Multicriterio	38
<i>Inversiones</i>	38
<i>Equivalente Anual del Valor Actual Neto (EAVAN)</i>	38
<i>Riesgo al anegamiento</i>	39
<i>Captura de Carbono</i>	39
<i>Generación de empleo</i>	39
<i>Complejidad de gestión</i>	40
<i>Matriz multicriterio de alternativas agroforestales</i>	40
Encuentro con el gobierno municipal	41
Ejercicio PROMETHEE con dos ponderaciones contrastantes	41
<i>Caso 1: ponderación económica “Homo economicus”</i>	42
<i>Caso 2: ponderación ambiental “Homo ambientalis”</i>	43
<i>Análisis de sensibilidad</i>	44
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	45
Contribuciones	46
Agenda futura	47
CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA CITADA	49
CAPÍTULO VI: ANEXOS	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio. Bengolea, Córdoba, Argentina.	7
Figura 2: Temperaturas medias mensuales, anual, fecha media de primera y última helada. ..	7
Figura 3: Valores mínimos, medios y máximos, mensuales y anuales, de precipitaciones.	8
Figura 4: Localización de aserraderos de la Provincia de Córdoba.	12
Figura 5: Consumo de distintos productos forestales per cápita en Argentina para el año 2021.	13

Figura 6: Consumo aparente de madera para el año 2021 en Argentina y su comparación con otros países.	13
Figura 7: Evolución de las extracciones de madera por especie.	14
Figura 8: Ubicación de lotes (posibles) a utilizar por la alternativa agroforestal.....	17
Figura 9: Esquema de distribución espacial del área de depósito y pileta de riego.	19
Figura 10: Esquema de la Alternativa 1 – <i>Eucalyptus viminalis</i>	21
Figura 11: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 1.	22
Figura 12: Esquema de la Alternativa 2 – <i>Pinus spp.</i>	23
Figura 13: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 2 (parte 1).	23
Figura 14: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 2 (parte 2).	24
Figura 15: Esquema de la Alternativa 3 – <i>Juglans regia</i>	25
Figura 16: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 3.	25
Figura 17: Esquema de la Alternativa 4 – <i>Eucalyptus viminalis</i> y <i>Medicago sativa</i>	26
Figura 18: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 4.	28
Figura 19: Dinámica de las extracciones anuales de productos y subproductos forestales para las distintas alternativas.....	31
Figura 20: Dinámica de las extracciones anuales de productos no forestales para las distintas alternativas.....	32
Figura 21: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homo economicus.	43
Figura 22: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homo ambientalis.....	44
Figura 23: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homus económico (con qj del 40% y pj del 60%).....	55
Figura 24: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homus ambiental (con qj del 40% y pj del 60%).	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especies maderables utilizadas por la industria en la Provincia de Córdoba.....	14
--	----

Tabla 2: Superficie implantada por cada alternativa y tiempos de rotación.	18
Tabla 3: Parámetros de interés de las distintas alternativas: producción de los productos forestales y no forestales.	18
Tabla 4: Valores de déficit hídrico anual y riegos necesarios por alternativa.	29
Tabla 5: Distribución anual de los riegos de cada alternativa en un año promedio.	29
Tabla 6: Gastos de inversión por alternativa forestal.	33
Tabla 7: Gastos de operación para cada alternativa agroforestal.	34
Tabla 8: Ingresos económicos por alternativa forestal.	35
Tabla 9: Ingresos económicos por alternativa forestal.	37
Tabla 10: Matriz multicriterio final, con las cuatro alternativas y los seis criterios.....	40
Tabla 11: Ponderación de los criterios en dos casos contrastantes.	42
Tabla 12: Datos climáticos utilizados en el programa ETo Calculator de la FAO.	51
Tabla 13: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 1.....	51
Tabla 14: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 2.....	52
Tabla 15: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 3.....	53
Tabla 16: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 4.....	54
Tabla 17: Carbono capturado por las distintas alternativas forestales contabilizando sólo productos forestales.....	54
Tabla 18: Captura de Carbono por las distintas alternativas forestales contabilizando sólo los productos no forestales.....	54
Tabla 19: Captura de Carbono total, sumando productos forestales y no forestales en cada una de las alternativas.....	55

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo Final de Grado (TFG) es diseñar las alternativas agroforestales para el aprovechamiento de los efluentes que se generarían si se implementara el Proyecto Planta Frigorífica de Cerdos (PPFC) ubicado en la localidad de Bengolea, Córdoba, Argentina. A su vez, se elaboran y valoran los criterios derivados del paradigma del desarrollo sostenible para la construcción de una matriz de decisión utilizada en la evaluación de las alternativas. Además, se muestra cómo usar la matriz con el método PROMETHEE, que integra la información ambiental, técnica, económica y social. Es importante marcar que las alternativas forestales crean una oportunidad para los productores de la región que quieran cumplir con la Ley Agroforestal 10.467/2017 y también para potenciales beneficiarios de la planta frigorífica por el tratamiento terciario y el aprovechamiento de los efluentes de la misma, considerados por el Decreto Provincial 415/1999 como de alto riesgo de contaminación ambiental. Las alternativas forestales se diseñan para aprovechar $46.000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ de efluentes generados en condiciones normales de producción si se implementara el PPFC. Se diseñaron cuatro alternativas: Alternativa 1_ *Eucalyptus viminalis*, con una rotación forestal de 12 años, cuyo producto principal son los rollizos para la industria maderera con una superficie de 19 ha; Alternativa 2_ *Pinus spp.* con 25 años de rotación, el producto principal son los rollizos y ocupa 18 ha; Alternativa 3_ *Juglans regia* con una rotación de 35 años, con dos productos principales que son nueces y rollizos para la industria, con 55 ha forestadas; Alternativa 4_ *Eucalyptus viminalis* y *Medicago sativa* con una rotación forestal de 12 años, los productos principales son rollizos para madera y rollos de alfalfa, en 24 ha. El valor de los criterios de comparación: Inversiones (-14.499.497; -13.364.480; -14.494.488; -17.541.575 en \$); Equivalente Anual del Valor Actual Neto con un costo de oportunidad del 5% (-2.389.442; -2.364.274; 8.848.962; -646.146 en \$ año⁻¹); Captura de Carbono (165; 63; 70; 160 en Tn CO₂ equivalente año⁻¹); Generación de empleo (2; 2; 12; 3 en puestos de trabajo permanente); Riesgo al anegamiento (bajo; alto; medio; bajo); y Complejidad de gestión (media; baja; alta; muy alta). El gobierno municipal y los potenciales actores interesados pueden, acorde a sus preferencias y necesidades, establecer la ponderación de los criterios. De esta forma se puede determinar cuál alternativa resulta más conveniente y, así, ordenar el desarrollo de los estudios de factibilidad, considerando el diseño de la organización empresarial para desarrollar el emprendimiento y la factibilidad financiera. El TFG muestra cuatro alternativas agroforestales competitivas y constituye el punto de partida para mejorar el proceso de inversiones a nivel local y crear las posibilidades para que el gobierno municipal y los actores involucrados puedan elegir el camino a transitar hacia comunidades urbanas y rurales más sostenibles y distribuidas en el territorio provincial.

Palabras claves: Análisis multicriterio discreto; análisis beneficios costos; captura de carbono; generación de empleo; cuidado del ambiente.

SUMMARY

The objective of this Final Degree Project (FDP) is to design agroforestry alternatives for the use of effluents that would be generated if the Pig Cold Storage Plant Project (PPFC) located in the town of Bengolea, Córdoba, Argentina were implemented. In addition, the criteria derived from the sustainable development paradigm are elaborated and valued for constructing a decision matrix used in evaluating alternatives. Furthermore, it shows how to use the matrix with the PROMETHEE method, which integrates environmental, technical, economic, and social information. It is important to note that the forestry alternatives create an opportunity for regional producers who want to comply with the Agroforestry Law 10.467/2017, as well as for potential beneficiaries of the cold storage plant due to tertiary treatment and use of its effluents, considered by Provincial Decree 415/1999 to be highly risky for environmental pollution. The forestry alternatives are designed to take advantage of 46,000 m³ year⁻¹ of effluents generated under normal production conditions if the PPFC were implemented. The four designed alternatives: Alternative 1_ *Eucalyptus viminalis*, with a forest rotation of 12 years, whose main product is timber logs and which implies an area of 19 ha; Alternative 2_ *Pinus spp.* with a 25-year rotation, whose main product logs for the timber industry and occupies 18 ha; Alternative 3_ *Juglans regia* with a 35-year rotation, whose main products are walnuts and logs for the industry, with 55 ha of forestry; Alternative 4_ *Eucalyptus viminalis* and *Medicago sativa* with a 12-year forest rotation, whose main products are timber logs and alfalfa rolls, in 24 ha. The value of the comparison criteria: Investments (-14,499,497; -13,364,480; -14,494,488; -17,541,575 in \$); Annual Equivalent of the Net Present Value with an opportunity cost of 5% (-2,389,442; -2,364,274; 8,848,962; -646,146 in \$ per year); Carbon capture (165; 63; 70; 160 in Tn CO₂ equivalent per year); Job generation (2; 2; 12; 3 in permanent jobs); Waterlogging risk (low; high; medium; low); and Management complexity (medium; low; high; very high). The municipal government and potential stakeholders can, according to their preferences and needs, establish the weighting of the criteria. In this way, it is possible to determine which alternative is more convenient and, thus, order the development of feasibility studies, considering the design of the business organization to develop the enterprise and the financial feasibility. The TFG shows four competitive agroforestry alternatives and constitutes the starting point to improve the investment process at the local level and create the possibilities for the municipal government and the involved actors to choose the path to be taken towards more sustainable urban and rural communities distributed throughout the provincial territory.

Keywords: Discrete multicriteria analysis; cost-benefit analysis; carbon capture; employment generation; care for the environment.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Presentación

En el marco del convenio entre la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y la Municipalidad de Bengolea, se ha llevado a cabo un protocolo de trabajo para estudiar, a nivel de prefactibilidad, la localización y construcción del Proyecto de Planta Frigorífica de Cerdos (PPFC) y el Proyecto de Planta de Tratamiento de los Efluentes en Bengolea, Córdoba, Argentina. Integrado al estudio de factibilidad de la Planta frigorífica de cerdo, se desarrolló este Trabajo Final de Graduación (TFG).

El TFG denominado “Diseño y evaluación de alternativas agroforestales para el aprovechamiento de los efluentes tratados del Proyecto de Planta Frigorífica de Cerdos en Bengolea, Córdoba”, aprovecha los efluentes tratados mediante la forestación. Se pueden destacar dos fundamentos principales. El primero, que las plantas frigoríficas producen residuos de alto riesgo ambiental. El segundo, que la forestación es reconocida por múltiples funciones, entre ella su gran poder de purificación de aguas residuales y al mismo tiempo en la provincia de Córdoba, la Ley 10.467/2.017, establece una obligación de forestar en los predios o adquirir derechos forestales a los propietarios de la tierra. Por lo tanto, el TFG puede servir a los dos propósitos: ambiental realizando la purificación de los efluentes y legal/económico creando una oportunidad para que los productores puedan cumplir con la Ley.

El manejo de efluentes de la industria frigorífica es una preocupación mundial. En la Unión Europea, por ejemplo, se ha establecido una regulación específica¹ para el tratamiento de los residuos generados por la industria cárnica, que establece pautas y requisitos estrictos para el manejo de los efluentes (Santonja et al., 2019). Además, algunos países han implementado incentivos económicos y fiscales para promover el uso de tecnologías más eficientes y sostenibles en la industria frigorífica y fomentar el aprovechamiento de los efluentes. En Brasil, por ejemplo, el gobierno ofrece créditos y financiamiento a empresas que implementan sistemas de tratamiento de residuos (de Carvalho & De Zen, 2017; Moraes, 2009).

En Argentina, la actividad de establecimientos frigoríficos está regulada por Ley² y en la provincia de Córdoba, es considerada altamente contaminante³. Particularmente, la política ambiental provincial establece pautas mínimas para la habilitación de estos proyectos,

¹ Directiva de la Unión Europea 2008/98/CE.

² Ley Nacional 22.375.

³ Decreto Provincial 415/1999.

requiriendo estudios de impacto ambiental⁴. Y, según el Código de Aguas⁵, está totalmente prohibido verter sus efluentes o residuos en cursos de aguas permanentes, semipermanentes o áreas sin acondicionamiento previo.

Sin embargo, si los efluentes y residuos son correctamente tratados pueden ser utilizados para múltiples fines y, así, minimizar su impacto ambiental y social. Los métodos tradicionales para el tratamiento de los efluentes frigoríficos han sido las lagunas de decantación y reposo. Aunque existen diferentes tipos de lagunas (anaeróbica, aeróbica o facultativa), lo que se busca en todas ellas es adecuar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los efluentes para que puedan ser aprovechados en forma segura.

A pesar de los beneficios ambientales que brinda el tratamiento de efluentes, las lagunas son costosas económicamente, lo que puede llevar a que algunas industrias gestionen mal los efluentes (Sogari et al., 2016).

Los efluentes tratados pueden ser utilizados con fines ambientales, como regar filtros verdes para amortiguar los efectos de actividades humanas sobre la población, como malos olores, la contaminación por agroquímicos o para purificar el aire (Gil et al., 2013). Además, si los filtros verdes se constituyen en áreas forestales o de cultivos de cosecha, pueden obtenerse ingresos marginales por la venta de productos como fibras, maderas y alimentos (Fasciolo et al., 2002; Plevich et al., 2012; Varallo et al., 2011).

En la provincia de Córdoba, las áreas forestales pueden diseñarse como masas arbóreas y, complementarse al marco legal, para ofrecer cuotas a productores agropecuarios de la región según el Plan Provincial Agroforestal⁶ (MAGYP, 2017). En este marco, la utilización de efluentes industriales como fuente de nutrientes para masas forestales podría generar una nueva fuente de ingresos para los productores agropecuarios de la región de Bengolea, Córdoba. Además, la implementación de la alternativa agroforestal puede generar nuevos puestos de trabajo y emprendimientos, contribuyendo al desarrollo económico local (Rovira et al., 2017).

Otro aspecto importante a considerar es el impacto ambiental positivo que puede generar la forestación con especies arbóreas de rápido crecimiento. La incorporación de estas especies en sistemas de tratamiento de aguas residuales puede mejorar la calidad del agua y generar biomasa que puede ser utilizada en diversos procesos productivos (Singh, 2021). Esta biomasa puede tener implicancias económicas relevantes, como la reducción de costos en la

⁴ Ley 10.208/14

⁵ Ley Provincial 8.853.

⁶ Ley Provincial 10.467.

compra de fertilizantes y la generación de ingresos por su venta (Gómez et al., 2019). Además, la forestación puede tener un efecto positivo en la calidad del aire y en la biodiversidad, contribuyendo a la regulación del ciclo del agua y del carbono (Besteiro, 2014).

Por otro lado, la implementación de alternativas agroforestales para el aprovechamiento de efluentes industriales puede contribuir a la mitigación de la huella de carbono de la industria frigorífica. Según un estudio llevado a cabo por Gallopín (2003), la utilización de efluentes industriales para la producción de biomasa en sistemas agroforestales puede generar un efecto de secuestro de carbono que contribuye a la mitigación del cambio climático.

En conclusión, la implementación de alternativas agroforestales para el aprovechamiento de efluentes que se generarían en el PPFC, puede tener importantes beneficios económicos y ambientales, generando nuevas fuentes de ingresos y contribuyendo a la mitigación del impacto ambiental de la industria frigorífica. Además, estas alternativas pueden contribuir a la promoción del desarrollo sostenible de la región.

Objetivos

Objetivo general

“Diseñar, valorar, y ayudar a seleccionar un sistema de aprovechamiento agroforestal de los efluentes tratados que se generarán en una planta frigorífica de cerdos en la localidad de Bengolea, Córdoba, Argentina”.

Objetivos específicos

1. Diseñar las alternativas forestales de *Eucalyptus viminalis*; *Pinus spp.*; *Juglans regia* y agroforestal de *Eucalyptus viminalis* y *Medicago sativa*.
2. Elaborar los criterios de decisión para construir la matriz de decisión y valorarlos considerando las tres dimensiones de la sostenibilidad.
3. Evaluar la performance de las alternativas usando diferentes preferencias del tomador de decisiones.

Alcance

El TFG diseña y evalúa cuatro alternativas de inversión a nivel perfil de proyecto en general con énfasis en el diseño técnico y la elaboración de la información sistematizada para la evaluación multicriterio.

Metodología general

Para abordar el diseño, valoración y evaluación de las alternativas agroforestales, la metodología general de este trabajo final de grado fue de aproximaciones sucesivas (Chain, 2007). Considerando, que el documento presentado se corresponde con la primera etapa de los

estudios de factibilidad de un proyecto de inversión en general. En tanto, el diseño técnico y económico, tiene un nivel de profundidad mayor de la información considerando una prefactibilidad. La evaluación de las alternativas se realiza mediante la elaboración de una matriz de decisión con seis criterios considerando las dimensiones del desarrollo sostenible y guiados por el método multicriterio discreto PROMETHEE (Brans & Mareschal, 2002). Considerado este método de sobre clasificación permitirá a los usuarios e interesados en esta información: a) rankear las alternativas; b) involucrar a los potenciales interesados; c) integrar criterios cuali y cuantitativos; y, es un método ampliamente usado en decisiones de infraestructura, productiva, ambientales, económicas entre otras decisiones estructurales.

El trabajo final de grado, fue una idea identificada y trabajada en los Cursos Optativos: “Sistemas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles”, “Formulación y evaluación de proyectos de inversión”, “Evaluación de Impacto Ambiental”, “Viveros agroforestales” y “Diseño y evaluación de métodos de riego II” todos cursos de la carrera de Ingeniería Agronómica, aprobados recientemente. También, una Beca de Extensión titulada “Diseño técnico de masas arbóreas agregadas para aprovechar los efluentes de una planta frigorífica, en el municipio de Bengolea” desarrollada en el marco del Convenio con la Municipalidad de Bengolea. Y en la última etapa de elaboración, se sistematiza y sintetiza para su presentación como trabajo final de grado.

En los aspectos técnicos, la localización está considerada en las proximidades del PFFC, y el tamaño se desarrolla en función de la producción normal de efluentes de la misma (46.000 m³ año⁻¹). En la ingeniería, se usa el software “ETo Calculator” de la FAO (Raes & Munoz, 2009) para calcular la evapotranspiración de referencia en el área de estudio. Se obtuvieron los valores de kc (coeficiente de cultivo) de cada especie forestal a partir de datos publicados. Según Allen et al. (2006), se consideró un valor de 0,98 para Eucalipto, de 1 para Pino y de 0,95 para Alfalfa. En tanto, según Lui et al. (2005), el valor de kc para Nogal es de 0,8. Mediante, el modelo de balance hidrológico, la información climática se realizó el cálculo de cada una de las alternativas agroforestales en una planilla de cálculo. De esta manera, se pudo obtener la superficie de cultivo adecuada para cada una de las alternativas agroforestales.

En la dimensión económica, se sigue el marco conceptual de análisis beneficios costos y presupuestos parciales y se estiman varios indicadores: Valor Actual Neto Económico (VANE), Equivalente Anual del VANE, Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE), periodo de recupero para el análisis de la rentabilidad económica. Para valorar las inversiones (en \$) en cada una de las alternativas, se tomaron precios obtenidos de las series de CREA (2022), INTA EEA Bella Vista (2021, 2022), INTA EEA Concordia (2022) y U.B.A. (2003).

En relación a los criterios de decisión, el primero está vinculado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de *crecimiento económico y trabajo decente*. Se elige para incluir en la matriz de decisión el criterio de Equivalente Anual del Valor Actual Neto (EAVAN). El indicador mide en qué medida la alternativa agroforestal contribuye al objetivo de crecimiento económico. Este criterio mide los beneficios netos de costos del proyecto ($\$ \text{año}^{-1}$) con un costo de oportunidad del capital del 5% siguiendo a de Prada et al. (2014).

El otro criterio, económico es un indicador del esfuerzo financiero y de organización que hay que realizar para materializar el proyecto y alcanzar la producción normal. En este sentido, es un criterio de origen más empresarial y local. Está representado por el total de inversiones y para su valoración se usa el presupuesto parcial de cada alternativa en el dimensionamiento económico de las inversiones.

En la dimensión ambiental, las alternativas agroforestales mitigan en forma similar los riesgos de contaminación por nutrientes, N y P principalmente. Se identifican dos criterios que presentan diferencias entre alternativas agroforestales.

Un criterio es la Captura de Carbono que permite vincularlo con el ODS de *acción por el clima*, específicamente con la mitigación del cambio climático. Para su valoración se usa como referencia para la guía de Russo (2009), y calcula la cantidad de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($\text{Tn CO}_2 \text{ eq año}^{-1}$) de cada alternativa agroforestal. Esta guía tiene en cuenta factores como el crecimiento de la biomasa, la densidad de plantación y la especie forestal utilizada. Los cálculos realizados para cada alternativa se detallan en el punto Captura de Carbono y en la Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19 del CAPÍTULO VI: *ANEXOS*.

