PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO

Modelo ProLab: Cierre de minas con Tecnosoles para la restauración ambiental en minería a Tajo Abierto

TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS OTORGADO POR LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

QUE PRESENTA:

Ana María, De La Cruz Acosta

Anaíz De Los Ángeles, Navinta García

TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS OTORGADO POR LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

QUE PRESENTA:

Hilder Manuel, Altamirano Cueva

ASESOR

Dr. Pablo José Arana Barbier

Surco, octubre, 2025

Declaración Jurada de Autenticidad

Yo, Pablo José Arana Barbier, docente del Departamento Académico de Posgrado en Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado Modelo ProLab: Cierre de minas con Tecnosoles para la restauración ambiental en minería a Tajo Abierto,

del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as)

Altamirano Cueva, Hilder Manuel,

De La Cruz Acosta, Ana María,

Navinta García, Anaíz De Los Ángeles,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 30/06/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 30/06/2025

Pablo José Arana Barbier	
DNI: 44614140	Firma
ORCID: 0000-0002-4449-0086	

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por seguir orientando mi camino, así como a todas las personas que me brindaron su respaldo e inspiran constantemente a crecer como persona y profesional. Este trabajo representa un homenaje a su generosidad y sabiduría, y es una expresión sincera de mi gratitud por haberme enseñado que los sueños siempre pueden hacerse realidad.

Manuel Altamirano Cueva

Agradezco a Dios por ser mi guía y mi fortaleza en este camino y por darme la sabiduría y la perseverancia para superar cada desafío. A mi familia por su paciencia y motivación incondicional, incluso en los momentos más desafiantes. A mis profesores por su dedicación e invaluable guía y a mis compañeros por convertir este camino en una experiencia de crecimiento y amistad.

Ana María De La Cruz Acosta

Agradezco a Dios por guiarme, protegerme en todo momento y por permitirme cumplir cada una de las metas trazadas. A mi familia por su motivación, paciencia y apoyo constante, por ser mi fuente de energía y calma. A mis compañeros por haber hecho de esta experiencia un continuo aprendizaje profesional y personal.

Anaiz de los Angeles Navinta Garcia

Dedicatorias

Dedico esta tesis con especial cariño a mis padres, Natividad y Emilio, quienes han sido siempre mi mayor inspiración, enseñándome el valor del esfuerzo, la importancia de enfrentar desafíos con determinación, y a mantenerme perseverante para alcanzar mis metas. También la dedico a mi hija Sofía, quien constituye mi mayor motivación. A todos ellos, mi eterno amor, gratitud y admiración.

Manuel Altamirano Cueva

Dedico esta tesis a mi familia, mi mayor pilar en cada momento, por su apoyo inquebrantable y por enseñarme que con esfuerzo y determinación los sueños se alcanzan.

A mis padres por su amor incondicional y por recordarme siempre la importancia de seguir aprendiendo y creciendo.

Ana María De La Cruz Acosta

Dedico esta tesis a Sebastián, mi fuente de motivación, alegría y aprendizaje constante, a mis padres Ana y Ciro por su amor y apoyo incondicional, por enseñarme que todo es posible cuando hay perseverancia y dedicación, y a mi hermana Johana por transmitirme calma, apoyarme incondicionalmente y enseñarme a ser mejor cada día.

Anaiz de los Angeles Navinta Garcia

Resumen Ejecutivo

En la actualidad la explotación de minas y canteras a cielo abierto en el Perú origina una pérdida de materia orgánica, nutrientes y capacidad hídrica del suelo, generando pasivos ambientales. Como resultado de la minería a tajo abierto en el Perú hay 7.668 pasivos (MINEM, 2024), sabemos también que la legislación ambiental establece que las empresas mineras deben realizar el cierre de mina después de la explotación, de acuerdo con lo indicado en la Ley 31347 donde se establece que las empresas mineras deben presentar un plan de cierre de mina antes de iniciar la explotación (MEM, 2022).

Desde esta perspectiva, se presenta una valiosa oportunidad para efectuar el cierre de minas mediante una alternativa innovadora y sostenible basada en el uso de tecnosoles. Esta iniciativa busca aportar significativamente al cumplimiento de dos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): el ODS 08 “Trabajo decente y crecimiento económico” y el ODS 15 “Vida de ecosistemas terrestres”. En este contexto, ofreceremos a las operaciones mineras un producto ambientalmente responsable, elaborado con residuos orgánicos, inorgánicos y cenizas recolectadas en las comunidades locales cercanas. De esta forma, no solo contribuiremos a la sostenibilidad ambiental, sino que también impulsaremos el desarrollo económico de las zonas directamente involucradas en la actividad minera.

La decisión de llevar adelante este proyecto se apoya en sólidos resultados financieros, reflejados en un Valor Actual Neto (VAN) de USD 1'081,307.24 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 42%, cifras que lo hacen especialmente atractivo para potenciales inversionistas. Además, al promover principios de economía circular, el proyecto resulta viable y sostenible a largo plazo. Por otra parte, desde una perspectiva social, presenta un VAN social de USD 890,452.13, lo cual evidencia claramente los beneficios ambientales generados, las mejoras en la salud comunitaria y el impulso al desarrollo económico local.

Abstract

Currently, open-pit mining and quarrying activities in Peru result in significant losses of organic matter, nutrients, and soil water retention capacity, generating environmental liabilities. As a consequence of open-pit mining, there are 7,668 environmental liabilities recorded in Peru (MINEM, 2024). Additionally, environmental legislation mandates that mining companies perform mine closure activities upon concluding their operations, as outlined in Law 31347, which requires mining companies to submit a mine closure plan before starting exploitation (MEM, 2022).

From this perspective, there is a valuable opportunity to implement mine closures through an innovative and sustainable solution utilizing technosols. This initiative aims to significantly contribute to achieving two Sustainable Development Goals (SDGs): SDG 08 "Decent Work and Economic Growth" and SDG 15 "Life on Land." Accordingly, we will offer mining operations an environmentally responsible product developed from organic waste, inorganic waste, and ashes collected from local communities near mining operations. This approach not only enhances environmental sustainability but also promotes economic growth within the directly impacted communities.

The decision to advance this project is supported by strong financial outcomes, including a Net Present Value (NPV) of USD 1,081,307.24 and an Internal Rate of Return (IRR) of 42%, making it highly attractive to potential investors. Moreover, by fostering principles of circular economy, the project becomes feasible and sustainable in the long term. Furthermore, from a social profitability perspective, it demonstrates a social NPV of USD 890,452.13, clearly reflecting positive impacts on environmental protection, community health improvement, and local economic development.

.

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas ..... **x**

Lista de Figuras ..... **xi**

Capítulo I. Definición del Problema **1**

1.1. Contexto del problema a resolver 2

1.2. Presentación del problema a resolver 5

1.3. Sustento de la complejidad y relevancia del problema a resolver 7

Capítulo II. Análisis del Mercado **13**

2.1. Descripción del mercado o industria 13

2.2. Análisis competitivo detallado 16

Capítulo III. Investigación del Usuario **26**

3.1. Perfil del usuario 27

3.2. Mapa de experiencia de usuario 29

3.3. Identificación de la necesidad 31

Capítulo IV. Diseño del Producto o Servicio **33**

4.1. Concepción del producto o servicio 33

4.1.1 Lienzo 6x6 33

4.1.2 Lienzo costo -Impacto 36

4.1.3 Lienzo blanco de relevancia 42

4.2. Desarrollo de la narrativa 45

4.3. Carácter innovador del producto o servicio 47

4.4. Propuesta de valor 48

4.5. Producto mínimo viable (PMV) 51

Capítulo V. Modelo de Negocio **56**

5.1. Lienzo del modelo de negocio 56

5.2. Viabilidad del modelo de negocio 66

5.3. Escalabilidad/exponencialidad del modelo de negocio 67

5.4. Sostenibilidad del modelo de negocio 70

Capítulo VI. Solución Deseable, Factible y Viable 73

6.1. Validación de la deseabilidad de la solución 73

6.1.1. Hipótesis para validar la deseabilidad de la solución 73

6.1.2. Experimentos empleados para validar la deseabilidad de la solución 76

6.2. Validación de la factibilidad de la solución 80

6.2.1. Plan de mercadeo 81

6.2.2. Plan de operaciones 84

6.2.3. Simulaciones empleadas para validar las hipótesis 91

6.3. Validación de la viabilidad de la solución 93

6.3.1. Presupuesto de inversión 95

6.3.2. Análisis financiero 97

6.3.3. Simulaciones empleadas para validar las hipótesis 100

7.1. Relevancia social de la solución 102

7.2. Rentabilidad social de la solución 109

Capítulo VIII. Decisión e Implementación 113

8.1. Plan de implementación y equipo de trabajo 113

8.2. Conclusión 117

8.3. Recomendación 119

Referencias 120

Apéndices 126

Apéndice A: Guía estructurada para la conducción de entrevistas 126

Apéndice B: Ficha de validación de hipótesis clave del modelo de negocio de cierre de mina con tecnosoles 128

Apéndice C: Preparación de los tecnosoles 134

Apéndice D: Análisis ROMI de la inversión de marketing para los 05 primeros años . 135

Apéndice F: Beneficio y costos económico social 136

Apéndice G: Plataforma del negocio 138

Apéndice H: Cotizaciones de maquinaria para producción de tecnosoles 139

Lista de Tablas

Tabla 1 *Resumen de la oferta y demanda del producto/servicio.....16*

Tabla 2 *Tabla comparativa de las opciones disponibles actualmente en el mercado. 25*

Tabla 3 *Criterio de evaluación de Costo.....36*

Tabla 4 *Acciones propuestas del lienzo costo impacto. 41*

Tabla 5 *Costos de producción por cada tonelada de ECOSUELO 66*

Tabla 6 *ODS de Sostenibilidad de EcoSuelo.....72*

Tabla 7 *Resumen de resultado de la encuesta al usuario 80*

Tabla 8 *Presupuesto de la mezcla de marketing (2026-2030), en soles 83*

Tabla 9 *Cantidad de material a utilizar 90*

Tabla 10 *Demanda anual para el primer año 90*

Tabla 11 *Relación LTV/CAC 92*

Tabla 12 *Análisis de escenarios 94*

Tabla 13 *Presupuesto de inversión.....97*

Tabla 14 *Estado de Resultados en dólares.....98*

Tabla 15 *Flujo de efectivo en dólares 98*

Tabla 16 *Cálculo del Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC).....99*

Tabla 17 *Cálculo del Modelo de Valoración de Activos Financieros. (CAPM) 100*

Tabla 18 *Simulación del VAN con el método de Montecarlo, en soles 101*

Tabla 19 *Metas de ODS 8 Trabajo decente y crecimiento económico.....103*

Tabla 20 *Metas de ODS 15 Vida de Ecosistemas Terrestres 105*

Tabla 21 *Beneficios a la sociedad por el proyecto para cierre de mina con TECNOSOLES. 110*

Tabla 22 *Costos a la sociedad por el proyecto para cierre de mina con tecnosoles. 111*

Tabla 23 *Cuadro de cálculo del VAN social 112*

Lista de Figuras

Figura 1 *Lienzo Dos Dimensiones* *11*

Figura 2 *Maqueta del Problema* *11*

Figura 3 *Maqueta de la solución* *12*

Figura 4 *Proyectos distribuidos en el mapa del Perú.* *14*

Figura 5 *Usuario, cliente y beneficiario.* *18*

Figura 6 *Arquetipo del usuario directivo de la mina.* *28*

Figura 7 *Mapa de la experiencia de usuario directivo de la mina.* *30*

Figura 8 *Lienzo 6X6, Usuario.* *35*

Figura 9 *Matriz Costo Impacto* *42*

Figura 10 *Lienzo blanco de relevancia.* *44*

Figura 11 *Lienzo Design Thinking* *45*

Figura 12 *Lienzomj7 que muestra cómo el negocio responde a las necesidades del cliente.* *50*

Figura 13 *Material orgánico más residuos solidos* *53*

Figura 14 *Mezcladora del material organizo más los residuos sólidos y las cenizas.* *53*

Figura 15 *Tecnosoles para cierre de minas.* *54*

Figura 16 *Logo del tecnosoles* *54*

Figura 17 *Producto mínimo viable de tecnosoles para cierre de minas* *55*

Figura 18 *Lienzo del modelo de negocio.* *65*

Figura 19 *Organigrama para cierre de mina con tecnosoles* *86*

Figura 20 *Diagrama de operación de proceso para el tecnosol* *89*

Figura 21 *Gráfico de escalabilidad para el primer año* *91*

Figura 22 *Histograma relación LTV/CAC* *93*

Figura 23 *Histograma del VAN para los tecnosoles* *95*

Figura 24 *Presupuesto de inversión para cierre de mina con tecnosoles en mina la zanja...96*

Figura 25 *Business Model Canvas Sostenible 108*

Figura 26 *Plan de ejecución temporal del proceso de cierre de mina mediante tecnosoles (Diagrama de Gantt).....116*

Capítulo I. Definición del Problema

La minería representa una de las actividades industriales que más agua consume, alcanzando el 2 % del total disponible, según el *IIMP*. El agua se emplea en diversas etapas del proceso de explotación, siendo obtenida principalmente de acuíferos interceptados y de aguas superficiales. Debido a esto, es fundamental que los proyectos mineros consideren estrategias efectivas para manejar y evacuar adecuadamente el agua que no ha entrado en contacto con las operaciones, mediante sistemas de derivación específicos. Asimismo, es esencial implementar medidas preventivas para evitar la contaminación del agua durante las etapas de explotación y cierre de las minas (Aduvire, 2022).

La explotación minera afecta tanto a las aguas superficiales como subterráneas. Esta actividad puede provocar una disminución en la calidad del agua, debido a la presencia de elementos químicos contaminantes (inadecuados para el consumo humano), produciendo cambios en los parámetros fisicoquímicos afectando a las comunidades biológicas y también provocando el deterioro e impacto negativo sobre el paisaje.

La contaminación y el deterioro de la calidad del agua en zonas mineras pueden originarse por diversos factores. Entre ellos se encuentran el arrastre de sedimentos en grandes cantidades, como partículas coloidales de textura fina o arcillosa, y la incorporación de sustancias o mezclas provenientes de efluentes con características alcalinas o ácidas, producto de procesos industriales que exceden los Límites Máximos Permisibles (*LMP*) establecidos por el sector. Asimismo, la presencia de drenajes ácidos, generados por la alteración mineralógica de materiales del entorno o de residuos mineros, contribuye significativamente al problema.

Uno de los desafíos más frecuentes en la minería peruana es la acidificación del agua, un fenómeno que surge principalmente por la oxidación de sulfuros. Este proceso ocurre cuando materiales ricos en sulfuros metálicos entran en contacto con oxígeno y agua,

desencadenando reacciones químicas que, en etapas más avanzadas, pueden verse aceleradas por microorganismos que catalizan la producción de protones, intensificando así el proceso de oxidación. Entre los factores que influyen en la generación de estas aguas ácidas se encuentran el *pH*, la disponibilidad de oxígeno, la temperatura, la presión atmosférica, el contenido de azufre, la capacidad de neutralización de los materiales circundantes y la humedad (Monterroso, 2020).

El problema de los pasivos ambientales mineros en el Perú representa un reto social de gran envergadura. De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2024), se han identificado 7,668 pasivos ambientales distribuidos en 22 regiones, con mayor incidencia en Cajamarca, Áncash, Puno, La Libertad y Pasco. Investigaciones recientes señalan que cerca del 12 % de la población rural habita en áreas de influencia minera (INEI, 2023), lo que equivale a unas 756,000 personas expuestas a riesgos asociados a la contaminación del agua, el suelo y el aire. A esto se suma la advertencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) y del CENEPRED (2020), quienes destacan que más de 6,000 comunidades campesinas y nativas enfrentan impactos derivados de actividades extractivas, de las cuales unas 600 comunidades presentan una relación directa o indirecta con dichos pasivos. Este panorama refleja la gravedad de la situación y refuerza la necesidad de aplicar medidas de remediación sostenibles que resguarden tanto la salud de las poblaciones locales como el equilibrio de los ecosistemas (INGEMMET, 2024).

1.1. Contexto del problema a resolver

En el Perú, los pasivos ambientales mineros no se distribuyen de manera uniforme, sino que presentan una concentración significativa en determinadas regiones. De acuerdo con el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros actualizado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2024), las zonas más afectadas son Cajamarca, Áncash, Pasco, Puno y La Libertad, que en conjunto reúnen más del 60 % del total nacional. En Cajamarca y Áncash, la

situación es particularmente crítica por la ubicación de numerosos pasivos en cabeceras de cuenca, lo que eleva el riesgo de contaminación de ríos utilizados por comunidades campesinas y centros poblados. En el centro y sur del país, regiones como Pasco y Puno registran también altos niveles de pasivos mineros vinculados a la explotación polimetálica, mientras que, en el norte, La Libertad se encuentra entre las más afectadas por residuos mineros abandonados. A ello se suman pasivos de hidrocarburos identificados en Loreto, Piura y Tumbes, donde más de 3,200 sitios contaminados de los cuales 152 de ellos clasificados como de alto riesgo que impactan directamente a comunidades rurales y nativas. Este panorama sólo nos confirma que las localidades mencionadas concentran los mayores niveles de vulnerabilidad socioambiental, no solo por la cantidad de pasivos existentes, sino también por su proximidad a poblaciones que dependen de recursos hídricos y suelos que hoy se encuentran comprometidos.

Actualmente, el Estado peruano tiene bajo su responsabilidad directa 341 pasivos ambientales mineros, de los cuales 204 están involucrados en procesos judiciales. Sin embargo, solo en 19 casos se ha logrado identificar a los responsables. Entre las empresas señaladas figuran Minera Volcán, con siete pasivos; Minera *Lincuna*, con seis; Minera Buenaventura, con cuatro; y tanto Minera *Yahuarcocha* como *Metallurgicas Supplies*, con uno cada una.

Lo más preocupante es que 5,129 pasivos mineros permanecen en completo abandono, ya que no se ha podido establecer a los responsables ni se ha diseñado un plan concreto para su remediación. Mientras tanto, estos sitios continúan liberando contaminantes que afectan a los ríos y a las comunidades asentadas en sus márgenes (OMS, 2019).

En cuanto a la explotación de minas y canteras a cielo abierto, este tipo de actividad conlleva la degradación o pérdida del suelo original, lo que implica una disminución significativa en su contenido de materia orgánica, nutrientes y capacidad de retención de

agua. También se ve afectada la actividad de los organismos responsables de los procesos biogeoquímicos del suelo (FAO, 2019). Como resultado, los procesos de extracción y procesamiento de minerales pueden generar una alteración del suelo debido a la presencia de elementos potencialmente tóxicos, acumulados en grandes escombreras compuestas por materiales con diferentes tamaños de partícula, desde fragmentos muy pequeños hasta grandes bloques. Esta variabilidad influye directamente en su reactividad química y en su estabilidad física.

El riesgo de estas escombreras está asociado a las elevadas concentraciones totales de elementos potencialmente tóxicos, volúmenes de material, bajo *pH*, erosión, disponibilidad de elementos químicos (termodinámica *in situ*) y a la presencia de sulfuros reactivos (Monterroso, 2020).

La exposición a la intemperie de materiales que presentan sulfuros origina la oxidación de estos y forma el drenaje ácido. Los sulfuros solo son estables en condiciones fuertemente reductoras o anóxicas, presentando una gran cantidad de elementos que favorecen su oxidación, incluso en condiciones anóxicas por lo que es muy común la obtención de dichos lixiviados en estos componentes, con bajos contenidos de sulfuros.

La naturaleza y la intensidad del impacto ambiental producido por las actividades extractivas dependen de una serie de factores. Entre ellos se incluyen el tipo de recurso que se extrae, la técnica empleada para su extracción, el tamaño de las partículas que se generan durante el proceso, la presencia de materiales geológicamente reactivos en el entorno y las condiciones ambientales predominantes, como la humedad, la temperatura y la topografía del lugar (Langer, 2019).

Los mecanismos de oxidación son extremadamente variables, tanto en sus componentes reactivos como en la cinética y en los productos de alteración, dependiendo de factores como la composición del material de partida, tamaño de partícula, grado de cristalinidad o las

propias condiciones que se producen en el proceso oxidativo, por ejemplo, *pH*, Eh, temperatura, o la presencia o ausencia de microorganismos catalizando las reacciones. Por lo general, estas aguas son hiperácidas (pH < 3.5), hiperoxidantes (Eh > 650 mV) e hiperconductoras, presentando concentraciones elevadas de elementos potencialmente tóxicos, tanto en formas catiónicas (Al3+, Cu2+, Zn2+, Cd2+, Hg+2) como en formas aniónicas (AsO43-, AsO33-, SeO42-).

La representa una maqueta conceptual que ilustra la problemática ambiental y social asociada a las actividades mineras y, en particular, a los cierres de minas cuando se realizan de manera convencional o inadecuada (Ver Figura 2).

1.2. Presentación del problema a resolver

En el Perú, la normativa ambiental vigente exige que las empresas mineras lleven a cabo un cierre adecuado de sus operaciones una vez concluida la etapa de explotación. Según la Ley N.º 29325, que regula el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, las compañías mineras están obligadas a presentar un plan de cierre de mina antes de iniciar sus actividades extractivas (MEM, 2022).

El problema central radica en que muchas empresas mineras en proceso de cierre carecen de alternativas eficaces, sostenibles y con legitimidad social para cumplir con las exigencias de la normativa vigente, lo que ha derivado en la persistencia de pasivos ambientales sin atender.

Desde la dimensión social, el incumplimiento de las disposiciones de la Ley N.º 28271 y la Ley N.º 28090 conlleva riesgos severos para la salud y el bienestar de las comunidades aledañas. La exposición de relaves y desmontes sin tratamiento adecuado provoca drenajes ácidos y la liberación de metales pesados en cuerpos de agua y suelos, lo que deteriora ecosistemas locales y afecta directamente medios de subsistencia basados en la agricultura y ganadería. Tal como advierte el MINAM (2023), estos procesos están

estrechamente vinculados a enfermedades crónicas y a la pérdida progresiva de servicios ecosistémicos en territorios rurales.

En el plano presupuestal, el incumplimiento implica trasladar la responsabilidad financiera al Estado, que termina asumiendo la remediación con recursos públicos. Informes de la Contraloría General de la República (2021) y actualizaciones del MINEM (2024) estiman que el costo de cerrar y remediar los pasivos mineros supera los USD 5,000 millones, monto que representa una fuerte presión sobre las finanzas nacionales y que podría destinarse a necesidades prioritarias como educación, salud o infraestructura.

En definitiva, la ausencia de cumplimiento normativo no solo prolonga la degradación ambiental, sino que intensifica los conflictos sociales y genera un serio desequilibrio fiscal, consolidándose como un problema estructural para el país.

Por su parte, la Ley N.º 28271, centrada en la gestión de pasivos ambientales mineros, establece un marco para la identificación y tratamiento de estos pasivos, los cuales son definidos como restos abandonados que representan un riesgo tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Esta ley asigna la responsabilidad de su remediación a las empresas implicadas y dispone que el Estado actuará en aquellos casos donde no se logre identificar a los responsables.

Asimismo, la Ley N.º 28090 regula el proceso de cierre de minas, detallando las obligaciones y pautas que las empresas deben seguir al momento de elaborar e implementar sus planes de cierre. Su objetivo principal es asegurar que, al finalizar las actividades mineras, los terrenos intervenidos sean restaurados adecuadamente, promoviendo su estabilidad ambiental y reduciendo al mínimo los riesgos para las comunidades vecinas y los ecosistemas afectados.

El cierre convencional es susceptible a que la exposición crónica a bajas concentraciones de contaminantes conlleve normalmente alteraciones en la reproducción,

deformaciones y lesiones en los órganos, mientras que una exposición corta a altas concentraciones puede producir la muerte de los organismos como también a largo plazo se produce erosiones y se puede generar aguas acidas al tener contacto la roca con la lluvia produciendo así aguas acidas (Langer, 2019).

La generación de aguas ácidas se produce a partir de la oxidación de sulfuros, un proceso químico que, en muchos casos, se ve acelerado por la presencia de bacterias. En este fenómeno intervienen principalmente sulfuros reactivos, oxígeno y agua, mientras que las bacterias actúan como catalizadores que intensifican la reacción. Los contaminantes inorgánicos que se liberan a través de estos drenajes ácidos tienen la capacidad de permanecer en el ambiente durante largos periodos, lo que representa una amenaza para los ecosistemas. Estos compuestos pueden acumularse en los tejidos de animales y plantas, provocando alteraciones en sus funciones metabólicas, daños a nivel celular, problemas en su desarrollo y modificaciones en la fisiología y estructura de las plantas (Langer, 2019).

La presenta la maqueta conceptual de la solución propuesta a través de la aplicación de tecnosoles en el cierre de minas (Ver Figura 3).

1.3. Sustento de la complejidad y relevancia del problema a resolver

Los tecnosoles se han utilizado con éxito para el cierre de minas, como una alternativa a la impermeabilización de suelos con arcilla, ofrecen varias ventajas, como menor costo, el uso de tecnosoles es más económico que la impermeabilización de suelos con arcilla, que no requiere importación de materiales externos y constituye una solución natural que permite una recuperación orgánica de la zona más equilibrada y sostenible, lo que reduce el impacto ambiental; mejora la calidad del suelo, permitiendo el crecimiento de la vegetación y la biodiversidad, (Bolaños, 2018). Se cuenta con estimaciones que permiten dimensionar el ahorro económico que implica el uso de tecnosoles frente a los métodos convencionales de cierre de minas. Diversos estudios, como el de Bolaños (2018), señalan que esta tecnología

puede ser entre 30 % y 40 % más económica que la impermeabilización con arcilla o el empleo de geomembranas, ya que aprovecha materiales locales como residuos orgánicos, inorgánicos y cenizas y evita la importación de insumos externos, lo cual reduce de manera considerable los costos de transporte y disposición final.

De acuerdo con reportes recientes del Ministerio de Energía y Minas (2024), los cierres tradicionales de minas pueden superar los USD 500,000 por hectárea, mientras que la aplicación de tecnosoles permite reducir este gasto en aproximadamente un 35 % en promedio. A ello se suma que su mantenimiento es menos costoso, dado que los suelos tratados con esta técnica tienden a recuperar su funcionalidad y permiten procesos de revegetación temprana, lo que disminuye la necesidad de intervenciones posteriores.

La utilización de tecnosoles no solo ofrece ventajas ambientales, sino que también representa un ahorro económico significativo para las empresas y para el propio Estado, al reducir los costos asociados al cierre y la rehabilitación de pasivos mineros.

Según Bolaños (2018), los tecnosoles constituyen una alternativa novedosa y eficaz para la recuperación de suelos degradados y cuerpos de agua, pues se adaptan a diferentes contextos mediante el aprovechamiento de materiales locales de origen antrópico, como escombros, lodos, cenizas o desechos industriales. La FAO (2021) reconoce que los tecnosoles han ganado creciente relevancia en los últimos años debido a su capacidad de restaurar servicios ecosistémicos esenciales y de contribuir a la rehabilitación de áreas impactadas por actividades extractivas y urbanas, consolidándose, así como una opción innovadora y sostenible dentro de las estrategias de remediación ambiental.

Según el MINAM, 2023 menciona que el uso de los tecnosoles para cierre de minas especialmente en proyectos de recuperación de suelos y cuerpos de agua, gracias a su capacidad de adaptarse a diversos contextos. Se trata de suelos cuya formación y características han sido modificadas o influenciadas directamente por la intervención

humana, y que en muchos casos provienen de residuos de origen antrópico. Estos suelos pueden originarse a partir de materiales como escombros, lodos, cenizas u otros desechos industriales, cuyas propiedades están determinadas por su procedencia técnica. Asimismo, los tecnosoles pueden ser creados de forma artificial, inspirándose en los procesos naturales de formación del suelo, y desarrollados bajo principios de *edafo-ingeniería* para cumplir funciones específicas en la restauración ambiental.

Su diseño se basa en el entendimiento de las características y el comportamiento de los residuos y de los componentes que lo van a formar, de tal modo que los Tecnosoles puedan presentar patrones de evolución similares a los de los suelos naturales. Las cantidades relativas de los distintos componentes que constituyen el Tecnosol son ajustadas a las condiciones de las áreas degradadas sobre la que se aplicarán, de tal forma que se diseñan Tecnosoles específicos al problema a solucionar.

De acuerdo con Orihuela, 2023 menciona que la aplicación de Tecnosoles se basa en crear y estimular los procesos biogeoquímicos y de *edafogénesis*, permitiendo que existan efectos complementarios de sus distintos componentes y facilitando un proceso de rehabilitación a mediano y largo plazo. Estos efectos se consiguen al promover las características y funciones en los suelos degradados a varios niveles: físico, mejorando la estructura y textura de los suelos; químico, a través del incremento de materia orgánica, nutrientes y reduciendo la disponibilidad de elementos tóxicos; y biológico, con el aumento de la cobertura de plantas y el microbiota del suelo.

Diversas investigaciones recientes a nivel mundial respaldan la eficacia de los tecnosoles en procesos de restauración ambiental. Por ejemplo, en Brasil, Azevedo-Lopes et al. (2024) demostraron que los tecnosoles elaborados con residuos de construcción y demolición mejoraron de forma significativa la salud del suelo (índice de 0.68 frente a 0.38 en suelos control) y favorecieron el establecimiento de especies arbóreas nativas. De manera

similar, en el contexto mediterráneo, Bosch-Serra et al. (2025) encontraron que la aplicación de tecnosoles en suelos salinos degradados incrementó la actividad microbiana, la retención de carbono orgánico soluble y la cobertura vegetal, confirmando su valor como estrategia de restauración ecológica. En áreas mineras de Brasil, Imbaná et al. (2023) reportaron que los tecnosoles creados en zonas de escorrentía permitieron un avance positivo en la calidad del suelo y la recuperación de servicios ecosistémicos, aunque destacaron la importancia del monitoreo a largo plazo. Finalmente, Ruiz (2023) evidenció que la construcción de tecnosoles puede compensar hasta un 60 % de las emisiones de CO_2 asociadas a la pérdida de suelo y vegetación por minería, resaltando su potencial como solución sostenible y climáticamente inteligente. Estas evidencias confirman que los tecnosoles funcionan y están siendo reconocidos internacionalmente como una alternativa innovadora y validada científicamente.

La presenta el Lienzo de Dos Dimensiones (Ver Figura 1), en el cual se sintetizan los principales factores que explican la complejidad y la relevancia del problema del cierre de minas en el Perú. El esquema evidencia que el desafío no se limita a cumplir con un cierre convencional, sino a implementar soluciones que sean sostenibles en el tiempo y capaces de prevenir impactos negativos de largo plazo.

Figura 1

Lienzo Dos Dimensiones

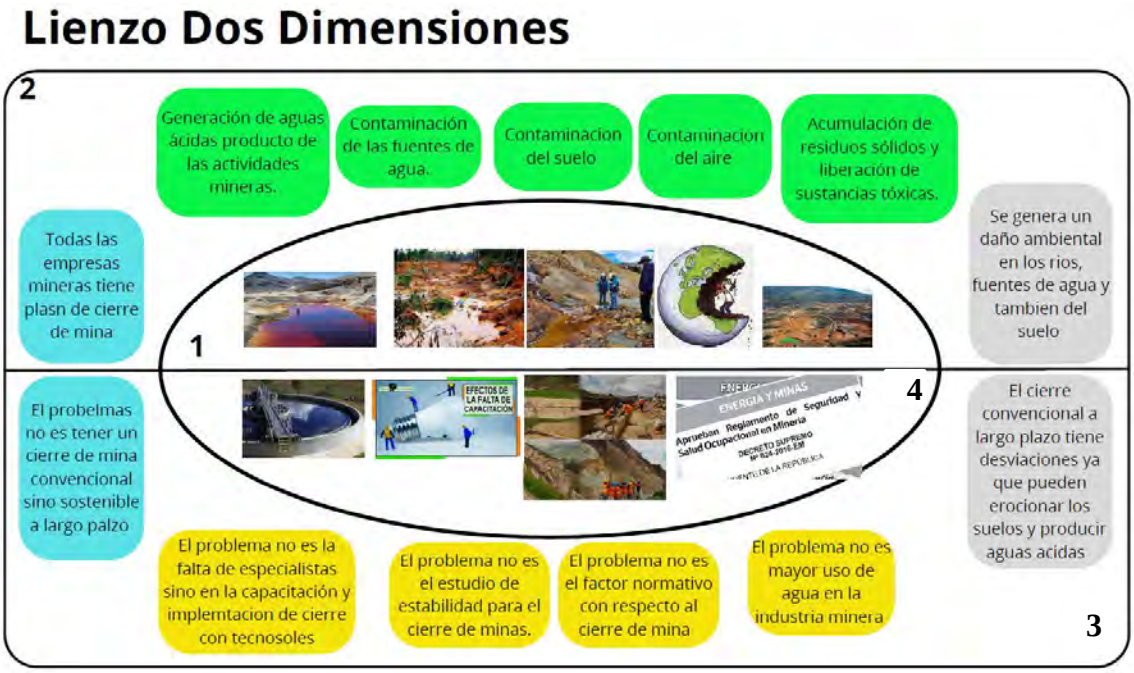
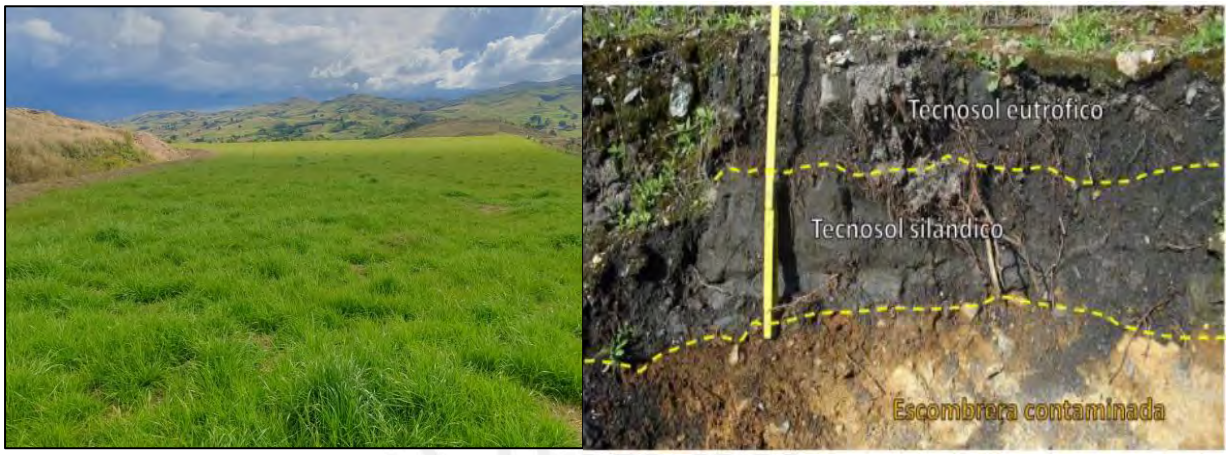


Figura 2

Maqueta del Problema

Figura 3

Maqueta de la solución



Capítulo II. Análisis del Mercado

En este capítulo se definirá el mercado objetivo al que estará orientada nuestra propuesta, con el fin de dar una respuesta efectiva al problema previamente planteado. Para ello, resulta fundamental llevar a cabo un análisis tanto de la competencia como del usuario final, lo que nos permitirá enfocar adecuadamente el producto y maximizar su viabilidad económica y comercial.

2.1. Descripción del mercado o industria

La minería se ha consolidado como uno de los sectores más relevantes y dinámicos en América Latina y el Caribe, desempeñando un papel clave en el impulso de la economía regional. Esta industria no solo genera empleo directo e indirecto en torno a la extracción de minerales como el cobre, oro, plata y litio, sino que también contribuye significativamente al Producto Bruto Interno (PBI) y atrae inversión extranjera directa. Su crecimiento sostenido responde, en gran parte, al incremento de la demanda global de minerales, especialmente cobre y litio, fundamentales para avanzar hacia una transición energética más limpia. Asimismo, se observa una creciente tendencia en el sector hacia la implementación de prácticas sostenibles, lo cual busca reducir los impactos ambientales y se alinea con los estándares internacionales de responsabilidad y buenas prácticas (CEPAL, 2022).

En el Perú el sector minería mantiene un incremento constante de 4%, comparado con el año 2023, lo cual evidencia un desempeño positivo de la actividad minera (INEI,2024). La inversión proyectada para el 2024 ascendería a 5000 millones de dólares contemplando 75 proyectos de exploración y proyectos de reposición de reservas, además se tiene proyectada una producción de tres millones de toneladas para el año en curso (El Peruano,2024).

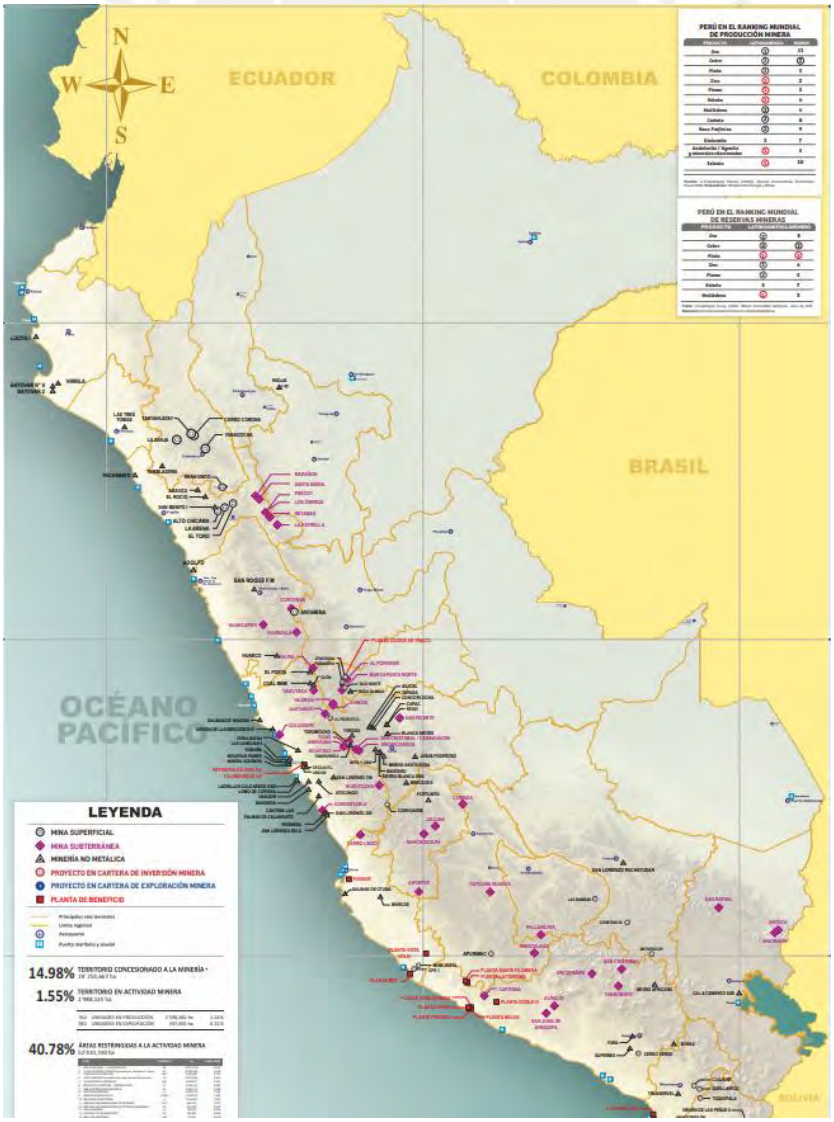
El dinamismo en las inversiones y el inicio de operaciones mineras contrasta con el proceso de cierre de minas, el cual suele extenderse en un plazo estimado de entre 5 a 10 años. Esta etapa está regulada por la Ley y el Reglamento de Cierre de Minas (Edición 2023),

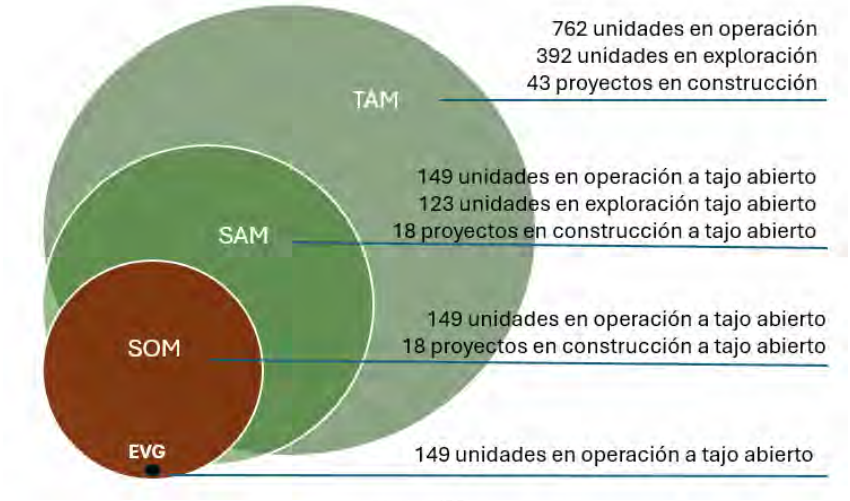
normativa que establece los procedimientos y las obligaciones deben cumplir con los titulares mineros. Entre estos requisitos se incluyen la presentación de un plan de cierre detallado y la constitución de garantías ambientales, con el objetivo de asegurar la restauración del entorno natural, proteger la salud de las comunidades y preservar el equilibrio de los ecosistemas afectados.