El segundo criterio de la dimensión ambiental es Riesgo al anegamiento (cualitativo). Se considera importante porque la región de influencia y la zona de localización tiene suelos con napas freáticas próximas a la superficie, pudiendo en periodos húmedos, alcanzar los 2 m de profundidad. Por ello, el riego con efluentes puede producir una recarga adicional de la napa terminando en anegamiento, similar a lo ocurrido en las forestaciones realizadas en las plantas de tratamiento de efluentes de Adelia María y General Deheza. Para calificar este criterio se consultó a referentes en el área de Dasonomía. Se realizaron entrevistas a expertos en el tema, quienes brindaron su opinión respecto al riesgo que presenta cada alternativa agroforestal en relación al anegamiento del suelo. Estas opiniones fueron evaluadas y categorizadas, con el fin de obtener una evaluación cualitativa del riesgo al anegamiento para cada alternativa.

En la dimensión social, se tomó en cuenta el ODS de *crecimiento económico y trabajo decente* y se consideran los puestos de trabajo generados por cada alternativa agroforestal en forma permanente cuando se alcanza la capacidad normal de producción. Para su valoración

en el diseño técnico de cada alternativa, se modelizaron en una planilla de cálculo las necesidades de trabajo. El criterio Generación de empleo (Nº) se estimó considerando las actividades productivas, los tratamientos silviculturales y de riego necesarios para cada alternativa agroforestal.

Además, se considera en la dimensión social otro criterio útil para los tomadores de decisiones en el emprendimiento. El criterio Complejidad de gestión (cualitativo) se determinó en base a la cantidad y complejidad de las actividades requeridas por cada alternativa, así como la necesidad de esfuerzo por parte de los tomadores de decisiones para su implementación. Con estas evaluaciones, se espera poder tener una perspectiva más completa y equilibrada sobre las distintas alternativas agroforestales evaluadas en este trabajo.

Es importante mencionar que hay otros objetivos de desarrollo sostenible sobre los que el presente TFG puede contribuir, pero que debido a que hay diferencias claras en esta etapa del estudio no han sido valorados. Por ejemplo, el TFG es parte de un convenio de cooperación que puede considerarse alineado con *alianzas para lograr los objetivos de desarrollo sostenible*. Este estudio aporta información relevante para purificación del agua, tratamiento terciario, contribuye al ODS *agua limpia y saneamiento* y también está enmarcado en el ODS *ciudades y comunidades sostenibles*, debido a que el proyecto agroforestal aporta información útil y complementaria a la economía circular de la región aprovechando un residuo. También, se contribuye para que la planta frigorífica, si se implementa, realice una deposición de sus efluentes responsable asociada directamente con el ODS: *producción y consumo responsable*.

Área de estudio

El área de estudio de este proyecto se encuentra en Bengolea, Córdoba (Argentina), un municipio de pequeña escala con una población de 915 habitantes⁷. Esta localidad se encuentra ubicada en el centro sur de la provincia de Córdoba, tal y como se muestra en la Figura 1. Bengolea, se sitúa sobre la Ruta Provincial Nº 11, lo que la convierte en un lugar de fácil acceso. Además, las distancias a ciudades de referencia son de 66 km a Río Cuarto, 115 km a Villa María y 265 km a la Ciudad de Córdoba. Esta ubicación estratégica y accesibilidad son factores que hacen que Bengolea sea un lugar ideal para llevar a cabo un proyecto de este tipo.

⁷ Consultado en: <https://www.citypopulation.de/en/argentina/cordoba/>.

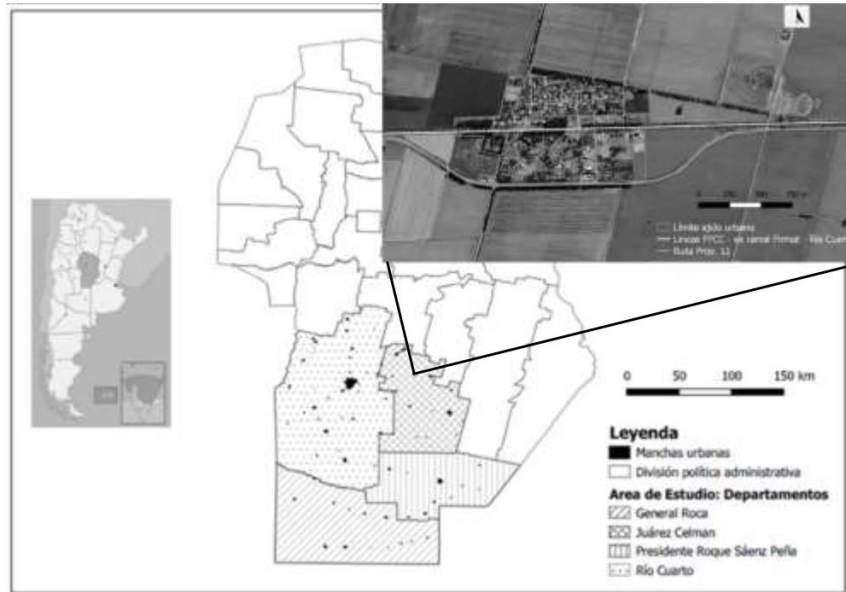


Figura 1: Área de estudio. Bengolea, Córdoba, Argentina.

Fuente: Extraído de Perfil de Proyecto de PFC (Convenio UNRC - Municipalidad de Bengolea, 2021).

Los suelos de la región en que se desarrolla este proyecto presentan una capacidad de uso agrícola ganadera según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1975). En su mayoría, los suelos son de clases II y III, aunque también se pueden encontrar sectores con médanos y bajos que presentan clases IV y VII, cuyo uso puede ser destinado a la producción ganadera o forestal. La pendiente general para la región tiene una dirección Oeste – Este, con gradientes que van desde el 0,5 al 4%. Los relieves son predominantemente planos, con lomas medanosas al Oeste y planicies y áreas mal drenadas al Este.

En cuanto al clima de la región, se trata de un clima templado. La temperatura media anual es de 16,9 °C. El período libre de heladas es de 242 días, con una fecha media de primera helada que se presenta el 21 de mayo (con una variación de ± 16 a 20 días) y una fecha media de última helada alrededor del 11 de septiembre (con una variación de ± 15 a 20 días) tal y como se muestra en la Figura 2.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Temperatura Media °C	24.9	23.4	21.2	16.5	12.6	9.8	9.6	11.3	13.7	17.0	19.4	23.1	16.9
	Primeras heladas					Últimas heladas							
Heladas	Fecha Media		Variabilidad			Fecha Media		Variabilidad		Periodo Libre de Helada			
	21-V		16-20			11-IX		15-20		242			

Figura 2: Temperaturas medias mensuales, anual, fecha media de primera y última helada.

Fuente: Extraído de Hoja 3366-20 de Ucaha (MAAYSP, 2017).

En la región de Bengolea, Córdoba, se presenta un régimen de precipitaciones monzónico, con un valor medio anual de precipitaciones de 779 milímetros. Los valores mínimos registrados son de 349 mm, mientras que el máximo de precipitaciones alcanzado se ha situado en 1281 mm (Figura 3). La variabilidad de las precipitaciones en la región puede ser una oportunidad para el desarrollo de proyectos agroforestales sostenibles que pueden aprovechar el excedente hídrico durante las temporadas de lluvia y manejar de manera adecuada el déficit hídrico durante los períodos de sequía.

Precipitación	Ene.	Feb.	Mar	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Media	102	72	98	74	39	14	21	19	42	93	95	112	779
Máxima	255	202	289	213	152	65	136	65	135	351	228	349	1281
Mínima	28	13	3	0	0	0	0	0	0	27	15	15	349

Figura 3: Valores mínimos, medios y máximos, mensuales y anuales, de precipitaciones.
Fuente: Extraído de Hoja 3366-20 de Ucache (MAAYSP, 2017).

CAPÍTULO II: DISEÑO Y PARAMETRIZACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS AGROFORESTALES

En adelante se describen los contenidos de las cuatro alternativas de proyecto propuestas para el aprovechamiento de los efluentes del PPFC en la localidad de Bengolea. En primer lugar, se presenta el estudio de beneficiarios, donde se identifican los proyectos de inversión sobre diseño de alternativas agroforestales y se determinan los potenciales beneficiarios del mismo. En segundo lugar, se aborda el estudio de mercado, donde se evalúa la viabilidad comercial del producto generado por cada alternativa agroforestal, así como los insumos utilizados en su diseño. En tercer lugar, se profundiza en el estudio técnico, donde se analizan aspectos de localización y tamaño normal de las alternativas agroforestales, así como se enfatiza en su diseño técnico. En cuarto lugar, se realiza la evaluación económica, donde se analiza la viabilidad económica de los beneficios y costos que se generan por cada alternativa. Finalmente, se lleva a cabo la evaluación multicriterio, donde se realiza un comparativo de las cuatro alternativas frente a diferentes criterios, con el fin de determinar la alternativa más adecuada para el aprovechamiento sostenible de los efluentes de la industria porcina en la región.

Estudio de Beneficiarios

El presente trabajo se enmarca en el contexto de un convenio específico entre la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y la Municipalidad de Bengolea. En dicho convenio se establecieron dos decisiones estructurales a abordar, siendo esta tesis parte de la primera: “Evaluar alternativas de localización para el proyecto de planta frigorífica de cerdos (PPFC)”. En este sentido, se diseñan alternativas de masas arbóreas con el objetivo de aprovechar los efluentes generados en el mencionado proyecto. De esta manera se busca contribuir a la gestión sustentable de los recursos y a la mitigación de los impactos ambientales en la región de Bengolea.

Las autoridades y referentes locales consideran prioritario impulsar el desarrollo local aprovechando las oportunidades que ofrece el sector agropecuario cercano a Bengolea. Por ejemplo, la producción porcina de criaderos locales, que actualmente alcanza más de 12 mil Tn capón año⁻¹, podría aumentar su valor si se realiza la faena y/o procesamientos secundarios (p.e. elaboración de chacinados) para su posterior comercialización. Esto no solo generaría empleo y nuevas oportunidades para la comunidad local, sino que también podría fomentar la economía circular y reduciría los costos de transporte y logística.

Los beneficiarios del PPFC y del área de aprovechamiento de efluentes requieren precisarse y trabajarse con mayor nivel de detalles en niveles de estudio de factibilidad, pero preliminarmente pueden mencionarse algunos actores. Entre ellos, como beneficiarios directos

del proyecto “Diseño de alternativas agroforestales para el aprovechamiento de efluentes del PPFC” podemos encontrar, en primer lugar, a la Municipalidad de Bengolea como “promotor” y, en segundo lugar, a los productores porcinos que se asocian al frigorífico. En tanto que, como beneficiarios indirectos, pueden encontrarse a la población local, y específicamente, la comunidad educativa (jardín y colegios primario y secundario), pudiendo ser involucrados en algunas de las etapas del proceso productivo con fines didácticos.

La Municipalidad de Bengolea se estructura de acuerdo a las siguientes secretarías y dependencias: Secretaría de Gobierno y Finanzas, Secretaría de Salud y Desarrollo Social, Secretaría de Deporte y Cultura, Secretaría de Obras y Servicios Públicos, y, Coordinación administrativa. Específicamente, la Secretaría de Obras y Servicios Públicos, al mando de la Sra. Laura Sandoval, se vincula al proyecto, en conjunto con el Corralón Municipal (dependiente de dicha Secretaría). Desde estas dependencias y secretarías pueden aportarse al proyecto bienes de explotación (p.e. tractores, palas, hoyadoras o herramientas de mano) y mano de obra que, inicialmente, pueden representar costos hundidos para el proyecto.

Estudio de Mercado

El estudio de mercado se enfoca a evaluar la viabilidad comercial de cada alternativa agroforestal diseñada para el aprovechamiento de efluentes del PPFC. En particular, se considera la oferta y demanda de productos forestales y agrícolas generados por estas alternativas, que incluyen rollizos de diferentes especies (A1, A2, A3 y A4), nueces (en caso de seleccionarse la alternativa A3) y rollos de alfalfa (en caso de seleccionarse la alternativa A4). Además, se analiza la competencia en el mercado local y regional, así como el potencial de comercialización de estos productos en diferentes canales de distribución. Este análisis permitirá determinar la factibilidad de cada alternativa agroforestal desde el punto de vista comercial y establecer recomendaciones para su implementación exitosa.

Producto forestal

El producto forestal se refiere a los rollizos, que depende de la alternativa y consiste en: rollizos de *Eucalyptus viminalis* en la Alternativa_A1; rollizos de *Pinus spp.* para la Alternativa_A2; rollizos de *Juglans regia* para la Alternativa_A3; y para la Alternativa_A4 rollizos de *Eucalyptus viminalis*. Las características técnicas de los rollizos dependen de cada especie forestal: el diámetro de los rollizos debe ser de al menos 30 cm para *Eucalyptus* y 20 cm para *Pinus*, mientras que en el caso de nogal no existen valores mínimos para ese parámetro.

Los usos de los rollizos y maderas son variados. En el caso de los rollizos de eucalipto y pino, estos se pueden destinar a aserradero, debobinado, impregnación o a transformaciones secundarias como la fabricación de tableros o remanufactura. Los rollizos de nogal pueden

tener diferentes diámetros y se pueden destinar a distintos usos, como mueblería, tableros o leña.

Producto no forestal

El producto no forestal se refiere a las nueces producidas por la Alternativa_A3 *Juglans spp.* y los henos de *Medicago sativa* (rollos de alfalfa) producidos por la Alternativa_A4.

Estos productos no forestales serán comercializados de la siguiente manera: las nueces serán vendidas como fruto entero con cáscara a granel para consumo humano dentro del departamento de Río Cuarto, mientras que los rollos de alfalfa, de aproximadamente 500 kg, podrán ser comercializados a productores locales. No obstante, es necesario llevar a cabo un estudio más detallado de las áreas de comercialización de estos productos antes de avanzar en la fase de factibilidad.

Subproductos

En cuanto a los subproductos forestales generados por las alternativas propuestas, no se han especificado en detalle en esta tesis. Estos subproductos se derivan tanto de los tratamientos silviculturales como del proceso de aprovechamiento forestal en sí mismo. Aunque no se ha realizado un análisis detallado de su viabilidad comercial en este estudio, se han evaluado las cantidades de subproductos generados y se les ha asignado un valor. Es importante destacar que para futuros estudios sería necesario considerar la viabilidad económica de estos subproductos, ya que podrían representar una oportunidad de ingresos adicionales para la gestión sostenible de los bosques.

Estructura del mercado forestal

De acuerdo con el Censo Nacional de aserraderos (DDFI, 2015), en la provincia de Córdoba hay 19 aserraderos localizados principalmente en los departamentos de Calamuchita, Río Cuarto y Santa María (Figura 4). Pudiendo considerarse que la venta de rollizos a los aserraderos locales de Río Cuarto podría resultar más rentable, debido al menor costo del transporte. La mayoría de los aserraderos son pequeños o de baja escala (con una capacidad instalada promedio de $35.000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) y cuentan con equipamiento prácticamente obsoleto (DDFI, 2015). Por ello, antes de la explotación forestal, se podría considerar la adquisición de un aserradero móvil para el procesamiento in situ, a fin de evitar el traslado de la madera y optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

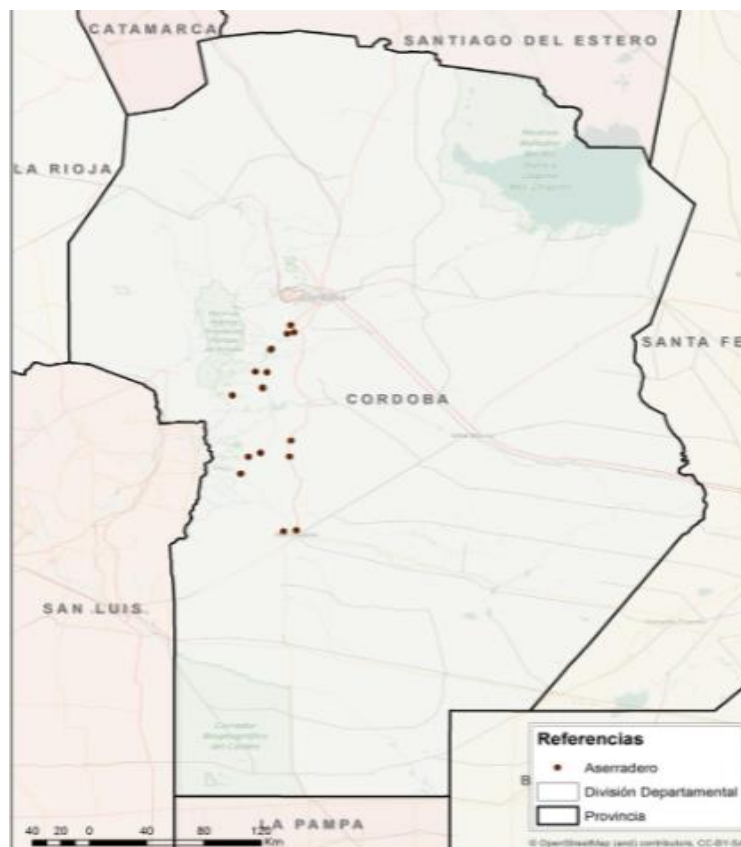


Figura 4: Localización de aserraderos de la Provincia de Córdoba.

Fuente: Extraído de Censo Nacional de Aserraderos (DDFI, 2015).

Demanda del producto forestal

La demanda mundial de productos forestales aumentará en el futuro debido al crecimiento de la población, el aumento del ingreso per cápita y la urbanización (FAO, 2020). En Argentina, la demanda de productos maderables es satisfecha en su mayoría por la producción nacional, la cual se concentra principalmente en las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Chaco y Santiago del Estero (DDFI, 2015, 2018, 2023). La industria maderera argentina ha experimentado altibajos en los últimos años debido a factores como la competencia de productos importados, la falta de inversión en tecnología y la baja en el consumo interno. Sin embargo, se espera que la demanda de productos maderables en el país se mantenga estable en el corto plazo debido al crecimiento de la construcción de viviendas y la necesidad de infraestructura en el sector público y privado.

Según datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, las extracciones de rollizos de madera en el país para uso industrial durante el año 2021 fueron de aproximadamente 17,3 millones de metros cúbicos. De ese total, el 74% se destinó a transformación mecánica, un 22% a transformación química y el restante 4% se destinó a exportación (DDFI, 2023).

Los productos forestales consumidos en el país son variados. Se destaca en primer lugar los rollizos para uso industrial con un valor de $0,3674 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$, seguido por los productos del aserrado con $0,0755 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y luego papel $0,0474 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 5) (DDFI, 2023).

Consumo de distintos tipos de madera	
Productos	Consumo per cápita (m ³ /hab)
Rollizos de uso industrial	0,3674
Impregnado	0,0074
Aserrado	0,0755
Remanufactura	N/D
Tableros compensados	0,0039
Tableros de fibra	0,0117
Tableros de partícula	0,0092
Celulosa	0,0185
Papel	0,0474
Población 2021 (INDEC): 45.808.747	

Figura 5: Consumo de distintos productos forestales per cápita en Argentina para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia en base a Dirección de Foresto Industria (DDFI, 2023).

Según la Dirección de Foresto Industria, el consumo aparente de madera aún es uno de los más bajos de la región y el mundo (DDFI, 2023). Argentina en el año 2021 consumió en madera aserrada $75,5 \text{ m}^3 \text{ 1000 habitantes}^{-1} \text{ año}^{-1}$, versus países vecinos como Chile, cuyo consumo fue de $280,8 \text{ m}^3 \text{ 1000 habitantes}^{-1} \text{ año}^{-1}$, o aún mayor, como en Estados Unidos cuyo consumo fue $306,8 \text{ m}^3 \text{ 1000 habitantes}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Figura 6).

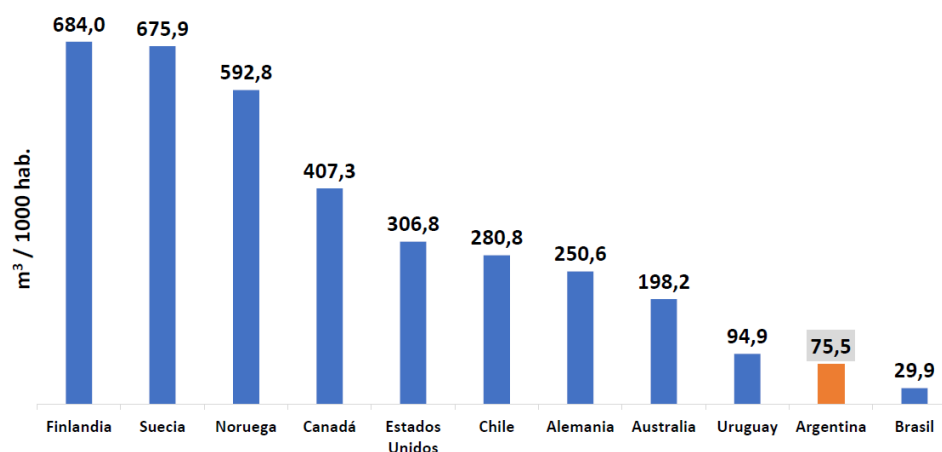


Figura 6: Consumo aparente de madera para el año 2021 en Argentina y su comparación con otros países.