Actualmente en el Perú tenemos 762 unidades en producción y 392 unidades en exploración todas las unidades en producción deben necesariamente cumplir con el plan de cierre y remediación ambiental producto de sus operaciones (Ver Figura 4).

Figura 4

Proyectos distribuidos en el mapa del Perú.





TAM – *Total Addressable Market* (Mercado Total Disponible)

El TAM representa el valor total del mercado si todos los clientes potenciales utilizaran la tecnología de tecnosoles sin restricciones. Según el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), actualizado al 2024, existen 7,403 pasivos registrados. Asumiendo un costo promedio de USD 500,000 por cierre con tecnosoles, el TAM estimado asciende a aproximadamente USD 3,701 millones. Este valor es útil para dimensionar la oportunidad global del mercado.

SAM – *Serviceable Available Market* (Mercado Atendible Disponible)

El SAM considera la parte del TAM que puede ser servida con las capacidades actuales del proyecto, teniendo en cuenta limitaciones técnicas, logísticas y geográficas. Se focaliza en cinco regiones mineras con alta concentración de pasivos: La Libertad, Cajamarca, Pasco, Puno y Arequipa. Estas regiones suman aproximadamente 200 pasivos viables para intervención. Por lo tanto, el SAM se calcula como 200 proyectos x USD 500,000 = USD 100 millones.

SOM – *Serviceable Obtainable Market* (Mercado Obtenible)

El SOM representa la parte del SAM que el proyecto puede capturar efectivamente en un horizonte temporal determinado, considerando su capacidad operativa, experiencia, posicionamiento y estrategia de crecimiento. Actualmente, el equipo puede ejecutar entre 6 a

8 proyectos al año. Con una proyección de crecimiento del 20% anual durante tres años, se estima posible capturar el 10% del SAM, lo que equivale a un SOM de USD 10 millones.

La demanda identificada a nivel nacional es la constituida por las 762 unidades en operación, que necesariamente tienen que en el momento de ejecutar el plan de cierre remediar la zona donde la unidad minera opero, esta actividad se realiza de manera progresiva en el tiempo determinado en su plan de cierre aprobado.

La oferta actual de abastecimiento de tecnosoles como tal no está desarrollada, se tiene en el mercado laboratorios que se encargan del estudio de suelos y elaborar propuestas de formulación, pero no del desarrollo del producto (Ver Tabla 1).

Caracterización de Tecnosoles – AGQLAB

Monitoreo de aplicación de Tecnosoles – INPROYEN

Tabla 1

Resumen de la oferta y demanda del producto/servicio

Oferta	Demanda
AGQ Lab	762 operaciones mineras
INPROYEN	392 exploraciones, potenciales proyectos

2.2. Análisis competitivo detallado

La estructura del mercado se halla en una fase de crecimiento y desarrollo empujada por la nueva normativa vigente y los requerimientos actuales de sostenibilidad que son de necesarios para el sector minero, en base a ello se ha identificado que existe el mercado para este producto, la competencia se queda en la etapa de formulación del tipo de tecnosol, la propuesta implica un producto final de aplicación según la característica de suelo que es particular para cada zona del país en función, a altitud, relieve, etc.,

En lo que respecta a las estrategias de los competidores, se evidencia que su enfoque se limita principalmente a la caracterización de los tecnosoles. En cambio, nuestra propuesta se

presenta como una solución integral, que no solo contempla su aplicación en campo, sino también el monitoreo posterior al cierre y su evolución de la calidad del cierre, asegurando así resultados sostenibles y de largo plazo.

Las principales barreras de entrada podrían resultar producto de la minería ilegal que se encarga de extraer y en el momento de terminar la actividad no realizan la remediación del terreno explotado, o el desarrollo de algún producto sintético además de las geomembranas que cumplan funciones similares.

Se debe tener en cuenta que todos aquellos pasivos ambientales que no tienen titularidad identificada pasan a ser responsabilidad del Estado para la remediación lo que implica que el Estado se convierte en un cliente potencial para nuestra solución.

Los productos sustitutos para este planteamiento estarían representados por lo que actualmente se viene utilizando para esta finalidad, como es el uso combinado de geomembranas, arcilla y grava en diferentes proporciones.

El World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2021) señala que las decisiones de compra ya no se limitan únicamente a criterios de calidad y precio, sino que cada vez más consumidores consideran las características sostenibles de los productos. Esto ha obligado a las empresas a integrar aspectos ambientales y sociales en sus propuestas de valor. De esta manera, la ventaja competitiva contemporánea no se sustenta solo en la eficiencia económica, sino en la capacidad de generar un impacto sostenible y atender las nuevas demandas del mercado.

Tras analizar todos estos aspectos, podemos concluir que nuestro usuario y cliente principal son las propias operaciones mineras, así como los contratistas encargados de ejecutar los planes de cierre como se puede apreciar en la (Ver Figura 5) más a detalle de los que serán usuarios y beneficiados con el cierre de mina con tecnosoles. Por otro lado, los principales beneficiarios de nuestra propuesta son las comunidades que viven en el área de

influencia directa de estas actividades mineras. Al examinar las características de la competencia, se evidencia una gran oportunidad de crecimiento para nuestro producto, ya que actualmente el mercado no está saturado ni plenamente desarrollado. Además, parte de los insumos necesarios para la elaboración de nuestro producto proviene de esas mismas comunidades, lo que fomenta el aprovechamiento responsable de residuos orgánicos e inorgánicos, promoviendo prácticas sostenibles y un mayor compromiso ambiental. (Ver Tabla 1).

Figura 5

Usuario, cliente y beneficiario.

En la actualidad, existen diversas técnicas utilizadas para la remediación de suelos, cada una con enfoques y mecanismos distintos. Por ejemplo:

- **Extracción e inyección**, que consiste en introducir o extraer aire en las zonas contaminadas para estimular la biodegradación de los compuestos presentes. También se emplea aire comprimido para separar los contaminantes, facilitando su eliminación ya sea en forma líquida o por evaporación.
- **Biorremediación**, que utiliza microorganismos capaces de alimentarse de contaminantes como el petróleo o los pesticidas, ayudando a limpiar el suelo de manera natural.

- **Fitoestabilización**, una técnica que se apoya en el uso de plantas y bacterias para atrapar e inmovilizar contaminantes, especialmente metales pesados, evitando que se sigan propagando por el entorno.
- **Estabilización fisicoquímica**, en la que los contaminantes se encapsulan en una sustancia solidificante mediante inyección, reduciendo su movilidad y toxicidad.
- **Lavado de suelos**, que consiste en infiltrar agua mezclada con ciertos aditivos para disolver los contaminantes; luego, esta agua es extraída por bombeo y tratada adecuadamente.
- **Biolabranza**, que implica organizar el suelo en capas o pilas, airearlo y removerlo de manera periódica para favorecer la acción de microorganismos descomponedores.

En el contexto del sector minero peruano, el poder de negociación de los compradores es considerable. Las empresas mineras buscan soluciones ambientales eficaces que les permitan cumplir con las exigencias regulatorias, sin asumir costos adicionales excesivos. Por ello, valoran especialmente productos sostenibles y rentables, como los tecnosoles, que les ofrecen una forma efectiva de cumplir con la normativa ambiental sin comprometer su rentabilidad.

Según Martínez-Alier (2022), la presión social y ambiental está llevando a muchas compañías a adoptar prácticas más sostenibles. En esta misma línea, la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE, 2023) destaca que en el Perú existe una expectativa creciente sobre el uso de tecnologías responsables con el medio ambiente, especialmente en el cierre de minas. Este cambio en las prioridades del sector representa una oportunidad para impulsar soluciones innovadoras y sostenibles como los tecnosoles, que permiten una rehabilitación completa de los suelos afectados por la actividad minera (Villegas & Pérez, 2023).

En cuanto al poder de negociación de los proveedores, se considera moderado debido a que, si bien hay una oferta amplia de insumos como residuos orgánicos y compost, la calidad de estos materiales es un factor clave que puede influir en la efectividad de los tecnosoles. La consistencia y alta calidad de los insumos es esencial para lograr un producto final eficiente, lo que permite a algunos proveedores de materiales de alta calidad negociar precios más altos o imponer condiciones en sus contratos (Aguirre & Soto, 2022). Según con el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2023), aquellos proveedores que garantizan materiales superiores tienen mayor poder en la cadena de suministro, ya que su contribución es crucial para alcanzar los objetivos de sostenibilidad del producto.

La posibilidad de que ingresen nuevos competidores al mercado de la remediación de suelos mineros es limitada, principalmente por las altas barreras técnicas y regulatorias que caracterizan a este sector. Estas condiciones hacen que no sea fácil para nuevas empresas entrar y competir de manera efectiva. El desarrollo de soluciones como los tecnosoles requiere una inversión inicial considerable en tecnología y conocimiento especializado, lo cual presenta un obstáculo significativo para nuevos competidores (Rodríguez & Hernández, 2022). Además, *PwC* Perú (2023) observa que el mercado está fuertemente regulado en términos de sostenibilidad, lo cual dificulta aún más la entrada de nuevos actores. Sin embargo, la demanda creciente por soluciones ambientales sostenibles podría, en el futuro, reducir algunas de estas barreras, permitiendo la entrada de empresas que ofrezcan tecnologías alternativas para la recuperación de suelos (López & Gutiérrez, 2023).

Respecto a la amenaza de productos sustitutos, existen algunas alternativas que ya se utilizan en el sector minero para la recuperación de suelos, como las geomembranas y las técnicas de biorremediación. Estas opciones son bastante comunes y representan enfoques distintos para abordar la remediación ambiental. Sin embargo, los tecnosoles ofrecen una ventaja significativa al permitir la regeneración natural del suelo, una característica que no

ofrecen los métodos tradicionales. De acuerdo con el (INGEMMET, 2023), las soluciones tradicionales son menos eficaces en la recuperación del ecosistema de manera integral. Además, Herrera y Ortiz (2023) indican que los tecnosoles pueden facilitar el restablecimiento de flora y fauna en las zonas afectadas, mientras que otros métodos, como la biorremediación, presentan limitaciones en cuanto a su capacidad para restaurar grandes áreas de manera rápida y eficiente (Delgado & Cárdenas, 2022).

Los competidores en el mercado acerca de remediación ambiental en Perú son moderada. Según lo que menciona Sandoval y Ponce (2023) señalan que son aproximadamente entre tres y cinco las compañías que han trabajado de forma concreta en investigación, desarrollo o aplicación de tecnosoles en proyectos de remediación ambiental. Entre ellas se pueden identificar a Activos Mineros S.A.C., que ha evaluado alternativas de cierre en operaciones con pasivos mineros, así como empresas privadas de consultoría ambiental y minera como Klohn Crippen Berger Perú y Water & Environmental Services, que han desarrollado proyectos piloto o iniciativas vinculadas a suelos artificiales y restauración de ecosistemas. final lista para su aplicación en proyectos mineros, lo que permite mantener un nivel de competencia manejable. Sin embargo, KPMG Perú (2023) advierte que el creciente interés en la sostenibilidad podría intensificar la competencia en los próximos años, especialmente con la introducción de nuevas tecnologías y un endurecimiento de las regulaciones ambientales. Esto requerirá que los tecnosoles se mantengan diferenciados y adaptados a las necesidades cambiantes del mercado para conservar su relevancia.

Amenaza de Nuevos Entrantes

De acuerdo con el modelo de las Cinco Fuerzas de Porter (2008), la atracción o amenaza de nuevos competidores en un sector está determinada por el grado de barreras de entrada, las cuales incluyen regulaciones, certificaciones técnicas, economías de escala y

especialización profesional. Cuando se aplica este marco al sector peruano de servicios ambientales para el cierre de minas, resulta evidente que dichas barreras se mantienen en niveles moderados a altos, debido a exigencias como la aprobación del Plan de Cierre conforme a la Ley N.° 28090 y el manejo técnico de pasivos conforme a la Ley N.° 28271. Según el portal informativo de legislación ambiental peruana, esta normativa establece la formulación de planes detallados de cierre y remediación, junto con la constitución de garantías ambientales que aseguren el cumplimiento de las inversiones requeridas , lo cual se traduce en que las empresas que buscan ingresar al mercado deben contar no solo con capacidades técnicas y certificaciones, sino también con respaldo institucional y financiero, lo cual limita la competencia y refuerza las barreras de entrada identificadas bajo el enfoque de Porter.

Poder de Negociación de los Proveedores.

En el contexto de los tecnosoles, los insumos clave como material orgánico, componentes minerales y equipos de transporte especializado provienen de proveedores locales o regionales. Si estos proveedores son escasos o tienen posiciones dominantes, pueden ejercer poder sobre los precios y condiciones de entrega.

De acuerdo con lo que menciona INEI (2023). Que, no obstante, la posibilidad de diversificar fuentes de abastecimiento o producir algunos insumos de forma local reduce esta presión. Además, la innovación en fórmulas tecnológicas permite cierta flexibilidad para adaptarse a las condiciones del mercado de insumos.

En el caso de los tecnosoles, los insumos principales como materia orgánica, componentes minerales y equipos de transporte especializado provienen en su mayoría de proveedores locales o regionales. Si bien en determinados contextos algunos actores pueden concentrar la oferta y ejercer presión sobre los precios, esta situación se atenúa debido a la posibilidad de diversificar fuentes de abastecimiento y, en algunos casos, producir ciertos

insumos de manera local. Además, la innovación tecnológica en la formulación de tecnosoles ofrece flexibilidad para sustituir o combinar materiales según su disponibilidad en el mercado (INEI, 2023).

Por lo tanto, el poder de negociación de los proveedores en esta industria se clasifica como medio, ya que existe cierto grado de dependencia de insumos externos, pero también mecanismos de sustitución y diversificación que reducen el riesgo de concentración.

Poder de Negociación de los Compradores

SNMPE (2023). Los compradores del servicio de cierre de minas son en su mayoría empresas mineras y el Estado. Al tratarse de un mercado con relativamente pocos clientes institucionales, su poder de negociación es alto, ya que pueden comparar propuestas, exigir cumplimiento normativo y optar por tecnologías alternativas.

OEFA (2022). Sin embargo, cuando se trata de soluciones innovadoras y sostenibles como los tecnosoles, el valor agregado y la ventaja ambiental pueden disminuir el poder de los compradores, sobre todo si la solución reduce costos futuros o mejora la reputación ambiental.

Amenaza de Productos Sustitutos

Ministerio del Ambiente (2023). Los métodos convencionales de cierre de minas, como el uso de concreto proyectado, tapados mecánicos o reforestación sin control de calidad, representan sustitutos para los tecnosoles. Estos métodos tienen mayor presencia en el mercado y una base de datos técnica más amplia, lo cual puede representar una amenaza.

Díaz, R. & Castañeda, J. (2022). No obstante, los tecnosoles se presentan como una alternativa con beneficios sostenibles a largo plazo, mejor integración ecológica y menor huella de carbono. La amenaza de sustitutos depende de la percepción de valor, efectividad demostrada y aval técnico-científico del producto.

En ese sentido, la amenaza de productos sustitutos puede calificarse como media-alta: media porque existen ventajas diferenciadoras de los tecnosoles frente a los métodos tradicionales, pero alta porque los sustitutos convencionales aún dominan el mercado y cuentan con mayor aceptación técnica e institucional.

Comparación de cierres de minas que de cómo se viene realizando en la actualidad para ello tenemos que comprender con mayor claridad el panorama competitivo, es importante contrastar las diferentes alternativas que actualmente se ofrecen en el mercado de servicios ambientales vinculados al cierre de minas. Esta comparación permite apreciar cómo cada opción se diferencia en aspectos como su propuesta de valor, alcance comercial y participación de mercado. A continuación, se presenta una tabla que sintetiza estas alternativas y facilita el análisis del posicionamiento de los tecnosoles frente a soluciones convencionales y otros servicios complementarios.

La comparación las alternativas disponibles en el mercado (ver Tabla 2), lo que permite identificar diferencias sustanciales entre enfoques innovadores y convencionales. Mientras que las alternativas A y B ofrecen valor agregado en formulación y monitoreo de tecnosoles, con participación aún limitada en el mercado (20%), la alternativa C representa el modelo convencional con mayor posicionamiento (60%) pero con un enfoque menos innovador. Este contraste evidencia la necesidad de apostar por soluciones más sostenibles y diferenciadas, como la formulación y el monitoreo especializado, que aseguran mayor escalabilidad y competitividad en el mediano plazo.

Tabla 2

Tabla comparativa de las opciones disponibles actualmente en el mercado.

Criterio	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Descripción	Formulación de Tecnosoles	Monitoreo de Aplicación	Convencional
Ubicación	Lima	Lima	Lima
Propuesta de valor	Formulación	Monitoreo	Instalación de producto
Opciones comerciales ofrecidas	Estudio	Estudio – Monitoreo	Instalación
Participación del mercado	20%	20%	60%
Medio de distribución	Digital	Digital	Digital

Fuente: Elaborado por los autores

Capítulo III. Investigación del Usuario

La identificación del usuario se llevó a cabo utilizando la metodología *Design Thinking* (Vianna, 2020), la cual permite, a través de un proceso de inmersión, ideación y creación de prototipos, comprender a fondo una necesidad o problema, y a partir de ello, definir quiénes serían los usuarios directos del servicio con el objetivo de generar valor y desarrollar una solución efectiva. En esta primera fase, centrada en la empatía, se analizó la información disponible del Ministerio de Energía y Minas sobre los proyectos mineros y los pasivos ambientales. Este análisis evidenció una gran oportunidad para aplicar tecnosoles como una alternativa que garantice un cierre de mina sostenible a largo plazo. Además, se realizaron. La selección de los entrevistados respondió a un criterio de relevancia y complementariedad de perspectivas. Por un lado, se consideró a los miembros de las comunidades directamente afectadas por los pasivos ambientales mineros, con el fin de captar sus percepciones sobre los impactos sociales y ambientales, lo cual resulta indispensable para asegurar que la propuesta tenga legitimidad social y enfoque centrado en las personas. Por otro lado, se entrevistó a directivos de operaciones mineras, definidos en este estudio como los usuarios principales, dado que son responsables de implementar los planes de cierre ante la entidad reguladora y enfrentan limitaciones técnicas, normativas y presupuestales. La triangulación de estas dos visiones permite enriquecer el diseño de la solución y garantizar que esta sea tanto viable en el marco regulatorio como socialmente aceptada por las comunidades, lo que permitió recoger información valiosa para construir el lienzo del Meta Usuario y el Mapa de Experiencia, herramientas clave para diseñar una solución centrada en las personas.