Fuente: Extraído de Dirección de Foresto Industria (DDFI, 2023).

Oferta del producto forestal

En Argentina, el sector forestal ha experimentado un crecimiento constante en los últimos 30 años, con un aumento en los volúmenes de extracción de madera en diferentes

especies forestales (DDFI, 2018). Según datos del año 2022, la oferta de rollizos para uso industrial alcanzó un valor récord de 17.348.660 m³ (DDFI, 2023). Si bien la extracción de coníferas ha sido predominante en las últimas décadas (Figura 7), el interés por especies como el eucalipto y el nogal ha ido en aumento en el mercado local e internacional. Por lo tanto, es importante considerar como se puede aprovechar esta tendencia en el estudio de mercado de las alternativas agroforestales.

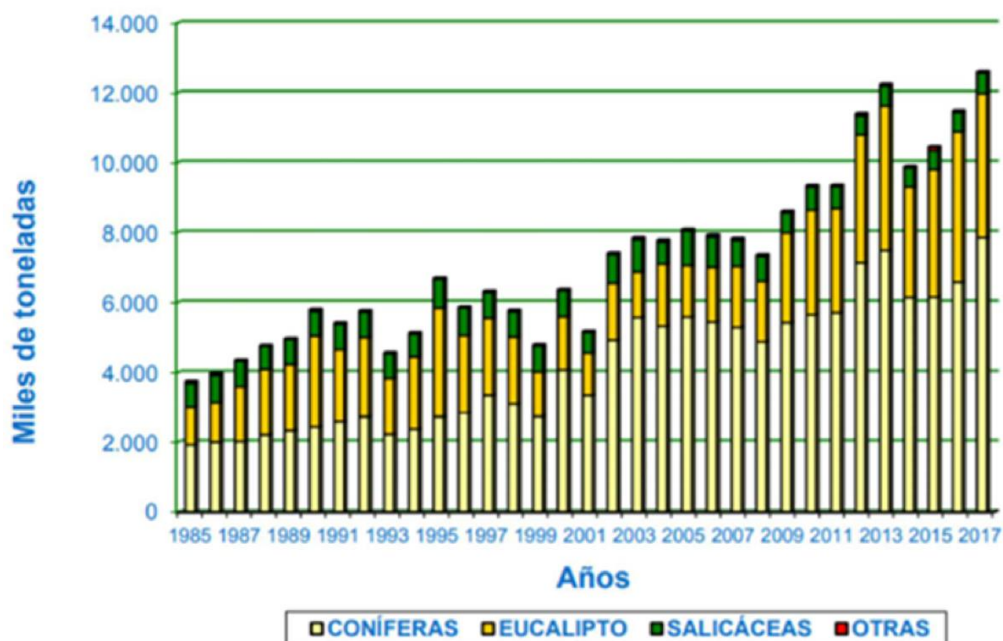


Figura 7: Evolución de las extracciones de madera por especie.

Fuente: Extraído de la Dirección de Foresto Industria (DDFI, 2018).

En la provincia de Córdoba, la producción de madera aserrada alcanza los 185.618 m³ año⁻¹. Siendo el 97,6% corresponde a madera de pino, con un total de aproximadamente 181.090 m³ de rollizos aserrados por año (Tabla 1). Por su parte, el 1,8% es madera de eucalipto, con un valor de 3.345 m³ de rollizos aserrados por año. También se procesan otros tipos de madera, aunque en menor medida, como álamo, ciprés y olmo. A pesar de esto, los aserraderos de la provincia presentan capacidad ociosa, llegando a un 32% de la capacidad instalada en 2015 (DDFI, 2015).

Tabla 1: Especies maderables utilizadas por la industria en la Provincia de Córdoba.

ESPECIES	TOTAL	%
eucaliptus	3.345	1,8%
pino	181.090	97,6%
álamo	91	0,05%
olmo	176	0,10%
ciprés	825	0,40%
fresno	91	0,05%
Total general	185.618	100%

Fuente: Extraído de Censo Nacional de Aserraderos (DDFI, 2015).

Precios del producto principal y secundario

Los precios de los productos principales (rollizos) son extraídos del informe del INTA EEA Concordia (2022) y son utilizados para la modelización económica. Los rollizos de eucalipto con más de 25 cm de diámetro puestos arriba del camión, tienen un precio por tonelada que varía entre \$4.600 y \$5.800, con un valor medio de \$5.150. Los rollizos de pino con un mínimo de 16 cm de diámetro, tienen un rango de precios que varía entre \$2.200 y \$3.300 según clase, con un valor medio de \$2.750. En tanto, los subproductos derivados de pino o eucalipto se valoran considerando un 8% del valor del rollizo de cada especie (Nota: subproductos de eucalipto \$412 tonelada⁻¹, y de pino \$220 tonelada⁻¹).

Canales de comercialización

En cuanto a los canales de comercialización para los productos forestales generados por la alternativa de aprovechamiento de efluentes, se utiliza principalmente el canal de venta en plantación. Este canal implica la venta directa de los productos en la plantación donde se producen, tras la tala rasa. El costo total de la actividad, incluyendo apeo, desrame, extracción y carga, es de \$447 por tonelada (expresado en precio constante a abril de 2022) (INTA EEA Bella Vista, 2021, 2022).

Es importante destacar que los costos de transporte al aserradero varían según el arreglo en plantación y el aserradero en cuestión, y pueden oscilar entre \$500 y \$650 por pie² de madera rolliza transportada a 30 kilómetros de distancia (INTA EEA Concordia, 2022). Además del canal de venta en plantación, existen otros canales de comercialización para los productos forestales, como la venta a través de intermediarios, la venta en subastas o la venta directa a fábricas y empresas procesadoras de madera, pudiendo ser desarrollados en factibilidad de ser necesario.

Insumos principales del proyecto

Cada alternativa agroforestal requiere de diversos insumos para su implementación, entre los cuales se incluyen los plantines, la mano de obra y las herramientas para el manejo silvicultural. Sin embargo, ciertos insumos son específicos a algunas alternativas en particular, como por ejemplo la semilla de alfalfa (en la alternativa A4). Es importante destacar que los requisitos de insumos pueden variar según la alternativa agroforestal seleccionada y que los recursos como la tierra y el equipamiento de riego no son considerados insumos en este contexto, sino que se los valorará en el diseño técnico como bienes de capital, ya que no se consumen en el proceso productivo.

Los insumos necesarios para cada alternativa agroforestal varían dependiendo de las especies a cultivar y el manejo que se le dé a las mismas. A continuación, se presentan algunos de los principales insumos y sus valores.

La preparación de la cementera para riego se realiza antes de la plantación y consiste en dos manos de arado de disco, nivelación y surcado. Se estima un costo de 3,3 Unidades de Trabajo Agrícola (UTA) por hectárea (U.B.A., 2003), lo que equivale a un valor total de USD 140 ha⁻¹ (\$16.500 ha⁻¹)⁸.

Los plantines para la plantación de las especies forestales, se pueden comprar en viveros cercanos o producirlos en un vivero propio. Los precios por plantín son: \$12 para Eucalipto, \$21 para Pino y \$58 para Nogal, a precio constante de abril del 2022 (INTA EEA Concordia, 2022). En caso de realizar la alternativa A4, debe tenerse en cuenta el valor de la semilla de alfalfa que es de \$526 kg⁻¹ (CREA, 2022).

Los materiales necesarios para las podas de formación y de mantenimiento de las plantaciones, se necesitarán tijeras y guantes. Se recomienda la compra de dos tijeras de podar con tope, naranjas reforzadas, con un valor de \$3.500 cada una, y dos tijeras de podar articuladas, con un costo de \$17.000 cada una. Los guantes tipo vaqueta se adquieren en un combo de 12 unidades por \$10.160.

Estudios Técnicos

Localización

La localización de la alternativa agroforestal se refiere a su ubicación más adecuada y factible. Los factores que influyen en la elección del lugar incluyen la proximidad al PPFC, la pendiente del terreno (evitando terrenos más altos que el de la planta frigorífica), la profundidad de la napa, entre otros. En este caso, la instalación de masas arbóreas para el aprovechamiento de los efluentes generados en el PPFC se encuentra en la franja urbano-rural de Bengolea. El área forestal (marcada en verde en la Figura 8) podría ubicarse en un lote de 17 ha al norte del PPFC, separado por las vías del FFCC. El terreno es plano, con una pendiente promedio de 0,8 al 1% en dirección Oeste-Este. Aunque se identificaron otros posibles lotes (marcados en rojo en la Figura 8), no se ha definido uno específico para la alternativa en cuestión, lo que será objeto de futuros estudios de factibilidad.

⁸ Precio dólar oficial (fecha: mayo 2022): 118 \$/USD.



Figura 8: Ubicación de lotes (posibles) a utilizar por la alternativa agroforestal.
Fuente: Elaboración propia.

Tamaño

La determinación del tamaño o capacidad normal de producción se basa en diversos factores, como el volumen de efluentes disponibles para su aprovechamiento, la capacidad financiera de los beneficiarios y la elección de la alternativa agroforestal.

La estimación de la capacidad normal de producción depende, en gran medida, de la superficie agroforestal de la alternativa seleccionada, la cual a su vez se deriva del volumen de efluentes generados en el PFC, las precipitaciones anuales, la demanda hídrica de la especie agroforestal y su rotación.

Según los estudios del perfil de proyecto de la planta frigorífica de cerdos, se proyecta un valor medio de efluentes de 46.000 m³ por año, con valores mínimos de 20.000 m³ y máximos de 72.000 m³ anuales. Las precipitaciones tienen un régimen de tipo monzónico, con un valor medio anual de 779 milímetros (con valores mínimos registrados de 349 mm y máximos de 1281 mm). Por su parte, la demanda hídrica o evapotranspiración de los cultivos (ETc) se calcula en: alternativa A1 con 1.134 mm año⁻¹; A2 con 1.157 mm año⁻¹; A3 con 925 mm año⁻¹ y A4 con 1.069 mm año⁻¹. Además, los años de rotación de las especies son de 12, 25, 35 y 12 años para las alternativas A1, A2, A3 y A4, respectivamente.

En consecuencia, se ha calculado que la superficie forestal necesaria para cada alternativa es de 19, 18, 55 y 24 ha, para A1, A2, A3 y A4 respectivamente (Tabla 2). Cabe destacar que la superficie agroforestal seleccionada para cada alternativa puede variar en función de la disponibilidad de terrenos adecuados y otros factores que se deberán considerar en estudios de factibilidad posteriores.

Tabla 2: Superficie implantada por cada alternativa y tiempos de rotación.

Alternativas Agro-forestales	Superficie (ha)	Rotación (años)
<i>Eucalyptus viminalis</i>	19	12
<i>Pinus spp.</i>	18	25
<i>Juglans regia</i>	55	35
<i>Eucalyptus viminalis</i> y <i>Medicago sativa</i>	24	12

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestran los valores de producción normal de los productos forestales y no forestales para cada alternativa. En la alternativa A1 se producen 3.723 toneladas de rollizos de eucalipto; mientras que en la alternativa A2 se producen 3.422 toneladas de rollizos de pino; en la alternativa A3, 1.807 toneladas de rollizos de nogal y en la alternativa A4, 1.437 toneladas de rollizos de eucalipto. Por otro lado, los valores de productos no forestales son 5.947 toneladas de nueces (en alternativa A3) y 2.871 toneladas de materia seca (MS) de rollos de alfalfa (en alternativa A4).

Tabla 3: Parámetros de interés de las distintas alternativas: producción de los productos forestales y no forestales.

Alternativas Agro-forestales	Producción forestal		Producción no forestal	
	(Tn/año)	(Tn)	(Tn/año)	(Tn)
<i>Eucalyptus viminalis</i>	310	3.723	-	-
<i>Pinus spp.</i>	137	3.422	-	-
<i>Juglans regia</i>	52	1.807	170	5.947
<i>Eucalyptus viminalis</i> y <i>Medicago sativa</i>	120	1.437	239	2.871

Nota: La producción forestal se calcula para la obtención de rollizos (Pesos específicos: *Eucalyptus spp.* 0,75 kg dm⁻³; *Pinus spp.* 0,73 kg dm⁻³; *Juglans spp.* 0,65 kg dm⁻³) y la alfalfa se reimplanta cada cuatro años. Fuente: Elaboración propia.

Ingeniería

En esta sección se detalla el diseño de la función de producción de cada alternativa agroforestal. Se describen los procesos y subprocesos, obras civiles, maquinarias y equipos necesarios, así como los esquemas de distribución espacial de los diferentes elementos, incluyendo caminos, vías de tránsito de maquinarias, sistemas de riego y otros detalles relevantes en cada alternativa.

Sitio forestal

El sitio forestal comprende tanto las áreas cultivadas como las destinadas a otros usos. En cada alternativa, la superficie forestal es de 19; 18; 55 y 24 hectáreas para las opciones A1, A2, A3 y A4, respectivamente. Las áreas destinadas a otros usos incluyen los caminos, la represa de riego, el galpón para maquinarias y las vías de acceso y movilidad.

El área de la represa y el galpón-depósito, de 2.000 m², representa entre el 0,3% y el 0,9% de la superficie forestal, dependiendo la alternativa analizada. Por otro lado, los caminos

primarios, de 5 metros de ancho, y los caminos secundarios, de 3 metros de ancho, asociados a las parcelas de producción, representan 8% de la superficie forestal. El esquema con la distribución espacial de estos sectores se muestra en la Figura 9.

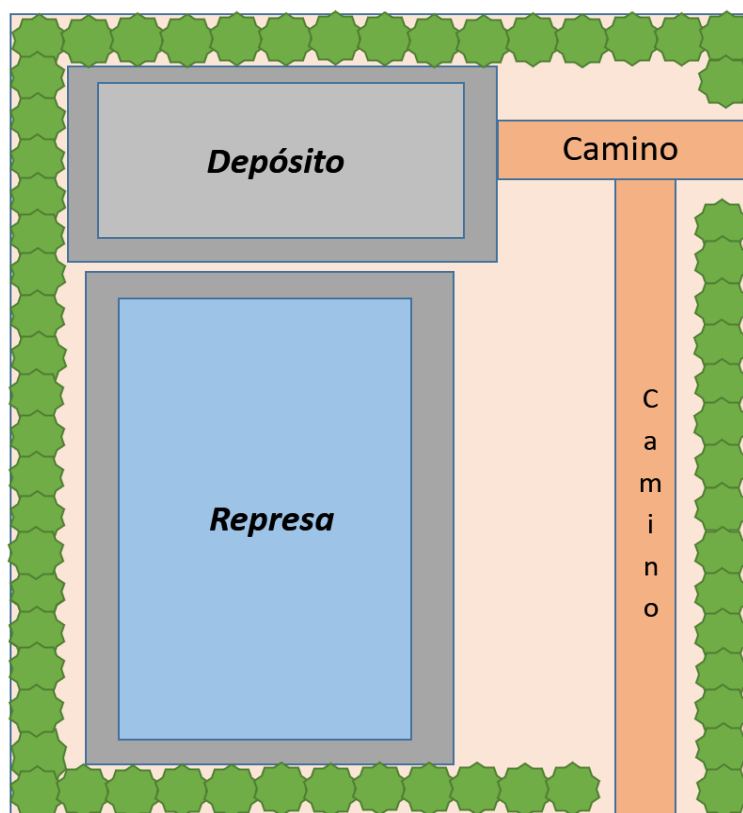


Figura 9: Esquema de distribución espacial del área de depósito y pileta de riego.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la infraestructura, se dispondrá de una represa de riego con una capacidad de 1.000 m³, conectada directamente con la planta de tratamiento de efluentes. Con una geometría de 40 metros de largo, 20 metros de ancho y 1,25 metros de profundidad, estará revestida con una geomembrana de 500 micrones y se abastecerá al sistema mediante una bomba de riego de 2 HP. Por otro lado, el galpón para maquinarias y herramientas de trabajo tendrá una dimensión de 150 m² (15 metros de largo por 10 metros de ancho), y se dispondrá de una zona de seguridad de 350 m² alrededor del mismo y la represa. Además, se habilitará un camino de 5 metros de ancho que permitirá la circulación de vehículos y maquinarias, ocupando una superficie total de 700 m².

Los costos asociados con la construcción de la represa de riego y el galpón se detallan a continuación. El valor de las tierras se estiman en USD 10.000 por hectárea (\$ 1.180.000 ha⁻¹)⁹, según los precios corrientes para tierras maiceras en enero de 2022 (CREA, 2022). El costo

⁹ Precio dólar oficial (fecha: mayo 2022): 118 \$/USD.

de excavado y perfilado de una represa de riego de 1.000 m³ es de USD 1.400 (\$165.200), mientras que el costo de impermeabilización con una geomembrana de 500 micrones es de USD 2.796 (\$329.928) (Bongiovanni, 2019).

La bomba de riego necesaria para la represa (una periférica trifásica de 2 HP) tiene un costo de USD 466 (\$55.000). Si se utiliza riego por mangas, se debe agregar un costo adicional de USD 18,4 por hectárea (\$2.167 ha⁻¹). También se necesitará un tractor de 90 HP, para llevar a cabo todas las labores de producción agroforestal, por un valor de USD 38.700 (\$4.566.216). Que, en caso de utilizarse un tractor disponible en la Municipalidad, debería considerarse como un costo hundido.

Sistema de plantación

El sistema de plantación se realiza en forma progresiva, teniendo en cuenta el período de rotación de la especie, hasta constituir una unidad de aprovechamiento permanente del efluente. Una vez que se completa el área agroforestal, se estabiliza el sistema con: plantaciones, tratamientos silviculturales y cosechas regulares todos los años.

El modelo de plantación consiste en la implantación anual de parcelas agroforestales con una superficie específica en función de la rotación de la especie que considera cada alternativa. Por ejemplo, para la alternativa 1, se establecen 12 parcelas de 1,6 hectáreas cada una; para la alternativa 2, 25 parcelas de 0,7 hectáreas cada una; para la alternativa 3, 35 parcelas de 1,6 hectáreas cada una y para la alternativa 4, 12 parcelas de 2 hectáreas cada una.

Alternativa 1 (Eucalyptus spp.)

En la Figura 10 se muestra un diseño aproximado (sin escala) de la Alternativa 1. Esta alternativa ocupa 21 ha, con un sistema de plantación de una parcela de 1,6 ha por año (finalizando con 12 parcelas). La densidad de plantación es de 1.111 plantas hectárea⁻¹, con una distancia de 3x3 metros entre plantas e hileras. Para el riego, se utilizará un surco en cada línea de árboles. El diseño espacial prevé un camino principal a lo largo del lote, paralelo al surco principal o de conducción (donde se podrían colocar mangas). Además, perpendicular a este, se deben disponer caminos secundarios, a una distancia aproximada de 100 metros entre sí, funcionando como vías de circulación para el personal o como cortafuegos.

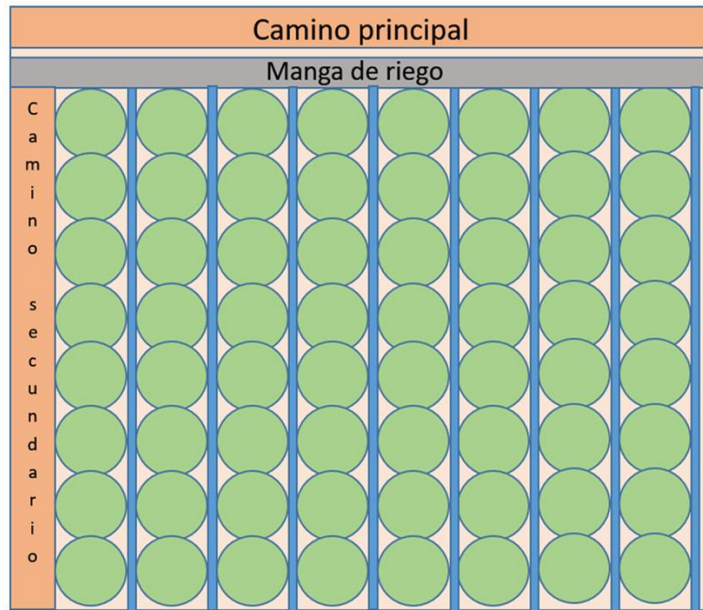


Figura 10: Esquema de la Alternativa 1 – *Eucalyptus viminalis*.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se detallan los manejos silviculturales para la alternativa. La primera poda se realiza a 2,5 metros de altura y el raleo se estima en un 30% de la densidad total inicial. La segunda poda se realiza a 4,5 metros de altura y el segundo raleo se estima en 30% de la densidad de plantas remanente después del primer raleo. La tercera poda se realiza a 6 metros de altura y sin raleo. Adicionalmente a estos tratamientos, se deben llevar a cabo las actividades de apeo, desrame, extracción y carga en camión de todos los residuos de poda y raleo para ser transportados a algún punto de venta.

Además, se realizan actividades anuales independientes del estado fenológico del cultivo forestal, tales como manejo de la sanidad del cultivo, manejo del fuego, riego con efluentes tratados y seguimiento de la humedad en el suelo. Se sugiere realizar el riego cuando la humedad del suelo alcanza el umbral del 60% del agua útil disponible.

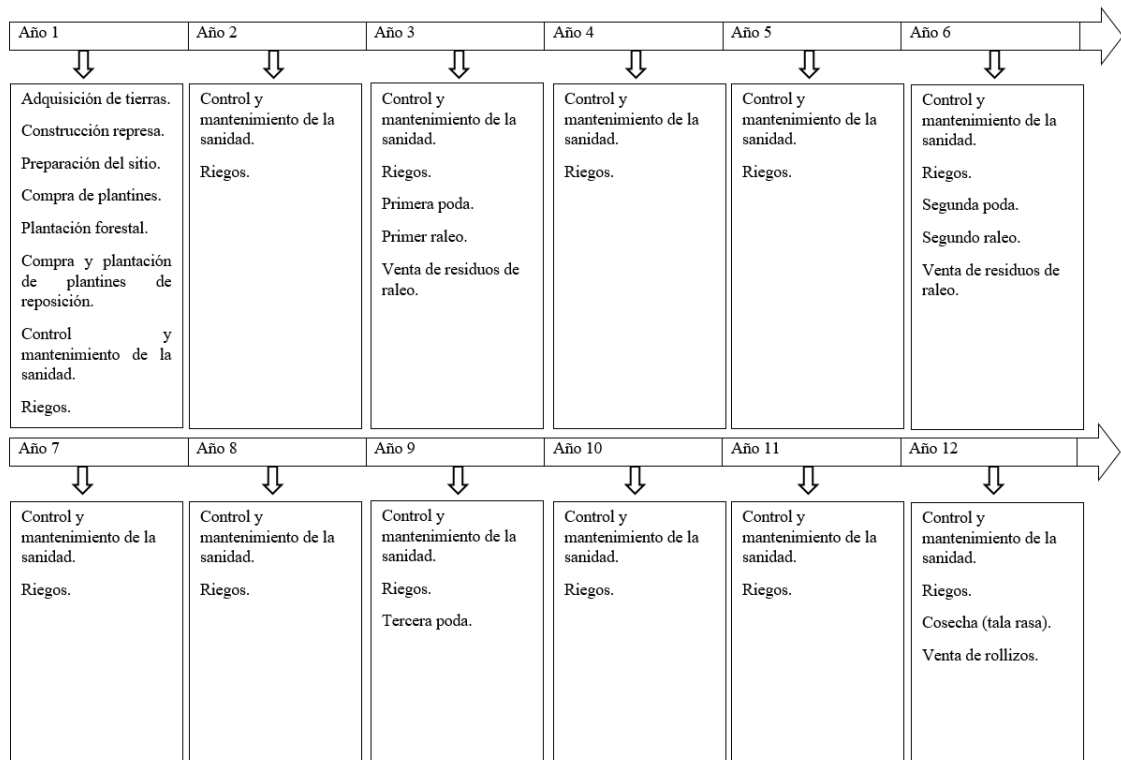


Figura 11: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia.

Alternativa 2 (*Pinus spp.*)

En la Figura 12 se muestra un diseño aproximado (sin escala) de la alternativa. La alternativa ocupa 19 ha (sistema de plantación 25 parcelas por año de 0,7 ha). La densidad de plantación es de 1.111 plantas hectárea⁻¹ con una distancia entre plantas e hileras de 3x3. El riego será mediante un surco en cada línea de árboles. El diseño espacial prevé un camino principal a lo largo del lote, paralelo al surco principal o de conducción (donde se podrían situar mangas). Perpendicular a este, se deben disponer caminos secundarios a una distancia aproximada de 100 metros entre sí, funcionando como vías de circulación para el personal o cortafuegos.

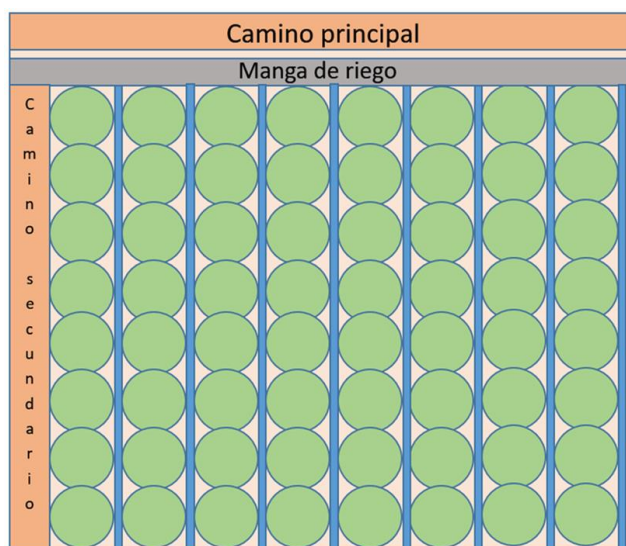


Figura 12: Esquema de la Alternativa 2 – Pinus spp.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13 se describen los manejos silviculturales para la alternativa. Es importante destacar que los manejos de podas y raleos son similares a los explicados en la *Alternativa 1*, diferenciándose únicamente por los momentos de ocurrencia en cada caso, como se aprecia en el siguiente esquema.

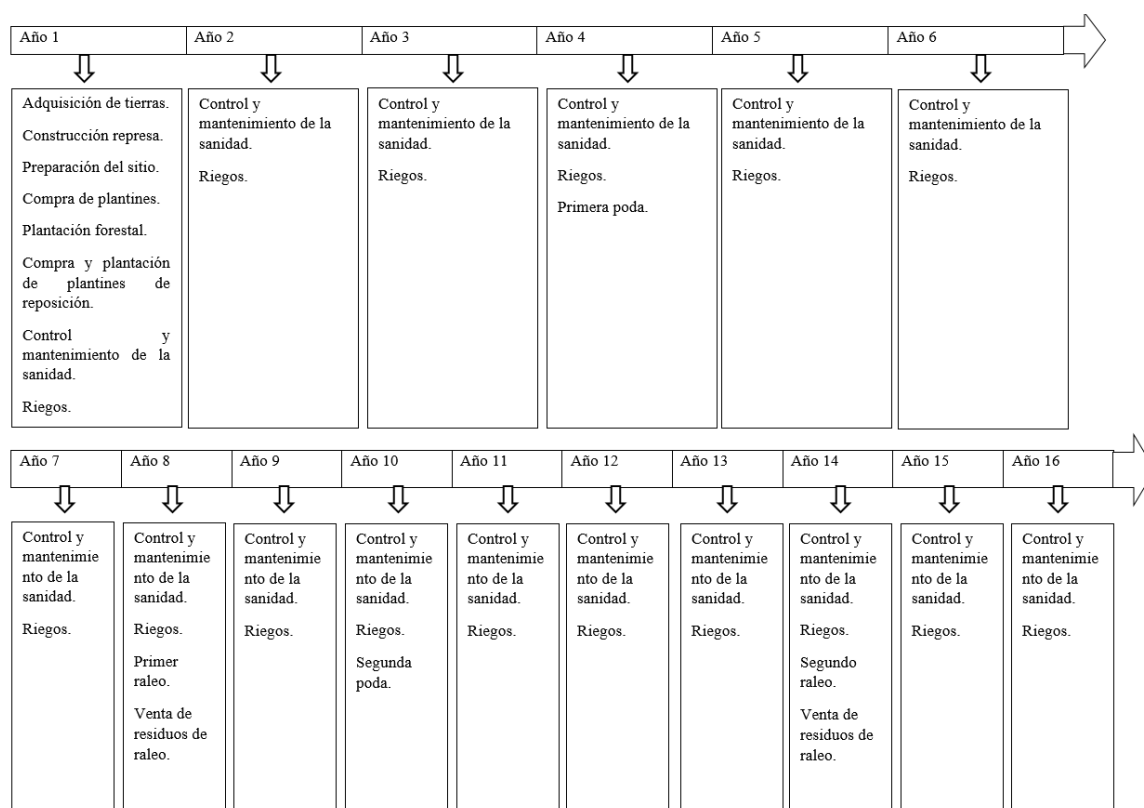


Figura 13: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 2 (parte 1).
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se describen las actividades que tienen lugar durante el período comprendido entre el año 17 y 25. Además, existen actividades anuales que se llevan a cabo de manera independiente al estado fenológico del cultivo forestal, tales como el manejo de la sanidad del cultivo, el manejo del fuego, el riego con efluentes tratados y el seguimiento de la humedad en el suelo. Se recomienda realizar riegos cuando se alcanza el umbral del 60% del agua útil disponible.

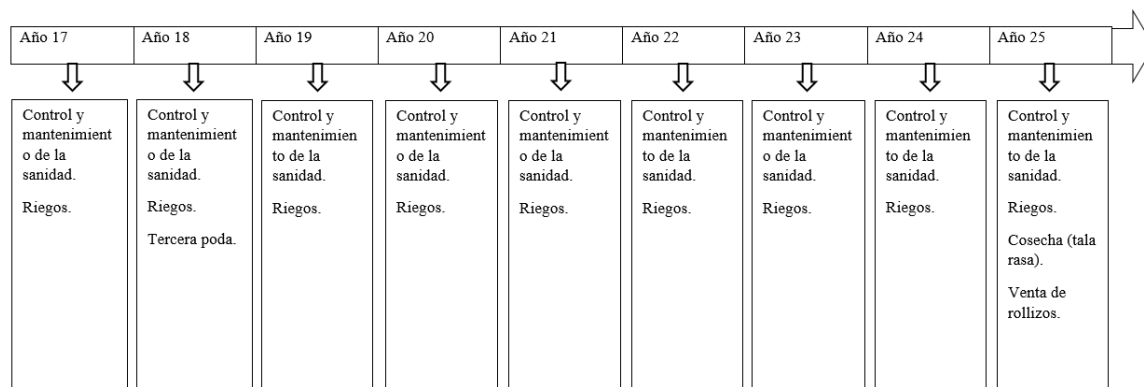


Figura 14: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 2 (parte 2).

Fuente: Elaboración propia.

Alternativa 3 (Juglans spp.)

En la Figura 15 se muestra un diseño aproximado (sin escala) de la Alternativa 3. Esta alternativa ocupa un área de 60 ha, con un sistema de plantación 35 parcelas (una por año) de 1,6 ha cada una. La densidad de plantación es de 286 plantas hectárea⁻¹, con una distancia de 5 metros entre plantas y 7 metros entre hileras. El riego se llevará a cabo mediante un surco en cada línea de árboles. El diseño espacial incluye un camino principal a lo largo del lote, paralelo al surco principal o de conducción, donde se podrían ubicar mangas. Además, se deben disponer caminos secundarios, perpendiculares a los primarios, a una distancia aproximada de 100 metros entre sí, que funcionarán como vías de circulación para el personal o como cortafuegos.

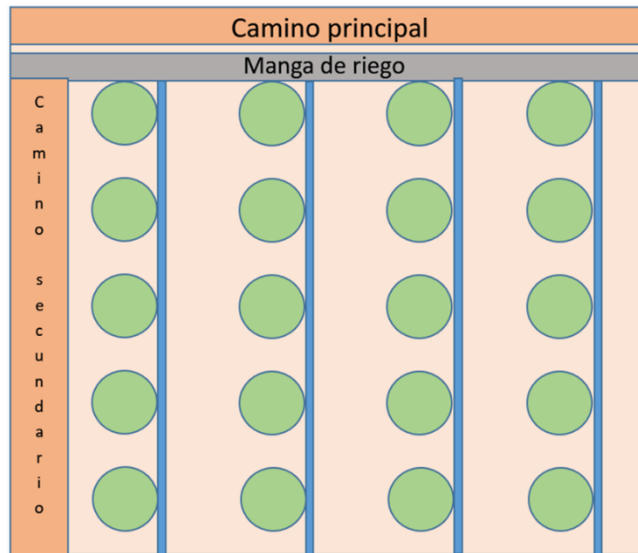


Figura 15: Esquema de la Alternativa 3 – *Juglans regia*.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16 se describen los manejos silviculturales para la alternativa 3. Durante los primeros años se realizarán podas de formación para preparar la entrada en producción del cultivo, seguidas de una poda de mantenimiento para mantener los valores de producción. La cosecha de nueces requerirá de un incremento paulatino en la mano de obra necesaria, estabilizándose a partir del año 12.

Además, existen actividades anuales que son independientes del estado fenológico del cultivo forestal. Estas incluyen el manejo de la sanidad del cultivo, el manejo del fuego, el riego con efluentes tratados y el seguimiento de la humedad en el suelo (se recomienda regar cuando se alcanza el umbral de 60% del agua útil disponible).

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7 al 19	Año 20	Año 21 a 34	Año 35
Adquisición tierras. Construcción represa. Preparación sitio. Compra plantines y plantación. Compra y plantación de plantines de reposición. Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Poda de formación I.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Poda de formación II.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Poda de formación III.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Poda de formación IV.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Cosecha de nueces. Venta de nueces.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Cosecha de nueces. Venta de nueces.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Cosecha de nueces. Venta de nueces. Poda de mantenimiento.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Cosecha de nueces. Venta de nueces.	Control y mantenimiento de la sanidad. Riegos. Cosecha de nueces. Venta de nueces. Tala rasa. Venta de madera.

Figura 16: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 3.
Fuente: Elaboración propia.

Alternativa 4 (Eucalyptus spp. & Medicago sativa)

En la Figura 17 se muestra un diseño aproximado (sin escala) de la alternativa. La alternativa ocupa 27 ha (sistema de plantación 25 parcelas por año de 2 ha). La densidad de

plantación es de 208 plantas hectárea⁻¹ con una distancia entre plantas de 3 metros y 16 metros entre hileras. El riego de cada línea de árboles y de la alfalfa, será mediante dos surcos, uno a cada lado de la pastura. El diseño espacial prevé un camino principal a lo largo del lote, paralelo al surco principal o de conducción (donde se podrían situar mangas). Perpendicular a este, se deben disponer caminos secundarios a una distancia aproximada de 100 metros entre sí, funcionando como vías de circulación para el personal o cortafuegos.

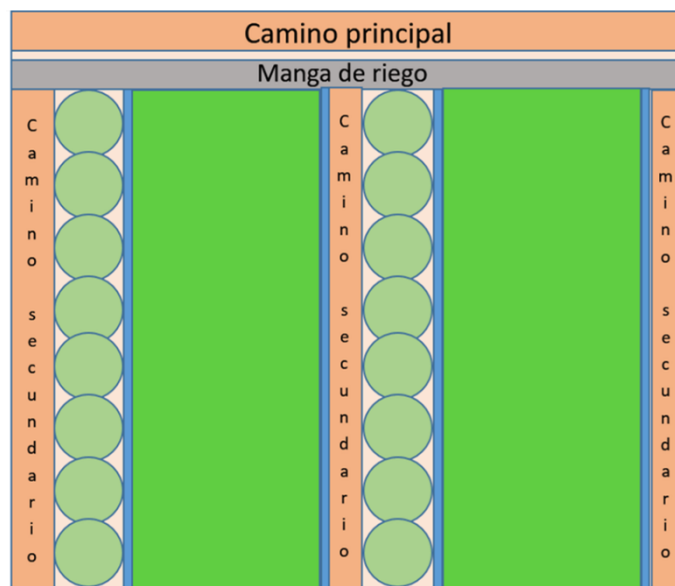


Figura 17: Esquema de la Alternativa 4 – *Eucalyptus viminalis* y *Medicago sativa*.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se describen los manejos silviculturales para la alternativa. Cabe destacar que los manejos de podas y raleos, sobre el cultivo de Eucalipto, son similares a los que se explicaron en Alternativa 1 (*Eucalyptus spp.*), a excepción de los raleos, que en esta alternativa no se realizarán.

El manejo del cultivo de alfalfa incluye la preparación de la cementera, la siembra, los cuidados post-emergentes y aprovechamientos. En primer lugar, la preparación del suelo tiene en cuenta la realización de dos manos de arado, la nivelación y el surcado a los dos lados de cada sector a sembrar. El cultivar elegido deberá ser de un GRI >5 (Grupo de Reposo Invernal) ya que son los que mejor se adaptan a las características regionales. La siembra a una densidad de 7 kg ha⁻¹, teniendo en cuenta que la superficie ocupada por este cultivo es del 70% de la superficie total, y de preferencia debe ser inoculada con *Sinorhizobium meliloti*. La fecha de siembra más recomendable es durante el mes de marzo y como alternativa septiembre u octubre.

Durante el ciclo del cultivo es importante tener en cuenta la aparición de las siguientes plagas: *Colias lesbia*, *Spodoptera frugiperda* y *Rachiplusia nu* (orugas defoliadoras); *Agrotis malefida* y *Porosagrotis gypaetina* (orugas cortadoras), *Acrithosiphon pisum* y *Acrithosiphon*

kondoi (pulgones). Además, las siguientes enfermedades pueden presentarse: Fitóftora, Fusariosis, Complejo de podredumbres de corona y raíz, y Rizoctonia (enfermedades de raíz y corona); Viruela, Mancha ocular, Roya, Virus del mosaico y Virus del Achaparramiento (enfermedades foliares). Considerar un manejo integrado para evitar daños de significancia económica.

El corte de la alfalfa se realiza cuando alcanza aproximadamente el 10% de floración, momento que se considera óptimo debido a varios factores. En esta etapa de desarrollo, la acumulación de nutrientes en las hojas y tallos, incluyendo proteínas, carbohidratos y minerales, es óptima. Además, la planta aún no ha alcanzado una madurez completa, lo que significa que su contenido de fibra aún es relativamente bajo y su digestibilidad es alta. Esto permite obtener un heno de alta calidad con un equilibrio adecuado entre nutrientes y fibra, lo que es beneficioso para la alimentación del ganado.

Es importante destacar que, alrededor del 10% de floración, la alfalfa tiene un alto contenido de humedad, aproximadamente del 70%. Por lo tanto, después del corte, se recomienda dejar el forraje expuesto al ambiente para que la humedad disminuya a alrededor del 20%, momento en el cual, se puede realizar el enrollado del heno. Posteriormente, durante el almacenaje, la humedad se estabiliza a un nivel entre el 14 y 15%, lo que es ideal para mantener la calidad del heno y prevenir la fermentación y deterioro del mismo.

Recordar que hay actividades anuales independientes del estado fenológico de los cultivos. Por ejemplo, seguimiento de la sanidad de los cultivos, manejo del fuego, riego con efluentes tratados y control de la humedad en el suelo (se recomienda regar cuando se alcanza el umbral de 60% del agua útil disponible).

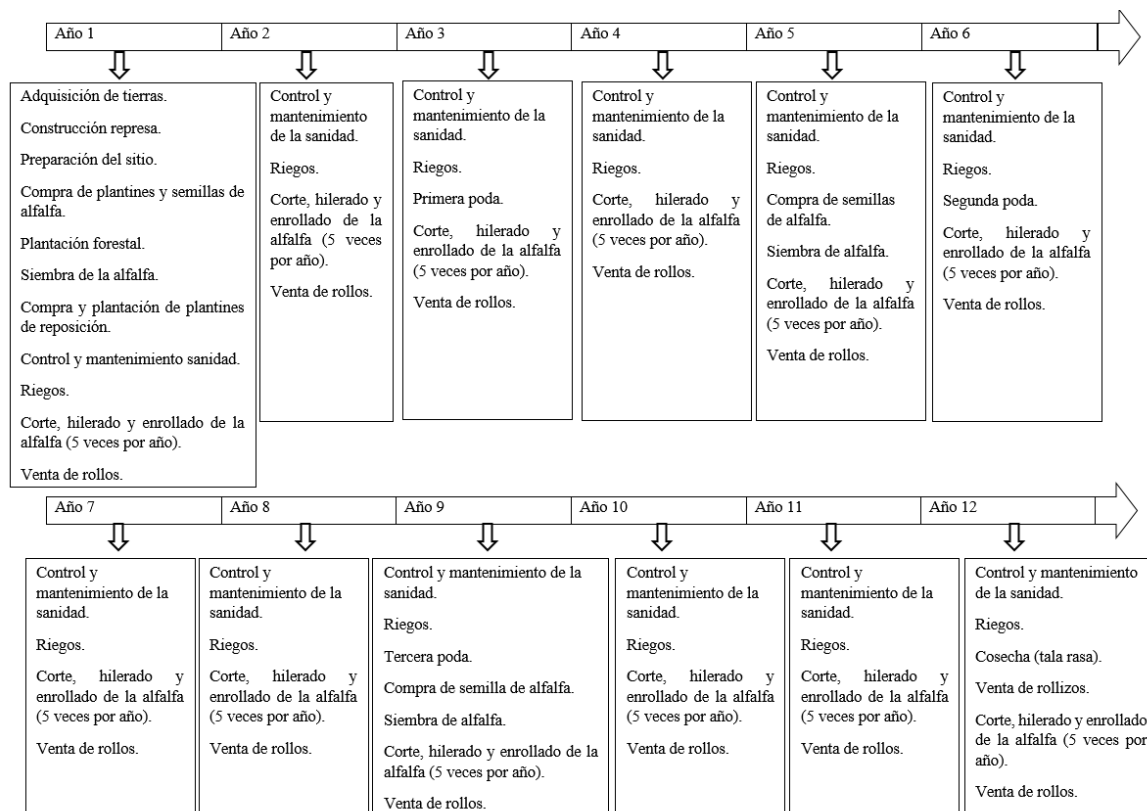


Figura 18: Cronograma de actividades a realizar en la Alternativa 4.

Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de riego

Se analizan dos sistemas de riego de tipo gravitacional para el proyecto. El primero es el riego por surcos, que requiere la preparación del sitio de riego de acuerdo al sistema de plantación. Los costos varían en función del diseño del surco y las labores necesarias, como arar, nivelar y surcar. Para el alcance de este trabajo, se consideran surcos de entre 100 y 150 metros de longitud con una pendiente que debe rondar entre 0,5 y 1%. La eficiencia de este sistema es del 60-65% y la principal pérdida de agua se produce durante la distribución (Tornés Olivera et al., 2016).

El segundo sistema es de riego por mangas, que también requiere labores similares de preparación del sitio forestal y la distribución de las mangas junto a las redes principales de riego. Este sistema tiene una eficiencia del 70%, que puede llegar al 85% con un buen manejo (Cátedra de Hidrología, 2022). Las principales pérdidas de agua se producen en las tomas de agua y compuertas de dosificación. Para este trabajo, se consideran mangas de riego de 12” de diámetro y 100 metros de longitud, a las cuales se les adicionan compuertas de 50 mm para el riego.

Teniendo en cuenta los sistemas de riego disponibles, es importante destacar que las alternativas agroforestales tienen distintos requerimientos hídricos, lo cual impacta

directamente sobre la cantidad de riegos necesarios. En la Tabla 4 se observa que, para las condiciones medias de precipitaciones y ETc calculado, en la A1 se deben realizar 12 riegos año⁻¹ con un volumen de 2.909 m³ ha⁻¹ año⁻¹; en la A2 son 13 riegos año⁻¹ equivalentes a 3.140 m³ ha⁻¹ año⁻¹; la A3 tiene 4 riegos año⁻¹ con 996 m³ ha⁻¹ año⁻¹; y, por último, la A4 con 9 riegos año⁻¹ y 2.261 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

Tabla 4: Valores de déficit hídrico anual y riegos necesarios por alternativa.

Alternativa	Déficit hídrico (m ³ /ha/año)	Cantidad de riegos (riegos/año)
<i>Eucalyptus spp.</i>	2.909	12
<i>Pinus spp.</i>	3.140	13
<i>Juglans spp.</i>	996	4
<i>Eucalyptus & Medicago spp.</i>	2.261	9

Fuente: Elaboración propia.

Para establecer un cronograma tentativo de riegos anual, se consideraron los umbrales de riego necesarios en cada alternativa agroforestal. En la Tabla 5, se presenta el plan sugerido para cada alternativa, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona y los requerimientos hídricos de cada especie agroforestal. Es importante destacar que este cronograma es tentativo y puede variar según las condiciones climáticas durante el año.

Tabla 5: Distribución anual de los riegos de cada alternativa en un año promedio.

Alternativa	Cantidad de riegos necesarios												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<i>Eucalyptus spp.</i>	2	0	0	0	0	0	2	3	3	0	1	2	12
<i>Pinus spp.</i>	2	0	0	0	0	0	2	3	3	0	1	2	13
<i>Juglans spp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	4
<i>Eucalyptus & Medicago spp.</i>	1	0	0	0	0	0	1	3	2	0	0	1	9

Fuente: Elaboración propia.

Es relevante mencionar que, para el análisis económico realizado en este trabajo, se optó por el sistema de riego gravitacional convencional sin la utilización de mangas. Esta decisión se fundamentó en la consideración de que el proyecto busca aprovechar la mayor cantidad posible de efluentes en una superficie reducida, y se priorizó la reducción de costos en la implementación del sistema de riego. Por lo tanto, se consideró que no era necesario aumentar la eficiencia en el uso del agua en esta etapa del proyecto.

Aspectos complementarios

Etapas de inversión, operación y valoración de los recursos

Existen inversiones fijas y específicas a las alternativas agroforestales. Las inversiones fijas son: represa de riego y obras civiles asociadas, galpón-depósito, herramientas de mano, tractor, bomba de riego, elementos de riego y la tierra, estimada en 2.000 m² para esta estructura. En tanto, las inversiones específicas por alternativa son la adquisición de la tierra

para forestación, los plantines forestales y las semillas en el caso de la A4. Respectivamente, la superficie forestal y el número de plantines por alternativa es 19; 18; 55 y 24 hectáreas y 21.109; 19.998; 15.730 y 4.992 plantines para las alternativas A1, A2, A3 y A4. Cabe recordar que la alternativa 4 también requiere la adquisición de 168 kg de semillas de alfalfa.

De acuerdo al sistema de plantación propuesto por parcelas hasta alcanzar la superficie de operación (ver detalles en Sistema de plantación), la adquisición de tierras y plantines forestales es posible en forma progresiva, año por año. Aunque, si emerge una situación acorde y con financiamiento adecuado, la tierra puede adquirirse en su totalidad.

Las inversiones fijas una vez materializadas y conforme sucedan las actividades de operación existen reinversiones específicas de acuerdo a cada alternativa. Estas reinversiones se corresponden con el costo que tiene la re-forestación de las parcelas. Se considera el valor de los plantines de especies forestales y de las semillas de alfalfa en la alternativa 4 (se puede ver más detalles en Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 dentro del apartado CAPÍTULO VI: ANEXOS).

Plan de producción hasta la obtención de los rendimientos normales

El plan de producción forestal por alternativa se muestra en la Figura 19. En la figura se presenta la dinámica de producción de los productos y subproductos forestales (eje Y) en función del tiempo (eje X).

La alternativa A1 (indicada en azul) genera subproductos a partir del tercer año con un valor de 7 Tn año⁻¹ por primeras podas y raleos. Luego la producción pasa a ser de 33 Tn año⁻¹ por segundas podas y raleos. Y, la producción normal se logra a partir del décimo segundo año con valores de 310 Tn año⁻¹, que si se les suma lo que se extrajo de madera en las podas y raleos que ocurren en otras parcelas durante el mismo año, permite alcanzar un valor de 344 Tn año⁻¹.

La alternativa A2 (indicada en naranja) genera subproductos a partir del octavo año con un valor de 6 Tn año⁻¹ por primeras podas y raleos. Luego la producción pasa a 22 Tn año⁻¹ por segundas podas y raleos. Y, la producción normal se logra a partir del año 25 con valores de 115 Tn año⁻¹, a lo cual se le suman las podas y raleos de otras parcelas durante el mismo año, alcanzando un valor final de 143 Tn año⁻¹.

La alternativa A3 (indicada en gris) alcanza la producción normal de madera en el año 35 con un valor de 52 Tn año⁻¹. La alternativa A3 no genera subproductos.

En tanto, la alternativa A4 (indicada en amarillo) alcanza la producción normal de madera 120 Tn año⁻¹ en el año 12 y tampoco produce subproductos.

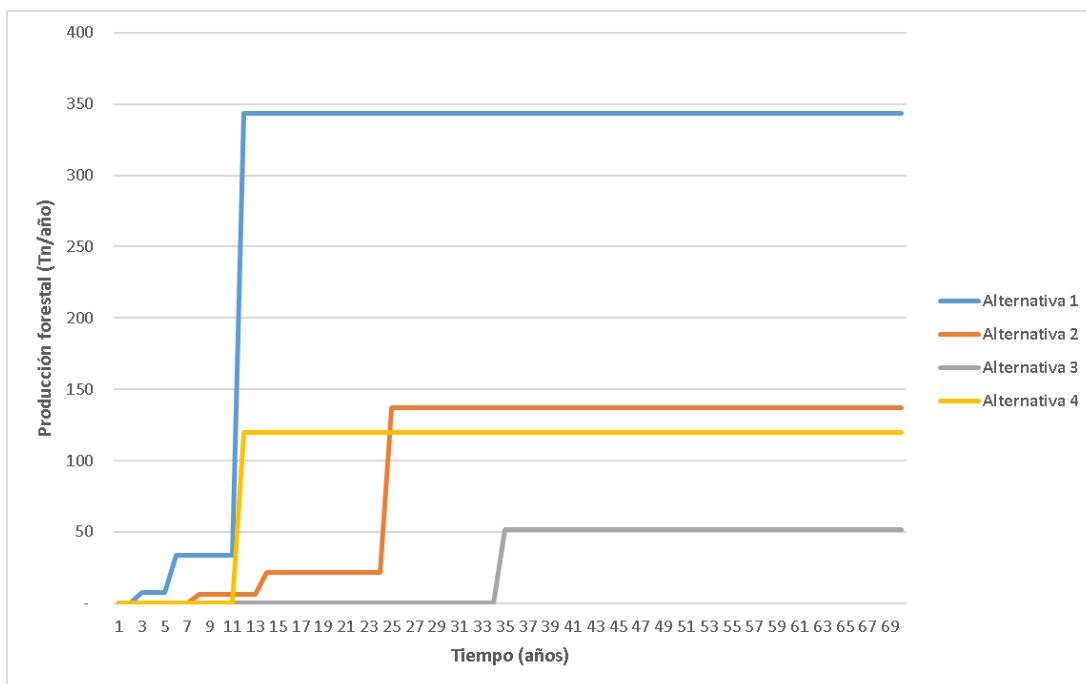


Figura 19: Dinámica de las extracciones anuales de productos y subproductos forestales para las distintas alternativas.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los productos no forestales, el plan de producción se puede observar en la Figura 20. En la figura se presenta la dinámica de producción de nueces (Alternativa 3) y de rollos de alfalfa (Alternativa 4). La alternativa A3 (color gris), el cultivo comienza a tener frutos a partir del sexto año, con un valor de 475 kg de nueces año⁻¹ y se irá incrementando anualmente de forma constante hasta llegar al año 35, momento a partir del cual se estabilizaría en 169.000 kg año⁻¹. En tanto, en la alternativa A4 (color amarillo) la producción de alfalfa comienza el año uno con un valor de casi 14.000 kg MS año⁻¹ (valor equivalente a una parcela de 2 hectáreas). Este valor irá aumentando todos los años de forma constante hasta el año 12 (por la entrada en producción de nuevas parcelas). A partir de ese momento la producción normal toma valores cercanos a 168.000 kg MS año⁻¹.

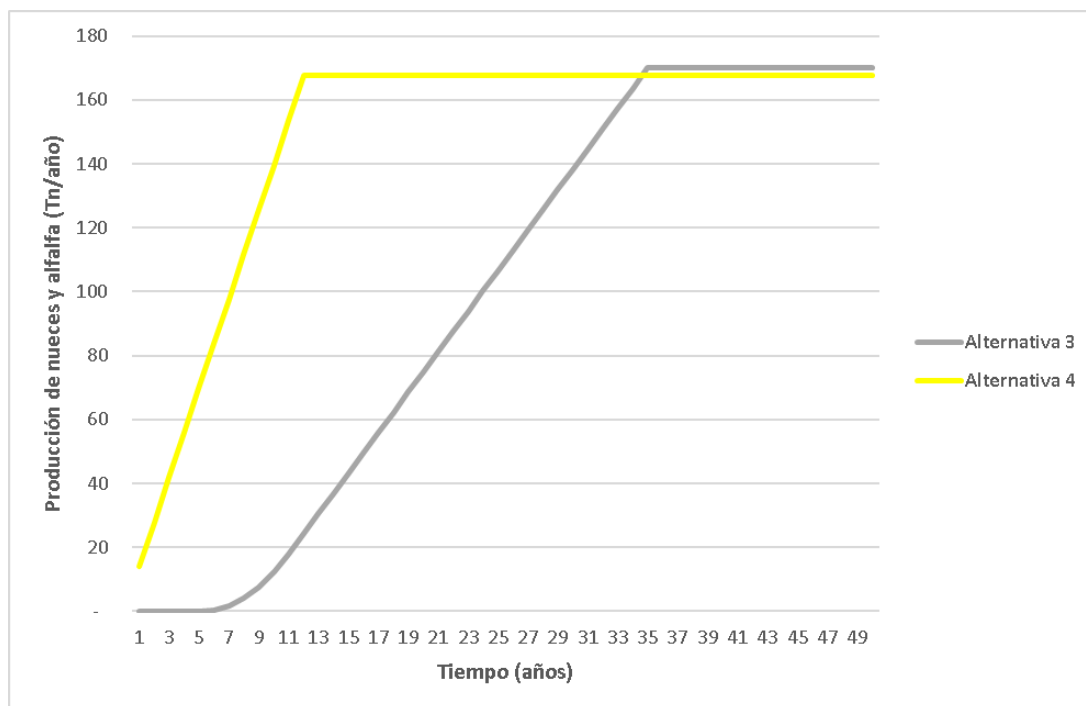


Figura 20: Dinámica de las extracciones anuales de productos no forestales para las distintas alternativas.

Fuente: Elaboración propia.

Valoración Económica

En esta etapa, se lleva a cabo un estudio de viabilidad económica para cada una de las alternativas agroforestales. Se analiza si los productos forestales y no forestales generados en cada alternativa son capaces de cubrir los costos de asignación de recursos utilizados, incluyendo los gastos de inversión y operación. Este análisis permite evaluar la rentabilidad y sustentabilidad económica de cada alternativa, considerando los ingresos y egresos asociados a la producción forestal y no forestal, con el fin de tomar decisiones informadas sobre la viabilidad económica de cada opción.

Egresos

Gastos de inversión y operación por alternativa

Existen dos tipos de egresos económicos asociados a las alternativas agroforestales. En la Tabla 6 se detallan los gastos de inversión en activo fijo por cada alternativa, considerando el capital fundiario y de explotación necesarios para establecer y operar el sistema de producción. Los gastos de inversión incluyen tanto la inversión en tierras como la compra de plantines u otros insumos necesarios (semillas p.e.). Es importante tener en cuenta que estos gastos pueden ser distribuidos a lo largo del tiempo de rotación, dependiendo de la alternativa agroforestal seleccionada (siguiendo el sistema de plantación de una parcela por año).

Tabla 6: Gastos de inversión por alternativa forestal.

	Activo fijo	Unidad	Cantidad
Sector depósito y riego			
1	Tierra para área principal y obras	\$	236.000
2	Represa de riego y obras civiles asociadas	\$	325.428
3	Bomba de riego y elementos de riego	\$	8.378
4	Galpón depósito	\$	7.500.000
5	Tractor	\$	4.566.216
6	Herramientas de mano	\$	51.160
	TOTAL	\$	12.687.182
Alternativa 1			
1	Tierra para área productiva y caminos	\$	24.182.562
2	Plantines de <i>Eucalyptus viminalis</i>	\$	283.135
3	Capital de trabajo	\$	1.258.434
4	Nominales	\$	144.995
	TOTAL	\$	25.869.126
Alternativa 2			
1	Tierra para área productiva y caminos	\$	22.400.611
2	Plantines de <i>Pinus spp.</i>	\$	449.826
3	Capital de trabajo	\$	1.103.295
4	Nominales	\$	133.645
	TOTAL	\$	24.087.377
Alternativa 3			
1	Tierra para área productiva y caminos	\$	70.630.171
2	Plantines de <i>Juglans regia</i>	\$	1.005.130
3	Capital de trabajo	\$	8.039.760
4	Nominales	\$	144.945
	TOTAL	\$	79.820.006
Alternativa 4			
1	Tierra para área productiva y caminos	\$	31.112.489
2	Plantines de <i>Eucalyptus viminalis</i>	\$	69.198
3	Semillas de alfalfa	\$	269.852
4	Capital de trabajo	\$	2.127.046
5	Nominales	\$	175.416
	TOTAL	\$	33.754.000

Nota: Las inversiones en el sector depósito y riego se requieren en cualquier alternativa agroforestal seleccionada. Las inversiones en capital de trabajo consideran la sumatoria de egresos hasta que los beneficios netos del proyecto se vuelven positivos. Las inversiones nominales están estimadas como un 1% del valor total de inversiones fijas al año inicial.

En la Tabla 7 se detallan los gastos de operación por cada alternativa agroforestal. Estos gastos se dimensionan a partir del diseño técnico de cada alternativa, teniendo en cuenta los requerimientos específicos de manejo y cuidado de los cultivos forestales y forrajeros. Es importante tener en cuenta que la asignación de personal por alternativa varía significativamente. Mientras que las alternativas A1 y A2 requieren 2 personas trabajando a tiempo completo, la alternativa A3 requiere 12 personas debido a su mayor escala de producción. Por otro lado, la alternativa A4 requiere 3 personas trabajando a tiempo completo para llevar a cabo las tareas necesarias.

Tabla 7: Gastos de operación para cada alternativa agroforestal.

	Gastos	Unidad	Cantidad
Alternativa 1			
1	Personal (dos empleados)	\$/año	991.441
2	Cosecha (de una parcela)	\$/año	138.530
3	Primer Poda (de una parcela)	\$/año	21.395
4	Primer Raleo (de una parcela)	\$/año	5.612
5	Plantación forestal (de una parcela)	\$/año	21.450
6	Segunda Poda (de una parcela)	\$/año	16.917
7	Segundo Raleo (de una parcela)	\$/año	5.612
8	Tercer Poda (de una parcela)	\$/año	16.463
	TOTAL	\$/año	1.217.419
Alternativa 2			
1	Personal (dos empleados)	\$/año	991.441
2	Cosecha (de una parcela)	\$/año	51.499
3	Primer Poda (de una parcela)	\$/año	11.451
4	Primer Raleo (de una parcela)	\$/año	2.495
5	Plantación forestal (de una parcela)	\$/año	22.654
6	Segunda Poda (de una parcela)	\$/año	9.996
7	Segundo Raleo (de una parcela)	\$/año	2.495
8	Tercer Poda (de una parcela)	\$/año	11.263
	TOTAL	\$/año	1.103.295
Alternativa 3			
1	Personal (doce empleados)	\$/año	5.948.647
2	Plantación forestal (de una parcela)	\$/año	62.551
3	Poda de formación I (de una parcela)	\$/año	10.712
4	Poda de formación II (de una parcela)	\$/año	10.712
5	Poda de formación III (de una parcela)	\$/año	10.712
6	Poda de formación IV (de una parcela)	\$/año	10.712
7	Poda de mantenimiento (de una parcela)	\$/año	10.712
8	Cosecha de nueces (de 29 parcelas)	\$/año	1.951.944
9	Cosecha de madera (de una parcela)	\$/año	23.056
	TOTAL	\$/año	8.039.760
Alternativa 4			
1	Personal (tres empleados)	\$/año	1.487.162
2	Cosecha (de una parcela)	\$/año	53.468
3	Primer Poda (de una parcela)	\$/año	8.258
4	Segunda Poda (de una parcela)	\$/año	6.529
5	Tercer Poda (de una parcela)	\$/año	6.354
6	Plantación forestal (de una parcela)	\$/año	24.110
7	Resiembra I de alfalfa (de una parcela)	\$/año	5.595
8	Resiembra II de alfalfa (de una parcela)	\$/año	5.595
9	Resiembra III de alfalfa (de una parcela)	\$/año	5.595
10	Henificado de la alfalfa (de 12 parcelas)	\$/año	518.786
	TOTAL	\$/año	2.121.451

Nota: Los gastos se corresponden a cada año, luego de que el sistema logró estabilizarse en el tiempo.

Ingresos

Los ingresos generados por cada alternativa agroforestal dependen de la cantidad de Producto forestal, Producto no forestal y Subproductos producidos, así como de sus

respectivos precios de venta. Estos detalles se presentan en la Tabla 8, donde se especifica el ingreso generado por la venta de los distintos productos en cada año para cada alternativa, una vez que el sistema agroforestal se ha estabilizado.