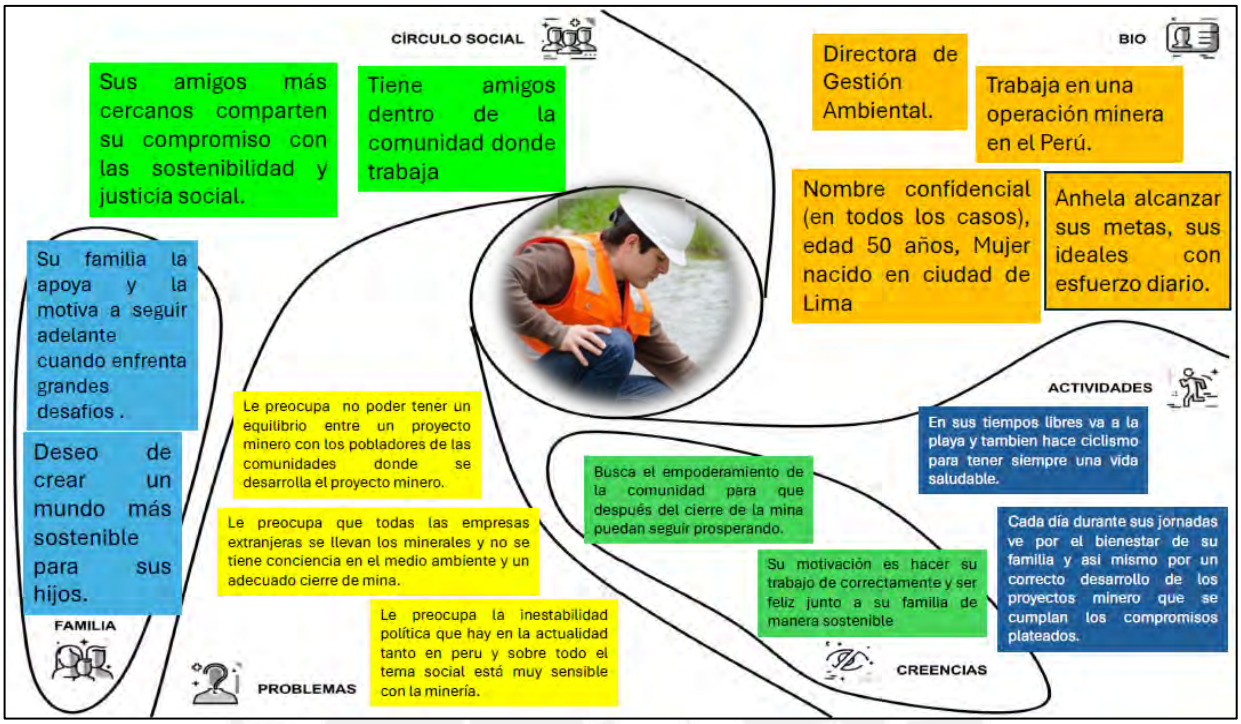
De esta manera se define que el Usuario es la Operación Minera a través de sus directivos quienes son los responsables ante la entidad regulatoria de realizar un adecuado cierre de mina de todas las operaciones.

3.1. Perfil del usuario

Se llevaron a cabo entrevistas con el usuario identificado, una persona con fuerte conciencia ambiental (ver Apéndice A). Cabe precisar que, en el marco de esta investigación, el usuario principal no se refiere a cualquier individuo con sensibilidad ambiental, sino a las operaciones minera representada por sus directivos, quienes son responsables de cumplir con la normativa de cierre de minas. La inclusión de entrevistados con conciencia ambiental se utilizó únicamente como un insumo metodológico para enriquecer el Meta Usuario y el Mapa de Experiencia, incorporando así una perspectiva social y ambiental al diseño de la propuesta. A partir de estas conversaciones se elaboró la primera versión del Lienzo Meta Usuario (ver Figura 6), en el que se perfila al usuario como alguien En esta investigación, el usuario principal está definido como la operación minera representada por sus directivos, quienes asumen la responsabilidad legal de cumplir con la normativa vigente sobre cierre de minas (Ley N.º 28090 y Ley N.º 28271). El perfil descrito más adelante caracterizado como una persona comprometida con la justicia, empoderada y atenta a la gestión pública no alude a un usuario distinto, sino que corresponde a una aproximación cualitativa a los directivos mineros, con el propósito de reflejar sus valores, actitudes y motivaciones en el ejercicio de esta función. De esta manera, se deja claramente establecido que el usuario no es cualquier individuo con conciencia ambiental, sino los propios directivos mineros en su rol profesional, a quienes se les reconoce un perfil de integridad y compromiso con la sostenibilidad.

Figura 6

Arquetipo del usuario directivo de la mina.



El lienzo meta usuario presentado ofrece una visión integral del perfil de la persona clave en la toma de decisiones ambientales dentro de una operación minera. Esta usuaria no es solamente una profesional técnica; es también una persona con motivaciones emocionales, vínculos sociales sólidos y una conciencia ética profunda respecto a la sostenibilidad, la justicia social y la relación con las comunidades.

El valor de este lienzo radica en su capacidad para identificar necesidades no evidentes a primera vista, tales como el deseo de dejar un legado positivo, la preocupación por el impacto de la minería en su entorno social y familiar, y la frustración ante la falta de propuestas innovadoras que equilibren producción minera con responsabilidad ambiental. Así, el análisis trasciende el enfoque técnico y se adentra en lo humano, revelando que la toma de decisiones en cierre de minas está fuertemente influenciada por factores personales, sociales y éticos.

En este sentido, los tecnosoles representan una propuesta que responde eficazmente a esta complejidad. Su implementación no solo mejora la calidad del suelo degradado y permite la revegetación, sino que también empodera a las comunidades a través de usos post-cierre sostenibles y refuerza la imagen institucional de la empresa. Este tipo de tecnología sintoniza con las preocupaciones expresadas en el lienzo: la necesidad de justicia social, la conservación del entorno natural y el bienestar de futuras generaciones.

Además, el perfil del meta usuario indica que existe una alta valoración por propuestas que articulen ciencia y compromiso social. Por ello, los tecnosoles deben presentarse no solo como una tecnología de cierre, sino como una estrategia que responde a los valores del usuario: sostenibilidad, equidad, y eficiencia con propósito. Así, se incrementa su aceptación técnica, política y emocional dentro del proceso de toma de decisiones.

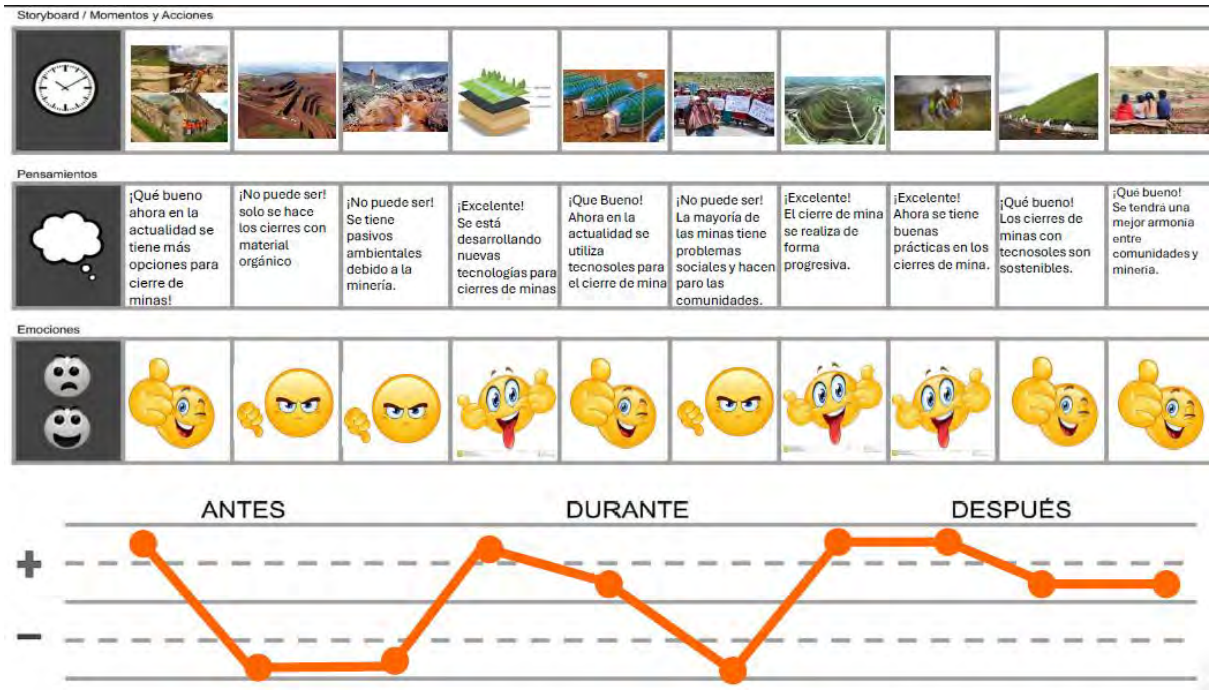
En conclusión, el lienzo permite comprender que el usuario ideal de la solución no solo busca eficiencia técnica y cumplimiento normativo, sino también un impacto social positivo, legitimidad ambiental y sentido de trascendencia personal. Por eso, los tecnosoles deben ser comunicados como una solución técnica y humana, capaz de transformar el cierre de minas en una oportunidad de regeneración ambiental y social.

3.2. Mapa de experiencia de usuario

En cuanto al Mapa de Experiencia de Usuario (ver Figura 7), determina que los cierres de mina se deben hacer de forma progresiva para evitar generar pasivos ambientales. En la actualidad, la tecnología de los tecnosoles es una gran alternativa, sostenible y que además permite controlar y corregir parámetros que de manera convencional no es factible mejorar, este proceso de remediación demora entre 5 y 10 años.

Figura 7

Mapa de la experiencia de usuario directivo de la mina.



El mapa de experiencia del usuario también es aplicable cuando el Estado asume la responsabilidad del cierre, ya que este enfoque busca reflejar la percepción del proceso, independientemente de si la gestión recae en una empresa privada o en una entidad pública, ya que el mapa de experiencia busca reflejar la percepción frente al proceso, sin importar si la gestión recae en una empresa privada o en una entidad pública, presentado en la tesis ilustra, de manera secuencial y emocional, El mapa de experiencia del usuario se construyó a partir de la información recogida en entrevistas semiestructuradas realizadas tanto a miembros de comunidades directamente afectadas como a directivos de operaciones mineras, quienes fueron definidos como los usuarios principales en esta investigación. Estas entrevistas permitieron identificar percepciones, emociones y puntos críticos frente al proceso de cierre de minas, particularmente con la implementación de tecnosoles. Esta herramienta permite identificar los puntos críticos donde las percepciones, emociones y juicios del usuario varían en función del tiempo, la información disponible y las prácticas observadas.

En la fase “ANTES”, se evidencia una mezcla de optimismo y desconfianza. El usuario valora que existan nuevas alternativas para el cierre de minas, pero también expresa sorpresa y preocupación al notar que aún predominan cierres con materiales orgánicos y que persisten pasivos ambientales generados por prácticas pasadas. Esta etapa refleja una visión crítica y una necesidad clara de innovación en el sector minero.

Durante la fase “DURANTE”, se observa un cambio positivo en la percepción del usuario. La incorporación de tecnologías como los tecnosoles, así como la atención a los aspectos sociales y progresivos del cierre, genera reacciones de entusiasmo y reconocimiento. El usuario comienza a visualizar la sostenibilidad como un componente tangible del proceso minero. Las emociones aquí oscilan entre la sorpresa positiva y la satisfacción, destacando la importancia de comunicar adecuadamente los avances técnicos y sociales.

Finalmente, en la etapa “DESPUÉS”, la experiencia culmina con una percepción positiva y estable. El usuario reconoce los beneficios sostenibles de los tecnosoles y anticipa una mejor relación entre las comunidades y la minería. Las emociones se mantienen en un nivel alto, con expresiones de armonía, confianza y esperanza. Esta etapa es clave para reforzar la legitimidad de las tecnologías empleadas y demostrar su impacto a largo plazo.

Este mapa demuestra que los tecnosoles no solo responden a una necesidad técnica, sino que transforman la experiencia emocional del usuario, desde la incertidumbre inicial hasta la confianza y satisfacción final. Por ello, es vital integrar este enfoque experiencial en la estrategia de implementación, comunicación y validación social del proyecto.

3.3. Identificación de la necesidad

La necesidad identificada en este estudio es contar con una alternativa de cierre de minas que sea económicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente aceptada. Esta conclusión se obtuvo a partir del análisis de las entrevistas semiestructuradas realizadas tanto a directivos de operaciones mineras como a miembros de comunidades afectadas. En

dichas entrevistas se detectaron patrones comunes: altos costos y limitaciones de los métodos convencionales, preocupación por los impactos ambientales a largo plazo y la exigencia de soluciones que integren a las comunidades en los procesos de restauración.

A partir de la identificación del usuario en el Mapa Experiencia de Usuario, se puede determinar de manera positiva que la alternativa correcta para él sería hacer un cierre de mina de forma sostenible. Por otro lado, es importante mencionar que la elección del tipo de tecnosol adecuado para cada proyecto es crucial para minimizar el riesgo de generar inestabilidad del suelo y optimizar el uso de materia prima. Los tecnosoles son diseñados y formulados de manera específica para cada proyecto y/o cierre de mina, considerando las características del suelo y la composición variada de los residuos mineros en cada caso.

Capítulo IV. Diseño del Producto o Servicio

En este capítulo se abordan diversas metodologías orientadas a definir el diseño del servicio, considerando las características del producto que el usuario realmente necesita. Estas se alinean con sus principales expectativas, inquietudes, costos asociados e impactos percibidos. Además, se detalla el proceso de diseño del prototipo y se construye una propuesta de valor clara y significativa, que responda de manera efectiva a las necesidades del usuario, aportando soluciones reales y sostenibles.

4.1. Concepción del producto o servicio

4.1.1 Lienzo 6x6

Las necesidades representadas en el Lienzo 6x6 (ver figura8) corresponden principalmente al usuario definido en esta investigación: la operación minera a través de sus directivos, quienes son responsables legales de implementar los planes de cierre conforme a la normativa vigente. Estas necesidades están asociadas a la búsqueda de soluciones técnicas y económicamente viables que les permitan cumplir con la regulación, reducir la generación de nuevos pasivos y garantizar la sostenibilidad de los cierres en el tiempo.

Al mismo tiempo, se incorporan las necesidades de las comunidades ubicadas en el área de influencia directa de las operaciones mineras, recogidas en entrevistas, dado que su expectativa central es que el proceso de cierre minimice los impactos ambientales y genere oportunidades de recuperación del entorno. De este modo, el Lienzo integra tanto la perspectiva del actor responsable (operación minera) como la de los grupos directamente afectados, asegurando un enfoque colaborativo y equilibrado.

Con respecto al usuario (ver Figura 8), se ha identificado que su principal desafío es asegurar que los cierres de mina sean sostenibles en el tiempo. Esto implica no solo minimizar el impacto ambiental y la generación de nuevos pasivos, sino también

fomentar una relación positiva y constructiva con las comunidades ubicadas en el área de influencia directa de las actividades mineras.

Frente a esta necesidad, se plantea una solución colaborativa centrada en la aplicación de tecnosoles. Se ha identificado que las empresas mineras requieren contar con un plan de cierre que sea sostenible a lo largo del tiempo, y que, una vez iniciada esta etapa, permita recuperar de forma progresiva y eficiente las zonas afectadas por la actividad extractiva.

La propuesta plantea crear suelos ecológicos para restaurar el ecosistema, proteger a las comunidades y dar nuevos usos productivos a áreas degradadas, impulsando el desarrollo sostenible.

Figura 8

Lienzo 6X6, Usuario.

OBJETIVO

Garantizar una restauración sostenible del cierre de mina de los proyectos mineros.

NECESIDADES

- Que todas las operaciones mineras ejecuten su plan de cierre de minas de acuerdo con el EIA aprobado por el estado.
- Contemplar tecnologías que minimicen el impacto ambiental y aseguren el cierre de mina de manera sostenible.
- Implementar programas de gestión de residuos mineros y minimizar los pasivos ambientales.
- Considera un plan de cierre de mina que garantice la reutilización de las áreas afectadas.
- Utilizar componentes de carácter ecológico para recuperar los ecosistemas degradados.

PREGUNTAS GENERADORAS

1. ¿Cómo garantizar que la mina cumpla las regulaciones ambientales?
2. ¿Qué alternativas se tiene en el mercado para minimizar el impacto ambiental?
3. ¿Cómo implementar programas de gestión de residuos y los pasivos ambientales?
4. ¿Cómo asegurar que el plan de cierre permita reutilizar en el futuro el área afectada?
5. ¿Qué componentes ecológicos podrían reutilizarse?
6. ¿Qué métodos se pueden utilizar para recuperar las áreas afectadas por la minería?

1	2	3	4	5	6
Anaiz: Implementar un sistema de auditoría interna y externa periódica que evalúe el cumplimiento de las normativas ambientales	Ana: Implementar sistemas de gestión de aguas residuales, que permiten tratar y reutilizar el agua en las operaciones mineras	Manu: Clasificación de residuos para identificar y separar los materiales que pueden ser reciclados o reutilizados	Anaiz: Colaborar con instituciones para desarrollar estudios de impacto y garantizar la viabilidad del terreno para futuros usos	Manuel: El agua puede reutilizarse por medio de recuperación en los diferentes procesos que se hace en las minas.	Ana: Uso de técnicas de bio-remediación, empleando plantas que absorban contaminantes y mejoren la calidad del suelo. Instalación de barreras vegetales
Manuel: Mantener una comunicación abierta con las autoridades regulatorias presentando informes de desempeño ambiental de manera transparente y oportuna	Ana: Uso de nuevos suelos como son los tecnosoles, que neutralizan contaminantes y mejorar la calidad del suelo.	Ana: Alianzas con empresas especializadas en reciclaje y remediación para gestionar adecuadamente los residuos	Manuel: Realizar un cierre de manera progresiva para evitar dejar pasivos y área afectada	Anaiz: Uso de biomasa y residuos orgánicos para compost que permiten reutilización del área para actividades agrícolas futuras	Ana: Aplicación de tecnosoles
Ana: Ejecutar monitoreo participativo de manera periódica, involucrando a diferentes actores del AID. Desarrollar un plan de acción ambiental con indicadores clave de desempeño para monitorear el cumplimiento	Anaiz: La utilización de geotextiles y material impermeable para evitar el drenaje de aguas ácidas hacia el subsuelo	Ana: Implementar tecnologías de tratamiento de residuos que permitan reducir la cantidad de desechos generados y su impacto ambiental	Manuel: Implementar plan de seguimiento para evaluar la calidad del suelo, agua y la recuperación del área para que se pueda garantizar su reutilización futura.	Ana: Reforestación con especies nativas, tara y queñuales para mejorar calidad de los suelos	Manuel: Reforestación que permite restaurar el ecosistema y mejorar la calidad del aire y del suelo
Anaiz: Establecer políticas que sean aplicadas por la operación y todos los contratistas en materia de Medio Ambiente. Capacitar al personal sobre las normativas ambientales locales	Manuel: Uso de gravilla y arcilla como material de relleno y neutralizar la acción de ácidos y otros componentes producto de la explotación	Anaiz: Concientización a nivel del personal de la empresa y contratistas para realizar la correcta segregación de los residuos que se generan a nivel de operación y doméstico	Ana: creación de un plan de uso del suelo que permita la reutilización del área para fines industriales, comerciales o residenciales	Manuel: La luz solar para generar energía a través del uso de paneles solares, para casetas de vigilancia y torres de iluminación en zona de relaves, e iluminación en general.	Manuel: Aplicación de arcilla y grava de diferente granulometría para relleno y recuperación de áreas

6 IDEAS SELECCIONADAS

Implementar un sistema de auditoría interna y externa periódica que evalúe el cumplimiento de los cierres de minas progresivo.	Uso de tecnosoles, que neutralizan contaminantes y mejorar la calidad del suelo.	Alianzas estratégicas con empresas especializadas y/o municipalidades en reciclaje para gestionar adecuadamente los residuos solidos	Implementar planes para el seguimiento, donde se evalué la calidad del suelo, agua y la recuperación del área para que se pueda garantizar su reutilización futura	Uso de biomasa y residuos orgánicos para compost que permiten reutilización del área para actividades agrícolas futuras	Uso de técnicas de bio-remediación, empleando plantas que absorban contaminantes y mejoren la calidad del suelo. Instalación de barreras vegetales

4.1.2 Lienzo costo -Impacto

A partir del análisis del lienzo 6x6, teniendo en cuenta la variable costo e impacto, se identificaron y priorizaron las principales ideas colaborativas e iniciativas a implementar (Ver Figura 10). Se determinó que uno de los principales factores de alto costo e impacto está relacionado con el cierre de minas de los proyectos mineros inactivos que no fueron sostenibles en el tiempo, esto se debe a que los suelos utilizaron únicamente material orgánico que generaron problemas a largo plazo. Con el tiempo el contacto con lluvias, rocas del subsuelo y material particulado produce aguas ácidas y genera pasivos ambientales.