Tabla 8: Ingresos económicos por alternativa forestal.

	Ingresos	Unidad	Cantidad
Alternativa 1			
1	Venta de residuos del primer raleo (una parcela)	\$/año	3.075
2	Venta de residuos del segundo raleo (una parcela)	\$/año	10.724
3	Venta de rollizos (una parcela)	\$/año	1.597.719
	TOTAL	\$/año	1.611.518
Alternativa 2			
1	Venta de residuos del primer raleo (una parcela)	\$/año	1.320
2	Venta de residuos del segundo raleo (una parcela)	\$/año	3.422
3	Venta de rollizos (una parcela)	\$/año	1.597.719
	TOTAL	\$/año	1.602.460
Alternativa 3			
1	Venta de nueces (29 parcelas)	\$/año	50.293.040
2	Venta de madera de nogal (una parcela)	\$/año	556.068
	TOTAL	\$/año	50.849.107
Alternativa 4			
1	Venta de rollos de alfalfa (12 parcelas)	\$/año	5.024.286
2	Venta de rollizos (una parcela)	\$/año	616.672
	TOTAL	\$/año	5.640.958

Nota: Los ingresos se corresponden a cada año, luego de que el sistema logró estabilizarse en el tiempo.

El ingreso generado por la alternativa A1 se divide en tres momentos a lo largo de los doce años del cultivo. El primer ingreso se obtiene en el tercer año, luego del primer raleo y la primera poda, con la venta de 7,5 Toneladas por parcela de Subproductos, generando un ingreso de \$3.075. Luego, se obtiene un segundo ingreso con la segunda poda y raleo, que implica la venta de aproximadamente 26 Toneladas por parcela de subproductos, por un valor de \$10.724. Finalmente, el ingreso más significativo se obtiene con la cosecha al año doce, con la venta de rollizos de madera por un total de 310,2 Toneladas por parcela, generando un ingreso de \$1.597.719.

La alternativa A2 también presenta tres momentos en el ciclo de producción donde se generan los ingresos económicos. El primer momento se da después del primer raleo, en el octavo año, donde se obtendrán 6 Toneladas de madera por parcela, generando un ingreso de \$1.320. El segundo momento coincide con el segundo raleo en el año 14, produciendo 16 Toneladas de madera por parcela, por un valor de \$3.422. Finalmente, la alternativa A2 culmina en el año 25 con la tala rasa de 115 Tn de rollizos por parcela, generando un ingreso de \$317.163.

En la alternativa A3, los flujos de ingresos económicos se modifican debido a que la venta de nueces se realizará todos los años a partir del sexto año. Debido a la variación en la

producción de nueces a lo largo de los años (consultar en Tamaño), los ingresos generados irán incrementándose desde \$140.614 parcela⁻¹ en el sexto año, hasta alcanzar un valor de \$1.874.857 parcela⁻¹ desde el año 12 al 35. Además, en el último año (año 35), se obtienen ingresos por la venta de la madera de los nogales talados, lo que representa un total de \$556.068 parcela⁻¹, con la venta de 52 Tn de rollizos por parcela.

En la alternativa A4, se generará un flujo continuo de ingresos por la venta de rollos de alfalfa, desde el primer año hasta el duodécimo año, con un valor de \$5.024.286 año⁻¹ o de \$418.691 año⁻¹ parcela⁻¹, debido a la venta de 239.252 kg MS año⁻¹ o 13.956 kg MS año⁻¹ parcela⁻¹. Además, en el último año (año 12), se obtendrán ingresos por la venta de rollizos de rollizos de Eucalipto, con una cantidad de 120 Toneladas por parcela, lo que equivale a \$616.672 parcela⁻¹.

Resultados del análisis beneficio costo (ABC)

A continuación, en la Tabla 9, se presentan los indicadores de rentabilidad obtenidos a partir del análisis de beneficio costo realizado en cada una de las alternativas agroforestales. Se utilizó un costo de oportunidad del capital del 5% y el período de análisis abarca los años de rotación y aprovechamiento de cada especie forestal. Los flujos de caja de proyecto de cada alternativa se encuentran detallados en los CAPÍTULO VI: ANEXOS, específicamente en la Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16, brindando información adicional para una comprensión completa de los resultados obtenidos.

Tabla 9: Ingresos económicos por alternativa forestal.

Detalle	Unidad	Cantidad
Alternativa 1		
VANE	\$	-32.230.166
EAVAN	\$	-2.389.442
TIR	%	-3,03%
Período de recupero de la inversión	años	NR
Inversiones totales	\$	38.556.308
Alternativa 2		
VANE	\$	-42.955.829
EAVAN	\$	-2.364.274
TIR	%	-4,24%
Período de recupero de la inversión	años	NR
Inversiones totales	\$	36.774.559
Alternativa 3		
VANE	\$	170.871.779
EAVAN	\$	8.848.962
TIR	%	8,90%
Período de recupero de la inversión	años	30
Inversiones totales	\$	92.507.188
Alternativa 4		
VANE	\$	-8.715.589
EAVAN	\$	-646.146
TIR	%	3,41%
Período de recupero de la inversión	años	NR
Inversiones totales	\$	46.441.182

Nota: VANE (Valor Actual Neto Económico), EAVAN (Equivalente anual del valor actual neto económico), TIR (Tasa interna de retorno económico). NR (No Recupera el valor de la inversión).

Las diferencias en los indicadores de rentabilidad entre las alternativas son evidentes. Sólo la Alternativa 3 muestra ser rentable con un EAVAN positivo luego del análisis de beneficio costo. Además, es la única que presenta una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 5% (costo de oportunidad), lo que significa que puede recuperar la inversión en un plazo de 30 años.

Por otro lado, las demás alternativas no son rentables ya que presentan EAVAN negativos. Sin embargo, es importante destacar que la alternativa agroforestal (A4) muestra una TIR positiva, aunque inferior al 5%. Esto la posiciona como la segunda mejor alternativa en este análisis económico, aunque no alcanza el umbral de rentabilidad establecido por el costo de oportunidad del capital.

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Evaluación Multicriterio

Las alternativas agroforestales como se ha descrito anteriormente presentan características técnicas, económicas y requieren esfuerzos de gestión que son diferentes entre sí. Por lo tanto, para asistir en el proceso de toma de decisión al Gobierno Municipal de Bengolea (beneficiario), las alternativas agroforestales deben ser comparadas por medio de criterios (indicadores) que permitan decidir sobre cuál es la que mejor satisface las necesidades del beneficiario.

Los criterios se derivan considerando las dimensiones de la sostenibilidad. En total, se diseñaron seis criterios, y se derivan de los estudios de beneficiarios, técnicos y económicos. En la dimensión económica los criterios son EAVAN (\$ año⁻¹) e Inversiones (\$). En la dimensión ambiental los criterios son Captura de Carbono (Tn CO₂ eq año⁻¹) y Riesgo al anegamiento (cualitativo). Y, en la dimensión social los criterios son Generación de puestos de trabajo (cantidad) y Complejidad de gestión (cualitativo).

Inversiones

Este criterio se deriva de los estudios técnicos. El criterio orienta sobre cuál es el valor que se necesita invertir al momento inicial en cada una de las alternativas. Considera la sumatoria de las erogaciones monetarias necesarias para adquirir las tierras para el sector de la pileta de riego, el galpón – depósito, la bomba de riego, el tractor, desmalezadora y rotoenfardadora (sólo en Alternativa 4), las herramientas, la superficie correspondiente a la parcela 1 de cada alternativa y los plantines para forestar/sembrar dicha parcela.

El objetivo de este criterio es minimizar, lo que quiere decir que, a menor valor obtenido de inversiones, es mejor.

Equivalente Anual del Valor Actual Neto (EAVAN)

Este criterio está vinculado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de *crecimiento económico y trabajo decente*. Es un criterio que se deriva de los estudios de valoración económica. El análisis de beneficios costos se realiza siguiendo el enfoque privado (Penna et al., 2010). Los ingresos económicos derivados de los productos y subproductos forestales y no forestales comercializados por cada alternativa, sin considerar el valor del beneficio ecosistémico que se logra gracias al aprovechamiento del agua tratada. Dentro del valor de inversión, se considera el valor de adquisición de la tierra, la adquisición e instalación del equipo de riego con la represa y obras civiles, las maquinarias, herramientas y los plantines y/o semillas. Los gastos están dados por las actividades de plantación, raleos, cosechas y tala rasa de Eucaliptos, Pinos y Nogales y de siembras, cortes, hilerados, y enrollado en alfalfa.

Luego, los resultados del análisis beneficio costo por alternativa son anualizados para considerar los diferentes periodos de análisis que tiene las alternativas (rotaciones diferentes 12, 25, 35 y 12 años para las alternativas Eucalipto, Pino, Nogal y Eucalipto – Alfalfa, respectivamente). Siguiendo a de Prada et al. (2014) se utiliza la siguiente fórmula de anualidad equivalente,

$$EAVAN = VAN \frac{(1 + r)^T r}{(1 + r)^T - 1}$$

Donde, VAN es el valor actual neto del flujo económico del proyecto, en pesos; T es el período de análisis, medido en años; y r es el costo de oportunidad del capital (5%), medido en tanto por uno.

El objetivo de este criterio es maximizar, es decir, a mayor valor obtenido de EAVAN es mejor.

Riesgo al anegamiento

Este criterio se deriva de los estudios técnicos. El criterio orienta sobre cuál es el comportamiento de las especies forestales ante situaciones de perfil de suelo saturado durante períodos de tiempo prolongado. Las características edafoclimáticas de la región y la consulta a expertos ayudan a precisar este criterio. Los valores atribuidos son cualitativos y permiten diferenciar los niveles de sensibilidad que tiene cada alternativa a sufrir un estrés de este tipo.

El objetivo de este criterio es minimizar por lo que, mientras menor sea el riesgo al anegamiento, será considerado mejor.

Captura de Carbono

Este criterio se deriva de los estudios técnicos. El criterio orienta sobre cuál es la cantidad de Carbono fijado (CO_2) durante la fase clara de la fotosíntesis. Siguiendo la metodología propuesta por Russo (2009) se determina la captura de Carbono para las alternativas A1 y A2 (Eucalipto y Pino respectivamente) y se adapta las alternativa A3 y A4 (Nogal y Eucaliptos más Alfalfa respectivamente).

El objetivo de este criterio es maximizar, a mayor valor de captura de CO_2 es mejor.

Generación de empleo

Este criterio se deriva de los estudios técnicos y de beneficiarios. Permite orientar sobre cuál es la cantidad de mano de obra que requiere cada alternativa. Surge de detallar la cantidad de jornales que implica cada actividad silvícola y el riego de las especies. A partir de ello, y considerando las horas de jornales se calculan la cantidad de personas. Encontrándose alineado con el ODS de *trabajo decente*.

Cabe aclarar que el criterio presenta empleos permanentes, pero hay ciertas actividades como la cosecha de las nueces, que pueden requerir mayor cantidad de mano de obra en un momento particular del año y requiere estudiarse en profundidad en estudios de prefactibilidad. El criterio tiene una importancia fundamental para Bengolea ya que como se manifestó en otros estudios del convenio la falta de trabajo es uno de los principales problemas a nivel local.

El objetivo de este criterio es maximizar, a mayor valor de generación de empleo es mejor.

Complejidad de gestión

Este criterio se deriva de los estudios técnicos y beneficiarios. El criterio orienta, cualitativamente, sobre cuál es la cantidad de esfuerzos de cambios y trabajos compartidos hay que realizar en el Gobierno y la comunidad de Bengolea para desarrollar alguna de las alternativas agroforestales.

El objetivo de este criterio es minimizar, a menor complejidad de gestión es mejor.

Matriz multicriterio de alternativas agroforestales

Se presenta en la Tabla 10 la matriz multicriterio de alternativas agroforestales para el aprovechamiento de los efluentes de la planta frigorífica de cerdos de Bengolea. En las filas de la tabla se describen las alternativas, y en las columnas se encuentran los criterios de selección. A primera vista, se puede observar que algunas alternativas presentan fortalezas en determinados criterios (indicados en verde), mientras que otras muestran debilidades en algunos criterios (indicados en rojo). De esta manera, dependiendo de las preferencias de los beneficiarios, se puede elaborar el ranking final de las alternativas.

Tabla 10: Matriz multicriterio final, con las cuatro alternativas y los seis criterios.

Alternativas	EAVAN (\$/año)	Inversiones Fijas (\$)	Riesgo al anegamiento (Cualitativo)	Captura de CO2 (Tn CO2 eq/año)	Puestos de trabajo (empleados)	Complejidad de gestión (Cualitativo)
Eucalipto	- \$ 2.389.442	- \$ 14.499.497	Baja	165	2	Media
Pino	- \$ 2.364.274	- \$ 13.364.480	Alta	63	2	Baja
Nogal	\$ 8.848.962	- \$ 14.494.488	Media	70	12	Alta
Eucalipto & Alfalfa	- \$ 646.146	- \$ 17.541.575	Baja	160	3	Muy alta
Objetivo	max	min	min	max	max	min

Fuente: Elaboración propia.

En los criterios económicos, se observa que en el criterio EAVAN la alternativa A3 es la mejor con un valor de \$8.848.962 año⁻¹, mientras que la peor alternativa es la A1 con - \$2.389.442 año⁻¹. En el criterio de inversiones, la alternativa A2 es la mejor con un valor de - \$13.364.480, mientras que la peor alternativa es la A4 con un valor de -\$17.541.575.

En los criterios ambientales, se puede ver que, en el criterio de riesgo al anegamiento, las alternativas A1 y A4 presentan un mejor desempeño, mientras que la alternativa A2 es sensible al anegamiento. En el criterio de captura de carbono, la alternativa A1 es la mejor con un valor de 165 Tn CO₂ eq año⁻¹, mientras que la alternativa A2 presenta el valor más bajo con 63 Tn CO₂ eq año⁻¹.

En los criterios sociales, en el criterio de generación de empleo, la alternativa A3 es superior al resto, mientras que las alternativas A1 y A2 generan 2 empleos permanentes. En el criterio complejidad de gestión, la alternativa A2 es la mejor, mientras que la alternativa A4 presenta una muy alta complejidad de gestión.

Con el objetivo de apoyar el proceso de toma de decisiones para las autoridades locales, sobre cuál es la mejor alternativa, se utilizó una herramienta de modelización multicriterio basada en el método PROMETHEE (Brans & Mareschal, 2002).

Encuentro con el gobierno municipal

El martes 6 de diciembre de 2022, a las 16 horas, se llevó a cabo un encuentro en el edificio municipal de la localidad de Bengolea, con la participación del Sr. Intendente Omar Farías, la Secretaria de Gobierno Sra. Laura Sandoval¹⁰ y profesores de la UNRC. Durante el encuentro, se realizó una presentación del trabajo realizado, incluyendo los objetivos y el estado de avance del proyecto.

La presentación incluyó una descripción detallada de las cuatro alternativas agroforestales (*Eucalyptus spp.* (A1); *Pinus spp.* (A2); *Juglans regia* (A3) y *Eucalyptus spp.* con *Medicago sativa* (A4)) y los criterios de comparación. El Intendente destacó el trabajo realizado e inclusive mostró la importancia de la Alternativa 4, mencionando que “*esta alternativa es técnicamente más rápida para ejecutar, nos permitiría tener ingresos más rápido y puede desarrollarse con bienes de capital que posee en la Municipalidad*”.

Además, comentó que el municipio podría disponer de 14 hectáreas de tierras ubicadas a la vera de la Ruta Provincial N° 11 para iniciar el proyecto agroforestal y, se mencionó la necesidad de gestionar este espacio con la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) para comenzar el desarrollo.

Ejercicio PROMETHEE con dos ponderaciones contrastantes

A continuación, se muestra la evaluación usando la matriz de decisión (Tabla 10) y el método PROMETHEE para mostrar la sensibilidad del modelo a diferentes preferencias.

¹⁰ También Secretaria de Obras y Servicios Públicos de Bengolea.

Cada participante estableció los objetivos de los criterios, es decir “menos” es minimizar, o “más” es maximizar y se elevaron sus propias preferencias para cada uno ponderándolos. Ponderar significa asignar un valor de importancia al criterio, este rango varía del 1 a 10, siendo menos a más importante, respectivamente. Si algún criterio (económico, ambiental, social) no es relevante para el participante, éste asigna un valor de 0 al mismo como preferencia, y se eliminó el criterio en cuestión, de su ponderación para el modelo.

Dicho esto, la evaluación se realiza considerando dos ponderaciones contrastantes. Como se puede ver en la Tabla 11, una privilegia la perspectiva económica y la generación de empleo, denominada como participante “Homo economicus” en el ejercicio; y la otra privilegia la cuestión ambiental y la simplicidad de la gestión, denominada participante “Homo ambientalis”.

Tabla 11: Ponderación de los criterios en dos casos contrastantes.

Participante	Económicos		Ambientales		Sociales	
	EAVAN	Inversiones fijas	Riesgo de anegamiento	Captura de CO2	Generación de puestos de trabajo	Complejidad de gestión
1 - Homo economicus	10	0	0	0	10	5
2 - Homo ambientalis	0	10	10	10	0	10

Nota: Escala 0 a 10; 0 el criterio no debe ser considerado; 1 (poco importante) e incrementa gradualmente hasta 10 (muy importante). Fuente: Elaboración propia.

Para los criterios cuantitativos se usan las funciones de preferencia lineal (EAVAN, Inversiones fijas, Captura de CO₂, Generación de puestos de trabajo). Mientras que para los criterios cualitativos se usa la función de preferencia usual (Riesgo al anegamiento, Complejidad de gestión).

Los cálculos se realizan con un umbral de indiferencia (q_j) del 10% del rango y un umbral de preferencia absoluta (p_j) del 90% del rango para los criterios cuantitativos. Posteriormente, se realiza el análisis de sensibilidad de estos parámetros.

Caso 1: ponderación económica “Homo economicus”

El argumento para percepción más económica del proyecto agroforestal es esencialmente ambiental, purifica el agua y realiza una contribución a la acción por el clima, independientemente de la alternativa elegida. Por lo tanto, debemos privilegiar el desarrollo de una unidad económica que genere oportunidades laborales en la región y que sea atractiva para que los productores agropecuarios u otros inversores asignen los recursos. También, realizar la mayor contribución al ODS de *Crecimiento económico y trabajo decente*. Los vectores de ponderación (w_j) son 10, 0, 0, 0, 10, 5 para cada criterio respectivamente (Tabla 11).

Por un lado, se puede apreciar que, si utilizamos el peso asignado por el *Homo economicus*, la Alternativa 3 *Juglans regia* aparece como la propuesta con mayor fortaleza, menor debilidad y mejor valor neto. A los fines ilustrativos se muestra el resultado obtenido en la Figura 21. Se puede apreciar que las alternativas ordenadas por mayores fortalezas (indicadas en verde) son: A3, A2, A1 y A4. En tanto, el orden para menores debilidades (indicadas en rojo) también se mantienen los mismos puestos: A3 y A2, seguidos por A1 y A4. Por lo tanto, se puede ordenar las alternativas de mejor a peor de la siguiente manera: A3, A2, A1 y A4.

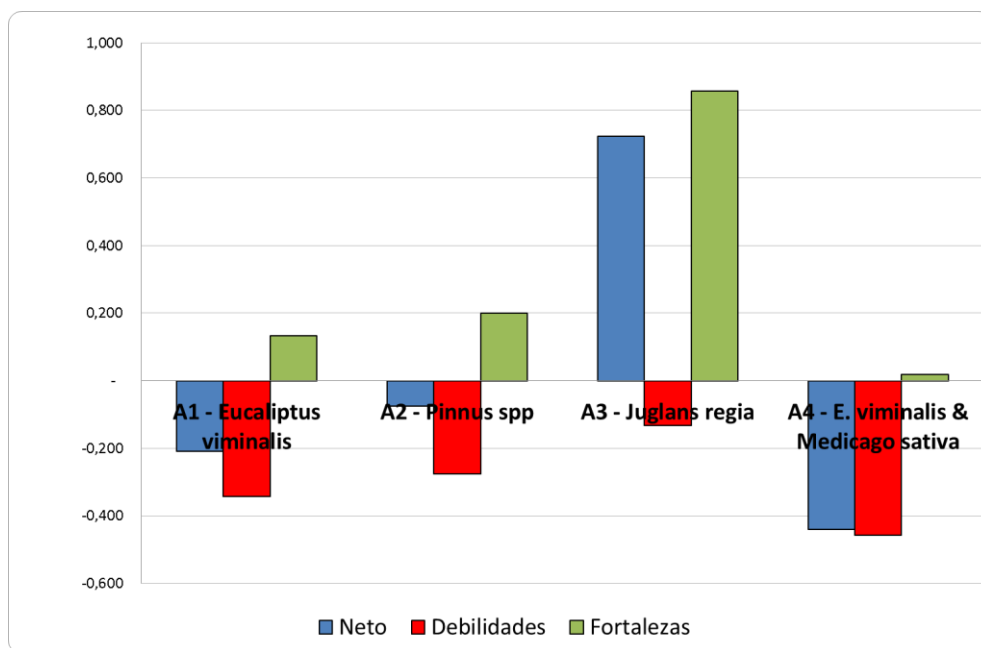


Figura 21: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homo economicus.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 2: ponderación ambiental “Homo ambientalis”

La segunda perspectiva se desarrolla pensando en la performance ambiental de la industria frigorífica. La planta frigorífica contribuye a la generación de empleo y constituye una opción compleja para iniciar la gestión y debemos garantizar que no haya cuestionamientos ambientales. Además, la industria puede aprovechar energéticamente los productos forestales (p.e. leña). Y por supuesto, realizar con el menor costo de inversión posible. Los vectores de ponderación (w_j) son 0, 10, 10, 10, 0, 10 para cada criterio respectivamente (Tabla 11).

En este caso, si utilizamos el peso asignado por el *Homo ambientalis*, la Alternativa 1 *Eucalyptus viminalis* aparece como la propuesta con menor debilidad y mejor valor neto, pero segunda en fortalezas, detrás de la A4 por poca diferencia. En la Figura 22 se pueden apreciar los resultados de forma ilustrativa. Las alternativas ordenadas por mayores fortalezas son: A4,

A1, A2 y A3. En tanto, en el orden para menores debilidades no se mantienen los mismos puestos, sino que aquí tiene un mejor desempeño la A1, seguida por A4, A2 y A3. Por lo tanto, se puede ordenar las alternativas de mejor a peor de la siguiente manera: A1, A4, A2 y A3.

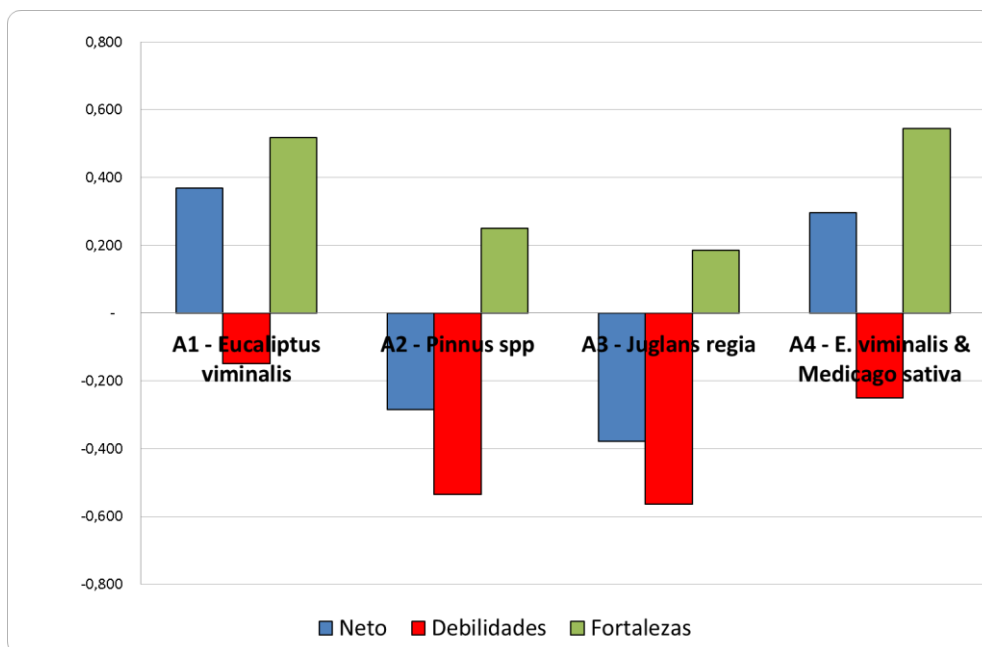


Figura 22: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homo ambientalis.

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, el resultado obtenido en este ejercicio, donde se muestra a la Alternativa 1 de *Eucalyptus viminalis* como la de mejor resultado neto cuando se priorizan los criterios ambientales, es también validado por el estudio realizado en la localidad de Adelia María por de Prada et al. (2014) donde se destaca a la alternativa de Eucaliptos como la de mejor desempeño ambiental.

Análisis de sensibilidad

Posterior de realizado el ejercicio, también se evaluó la sensibilidad del resultado para las preferencias lineales considerando un cambio en el umbral de indiferencia qj (de 10% a 40%), y el valor de preferencia absoluta, pj (de 90% a 60%). El resultado se muestra estable y el orden establecido se mantiene para el caso del *Homo economicus*, lo cual puede verse en CAPÍTULO VI: ANEXOS (Figura 23). Pero, en el caso del *Homo ambientalis*, al variar estos parámetros de indiferencia y preferencia absoluta, se igualan las alternativas A1 y A4 como las mejores, manteniendo el resto su orden mostrado anteriormente (ver en CAPÍTULO VI: ANEXOS: Figura 24).

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

En este trabajo final de grado (TFG) se elaboran cuatro alternativas agroforestales para el aprovechamiento de los efluentes que se generarían en el caso de implementarse el Proyecto de Planta Frigorífica de Cerdos (PPFC) de Bengolea, Córdoba, Argentina. Se diseñaron cuatro alternativas agroforestales: Alternativa 1 (*Eucalyptus viminalis*); Alternativa 2 (*Pinus spp.*); Alternativa 3 (*Juglans regia*); Alternativa 4 (*Eucalyptus viminalis* y *Medicago sativa*). Considerando las alternativas se identifican y eligen seis criterios de decisión derivados de los objetivos de desarrollo sostenible y se construye la matriz de decisión (cuatro alternativas por seis criterios) para el Municipio de Bengolea y los posibles actores interesados en la Planta Frigorífica o en el desarrollo local. La información sistematizada permite la evaluación de las alternativas agroforestales y, a su vez, permite ordenar los estudios de factibilidad. Este TFG se desarrolló en el marco de un convenio específico de trabajo entre la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y la Municipalidad de Bengolea.

El diseño de las alternativas agroforestales se realizó siguiendo la metodología de aproximaciones sucesivas. El alcance de este TFG se realiza a nivel de perfil de proyecto y constituye la primera aproximación. A partir de los contenidos y, específicamente, estudios técnicos - económicos del perfil se derivaron y valoraron los criterios de comparación de las alternativas antes mencionadas. Y, para asistir el proceso de toma de decisiones del gobierno local, se elaboró un modelo multicriterio discreto guiado por el método PROMETHEE para sistematizar toda la información disponible que sustente la evaluación de las alternativas agroforestales.

Los seis criterios cuali-cuantitativos se derivan de los objetivos de desarrollo sostenible. Específicamente se considera la métrica de aquellos ODS en que las alternativas son diferentes. En la dimensión económica los criterios considerados fueron: Inversiones (medido en \$) y Equivalente Anual del Valor Actual Neto, EAVAN (medido en \$ año⁻¹). En la dimensión ambiental se consideraron los criterios de Captura de Carbono (medido en Tn CO₂ eq año⁻¹) y Riesgo al anegamiento (cualitativo). En tanto, en la dimensión social se consideraron los criterios de Generación de empleo (medido como N° de puestos de trabajo) y Complejidad de gestión (cualitativo). Estos criterios son consistentes con valorar en qué medida la alternativa agroforestal contribuye al logro de los objetivos de desarrollo sostenible: *crecimiento económico y trabajo decente, acción por el clima – mitigación del cambio climático*. También, es importante notar que las cuatro alternativas agroforestales contribuyen en forma similar a otros ODS, por ejemplo, *agua y saneamiento, industria, innovación e infraestructura, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsable*.

De esta manera se arribó a una matriz de decisión integrada por cuatro alternativas agroforestales que muestran una performance diferente en las dimensiones de la sostenibilidad. En los criterios inversiones, la Alternativa 2 es la que tiene mejor performance, ya que requiere menos esfuerzo financiero para su desarrollo. En tanto, la Alternativa 4 requiere de más inversiones. En lo económico, con un costo de oportunidad del 5%, sólo una alternativa incrementa el flujo real de bienes y servicios en relación a los recursos asignados: la Alternativa 3. En los criterios ambientales, riesgo al anegamiento y captura de carbono, las dos alternativas que incluyen a la especie *Eucalyptus viminalis* son las de mejor performance: A1 y A4. Y, en los criterios sociales, generación de oportunidades laborales asociados con el criterio de *trabajo decente*, la A3, que incluye la producción de frutos del nogal y rollizos, es la que tiene mejor performance, seguida por la A4. Sin embargo, ambas tienen una alta complejidad de gestión, destacándose la A2 con una menor complejidad.

Las cuatro alternativas agroforestales son competitivas y es muy importante porque valoriza el rol profesional en el diseño de opciones y el rol de los tomadores de decisiones y sus valores políticos institucionales para sopesar la importancia de los criterios para una decisión de compromiso. Tanto los tomadores de decisión como el Municipio y los actores interesados tienen la información sistematizada y el modelo desarrollado para facilitar la evaluación y decidir cuál alternativa satisface mejor sus expectativas y ordenar los estudios de factibilidad.

Las autoridades de la Municipalidad de Bengolea reconocen la información sistematizada y opinan sobre las alternativas. En el encuentro, hay cierta preferencia por la alternativa menos compleja y aquella que alcanzan el resultado “más rápido”, asociada a la A4. Esta presenta gran performance ambiental y su mayor debilidad está en la dimensión social y económica. Por lo tanto, si solo se considera la purificación del agua de efluente es la mejor opción. En contraste, si la decisión fuese potenciar la dimensión económica y social la A3 tiene mejor performance. En tanto, la A1 y A2 presentan soluciones de compromiso.

Contribuciones

Este TFG, realizado en el marco del convenio con el Municipio de Bengolea, tiene varias contribuciones. En primer lugar, el Gobierno local cuenta con cuatro perfiles de proyectos complementarios y sinérgicos al PPFC en línea con los objetivos de desarrollo sostenible y con el desarrollo de la franja urbana rural. Las cuatro alternativas agroforestales son diseñadas en forma segura y ajustada al marco legal vigente. También, el gobierno municipal y los actores cuentan con seis criterios que miden la contribución de la alternativa agroforestal a los objetivos del desarrollo sostenible. Por ende, la evaluación mediante el uso

de la matriz de decisión y el método PROMETHEE permitirá elegir la mejor alternativa agroforestal y actuar en consecuencia.

En segundo lugar, el TFG ha sido pensado como una alternativa agroforestal para aprovechar el mecanismo de masa arbórea agregada en el Plan Provincial Agroforestal (Ley 10.467) de la Provincia de Córdoba. Y si los actores interesados eligen una y complementan sus estudios puede constituir parte de su financiamiento con la venta de cuotapartes a productores agropecuarios de la región o involucrarlos para que desarrollen esta unidad de negocio. En este sentido, tanto el Municipio de Bengolea como la Universidad y las organizaciones locales con el Ministerio de Agricultura y Ganadería tienen la posibilidad de desarrollar los estudios de factibilidad y crear una experiencia piloto demostrativa de una masa arbórea agregada. Por lo tanto, el TFG se constituye en el punto de inicio para convocar e involucrar a los interesados y potenciales beneficiarios, diseñar otras posibles alternativas, y su valoración considerando los criterios desarrollados u otros si es necesario.

Con esta información adicional sistematizada los beneficiarios, los promotores, los potenciales inversionistas pueden tomar la decisión e iniciar la experiencia piloto demostrativa con la plantación forestal y la operación para adquirir los saberes. La experiencia debe servir de base para que proyectos de mayor envergadura y escala permitan alcanzar las aspiraciones de la Ley Agroforestal Provincial y gozar de los beneficios ambientales y económicos que pueden generarse.

En tercer lugar, la naturaleza del TFG realizado desde y en el aula de la Universidad y desde el terreno para y con las autoridades del Municipio de Bengolea en un convenio de cooperación es una experiencia profesional inicial muy importante. Al Municipio le permite iniciar una cartera de proyectos para la franja urbano rural, única en la región, y tiene las posibilidades de ir ampliando los perfiles de proyectos con otros estudiantes de grado o posgrado para estimular un proceso de inversión local. Elegir aquellos perfiles de proyectos que se ajusten más a sus necesidades para promocionarlos, ordenar los estudios en profundidad y ejecutarlos, ganando en competitividad y en las posibilidades de transitar hacia comunidades urbanas localizadas en el medio rural más sostenibles. Para mí como estudiante la posibilidad de realizar la experiencia profesional en los cursos vinculados al tema constituye un gran aliciente para el estudio y mi formación.

Agenda futura

Si la decisión se orienta hacia generar una unidad económicamente viable es necesario desarrollar la viabilidad comercial, especialmente si la elección es la A3. También, en los estudios técnicos, es necesario estudiar otras posibles alternativas para encontrar un filtro verde que incluya especies con mayor evapotranspiración en invierno para que el riego con

efluentes se ajuste mejor a la generación continua de los mismos. Como así también, estudiar los suelos aptos para la actividad forestal, y los sistemas de riego alternativos para reducir los riesgos de anegamiento.

Si la alternativa agroforestal elegida se orienta por priorizar cuestiones ambientales es importante notar que existen otras posibilidades que pueden desarrollarse en los estudios técnicos. La masa arbórea estratégicamente localizada puede resultar en un filtro para la purificación del aire, la amortiguación de malos olores, ruidos y reducir el riesgo de contaminación por agroquímicos que puedan sucederse en la franja urbano rural de Bengolea. En los estudios de factibilidad si emergen estos problemas deben incluirse.

Además, es necesario complementar y desarrollar el estudio de viabilidad financiera, la organización y el análisis de riesgo e incertidumbre. En relación a la viabilidad financiera existen varias opciones posibles, a nivel local con los productores agropecuarios interesados en cumplir con la Ley pueden realizar aportes, también por la venta de cuotas-partes forestales, la posibilidad de bono de carbono, y subsidios en el marco de la Ley Forestal Nacional son algunas de las opciones que deben explorarse. Es necesarios establecer la organización y la coordinación institucional para el emprendimiento agroforestal seleccionado. Este aspecto complementario también tiene varias posibilidades y es necesario explorar aquella que mejor satisfaga a los posibles interesados e involucrados en el proyecto. Desde una empresa mixta, pública, un consorcio, una cooperativa, la unidad de una cooperativa, una empresa de responsabilidad limitada por nombrar algunas o la una unidad de negocio o de mitigación ambiental de la industria porcina. Por último, es conveniente realizar el análisis de riesgo e incertidumbre y elaborar los posibles planes de contingencia para que el proyecto se adecue a los escenarios futuros posibles de modificar las variables que son usadas como parámetros en los cálculos. En este sentido, este TFG en forma complementaria al PPFC constituye el punto inicial para conformar una cartera de proyectos, y posibilitar las decisiones que mejoren el proceso de inversión a nivel local y la transición hacia una comunidad rural más sostenible.

CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Allen, G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *FAO. Roma*.
- Besteiro, S. (2014). *Evaluación de la influencia hidrológica de forestaciones en la llanura pampeana*. Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
- Bongiovanni, M. A., Rolando. (2019). Construcción de reservorios excavados de agua para riego presurizado en el valle bonaerense del Río Colorado. *INTA EEA Hilario Ascasubi*
- Brans, J.-P., & Mareschal, B. (2002). *Prométhée-Gaia: une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*: Éditions de l'Université de Bruxelles Bruxelles.
- Cátedra de Hidrología. (2022). Material brindado en el curso optativo Hidrología II de la carrera Ingeniería Agronómica de la UNRC.
- Convenio UNRC - Municipalidad de Bengolea. (2021). Perfil de Proyecto: Construcción de una planta frigorífica de carnes de cerdo, Bengolea, Córdoba, Argentina.
- CREA. (2022). Aplicación web Agroseries.
- Chain, N. S. (2007). *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*: Pearson Educación.
- DDFI. (2015). Informe del Censo Nacional de Aserraderos. *Dirección Nacional de Desarrollo Foresto-Industrial (DDFI) - Ministerio de Agroindustria*.
- DDFI. (2018). Situación actual de la industria forestal. *Dirección de Foresto Industria (DDFI) - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca - Ministerio de Economía*. .
- DDFI. (2023). Situación actual de la industria forestal. *Dirección de Foresto Industria (DDFI) - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca - Ministerio de Economía*.
- de Carvalho, T. B., & De Zen, S. (2017). A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. *Revista iPecege*, 3(1), 85-99.
- de Prada, J. D., Degioanni, A. J., Cisneros, J. M., Gil, H. A., Plevich, O. J., Chilano, Y., . . . Cantero, A. (2014). Análisis multicriterio y selección interactiva del uso agrario de aguas residuales tratadas, Adelia María, Córdoba, Argentina. *European Scientific Journal*, 10(2), 419-441. doi: <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n2p%p>
- FAO. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020: Los bosques, la biodiversidad y las personas. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA): Food and Agriculture Organization (FAO). Roma.
- Fasciolo, G., Meca, M., Gabriel, E., & Morabito, J. (2002). Effects on crops of irrigation with treated municipal wastewaters. *Water science and technology*, 45(1), 133-138.
- Gallopín, G. C. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*: Cepal.
- Gil, H. A., Cisneros, J. M., Prada, J. D. d., Plevich, J. O., & Delgado, A. R. S. (2013). Tecnologías verdes para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas: análisis económico. *Revista Ambiente & Agua*, 8, 118-128.
- Gómez, L., Contreras, A., Bolonio, D., Quintana, J., Oñate-Sánchez, L., & Merino, I. (2019). Phytoremediation with trees *Advances in Botanical Research* (Vol. 89, pp. 281-321): Elsevier.
- INTA EEA Bella Vista. (2021). Boletín de precios de productos y servicios forestales para la zona centro y sudoeste de Corrientes.
- INTA EEA Bella Vista. (2022). Boletín de precios de productos y servicios forestales para la zona centro y sudoeste de Corrientes.

- INTA EEA Concordia. (2022). Planilla de precios forestales.
- Lui, E. N., Bouhier, R. A., Gallo, S., Martínez, R. M., Merg, C., & Fraile, A. (2005). Riego por goteo del nogal (*Juglans regia* L.) en la Barda de Patagones. *Pilquen-Sección Agronomía*(7), 2.
- MAAYSP. (2017). Cartas de suelos de la Provincia de Córdoba. *Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos. Secretaría de Ambiente y cambio climático.*
- MAGYP. (2017). Plan Provincial Agroforestal Ley 10.467. *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP). Publicado en el Boletín Oficial.*
- Moraes, F. D. (2009). A organização espacial de Mata/RS: reestruturação produtiva no seu espaço rural.
- Penna, J. A., de Prada, J. D., & Cristeche, E. (2010). Valoración económica de los servicios ambientales: teoría, métodos y aplicaciones. *VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS*, 84.
- Plevich, J. O., Delgado, A. R., Saroff, C., Tarico, J. C., Crespi, R., & Barotto, O. M. (2012). El cultivo de alfalfa utilizando agua de perforación, agua residual urbana y precipitaciones. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 1353-1358.
- Raes, D., & Munoz, G. (2009). The ETo Calculator. *Reference Manual Version, 3*, 480.
- Rovira, S., Patiño, A., & Schaper, M. (2017). Ecoinnovación y producción verde: una revisión sobre las políticas de América Latina y el Caribe.
- Russo, R. O. (2009). Guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal. *Unidad de Carbono Neutro, Universidad EARTH. Limón, Costa Rica.*
- Santonja, G. G., Karlis, P., Stubdrup, K. R., Brinkmann, T., & Roudier, S. (2019). Best Available Techniques (BAT) reference document for the food, drink and milk industries. *Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*, 3.
- Singh, A. (2021). A review of wastewater irrigation: Environmental implications. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105454.
- Sogari, N., Vázquez, F., Martínez, F., Gómez, C., Bertona, V., Monzón, V., & Planisich, N. (2016). *Generación de biogas a partir de la degradación de residuos orgánicos de frigoríficos*. Paper presented at the XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)(La Plata, 2016).
- Tornés Olivera, N., Brown Manrique, O., Gómez Masjuan, Y., & Guerrero Alega, A. M. (2016). Eficiencia de aplicación máxima del agua y longitud del surco en función de los caudales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 23-27.
- U.B.A. (2003). Equivalencias UTA (Unidad de Trabajo Agrícola). *Cátedra de Administración Rural, Facultad de Agronomía. U.B.A.*
- USDA. (1975). Soil Taxonomy. *Agricultural Handbook 436.*
- Varallo, A. C. T., de Souza, J. M., Rezende, S. S. R., & Souza, C. F. (2011). Avaliação da qualidade sanitária da alface (*Lactuca sativa*, L.) irrigada com água de reúso comparada com amostras comercializadas. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 295-304.

CAPÍTULO VI: ANEXOS

Tabla 12: Datos climáticos utilizados en el programa ETo Calculator de la FAO.