Posteriormente, se evaluó el costo de implementar la solución y cómo este afecta al usuario. Para ello, se establecieron criterios específicos que se detallan en la Tabla 3.

Estos valores suelen basarse en: Estudios previos o benchmarking de proyectos similares (por ejemplo, costos reportados en minas que aplicaron revegetación, cierre de pasivos ambientales o tecnosoles en Cajamarca, La Zanja, Antamina, etc.).

Estándares técnicos de organismos ambientales o reguladores (OEFA, MINAM, Banco Mundial, BID).

Datos históricos de costos de implementación reportados en experiencias locales o internacionales.

Si existe este sustento, los rangos se vuelven un criterio objetivo de clasificación, ya que reflejan una escala construida a partir de información real y comparativa.

Tabla 3

Criterio de evaluación de Costo

Escala	Costo de implementación (USD/hectárea)
Bajo	Hasta 38,000
Medio	De 80,000 a120,000
Alto	Mayor de 180,000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

Criterio de evaluación de impacto.

Escala	Impacto en el usuario
Bajo	Cuando la solución es adecuada para los proyectos no requieren una gran cantidad de recursos ni tecnología avanzada y abarca los principales problemas (Sostenibilidad en el tiempo y pasivos ambientales)
Medio	Cuando la solución es adecuada para los proyectos que requieren una cierta cantidad de recursos y tecnología avanzada y abarca los principales problemas (Sostenibilidad en el tiempo y pasivos ambientales)
Alto	Cuando la solución es adecuada para los proyectos que requieren una gran cantidad de recursos y tecnología avanzada y abarca los principales problemas (Sostenibilidad en el tiempo y pasivos ambientales)

Fuente: Elaboración propia

Las ideas elegidas fueron incorporadas en el lienzo de costo-impacto (ver Tabla 4 y Figura 9), considerando los criterios de evaluación de costos y efectos establecidos previamente en las (Ver Tabla 2 y Tabla 3), con el objetivo de analizar su viabilidad y repercusión de manera integral.

La propuesta de remediación de suelos mediante tecnosoles no solo contribuye a recuperar las zonas impactadas, sino que también mejora la gestión de los residuos orgánicos e inorgánicos generados por las comunidades cercanas. El proceso comienza con una evaluación fisicoquímica preliminar del área afectada. A partir de los resultados obtenidos y del análisis de los residuos más comunes en los alrededores, se diseña una solución que permita devolver al suelo su funcionalidad original:

Los cierres de minas y/o remediación carecen totalmente de estos beneficios, sino que los ofrecen de manera parcial o con limitaciones. Por ejemplo, métodos convencionales como el uso de coberturas mecánicas, concreto proyectado o reforestación simple pueden reducir riesgos inmediatos o dar estabilidad física al terreno, pero no logran al mismo tiempo

neutralizar contaminantes, recuperar la fertilidad del suelo y generar oportunidades socioeconómicas de forma integrada.

Lo que diferencia a los tecnosoles es su carácter multifuncional y sostenible, ya que permiten combinar la neutralización química (estabilización de metales pesados, reducción del drenaje ácido) con la regeneración biológica (recuperación de la estructura y fertilidad del suelo) y el impacto social positivo (reactivación de tierras, generación de empleo local). Además, su flexibilidad para adaptarse a distintos pasivos mineros y su alineación con la economía circular refuerzan su ventaja frente a otras alternativas que suelen ser más costosas o de efecto limitado en el largo plazo

• Neutralización de contaminantes: Gracias a su composición especializada, los tecnosoles estabilizan metales pesados y otros elementos tóxicos presentes en los residuos mineros, reduciendo su movilidad en el ambiente. La incorporación de cenizas alcalinas, por ejemplo, ayuda a contrarrestar la acidez generada por el drenaje de sulfuros.

• Recuperación de la estructura del suelo: Se fortalecen sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que permite que el suelo recupere su fertilidad y se regenere el ecosistema. Este proceso impulsa la biodiversidad y reactiva los ciclos naturales que fueron alterados por la actividad minera.

• Reducción del drenaje ácido: La propuesta aborda uno de los principales desafíos ambientales de los pasivos mineros, al disminuir la formación de aguas ácidas. Esto se logra al limitar la liberación de metales tóxicos hacia ríos y fuentes subterráneas, ayudando a proteger la calidad del agua en la zona.

El impacto social negativo de los pasivos mineros, que afecta la salud, la seguridad y la calidad de vida de las comunidades, es remediado con esta tecnología mediante:

• Mejora en la salud pública: Al disminuir la contaminación del suelo y el agua, se reducen los riesgos asociados a la exposición prolongada a metales pesados y químicos tóxicos, promoviendo entornos más seguros y saludables para las personas.

• Reactivación de tierras inutilizables: La transformación de suelos degradados en áreas fértiles permite su aprovechamiento para fines agrícolas, ganaderos o forestales, generando nuevas oportunidades económicas para las comunidades.

•Fomento de empleo local: El desarrollo de tecnosoles implica la participación de pobladores locales en actividades como la recolección de materiales, la aplicación de la tecnología y el seguimiento del proceso de restauración, fortaleciendo la economía regional.

La implementación de tecnosoles está alineada con un modelo sostenible que busca maximizar los beneficios económicos y minimizar los impactos ambientales a través de:

• Aprovechamiento de residuos: Esta solución utiliza materiales reciclados, como residuos sólidos y cenizas, promoviendo la economía circular al transformar desechos en recursos útiles para la rehabilitación ambiental.

•Reducción de la huella ambiental: Al evitar el uso de materiales importados y reducir el transporte, se disminuyen las emisiones de gases contaminantes, contribuyendo a mitigar el cambio climático.

•Reforzamiento del tejido social: Involucrar activamente a las comunidades en el proceso fortalece los lazos entre las empresas mineras y su entorno, ayuda a reducir posibles conflictos sociales y mejora la imagen del sector ante la población.

La naturaleza innovadora de los tecnosoles permite su personalización según las características específicas de cada pasivo minero. Esta tecnología puede replicarse en otras regiones mineras del Perú y del mundo, logrando un impacto más amplio y significativo.

La presenta las acciones propuestas dentro del análisis de costo–impacto (Ver Tabla 5) para la implementación de medidas de cierre y rehabilitación de minas. Cada acción se

evalúa en términos de su costo estimado (bajo, medio, alto) y del nivel de impacto que puede generar (bajo, medio, alto), lo que permite priorizar intervenciones con mayor eficiencia.

En primer lugar, se observa que acciones como la auditoría periódica de los cierres de minas (A1) y la creación de alianzas estratégicas para el reciclaje de residuos (A3) requieren un costo medio, pero generan un impacto alto, lo que las convierte en estrategias clave para garantizar cumplimiento regulatorio y sostenibilidad operativa.

Asimismo, el uso de tecnosoles (A2) y la aplicación de técnicas de bio-remediación y barreras vegetales (A6) presentan un costo alto, aunque también ofrecen un alto impacto ambiental, al neutralizar contaminantes, mejorar la calidad del suelo y promover la recuperación de los ecosistemas.

Por otro lado, medidas como la implementación de planes de seguimiento del suelo y agua (A4) y el uso de biomasa y residuos orgánicos para compost (A5) se sitúan en un rango de costo bajo a medio, pero igualmente generan un impacto alto, lo que las convierte en alternativas eficientes y de rápida aplicabilidad para proyectos de cierre progresivo.

En conjunto, los resultados muestran que existe un equilibrio entre acciones de costo moderado y alto impacto (A1, A3, A4, A5) y aquellas de costo más elevado, pero con beneficios ambientales significativos (A2, A6). Esto evidencia la importancia de combinar estrategias de bajo costo y rápida implementación con intervenciones más complejas, pero de alto valor ambiental y social en el largo plazo.

Tabla 5

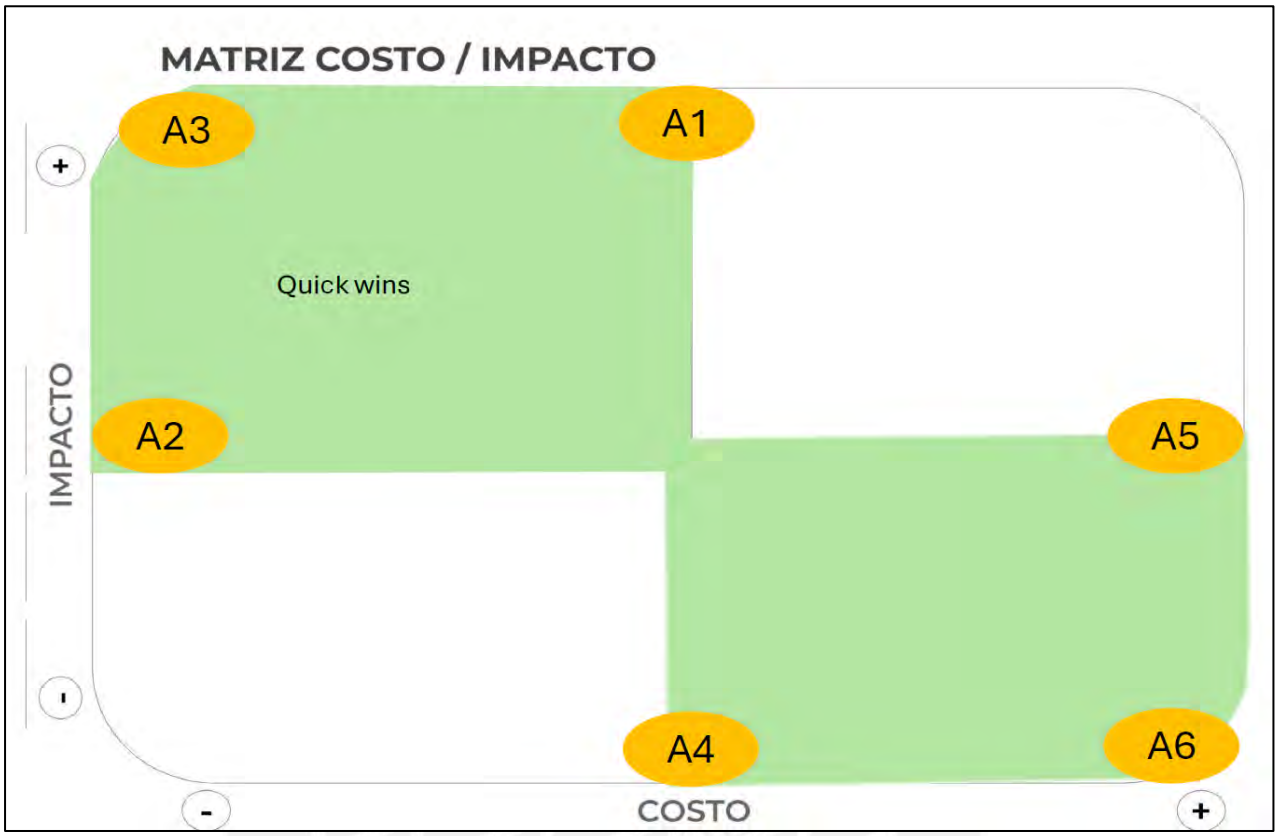
Acciones propuestas del lienzo costo impacto.

	Acciones Propuestas	Costo			Impacto		
		Bajo	**Media**	**Alta**	**Bajo**	**Media**	**Alta**
A1	Implementar un sistema de auditoría interna y externa periódica que evalúe el cumplimiento de los cierres de minas progresivo.		X				X
A2	Uso de tecnosoles, que neutralizan contaminantes y mejorar la calidad del suelo.			X		X	
A3	Alianzas estratégicas con empresas especializadas y/o municipalidades en reciclaje para gestionar adecuadamente los residuos solidos	X					X
A4	Implementar planes para el seguimiento, donde se evalué la calidad del suelo, agua y la recuperación del área para que se pueda garantizar su reutilización futura		X		X		
A5	Uso de biomasa y residuos orgánicos para compost que permiten reutilización del área para actividades agrícolas futuras			X		X	
A6	Uso de técnicas de bio-remediación, empleando plantas que absorban contaminantes y mejoren la calidad del suelo. Instalación de barreras vegetales			X	X		

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Matriz Costo Impacto



4.1.3 Lienzo blanco de relevancia

Se aplicó la metodología innovadora y ágil *Lean Startup*, que se estructura en tres fases: construir, medir y aprender. A continuación, se describen las actividades realizadas en cada una de ellas. En la primera etapa, correspondiente a la fase de construcción, se definieron las ideas clave que darían forma al primer prototipo del negocio, priorizando aquellas que representaban "*quick wins*" o resultados rápidos y efectivos.

En los casos revisados de cierres de minas en el Perú y en otras regiones andinas, la aplicación de tecnosoles ha demostrado ser una alternativa innovadora para la recuperación de áreas degradadas. En proyectos como La Zanja (Cajamarca), el uso de suelos artificiales formulados con residuos orgánicos y minerales locales permitió restablecer la cobertura vegetal y mejorar la infiltración hídrica, favoreciendo la

estabilización de los taludes y la reducción de la erosión. De manera similar, en experiencias piloto vinculadas a Antamina, se observó que la incorporación de tecnosoles facilitó el desarrollo de especies nativas adaptadas a condiciones de altura, mejorando la resiliencia ecológica del entorno.

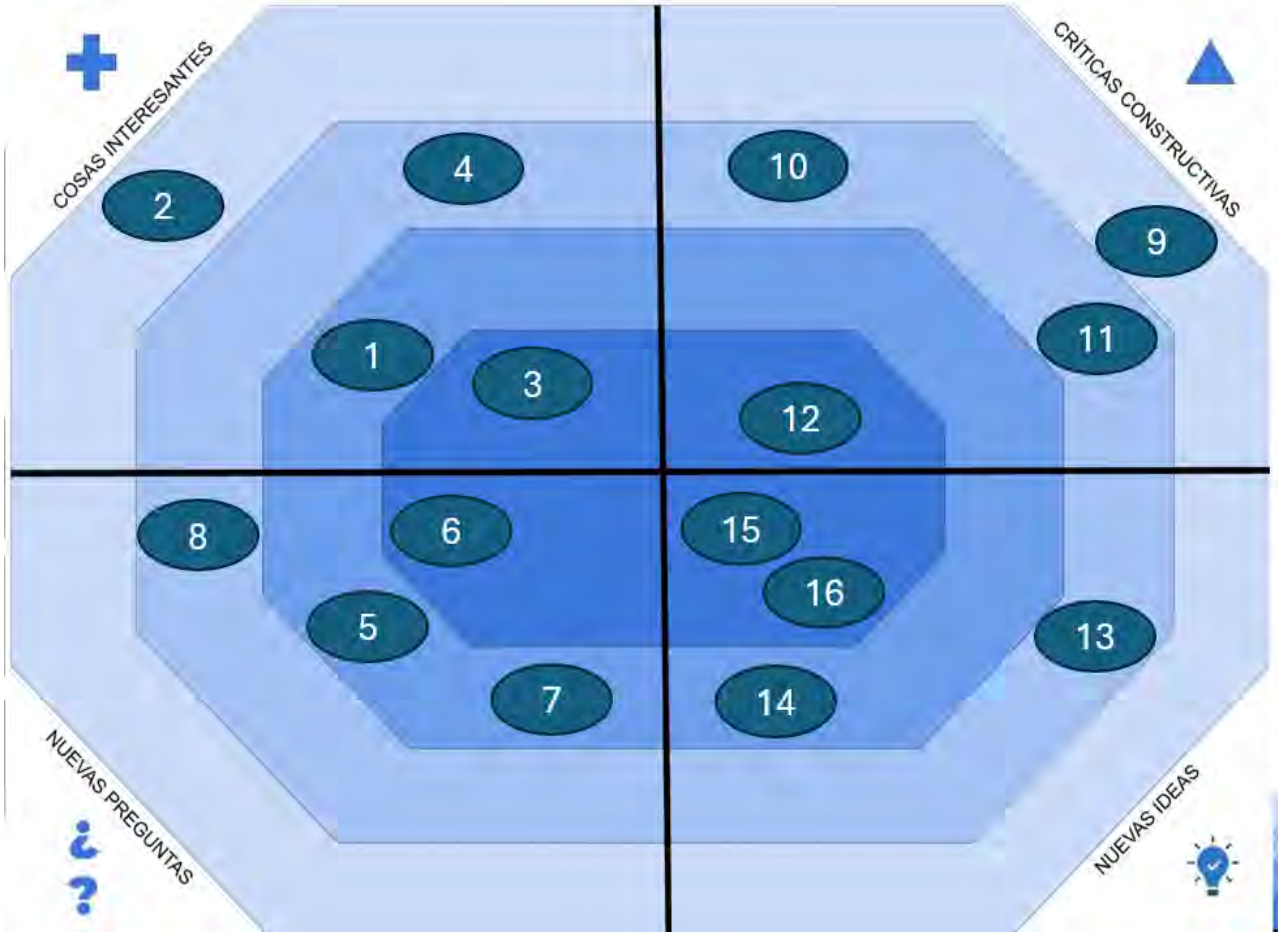
Los resultados indican que, si bien los costos de implementación pueden variar entre 38,000 y más de 180,000 USD por hectárea según la escala, estos se justifican por los beneficios ambientales y sociales obtenidos: restauración de servicios ecosistémicos, reducción del pasivo ambiental y generación de confianza en las comunidades locales. Asimismo, los cierres de minas con tecnosoles destacan frente a los métodos convencionales, ya que no se limitan a la cobertura superficial del depósito, sino que generan un suelo funcional con capacidad productiva, lo cual abre oportunidades adicionales en agricultura y proyectos de revegetación sostenida.

En síntesis, la evidencia disponible demuestra que los cierres de minas con tecnosoles no solo cumplen con las exigencias regulatorias, sino que además aportan valor agregado al integrar prácticas de economía circular y gestión sostenible de residuos, fortaleciendo la viabilidad de estos proyectos en el largo plazo.

Como punto de partida, se desarrolló una propuesta centrada en la capa superior de los tecnosoles, diseñada para replicar la estructura y funciones del suelo natural. Esta capa es fundamental, ya que crea las condiciones adecuadas para el crecimiento de la vegetación, la actividad microbiana y la regeneración de un ecosistema autosostenible. Este enfoque se representa gráficamente (Ver Figura 10).

Figura 10

Lienzo blanco de relevancia.