DATOS													
Estación	Valor Medio de	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RÍO CUARTO AERO	Temperatura (°C)	22,9	21,8	20,1	16,3	12,7	9,7	8,9	11	13,6	17,4	20,1	22,2
RÍO CUARTO AERO	Temperatura máxima (°C)	28,9	28	26,3	22,7	19	15,9	15,5	18,2	20,5	24	26,5	28,3
RÍO CUARTO AERO	Temperatura mínima (°C)	17,5	16,6	15,2	11,5	8	4,9	4	5,6	7,9	11,6	14,3	16,6
RÍO CUARTO AERO	Humedad relativa (%)	67,8	70,2	74	72,9	72,2	70,9	66,8	60,2	58,6	60,8	61,2	63,8
RÍO CUARTO AERO	Velocidad del Viento (km/h)	15,9	14,3	13,7	13,8	12,4	13,5	15,1	16,7	18,3	19	18,3	16,8
RÍO CUARTO AERO	Velocidad del Viento (m/s)	4,4	4,0	3,8	3,8	3,4	3,8	4,2	4,6	5,1	5,3	5,1	4,7
RÍO CUARTO AERO	Nubosidad total (octavos)	3,4	3,4	3,4	3,5	3,9	3,9	3,5	3,3	3,5	3,7	3,6	3,6
RÍO CUARTO AERO	Precipitación (mm)	145	90,6	108	64,7	31,5	8,4	14,5	13,9	40,1	75,4	129	139
RÍO CUARTO AERO	Frec. días con Pp > a 0.1 mm	9,5	7,5	8,2	6	3,9	2,4	3,3	2,6	4,7	7,6	9,1	10,3
RÍO CUARTO UNRC	Radiación solar (MJ/m2)	21,98	19,14	13,71	10,34	9,78	7,66	7,83	11,30	14,53	17,01	21,04	25,26
BENGOLEA	Precipitación (mm)	119,6	130,7	94,4	78,9	26,6	12,2	5,1	5,5	32,7	96,0	105,4	99,6
RESULTADOS													
BENGOLEA	Eto (mm/día)	5,7	4,9	3,7	2,9	2,2	1,9	2,2	3,1	4,1	4,9	5,7	6,3
BENGOLEA	Eto (mm/mes)	177	137	115	87	68,2	57	68,2	96,1	123	152	171	195

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Servicio Meteorológico Nacional y registro de precipitaciones de Bengolea.

Tabla 13: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 1.

Año	Inversiones fijas	Reinversiones	Cap. de Trabajo	Inv. Nominales	Ingresos	Egresos	Beneficio Neto (BN)
0	-\$ 14.499.497		-\$ 1.090.158	-\$ 144.995			-\$ 15.734.649
1	-\$ 2.058.475		\$ 10.160		-	-\$ 1.090.158	-3.138.472
2	-\$ 2.058.475		-\$ 27.007		-	-\$ 1.079.998	-3.165.479
3	-\$ 2.058.475		\$ 0		3.075	-\$ 1.107.004	-3.162.404
4	-\$ 2.058.475		\$ 0		3.075	-\$ 1.107.004	-3.162.404
5	-\$ 2.058.475		-\$ 22.529		3.075	-\$ 1.107.004	-3.184.932
6	-\$ 2.058.475		\$ 0		13.799	-\$ 1.129.533	-3.174.208
7	-\$ 2.058.475		\$ 0		13.799	-\$ 1.129.533	-3.174.208
8	-\$ 2.058.475		-\$ 16.463		13.799	-\$ 1.129.533	-3.190.672
9	-\$ 2.058.475		\$ 0		13.799	-\$ 1.145.996	-3.190.672
10	-\$ 2.058.475		\$ 0		13.799	-\$ 1.145.996	-3.190.672
11	-\$ 2.058.475		-\$ 138.530		13.799	-\$ 1.145.996	-3.329.201
12		-\$ 23.595	\$ 26.092		1.611.518	-\$ 1.284.526	329.489
13		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
14		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
15		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
16		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
17		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
18		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
19		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
20		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
21		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	329.489
22		-\$ 23.595	\$ 0		1.611.518	-\$ 1.258.434	24.333.263
23	\$ 24.003.774		\$ 1.258.434		1.611.518	-\$ 1.258.434	25.615.292

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 2.

Año	Inversiones fijas	Reinversiones	Cap. de Trabajo	Inv. Nominales	Ingresos	Egresos	Beneficio Neto (BN)
0	-\$ 13.364.480		-\$ 1.035.856	-\$ 133.645			-\$ 14.533.981
1	-\$ 923.457		\$ 10.160		-	-\$ 1.035.856	-\$ 1.949.154
2	-\$ 923.457		\$ 0		-	-\$ 1.025.696	-\$ 1.949.154
3	-\$ 923.457		-\$ 11.451		-	-\$ 1.025.696	-\$ 1.960.605
4	-\$ 923.457		\$ 0		-	-\$ 1.037.147	-\$ 1.960.605
5	-\$ 923.457		\$ 0		-	-\$ 1.037.147	-\$ 1.960.605
6	-\$ 923.457		\$ 0		-	-\$ 1.037.147	-\$ 1.960.605
7	-\$ 923.457		-\$ 2.495		-	-\$ 1.037.147	-\$ 1.963.100
8	-\$ 923.457		\$ 0		1.320	-\$ 1.039.643	-\$ 1.961.780
9	-\$ 923.457		-\$ 9.996		1.320	-\$ 1.039.643	-\$ 1.971.776
10	-\$ 923.457		\$ 0		1.320	-\$ 1.049.638	-\$ 1.971.776
11	-\$ 923.457		\$ 0		1.320	-\$ 1.049.638	-\$ 1.971.776
12	-\$ 923.457		\$ 0		1.320	-\$ 1.049.638	-\$ 1.971.776
13	-\$ 923.457		-\$ 2.495		1.320	-\$ 1.049.638	-\$ 1.974.271
14	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.052.134	-\$ 1.970.850
15	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.052.134	-\$ 1.970.850
16	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.052.134	-\$ 1.970.850
17	-\$ 923.457		-\$ 11.263		4.741	-\$ 1.052.134	-\$ 1.982.113
18	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.063.397	-\$ 1.982.113
19	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.063.397	-\$ 1.982.113
20	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.063.397	-\$ 1.982.113
21	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.063.397	-\$ 1.982.113
22	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.063.397	-\$ 1.982.113
23	-\$ 923.457		\$ 0		4.741	-\$ 1.063.397	-\$ 1.982.113
24	-\$ 923.457		-\$ 51.499		4.741	-\$ 1.063.397	-\$ 2.033.612
25		-\$ 17.993	\$ 11.601		321.904	-\$ 1.114.896	-\$ 799.384
26		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
27		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
28		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
29		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
30		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
31		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
32		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
33		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
34		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
35		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
36		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
37		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
38		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
39		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
40		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
41		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
42		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
43		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
44		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
45		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
46		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
47		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
48		-\$ 17.993	\$ 0		321.904	-\$ 1.103.295	-\$ 799.384
49	\$ 23.287.801		\$ 1.103.295		321.904	-\$ 1.103.295	\$ 23.609.705

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 3.

Año	Inversiones fijas	Reinversiones	Cap. de Trabajo	Inv. Nominales	Ingresos	Egresos	Beneficio Neto (BN)
0	-\$ 14.494.488		-\$ 6.047.486	-\$ 144.945			-\$ 20.686.919
1	-\$ 2.053.466		-\$ 552		\$ 0	-\$ 6.047.486	-\$ 8.101.504
2	-\$ 2.053.466		-\$ 10.712		\$ 0	-\$ 6.048.039	-\$ 8.112.216
3	-\$ 2.053.466		-\$ 10.712		\$ 0	-\$ 6.058.751	-\$ 8.122.929
4	-\$ 2.053.466		-\$ 10.712		\$ 0	-\$ 6.069.463	-\$ 8.133.641
5	-\$ 2.053.466		-\$ 33.161		\$ 0	-\$ 6.080.175	-\$ 8.166.802
6	-\$ 2.053.466		-\$ 33.161		\$ 140.614	-\$ 6.113.336	-\$ 8.059.349
7	-\$ 2.053.466		-\$ 33.161		\$ 515.586	-\$ 6.146.498	-\$ 7.717.539
8	-\$ 2.053.466		-\$ 33.161		\$ 1.218.657	-\$ 6.179.659	-\$ 7.047.629
9	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 2.249.828	-\$ 6.212.821	-\$ 6.085.544
10	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 3.655.971	-\$ 6.281.907	-\$ 4.748.488
11	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 5.296.471	-\$ 6.350.993	-\$ 3.177.074
12	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 7.171.328	-\$ 6.420.079	-\$ 1.371.303
13	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 9.046.185	-\$ 6.489.165	\$ 434.468
14	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 10.921.042	-\$ 6.558.252	\$ 2.240.239
15	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 12.795.899	-\$ 6.627.338	\$ 4.046.009
16	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 14.670.756	-\$ 6.696.424	\$ 5.851.780
17	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 16.545.613	-\$ 6.765.510	\$ 7.657.551
18	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 18.420.470	-\$ 6.834.597	\$ 9.463.322
19	-\$ 2.053.466		-\$ 79.798		\$ 20.295.327	-\$ 6.903.683	\$ 11.258.380
20	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 22.170.184	-\$ 6.983.481	\$ 13.064.151
21	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 24.045.041	-\$ 7.052.567	\$ 14.869.922
22	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 25.919.898	-\$ 7.121.654	\$ 16.675.693
23	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 27.794.755	-\$ 7.190.740	\$ 18.481.464
24	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 29.669.612	-\$ 7.259.826	\$ 20.287.234
25	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 31.544.469	-\$ 7.328.912	\$ 22.093.005
26	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 33.419.326	-\$ 7.397.999	\$ 23.898.776
27	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 35.294.183	-\$ 7.467.085	\$ 25.704.547
28	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 37.169.040	-\$ 7.536.171	\$ 27.510.318
29	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 39.043.898	-\$ 7.605.257	\$ 29.316.088
30	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 40.918.755	-\$ 7.674.343	\$ 31.121.859
31	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 42.793.612	-\$ 7.743.430	\$ 32.927.630
32	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 44.668.469	-\$ 7.812.516	\$ 34.733.401
33	-\$ 2.053.466		-\$ 69.086		\$ 46.543.326	-\$ 7.881.602	\$ 36.539.172
34	-\$ 2.053.466		-\$ 115.199		\$ 48.418.183	-\$ 7.950.688	\$ 38.298.829
35		-\$ 28.718	\$ 26.128		\$ 50.849.107	-\$ 8.065.888	\$ 42.780.630
36		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
37		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
38		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
39		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
40		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
41		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
42		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
43		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
44		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
45		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
46		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
47		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
48		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
49		-\$ 28.718	\$ 0		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
50		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
51		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
52		-\$ 28.718			\$ 50.293.040	-\$ 8.039.760	\$ 42.224.562
53		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
54		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
55		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
56		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
57		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
58		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
59		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
60		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
61		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
62		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
63		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
64		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
65		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
66		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
67		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
68		-\$ 28.718			\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 42.780.630
69	\$ 66.459.674		\$ 8.039.760		\$ 50.849.107	-\$ 8.039.760	\$ 117.308.781

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Análisis económico de beneficios y costos para la Alternativa 4.

Año	Inversiones fijas	Reinversiones	Cap. de Trabajo	Inv. Nominales	Ingresos	Egresos	Beneficio Neto (BN)
0	-\$ 17.541.575		-\$ 1.603.827	-\$ 175.416			-19.320.818
1	-\$ 2.625.553		-\$ 33.072		418.691	-1.603.827	-3.843.761,55
2	-\$ 2.625.553		-\$ 51.490		837.381	-1.636.899	-3.476.560,86
3	-\$ 2.625.553		-\$ 43.232		1.256.072	-1.688.389	-3.101.102,49
4	-\$ 2.633.049		-\$ 48.827		1.674.762	-1.731.621	-2.738.734,75
5	-\$ 2.633.049		-\$ 49.761		2.093.453	-1.780.448	-2.369.805,74
6	-\$ 2.633.049		-\$ 43.232		2.512.143	-1.830.209	-1.994.347,37
7	-\$ 2.633.049		-\$ 43.232		2.930.834	-1.873.441	-1.618.889,00
8	-\$ 2.640.545		-\$ 55.181		3.349.524	-1.916.674	-1.262.875,55
9	-\$ 2.640.545		-\$ 43.232		3.768.215	-1.971.855	-887.417,18
10	-\$ 2.640.545		-\$ 43.232		4.186.905	-2.015.087	-511.958,80
11	-\$ 2.640.545		-\$ 96.700		4.605.596	-2.058.319	-189.968,76
12		-28.170,85	\$ 33.568		5.640.958	-2.155.019	3.491.336,00
13		-28.170,85	\$ 0		5.640.958	-2.121.451	3.491.336,00
14		-28.170,85	\$ 0		5.640.958	-2.121.451	3.491.336,00
15		-28.170,85	\$ 0		5.640.958	-2.121.451	3.491.336,00
16		-28.170,85	\$ 0		5.640.958	-2.121.451	3.491.336,00
17		-35.666,73	-\$ 5.595		5.640.958	-2.121.451	3.478.245,37
18		-28.170,85	\$ 5.595		5.640.958	-2.127.046	3.491.336,00
19		-28.170,85	\$ 0		5.640.958	-2.121.451	3.491.336,00
20		-28.170,85	\$ 0		5.640.958	-2.121.451	3.491.336,00
21		-28.170,85	\$ 0		5.640.958	-2.121.451	3.491.336,00
22		-35.666,73	-\$ 5.595		5.640.958	-2.121.451	3.478.245,37
23	\$ 30.459.325		\$ 2.127.046		5.640.958	-2.127.046	36.100.283,23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Carbono capturado por las distintas alternativas forestales contabilizando sólo productos forestales.

Carbono capturado por Productos forestales					
	Volumen aserrable (m3)	Cant de C en madera (Tn)	Cantidad de C total (Tn)	Cantidad de C total (Tn/ha)	Cantidad de C total* (Tn/ha/año)
Alt 1	4964	1241	1986	105	8,72
Alt 2	3950	987	1580	90	3,60
Alt 3	2780	695	1112	20	0,57
Alt 4	1916	479	766	31	2,62

Nota: * Tener en cuenta que en las Alternativas 3 y 4 no se considera la Captura de Carbono generado por la producción de nueces y de alfalfa respectivamente. Fuente: Elaboración propia en base a Russo (2009).

Tabla 18: Captura de Carbono por las distintas alternativas forestales contabilizando sólo los productos no forestales.

Carbono capturado por Productos no forestales			
	Biomasa de otros prod ** (Tn/ha)	Cantidad de C total *** (Tn/ha)	Cantidad de C total (Tn/ha/año)
Alt 1	-	-	-
Alt 2	-	-	-
Alt 3	107	24	0,69
Alt 4	118	47	3,92

Nota: El término "prod" hace referencia a productos no forestales. ** Biomasa que se produce en nueces y alfalfa para las Alternativas 3 y 4. *** Se afecta por factor 0,3 ya que es lo que quedaría de MS cuando se descuenta el porcentaje de agua que contiene la pastura de alfalfa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Captura de Carbono total, sumando productos forestales y no forestales en cada una de las alternativas.

TOTAL DE CARBONO CAPTURADO		
	Ctotal madera + prod (Tn/ha/año)	Ctotal madera + prod (Tn/año)
Alt 1	8,72	165,46
Alt 2	3,60	63,20
Alt 3	1	70
Alt 4	7	160

Nota: El término “prod” hace referencia a productos no forestales. Fuente: Elaboración propia.

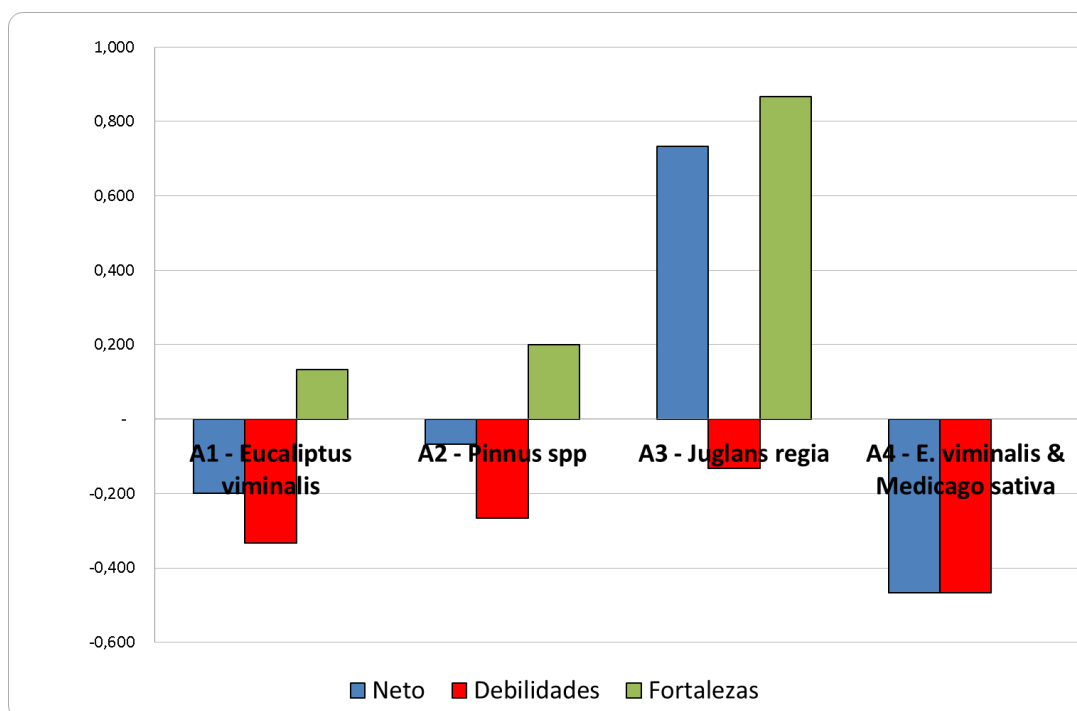


Figura 23: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homus económico (con qj del 40% y pj del 60%).
Fuente: Elaboración propia.

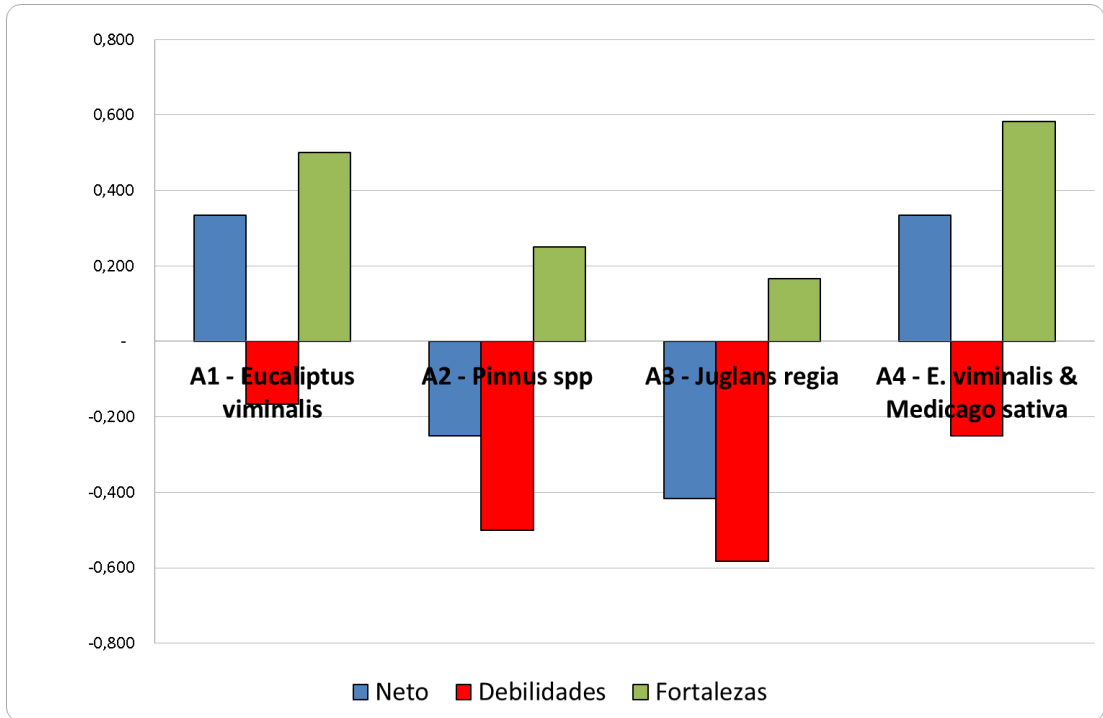


Figura 24: Fortalezas, debilidades y resultado neto usando los pesos asignados por Homus ambiental (con qj del 40% y pj del 60%).

Fuente: Elaboración propia.