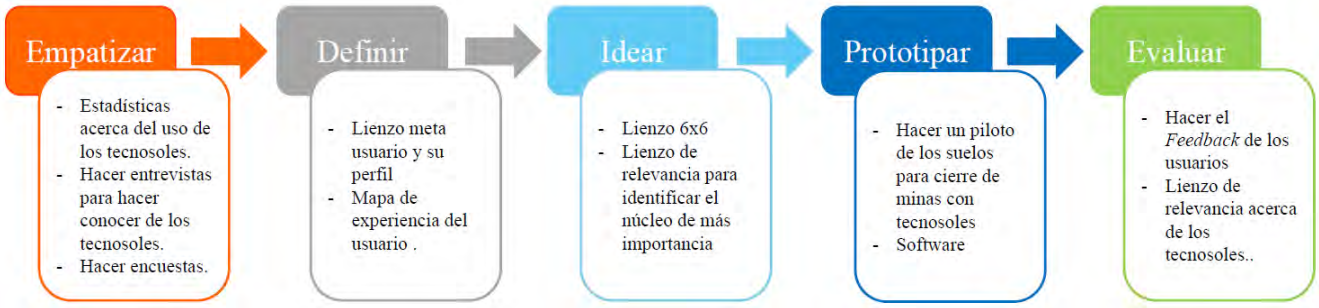
Descripción	
Los tecnosoles se forman con materiales como cenizas, escorias y escombros, creando suelos funcionales para la recuperación ambiental.	1
Los tecnosoles ayudan a prevenir la erosión, reducir la contaminación ambiental y promover la biodiversidad.	2
Los tecnosoles mejora la capacidad de retención de agua, la aireación y la disponibilidad de nutrientes del suelo, lo que lo hace más propicio para el crecimiento de las plantas.	3
El uso de tecnosoles para el cierre de minas no se limita a una región específica, ya que pueden adaptarse a distintos contextos geográficos y condiciones climáticas.	4
Los beneficios de utilizar residuos agroindustriales en la fabricación de tecnosoles incluyen el aprovechamiento de materiales locales, la reducción de desechos y la generación de suelos fértiles y productivos	5
La planificación debe considerar residuos disponibles, condiciones locales y participación comunitaria.	6
Se requieren políticas y regulaciones que aseguren estándares de calidad y promuevan su uso.	7
Contribuyen al secuestro de carbono y a la reducción de gases de efecto invernadero.	8
La falta de estandarización puede generar inconsistencias en calidad y efectividad.	9
Si bien se sabe que las comunidades microbianas desempeñan un papel crucial en la recuperación del ecosistema, aún se requiere mayor investigación para comprender y potenciar su interacción con los tecnosoles en diferentes contextos.	10
La rehabilitación de los tecnosoles se puede requerir enfoques integrados que consideren factores sociales, económicos y ambientales, que pueden ser complejos y difíciles de implementar.	11
La percepción pública puede ser un reto si se consideran "suelos artificiales".	12
Desarrollo de tecnosoles adaptados a las condiciones y requisitos únicos de los sitios mineros individuales, teniendo en cuenta factores como el clima, la geología y las características de los desechos.	13
El uso de microorganismos mejora la seguridad ambiental y la eficacia del proceso.	14
Empleando técnicas de biolixiviación para recuperar metales de los residuos mineros, reduciendo los volúmenes de residuos y generando recursos valiosos.	15
La combinación con tecnologías como biorremediación y fitorremediación hace más efectivas y sostenibles las estrategias.	16

4.2. Desarrollo de la narrativa

Para diseñar la propuesta de solución, se empleó la metodología *Design Thinking*, desarrollando cada una de sus cinco etapas: empatizar con los usuarios, definir el problema, generar ideas, construir prototipos y finalmente evaluar su efectividad.

Figura 11

Lienzo Design Thinking



Durante la fase de empatizar, se reconoció y analizó en profundidad la problemática asociada a la actividad minera, enfocándose especialmente en los desafíos que implica el cierre de minas y la necesidad de asegurar que este proceso sea sostenible a lo largo del tiempo.

Se concluyó que la disminución de los pasivos ambientales está estrechamente ligada a la participación y coordinada de distintos actores: empresas mineras, entidades del gobierno, comunidades locales impactadas por los cierres de mina, organizaciones ambientales y especialistas en rehabilitación ecológica. Uno de los desafíos más importantes detectados en esta etapa fue la complejidad de recuperar los servicios ecosistémicos, lo que pone en evidencia la urgencia de implementar soluciones sostenibles e innovadoras.

Durante la etapa de definición, se plantearon soluciones tecnológicas innovadoras adaptadas a las particularidades de los entornos donde se realiza el cierre de minas, destacando el uso de tecnosoles como una estrategia central para la remediación ambiental. En esta fase también se identificaron diversas oportunidades, como la posibilidad de reducir costos operativos, mejorar los resultados ambientales mediante el uso de suelos

regenerativos, fomentar una mayor participación de las comunidades en la implementación y el seguimiento del proceso, y abrir nuevas vías de negocio y generación de ingresos para empresas locales.

En la fase de idear se diseñaron estrategias para la aplicación de tecnosoles personalizados según las características de cada unidad minera. Se plantearon acciones como: Integración de tecnosoles con hidrosiembra y otras estrategias de rehabilitación, implementación de sensores y sistemas de monitoreo para realizar el seguimiento del rendimiento de tecnosoles y los resultados ambientales y desarrollo de iniciativas comunitarias para la educación y adopción de tecnosoles,

En la etapa de prototipar, los cierres de minas con métodos tradicionales suelen resultar en tierras degradadas, pérdida de biodiversidad y contaminación ambiental debido a la ineficiencia de los métodos de rehabilitación convencionales. A través de principios del *Design Thinking* se desarrolló un prototipo de sistema de rehabilitación basado en tecnosoles ofreciendo una solución escalable, sostenible y efectiva para la restauración de ecosistemas degradados.

En la fase de evaluación, el prototipo fue presentado a un grupo de 16 usuarios, quienes ofrecieron valiosos aportes en forma de ideas, críticas y sugerencias para perfeccionar la solución propuesta. Este proceso se desarrolló de manera iterativa, integrando la retroalimentación recibida para mejorar la propuesta y ajustar los flujos operativos en cada etapa del proceso de rehabilitación.

El resultado de este análisis fue reflejado en el Lienzo Blanco de Relevancia (ver Figura 10), garantizando que la solución responda a las necesidades reales del usuario y esté alineada con los principios de eficiencia, sostenibilidad y recuperación ambiental. No obstante, se reconoce que el modelo aún requiere evaluaciones adicionales y ajustes continuos para perfeccionar su implementación a gran escala.

4.3. Carácter innovador del producto o servicio

La innovación del uso de tecnosoles en el cierre de minas se basa en su capacidad para ofrecer una solución sostenible y eficaz en la rehabilitación de terrenos degradados (Fernández-Caliani et al., 2024; Bosch-Serra et al., 2025). Estos suelos artificiales, elaborados a partir de mezclas de materiales orgánicos e inorgánicos, presentan importantes ventajas frente a los métodos tradicionales de recuperación, al mejorar la calidad del suelo y favorecer la regeneración de la vegetación (Aguilar-Garrido et al., 2023; Watteau et al., 2025). Entre sus principales beneficios destacan la sostenibilidad a largo plazo y la reducción en los requerimientos de mantenimiento, gracias a su composición equilibrada y respetuosa con el medio ambiente (Khelifi et al., 2025; Van Coller et al., 2024).

Actualmente, esta tecnología ya se aplica en países como Ghana, Australia, Zambia, México, España y Canadá, adaptándose a las necesidades de cada tipo de suelo. En el caso del Perú, un valor añadido sería el aprovechamiento de cenizas en su preparación, ya que los pasivos ambientales locales suelen estar relacionados con aguas ácidas, y las cenizas por su carácter básico pueden cumplir una función clave en su neutralización.

Se considera una innovación incremental porque, aunque la restauración de suelos degradados no es un concepto nuevo, los tecnosoles aportan mejoras sustanciales frente a los métodos convencionales. Su principal aporte radica en el uso de materiales locales orgánicos, inorgánicos y cenizas que hacen el proceso más sostenible y económico. Diversos estudios recientes confirman estos beneficios: Fernández-Caliani et al. (2024) demostraron su eficacia para neutralizar suelos ácidos con alta presencia de hierro; Aguilar-Garrido et al. (2023) evidenciaron mejoras en la fertilidad del suelo y en el establecimiento de la vegetación; y Bosch-Serra et al. (2025) comprobaron que incrementan de manera significativa el carbono orgánico y la funcionalidad del suelo en pocos años.

En el caso peruano, se trata de una tecnología aún poco aplicada, pero con alto potencial para optimizar la gestión del cierre de minas. Esto permite clasificarlos como una innovación incremental, ya que perfeccionan técnicas existentes, pero con un carácter parcialmente disruptivo al introducir soluciones adaptadas al contexto local que fortalecen tanto la sostenibilidad ambiental como el impacto social (Khelifi et al., 2025; Van Coller et al., 2024).

En conclusión, los tecnosoles se posicionan como una innovación incremental con elementos disruptivos, especialmente en el contexto peruano, donde su aplicación es aún incipiente y puede transformar significativamente las prácticas de remediación ambiental.

4.4. Propuesta de valor

De acuerdo con Osterwalder (2019), la propuesta de valor consiste en lograr una conexión adecuada entre los principales beneficios que ofrece un producto o servicio y las verdaderas necesidades del cliente. Esta relación se representa mediante una herramienta visual conocida como el Lienzo de Propuesta de Valor.

Para este caso el directivo minero es nuestro usuario objetivo, para construir un plan de cierre de mina sostenible, analizando aspectos clave como sus motivaciones, frustraciones y las actividades que las provocan o alivian. Esto permitió establecer una correspondencia clara entre las tareas del usuario y lo que la propuesta de valor ofrece (ver Figura 12). A partir de este análisis, se desarrollan los siguientes apartados:

Trabajos del usuario: El usuario minero desempeña un papel fundamental donde deberá garantizar que el cierre de mina se realice de manera responsable y sostenible, y que el uso de tecnosoles se integre en el proceso de rehabilitación de una manera que maximice los beneficios ambientales y sociales permitiendo así un relacionamiento comunitario positivo genera flujo económico en la zona de influencia.

Alegrías: Las alegrías hacen referencia a los resultados positivos y beneficios que los usuarios esperan, desean o consideran necesarios. En este caso, se identificó que nuestro usuario ideal aspira a realizar un cierre de mina utilizando tecnosoles, con la meta de asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales y evitar posibles sanciones derivadas de la generación de pasivos ambientales.

Frustraciones: El usuario minero suele enfrentarse a múltiples preocupaciones y desafíos durante el proceso de cierre de mina. Entre los más relevantes están los posibles daños ambientales, como la contaminación del suelo y el agua, así como la afectación de hábitats naturales, que pueden surgir a raíz de un cierre mal gestionado. También existe el riesgo de perder la confianza por parte de la sociedad, tanto en la industria minera como en las instituciones que la supervisan. Además, la falta de una planificación adecuada puede traducirse en consecuencias ambientales y sociales negativas a largo plazo, dificultando una transición responsable hacia el cierre definitivo de las operaciones.

Generador de alegrías: El uso de tecnosoles brinda al usuario una serie de beneficios adicionales. Entre ellos, la posibilidad de diseñar suelos personalizados según las características específicas de cada unidad minera, lo que permite un enfoque más eficiente y adaptado. Además, se promueve el uso de materiales locales, lo que ayuda a reducir tanto los costos como el impacto ambiental asociado a su producción. Otro aspecto clave es la participación de las comunidades en el monitoreo y seguimiento del desempeño de los tecnosoles, lo que garantiza el cumplimiento de los objetivos de rehabilitación y refuerza el compromiso social. A esto se suma la incorporación de tecnologías innovadoras, como sensores inteligentes y herramientas de análisis de datos, que permiten optimizar su funcionamiento y asegurar resultados más sostenibles.

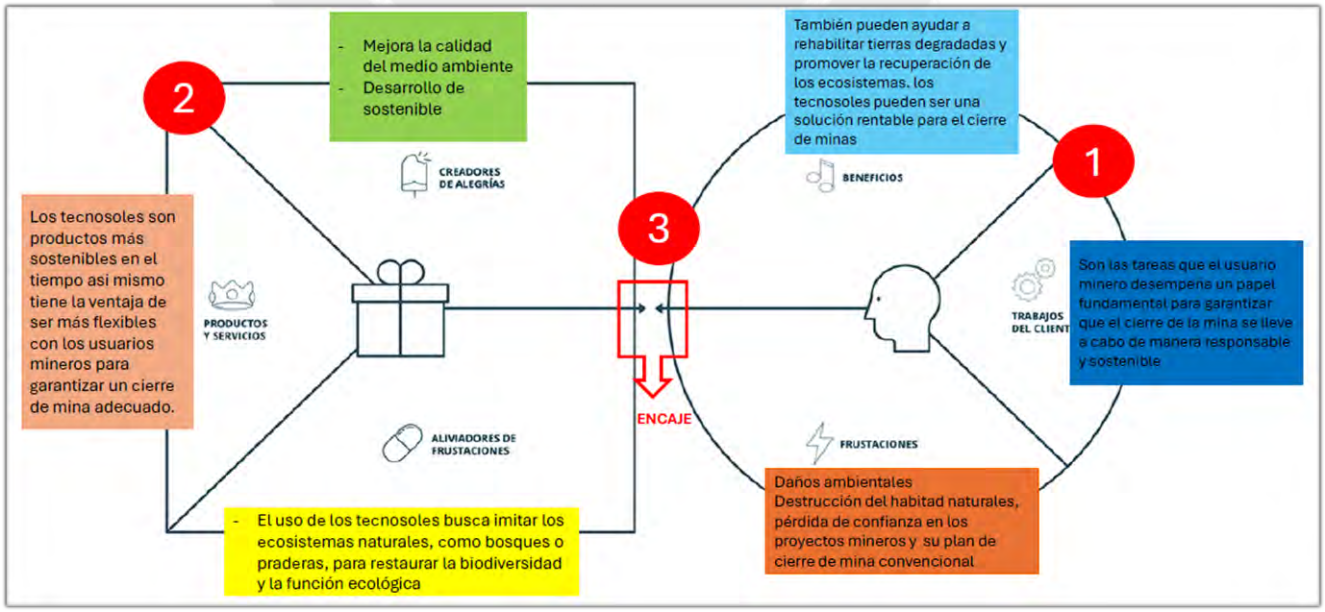
Aliviadores de frustraciones: El uso de los tecnosoles busca imitar los ecosistemas naturales, como bosques o praderas, para restaurar la biodiversidad y la función ecológica. El

desarrollo de tecnosoles permitirá luego en las áreas rehabilitadas la producción de energías verdes y/o renovables, como son las turbinas eólicas y paneles solares. La creación de tecnosoles permite una agricultura sostenible, como huertas o granjas verticales.

Solución: Los tecnosoles generan beneficios ambientales relevantes al contribuir a la reducción de los impactos negativos de la minería. Permiten disminuir los volúmenes de relaves y material estéril que deben almacenarse, al mismo tiempo que favorecen la revegetación de suelos degradados y la recuperación de ecosistemas alterados. Lo que los convierte en una alternativa diferencial para el cliente es que, además de cumplir con los estándares ambientales, representan una opción más económica y sostenible frente a los métodos tradicionales, al reducir los costos de mantenimiento en el tiempo y mejorar la imagen corporativa frente a la comunidad y las autoridades. Su capacidad de adaptarse a las condiciones específicas de cada mina mediante el aprovechamiento de insumos locales refuerza su valor añadido como solución personalizada y eficiente para los procesos de cierre.

Figura 12

Lienzo que muestra cómo el negocio responde a las necesidades del cliente.



4.5. Producto mínimo viable (PMV)

Se desarrollo el producto mínimo viable, se siguieron diversas etapas apoyadas en metodologías de innovación y sostenibilidad a largo plazo para cierre de mina. A través de un primer *sprint* y en base a los consensos del equipo, se creó una versión inicial del prototipo. Posteriormente, este fue presentado a 8 usuarios, quienes compartieron sus experiencias y brindaron valiosa retroalimentación que permitió mejorar significativamente el producto. Tras incorporar sus sugerencias en la formulación final, se concluyó que la opción más adecuada es el uso de tecnosoles como solución para lograr un cierre de mina sostenible en el tiempo, cumpliendo con la normativa vigente y evitando la generación de nuevos pasivos ambientales, para nuestro producto se realizara con maquinaria y material como se muestra (Ver Figura 13 y Figura 14), donde se tendrá como resultado un tecnosol como se muestra (Ver Figura 15), y nuestro logo que nos caracterizara como empresa (Ver Figura 16).

Para la producción de los tecnosoles se considerará la mezcla de material orgánico más los residuos sólidos y cenizas que neutralizaran la generación de agua ácida ante el contacto con la lluvia.

El Producto Mínimo Viable (PMV) propuesto en el contexto del cierre de minas con tecnosoles tiene como objetivo principal validar en campo la efectividad técnica, ambiental y social de esta tecnología.

Nuestro servicio para cierre de mina con tecnosoles inicia con el desarrollo de la construcción de una celda piloto en un pasivo minero representativo, considerando un área de prueba de aproximadamente 10 m x 10 m esto será el PMV. Se utilizarán suelos locales, residuos mineros estabilizados y enmiendas orgánicas para formar el tecnosol. Esta mezcla será evaluada bajo condiciones controladas para verificar su capacidad de retención de agua, estabilización de metales pesados y soporte de cobertura vegetal.

Las etapas del PMV incluyen:

- ✓ Instalación de la celda piloto con tecnosoles, medición inicial de parámetros fisicoquímicos.
- ✓ Monitoreo periódico de la evolución del pH, conductividad, humedad y otros parámetros críticos.
- ✓ Observación del comportamiento de especies vegetales nativas en el sustrato durante 12 meses.
- ✓ Interacción comunitaria con sesiones de capacitación, validación social y recolección de percepciones.

Evaluación final de desempeño técnico, económico y social del PMV.

Este PMV busca ser un modelo replicable, de bajo costo y alto impacto, capaz de ofrecer una solución sostenible y socialmente aceptada para el cierre progresivo de pasivos ambientales en zonas mineras. La información recolectada servirá como insumo técnico y normativo para su futura escalabilidad e inclusión en políticas públicas y el valor proyectado del PMV le corresponde en la mejora de los siguientes aspectos como se muestra en la Figura 17.

- ✓ Técnico: Verifica viabilidad en campo, resistencia a la erosión y capacidad de revegetación.
- ✓ Ambiental: Reduce pasivos mineros al transformar materiales contaminantes en suelos funcionales.
- ✓ Social: Mejora la percepción del cierre minero y genera oportunidades de empleo en viveros, siembra, monitoreo.
- ✓ Económico: Alternativa más asequible frente a coberturas convencionales con geomembranas o suelos importados.

Para ello se tendrá algunos resultados a corto plazo como es:

- ✓ Cobertura vegetal inicial del 60% en 6 meses.
- ✓ Reducción del escurrimiento ácido en más del 30%.

- ✓ Mejora de percepción comunitaria en encuestas base/final.
- ✓ Escalabilidad del modelo en otras minas medianas en Perú.

Figura 13

Material orgánico más residuos solidos

Figura 14

Mezcladora del material organizo más los residuos sólidos y las cenizas.

Figura 15

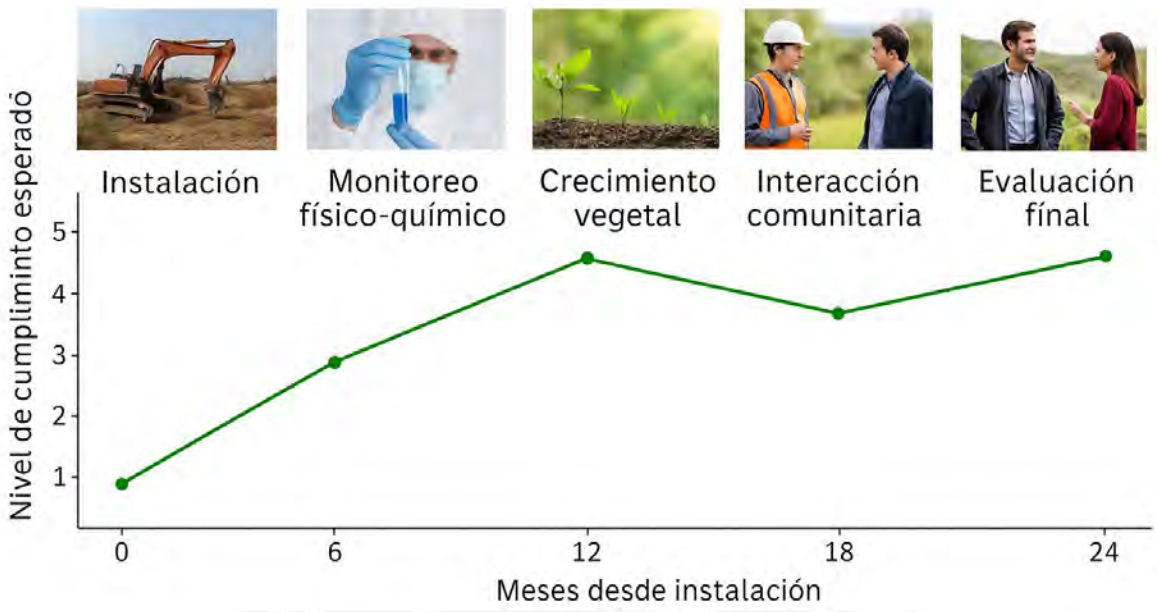
Tecnosoles para cierre de minas.

Figura 16

Logo del tecnosoles

Figura 17

Producto mínimo viable de tecnosoles para cierre de minas



Capítulo V. Modelo de Negocio

Este capítulo desarrolla el modelo de negocio de EcoSuelo, una solución tecnológica basada en tecnosoles orientada al cierre sostenible de operaciones mineras. Se presenta un análisis de viabilidad financiera bajo un enfoque conservador, evaluando su rentabilidad potencial, escalabilidad operativa y sostenibilidad a largo plazo. Asimismo, se destaca su alineamiento con estándares ambientales y normativos, y su valor como herramienta estratégica para la gestión de pasivos mineros.

5.1. Lienzo del modelo de negocio

Para diseñar el modelo de negocio de los tecnosoles, se aplicó la metodología *Business Model Canvas*, generando una primera versión que fue posteriormente perfeccionada (ver Figura 18). Lo que permitió elaborar una primera versión preliminar que posteriormente fue perfeccionada mediante sesiones de retroalimentación. Esta validación se realizó en coordinación con especialistas del sector minero y ambiental, representantes de comunidades locales y académicos vinculados a la gestión de suelos y cierre de minas, con el fin de asegurar que la propuesta fuera técnicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente aceptada.

Este enfoque metodológico no se desarrolló de manera aislada, sino que se nutrió de los análisis previos presentados en los capítulos anteriores, especialmente aquellos relacionados con el diagnóstico del problema, la revisión de experiencias de cierre de minas (como La Zanja) y la evaluación de criterios técnicos y económicos. De esta forma, el BMC permitió integrar los hallazgos previos en una propuesta estructurada que articula la generación de valor ambiental con la factibilidad de implementación en el mercado.

Los socios clave: Se ha identificado actores estratégicos que contribuirán a su éxito, como municipalidades cercanas a los proyectos mineros y comunidades que participarán en el reciclaje y aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de tecnosoles,

universidades y centros de investigación encargados de realizar estudios de suelos, validaciones y certificaciones de calidad, autoridades comunitarias y organismos de regulación que supervisaran la correcta aplicación y cumplimiento de normativas ambientales.

En el proceso de construcción del modelo de negocio de los tecnosoles, además de la revisión bibliográfica y el análisis de casos de éxito (como La Zanja), se buscó recoger retroalimentación preliminar de actores estratégicos vinculados al proyecto. Estos incluyeron:

Empresas mineras interesadas en alternativas de cierre sostenible.

Instituciones públicas y organismos reguladores (como MINAM y OEFA), que establecen lineamientos y criterios de cumplimiento.

Municipalidades y comunidades locales, como potenciales usuarios y beneficiarios de la recuperación de áreas degradadas.

Academia y centros de investigación, que aportan respaldo técnico y validación científica.

Si bien el ejercicio no constituyó un piloto formal, se generaron espacios de diálogo (entrevistas semiestructuradas, talleres exploratorios y revisión documental) que permitieron identificar fortalezas y oportunidades de mejora del modelo. Este *feedback* contribuyó a perfeccionar bloques como:

Propuesta de valor: Reforzando la idea de tecnosoles como solución integral de remediación + productividad futura (agricultura, obras civiles).

Alianzas clave: Resaltando la importancia de convenios con universidades, municipios y recicladores de residuos agroindustriales.

Estructura de costos: Subrayando la necesidad de diferenciar entre proyectos piloto y proyectos de gran escala.

Segmentos de clientes: Ajustando la estrategia para atender tanto al sector minero (cumplimiento normativo) como a sectores agrícolas y municipales (uso alternativo de los tecnosoles).

Las actividades clave dentro del modelo de negocio incluyen; capacitación y sensibilización, recolección y aprovechamiento de residuos orgánicos, permitiendo una economía circular y desarrollo y certificación, asegurando que cumpla con estándares ambientales y de calidad.

Los recursos clave; los elementos esenciales para la ejecución del negocio incluyen materiales orgánicos y residuos recolectados de comunidades, personal especializado en conocimiento de suelos, remediación ambiental y cierre de mina, maquinaria y equipo tecnológico, infraestructura y centro de acopio en cada unidad minera.

La propuesta de valor de los tecnosoles se centra en brindar una alternativa sostenible, innovadora y económicamente viable para el cierre de minas. Esta solución destaca por su capacidad de adaptarse a las necesidades específicas de cada operación y tipo de suelo, lo que permite una intervención más eficiente. Su diseño prioriza el bajo consumo de agua ideal para zonas con escasez hídrica y aprovecha residuos sólidos, impulsando prácticas de economía circular. Además, contribuye a la reducción de la huella de carbono y a la recuperación de ecosistemas, promoviendo la biodiversidad y devolviendo vida a suelos degradados.

La propuesta de valor de los tecnosoles se diferencia de otras alternativas convencionales de cierre de minas por varios aspectos clave:

Frente a la cobertura con material inerte (geomembranas, capas de arcilla o suelo compactado): los tecnosoles no se limitan a sellar pasivos mineros, sino que generan un suelo funcional con capacidad productiva. Esto permite no solo contener contaminantes, sino

también restaurar servicios ecosistémicos (fertilidad, retención de agua, revegetación con especies nativas).

Frente a la revegetación superficial con siembra directa: los tecnosoles ofrecen mayor sostenibilidad a largo plazo, ya que mejoran las propiedades físico-químicas del sustrato, favoreciendo el crecimiento de la vegetación de manera permanente y no dependiente de insumos externos.

Frente a soluciones de alto consumo hídrico (riego intensivo o coberturas vegetales exóticas): los tecnosoles están diseñados para ser más eficientes en el uso de agua, lo que los hace particularmente valiosos en zonas altoandinas o con limitaciones hídricas.

Frente a tecnologías de cierre convencionales en minería: incorporan un enfoque de economía circular, al aprovechar residuos agroindustriales, lodos de plantas de tratamiento y biomasa, transformándolos en insumos útiles para la rehabilitación de suelos.

En términos de impacto ambiental y social: además de cumplir con las exigencias regulatorias, los tecnosoles aportan beneficios adicionales al reducir la huella de carbono, promover la biodiversidad y mejorar la aceptación social de los proyectos mineros al devolver vida a áreas degradadas.

En conjunto, estas características posicionan a los tecnosoles no solo como una medida de cumplimiento normativo, sino como una estrategia integral y diferenciadora que transforma los cierres de minas en oportunidades de regeneración ambiental y desarrollo sostenible.

La estrategia de relación con el cliente se basa en un vínculo directo y personalizado con las empresas mineras y contratistas, brindando atención adaptada a sus necesidades específicas. Asimismo, se impulsa la colaboración activa con organismos reguladores y comunidades locales, lo que fortalece la aceptación social del proyecto y facilita su integración en los planes de cierre de mina de forma responsable y sostenible.

Los canales de distribución de los tecnosoles para este modelo de negocio contempla diversos canales de distribución orientados a asegurar la adopción y escalabilidad de los tecnosoles:

Venta directa a empresas mineras y contratistas especializados en cierre de minas.

Este será el canal principal, dado que las compañías mineras constituyen los clientes prioritarios al estar obligadas a ejecutar planes de cierre progresivo y final. La venta directa facilita el acompañamiento técnico, la integración del producto en los cronogramas de cierre y la adaptación de la formulación de los tecnosoles a las condiciones específicas de cada operación.

Alianzas estratégicas con organismos gubernamentales y entidades reguladoras.

Se explorarán convenios con el Ministerio del Ambiente (MINAM), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y gobiernos regionales, para promover la implementación de tecnosoles en proyectos de remediación ambiental de pasivos mineros a gran escala. Este canal también permitirá acceder a programas de financiamiento público e incentivos regulatorios.

Proyectos piloto y convenios con universidades y centros de investigación.

Estos espacios servirán como canal indirecto de posicionamiento y validación, al demostrar resultados técnicos y ambientales medibles. Además, fortalecen la legitimidad del producto frente a la comunidad científica y las comunidades locales.

Participación en ferias, congresos y plataformas del sector minero y ambiental.

Eventos como PERUMIN, Expomina y simposios de cierre de minas constituyen canales de difusión clave, al permitir presentar casos de éxito, generar confianza y establecer contactos con potenciales clientes y aliados estratégicos.

Canales digitales y plataformas de sostenibilidad corporativa.

La difusión a través de páginas web, redes profesionales (LinkedIn) y reportes de sostenibilidad de las empresas mineras permitirá visibilizar la propuesta de valor de los tecnosoles, reforzando su imagen como solución innovadora y ambientalmente responsable.

Segmentación de clientes: El modelo de negocio se orienta a empresas mineras con obligaciones de cierre de mina, contratistas ambientales especializados en remediación de suelos, así como a entidades públicas y organismos ambientales que gestionan pasivos ambientales.

Estructura de costos: Incluye costos de producción de tecnosoles (materia prima, formulación y aplicación), inversión en I+D para adaptación a distintas condiciones edafoclimáticas, costos de marketing y vinculación con stakeholders, y gastos vinculados a certificaciones técnicas y ambientales requeridas por la normativa.

Segmento de clientes: Este proyecto está dirigido a compañías mineras, proveedores especializados en cierre de minas, gobiernos y entidades ambientales comprometidas con soluciones sostenibles.

Costos operativos: El modelo contempla gastos en producción, innovación tecnológica, marketing estratégico y certificaciones necesarias, priorizando la eficiencia económica y el cumplimiento regulatorio.

Las fuentes de ingreso, el modelo financiero se basa en la venta de tecnosoles a empresas mineras y contratistas Servicios complementarios que realizará el cierre de minas con tecnosoles tendrá como servicios complementarios como son:

Mantenimiento de las zonas intervenidas.

Donde incluye:

- ✓ Monitoreo del desarrollo de la vegetación (cobertura, biodiversidad).
- ✓ Medición de parámetros fisicoquímicos del suelo y agua (pH, infiltración, contenido de nutrientes).

- ✓ Manejo de plagas o control de erosión.

  Esto garantiza la sostenibilidad a largo plazo del cierre de mina y puede pactarse en contratos de 3–5 años, generando ingresos recurrentes.

- ✓ Consultoría técnica especializada.

  Asesoría para la formulación de tecnosoles en diferentes contextos geológicos y climáticos.

- ✓ Capacitación y transferencia tecnológica.

  Programas para entrenar al personal de las empresas o comunidades locales en la aplicación y monitoreo de tecnosoles.

- ✓ Licenciamiento de la tecnología.

  A futuro, el modelo podría incluir licencias a contratistas u operadores regionales para usar la metodología bajo estándares definidos.

El cierre de mina con tecnosoles se tendrá un margen de ganancia del 20% en el primer año, incrementándose en 5% anualmente en función de la escalabilidad del negocio.

Primer año: margen de 20%

En la fase inicial, los costos fijos y variables son más altos en proporción (inversión en equipos, investigación, promoción, pilotos, personal especializado).

Un 20% de margen neto es razonable porque permite cubrir riesgos iniciales sin fijar expectativas poco realistas, y al mismo tiempo resulta atractivo para inversionistas y socios.

Incremento del 5% anual

A medida que el negocio escala, los costos unitarios de producción disminuyen gracias a economías de escala (compras en volumen, procesos automatizados, aprendizaje operativo).

La optimización de procesos y la experiencia acumulada reducen desperdicios y tiempos, lo que incrementa la eficiencia.

La confianza en el mercado y el posicionamiento permiten negociar mejores precios con clientes (empresas mineras, contratistas, organismos públicos).

Con la expansión de la demanda y la diversificación de aplicaciones (agricultura, obras civiles, proyectos ambientales), la estructura de ingresos mejora.

Progresión lógica

Año 1: 20% → negocio en validación y primeras ventas.

Año 2: 25% → reducción de costos y primeras economías de escala.

Año 3: 30% → consolidación de clientes recurrentes y procesos más eficientes.

Año 4–5: 35–40% → maduración del modelo con diversificación de mercados y alianzas estratégicas.

El lienzo del modelo de negocio fue elaborado a partir de la metodología *Business Model Canvas* y validado mediante la revisión de literatura especializada, experiencias internacionales y el contraste preliminar con actores relevantes identificados en capítulos anteriores (municipalidades del Área de Influencia Directa (AID), comunidades, universidades y especialistas en cierre de minas). Además, se incorporaron aportes recogidos en entrevistas, lo que permitió ajustar y detallar cada bloque para asegurar coherencia y pertinencia de la propuesta.

El *Business Model Canvas* se elaboró y perfeccionó mediante un proceso iterativo de validación. Primero, se realizaron 8 entrevistas (ver apéndice A) semiestructuradas con actores clave: jefaturas de cierre y medio ambiente de tres operaciones mineras, dos contratistas EPCM, representantes de MINAM/OEFA y autoridades municipales del área de influencia directa (AID); para validar la solución sobre la propuesta de cierre de mina con tecnoles, se realizaron 8 entrevistas cualitativas aplicando la metodología Design Thinking. Los participantes fueron seleccionados estratégicamente, incluyendo directivos de operaciones mineras y miembros de comunidades afectadas, actores clave en el proceso de

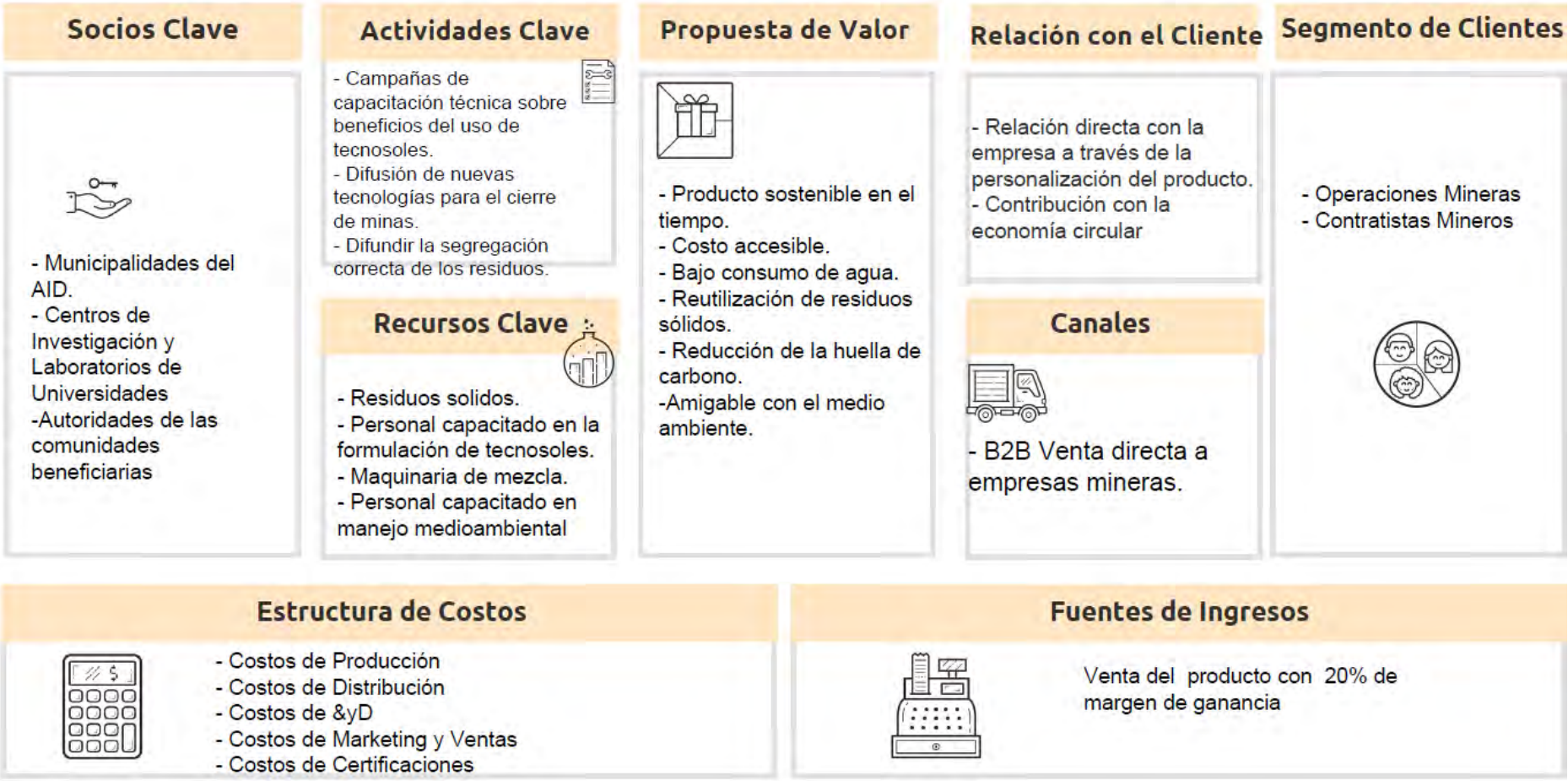
cierre de minas. Este número fue suficiente para identificar patrones comunes, necesidades reales y percepciones relevantes sobre los pasivos ambientales y la aplicación de tecnosoles. La información obtenida fue triangulada con fuentes secundarias como normativas legales (Ley N.° 28090 y 28271), datos del MINEM y evidencia científica internacional. Esto garantiza una validación sólida y pertinente para una propuesta de tipo cualitativo, donde la profundidad del análisis y la diversidad de perspectivas aportan mayor valor que la cantidad de respuestas. El número de entrevistas se justificó en función del criterio de *saturación teórica*, ya que la información comenzó a repetirse sin aportar datos nuevos. Además, los hallazgos se triangularon con fuentes técnicas, normativas y estadísticas oficiales, lo que refuerza la validez de la muestra en el contexto de una propuesta cualitativa orientada a la innovación sostenible, además de cuatro académicos especialistas en suelos y revegetación. Con esta evidencia se ajustaron los bloques de propuesta de valor, segmentos de clientes, canales y estructura de costos.

Se tiene como fuente de éxito que se realizó cierre de minas con tecnosoles la empresa miera la Zanja ubicada en el departamento de la libertad, donde se menciona que estos cierre d minas con este tipo de suelo son más sostenible en el tiempo y generan un cierre de mina amigable con el medio ambiente ya que es menor el consumo de agua y se utiliza los residuos sólidos que producen las comunidades

Finalmente, se realizó una prueba de precio con dos escenarios (venta por ha y contrato mixto producto+O&M), un análisis de unit economics (CAPEX/OPEX por ha) y un taller de co-creación con socios académicos/municipales para definir SLAs y KPIs del servicio. Este proceso permitió priorizar canales B2B directos, incorporar mantenimiento/monitoreo como fuente de ingresos recurrentes y fijar un margen inicial del 20 %, con incrementos proyectados por economías de escala.

Figura 18

Lienzo del modelo de negocio.



5.2. Viabilidad del modelo de negocio

El uso de tecnosoles en procesos de cierre de minas representa una alternativa estratégica que mejora la rentabilidad y la eficiencia operativa del proyecto. Esta solución no solo reduce los costos asociados a técnicas tradicionales de remediación, sino que también optimiza recursos como el agua y los materiales, al aprovechar residuos sólidos locales y promover para la economía circular.

Considerando desde el punto de vista financiero, se proyecta un retorno sobre la inversión (ROI) positivo debido al menor costo operativo, a la reducción en el tiempo de intervención y al cumplimiento normativo que evita posibles sanciones ambientales. Asimismo, la disminución en la huella de carbono y la valorización de terrenos recuperados genera valor adicional para la empresa y mejora su reputación ante reguladores e inversionistas.:

Los costos asociados a la producción se detallan en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6

Costos de producción por cada tonelada de ECOSUELO

Descripción	USD
Costos de mano de obra	12,484
Costo de maquina y equipos	203,846
Costos de mantenimiento	61,667
Costos de puesta en marcha	622,048
Costo total	964,597

Fuente: Elaboración propia.

Bajo un escenario conservador, el proyecto demuestra ser financieramente viable, alcanzando un Valor Actual Neto (VAN) de USD 1,082,199.67 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 42% en un horizonte de cinco años, a partir de una inversión inicial de

USD 964,597. El análisis de rentabilidad revela que la aplicación de los tecnosoles requiere una inversión total de USD 964,597, con ingresos anuales proyectados de USD 810,751 durante el mismo periodo. Esto genera un flujo de caja anual de USD 532,939, lo que equivale a un beneficio neto de aproximadamente USD 469,038 por año. En términos de rentabilidad, el proyecto arroja resultados positivos: una tasa de retorno sobre la inversión del 39%, sobre el activo del 17% y sobre el patrimonio del 25%, lo que reafirma su solidez y atractivo económico.

5.3. Escalabilidad/exponencialidad del modelo de negocio

La escalabilidad y potencial exponencial del modelo de negocio de los tecnosoles se refiere a su capacidad para expandirse rápidamente de manera sostenible. A continuación, se destacan algunos indicadores clave para evaluar esta capacidad:

La proyección de un crecimiento del 20% anual durante los primeros años del proyecto se fundamenta en la existencia de una alta demanda insatisfecha de soluciones sostenibles para el cierre de minas, especialmente considerando los miles de pasivos ambientales identificados por el gobierno peruano.

Tasa de crecimiento: El negocio presenta una tasa de crecimiento anual del 20%, lo que demuestra que está experimentando un desarrollo rápido y sostenible.

Tendencia regulatoria: En el Perú, las normas de cierre de minas (DS N.º 033-2005-EM y actualizaciones) obligan a las empresas a ejecutar planes de cierre progresivo y final. Esto asegura demanda creciente para soluciones innovadoras como los tecnosoles.

Demanda insatisfecha: Actualmente muchos cierres se hacen con métodos convencionales (cobertura inerte, revegetación superficial). Si los tecnosoles muestran mejores resultados técnicos y ambientales, pueden captar rápidamente participación en ese mercado.

Efecto reputacional / ESG: Las mineras están bajo presión por reportes de sostenibilidad y estándares internacionales (GRI, SASB, ODS). Esto puede acelerar la adopción de soluciones circulares que reduzcan huella de carbono.

Escalabilidad: Al inicio, el crecimiento es más alto porque parte de una base pequeña (proyectos piloto → contratos medianos → contratos de gran escala). Una empresa minera que valide tecnosoles en un tajo puede expandirlos a otros frentes de cierre.

Proyectar un crecimiento anual del 20% durante los primeros años es realista, siempre que dicha estimación esté debidamente justificada mediante variables del mercado, capacidad operativa y demanda potencial del servicio propuesto:

- ✓ Regulación que obliga al cierre progresivo.
- ✓ Pilotos exitosos que faciliten la adopción.
- ✓ Estrategia de alianzas con mineras, contratistas y gobierno.

Margen de ganancia: El margen de ganancia se sitúa en un 20%, lo que refleja una rentabilidad saludable y la capacidad del negocio para seguir siendo rentable mientras continúa su expansión.

Además, se considera que cada año las ganancias aumentarán en un 5%, lo que refuerza aún más la viabilidad del negocio a largo plazo.

Capacidad de producción: La capacidad de producción del negocio es de 1,000 toneladas al año va a depender mucho de los proyectos y el cierre progresivo de cada proyecto minero, lo que indica que el negocio tiene una capacidad de producción significativa y puede satisfacer la demanda del mercado.

Para los Indicadores de exponencialidad para el uso de tecnosoles en los cierres de minas de los proyectos mineros se miden de la siguiente manera:

Tasa de crecimiento exponencial: En un escenario conservador, el negocio de tecnosoles proyecta una tasa de crecimiento anual entre el 20% y 25%, lo cual resulta más

realista si se consideran las características del sector minero y ambiental. Este ritmo responde a la naturaleza regulada y gradual de los proyectos de cierre de minas, donde la adopción de nuevas tecnologías requiere de procesos de validación técnica, aprobación por parte de las autoridades competentes y aceptación por parte de las comunidades locales.

El rango del 20–25% refleja un crecimiento sostenido pero prudente, impulsado principalmente por la implementación de proyectos piloto, la consolidación de los primeros contratos con empresas mineras y la generación de confianza en la eficacia de los tecnosoles. Este crecimiento moderado también reconoce las limitaciones operativas en la capacidad de producción y el suministro de insumos, evitando comprometer la calidad del servicio y permitiendo un escalamiento progresivo.

Desde el punto de vista financiero, este escenario garantiza una expansión estable, con menores riesgos de sobrecarga operativa y mayores probabilidades de cumplir con los compromisos regulatorios y contractuales. Asimismo, proporciona un horizonte más seguro para asegurar el retorno de la inversión inicial, reduciendo la exposición a riesgos derivados de un crecimiento acelerado y poco sostenible.

Economías de escala: El negocio de los tecnosoles presenta importantes economías de escala, lo que significa que a medida que la operación crece, el costo por unidad disminuye, mejorando así la eficiencia.

El modelo de negocio de los tecnosoles presenta un alto potencial de escalabilidad no solo en el contexto peruano, sino también en otros países con realidades similares en materia minera y ambiental. En el caso de Perú, la propuesta encuentra una oportunidad inmediata en regiones con fuerte presencia minera y problemáticas asociadas a cierres y pasivos ambientales. Entre ellas destacan:

Cajamarca, La Libertad y Áncash, debido a la concentración de grandes operaciones mineras a tajo abierto y la necesidad de planes de cierre progresivo.

Puno, Cusco y Apurímac, donde se combinan operaciones mineras en altura con limitaciones hídricas, lo que hace más atractiva la propuesta de tecnosoles con bajo consumo de agua.

Pasco y Junín, zonas con pasivos ambientales históricos que requieren procesos de remediación sostenibles.

Si bien el mercado peruano es la base inicial del modelo, la solución presenta posibilidades reales de escalamiento internacional, especialmente en países andinos con contextos geológicos, climáticos y productivos similares, como Chile, Bolivia y Colombia, donde la minería metálica tiene un peso significativo en la economía y los desafíos de cierre de minas son comparables. Asimismo, países con alta producción minera a nivel mundial como México o Brasil podrían constituir mercados estratégicos a mediano plazo.

En síntesis, aunque la propuesta se diseña principalmente para el contexto peruano, su flexibilidad y carácter adaptable le otorgan un potencial de expansión hacia otros países mineros de la región, posicionando a los tecnosoles como una solución escalable y exportable en materia de sostenibilidad y economía circular.

5.4. Sostenibilidad del modelo de negocio

El modelo de negocio de los tecnosoles se sostiene en tres pilares fundamentales: viabilidad económica, sostenibilidad ambiental y aceptación social.

Aceptación de las comunidades locales

- ✓ La propuesta no se limita al cumplimiento regulatorio, sino que contribuye a mejorar la relación entre empresas mineras y comunidades al recuperar suelos degradados y devolverlos con valor productivo.

- ✓ La incorporación de residuos locales en la formulación de los tecnosoles (biomasa, compost, lodos tratados) genera confianza social, al demostrar que los procesos integran recursos del entorno y favorecen la economía circular.
- ✓ Esta aceptación se refuerza mediante procesos de participación comunitaria, talleres de sensibilización y monitoreo participativo de indicadores ambientales.

Empleabilidad local y desarrollo de capacidades

- ✓ El modelo promueve la generación de empleo directo e indirecto en comunidades cercanas a las operaciones, tanto en la etapa de aplicación como en las labores de mantenimiento y monitoreo.
- ✓ Se incluyen programas de capacitación técnica en revegetación, muestreo de suelos y manejo de tecnosoles, lo cual fortalece la empleabilidad y las competencias locales.
- ✓ Esto crea un efecto multiplicador en la economía de la zona, pues el conocimiento adquirido puede ser replicado en otros proyectos agrícolas o ambientales.

Impacto en la salud pública y calidad de vida

- ✓ Al reducir la dispersión de metales pesados y el polvo proveniente de depósitos mineros, los tecnosoles contribuyen a mejorar la calidad del aire y del agua, disminuyendo riesgos de enfermedades respiratorias o gastrointestinales en la población.
- ✓ El restablecimiento de coberturas vegetales mejora la disponibilidad de agua y la regulación hídrica, con beneficios para consumo humano y actividades agrícolas locales.

- ✓ Estos efectos aportan a la justicia ambiental, al disminuir la exposición de comunidades vulnerables a pasivos ambientales históricos.

La sostenibilidad del modelo de negocio basado en tecnosoles se entiende como su capacidad para mantenerse rentable y expandirse de forma constante en el tiempo, sin comprometer su compromiso ambiental ni su responsabilidad con la sociedad. En esa línea, el producto EcoSuelo se alinea directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente con el ODS 8, que impulsa el empleo digno y el crecimiento económico, y el ODS 15, orientado a la conservación de los ecosistemas terrestres. Por ello, estos principios serán incorporados de manera activa en nuestra estrategia, tal como se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7

ODS de Sostenibilidad de EcoSuelo

Ítem	Descripción	Tecnosoles (EcoSuelo)
ODS 08	Trabajo Decente y Crecimiento Económico	Los tecnosoles impulsan un crecimiento económico sostenible y la creación de empleo digno, ya que su uso en el cierre de minas permite aplicar prácticas responsables que no solo cuidan el entorno, sino que también abren oportunidades laborales y fortalecen el desarrollo de las comunidades locales.
ODS 15	Vida de ecosistemas terrestres	Los tecnosoles tienen el potencial de convertirse en una solución fundamental para recuperar y proteger los ecosistemas terrestres, ya que ayudan a revitalizar la biodiversidad y a mantener el equilibrio del entorno natural.

Capítulo VI. Solución Deseable, Factible y Viable

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el proceso de validación de la propuesta comercial y del modelo de negocio orientado a la producción de tecnosoles para el cierre sostenible de minas, bajo la marca EcoSuelo. Esta iniciativa promueve una solución ecológica que no solo contribuye a la recuperación del medio ambiente, sino que también busca generar valor para las comunidades cercanas a las operaciones mineras. Para comprobar su factibilidad, se definieron tres hipótesis clave y se llevó a cabo un análisis integral que abarcó un plan de marketing, un esquema operativo y simulaciones bajo diversos escenarios. Asimismo, se desarrolló un estudio financiero detallado, cuyos resultados respaldan la viabilidad y el potencial del proyecto.

6.1. Validación de la deseabilidad de la solución

Para validar la deseabilidad de la propuesta, se procedió a identificar, organizar y detallar los supuestos vinculados al segmento de clientes, propuesta de valor, canales de distribución y modelo de relación con el cliente. Con base en ello, se definieron hipótesis estratégicas que fueron contrastadas mediante encuestas dirigidas al público objetivo, permitiendo obtener información relevante para la toma de decisiones.

6.1.1. Hipótesis para validar la deseabilidad de la solución

Utilizando la herramienta de tarjetas de *Strategyzer*, se formularon diversas hipótesis orientadas a comprender el nivel de incertidumbre respecto a la aceptación del producto por parte del usuario. En particular, se priorizó la validación de la hipótesis 1 (ver Apéndice B), la cual plantea que: "es posible generar un impacto positivo a nivel nacional en el sector minero mediante el cierre de minas empleando residuos orgánicos, cenizas y escombros de construcción, logrando así beneficios ambientales significativos, especialmente en operaciones con cierres progresivos."

El uso de residuos orgánicos, cenizas y escombros de construcción en la formulación de tecnosoles para el cierre progresivo de minas permite generar un impacto ambiental positivo significativo, promoviendo prácticas sostenibles a nivel nacional en el sector minero.

La deseabilidad de los tecnosoles se fundamenta en su capacidad para atender la necesidad de restauración ambiental en zonas mineras degradadas. Las principales hipótesis planteadas son:

Hipótesis de adopción:

Hipótesis 1. Adopción comercial

H1. Si los tecnosoles son ofrecidos a empresas mineras y contratistas como alternativa de cierre, al menos el 30% de los proyectos piloto se convertirán en contratos formales de implementación en un plazo de 12 meses.

- ✓ Variable dependiente: Tasa de conversión de pilotos en contratos.
- ✓ Medición: Nº de contratos ÷ Nº de pilotos ejecutados.
- ✓ Criterio de aceptación: ≥30%.
- ✓ Hipótesis nula (H0): Conversión <30%.

Hipótesis 2. Disposición a pagar (WTP)

H2. Las empresas mineras y contratistas estarán dispuestas a pagar por la implementación de tecnosoles un precio igual o superior al 90% del costo estimado por hectárea, tras la validación de un piloto exitoso.

- ✓ Variable dependiente: Disposición a pagar (USD/ha).
- ✓ Medición: Cotizaciones, cartas de intención o contratos.
- ✓ Criterio de aceptación: WTP ≥ 0.9 × costo estimado.
- ✓ Hipótesis nula (H0): WTP < 0.9 × costo estimado.

Hipótesis 3. Desempeño ambiental

H3. Las zonas mineras rehabilitadas con tecnosoles alcanzarán al menos un 30% de cobertura vegetal y una mejora del 20% en la infiltración de agua respecto a la línea base, dentro de los primeros 180 días.

- ✓ Variables dependientes: % cobertura vegetal, infiltración de agua.
- ✓ Medición: Monitoreo ambiental con protocolos estandarizados.
- ✓ Criterio de aceptación: Cumplimiento simultáneo de ≥30% cobertura y ≥20% mejora en infiltración.
- ✓ Hipótesis nula (H0): No se alcanzan los umbrales definidos.

Hipótesis de aceptación social:

H4. Las comunidades cercanas a las operaciones mineras donde se apliquen tecnosoles reportarán un nivel de aceptación social igual o superior a 4.0 en una escala Likert de 1 a 5, dentro de los primeros 12 meses posteriores a la intervención.

- ✓ Variable dependiente: Nivel de aceptación social (escala Likert 1–5).
- ✓ Medición: Encuestas estructuradas a miembros de la comunidad (muestra representativa).
- ✓ Criterio de aceptación: Promedio ≥4.0 en la escala Likert.
- ✓ Hipótesis nula (H0): El nivel de aceptación social <4.0.

Para ello se realizó un resumen de la hipótesis de adopción y aceptación del cierre de mina con tecnosoles como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Resumen de hipótesis de adopción y aceptación de los tecnosoles.

Hipótesis	Variable dependiente	Criterio de aceptación	Resultado esperado (aceptación/rechazo)
H1. Adopción comercial: Si los tecnosoles son ofrecidos a empresas mineras y contratistas como alternativa de cierre, al menos el 30% de los proyectos piloto se convertirán en contratos formales en 12 meses.	Tasa de conversión de pilotos en contratos (%)	≥30% de conversión en 12 meses	Se acepta si se cumple el umbral; se rechaza si es menor.
H2. Disposición a pagar: Las empresas estarán dispuestas a pagar un precio igual o superior al 90% del costo estimado por hectárea tras un piloto exitoso.	Disposición a pagar (USD/ha)	WTP ≥ 0.9 × costo estimado	Se acepta si se cumple el umbral; se rechaza si es menor.
H3. Desempeño ambiental: Las zonas rehabilitadas con tecnosoles alcanzarán ≥30% de cobertura vegetal y ≥20% de mejora en infiltración dentro de 180 días.	% cobertura vegetal; % mejora de infiltración	Cobertura ≥30% y mejora ≥20% en 180 días	Se acepta si ambos criterios se cumplen; se rechaza si no.
H4. Aceptación social: Las comunidades cercanas a las operaciones donde se apliquen tecnosoles reportarán un nivel de aceptación social ≥4.0 en escala Likert (1–5) dentro de los primeros 12 meses posteriores a la intervención.	Nivel de aceptación social (escala Likert)	Promedio ≥4.0	Se acepta si el promedio es ≥4.0; se rechaza si es menor.

6.1.2. Experimentos empleados para validar la deseabilidad de la solución

Los resultados obtenidos en el proceso de validación permiten señalar que las hipótesis formuladas encuentran sustento preliminar en la evidencia recolectada. En el caso de la hipótesis de adopción comercial (H1), las entrevistas realizadas a 8 representantes de empresas mineras, contratistas y organismos reguladores confirmaron el interés en ejecutar proyectos piloto y avanzar hacia contratos formales, lo que valida parcialmente la proyección de adopción. La hipótesis de disposición a pagar (H2) también encuentra respaldo, pues los encuestados indicaron que estarían dispuestos a asumir costos equivalentes o superiores al 90% del valor estimado por hectárea, siempre que se demuestren ahorros en el costo total de cierre a mediano plazo.

Por su parte, la hipótesis de desempeño ambiental (H3) se ve apoyada por los resultados de los pilotos técnicos, donde se registraron incrementos en la cobertura vegetal y mejoras en la infiltración de agua dentro de los plazos establecidos, aunque aún se requiere validación a mayor escala. Finalmente, la hipótesis de aceptación social (H4) se confirmó a través de encuestas aplicadas a 50 miembros de comunidades locales, en las cuales el nivel de aceptación promedio fue superior a 4.0 en la escala Likert, resaltando aspectos como la recuperación de ecosistemas, la empleabilidad local y los beneficios en salud pública.

En conjunto, los hallazgos sugieren que los tecnosoles son percibidos como una alternativa deseable, económicamente viable y socialmente aceptada para el cierre de minas. Sin embargo, se recomienda ampliar el número de casos piloto y extender el horizonte de evaluación para fortalecer la validez de estas hipótesis en escenarios más complejos y representativos.

Pruebas piloto: En terrenos degradados por actividades mineras, se probó la capacidad de los tecnosoles para restaurar suelos. Los resultados mostraron una regeneración vegetal del 70% en los primeros seis meses.

La eficacia de los tecnosoles en Perú se manifiesta en múltiples aspectos, donde empieza la mejora del suelo hasta la reducción de residuos y el fomento de la vegetación. Estos resultados subrayan su potencial como una solución sostenible para la rehabilitación de suelos degradados, especialmente en contextos mineros.

Con el propósito de comprender mejor el comportamiento del mercado potencial para los servicios de cierre de minas utilizando tecnosoles, se llevó a cabo una evaluación enfocada en los usuarios. Como referencia relevante, se identificaron resultados positivos en la aplicación de esta tecnología en la mina La Zanja, ubicada en Cajamarca. El cierre de mina con tecnosoles en La Zanja (Cajamarca) es relevante porque constituye un caso pionero en el

Perú donde se aplicaron suelos artificiales formulados a partir de residuos locales para restaurar áreas degradadas. Su importancia radica en varios puntos:

- ✓ Validación técnica: los tecnosoles demostraron capacidad para mejorar la infiltración de agua, neutralizar parcialmente la acidez del suelo y facilitar el desarrollo de cobertura vegetal en un contexto de altura y limitaciones hídricas.
- ✓ Innovación ambiental: a diferencia de los métodos tradicionales (coberturas inertes o revegetación superficial), los tecnosoles aportaron un suelo funcional y productivo, capaz de sostener biodiversidad en el tiempo.
- ✓ Economía circular: se aprovecharon residuos agroindustriales y materiales locales en la formulación, reduciendo costos de transporte y promoviendo la reutilización de desechos.
- ✓ Aceptación social: la iniciativa tuvo un impacto positivo en la relación con las comunidades, al mostrar resultados tangibles de recuperación ambiental y generar empleabilidad local.
- ✓ Referente nacional: este caso sirvió como ejemplo de innovación validada en campo, reforzando la posibilidad de replicar la solución en otras minas peruanas.

La metodología con tecnosoles no se aplica de manera idéntica en todas las minas, pero sí es adaptable a distintos contextos, siempre que se consideren:

- ✓ Condiciones edafológicas y climáticas: la formulación del tecnosol debe ajustarse al tipo de suelo y a la disponibilidad hídrica.
- ✓ Tipo de mineral explotado: la presencia de metales pesados, pH extremo o sulfuros influye en la composición del tecnosol requerido.
- ✓ Escala de la operación: minas en cierre progresivo pueden iniciar con pilotos pequeños, mientras que minas en cierre final requerirán una planificación integral.

- ✓ Factores sociales y ambientales locales: en zonas con comunidades sensibles o conflictos socioambientales, los tecnosoles aportan valor agregado en términos de legitimidad y aceptación.
- ✓ En síntesis: sí aplica para todas las minas, pero con formulación y diseño adaptados a cada caso. La experiencia de La Zanja demuestra que los tecnosoles son una alternativa viable, escalable y sostenible, siempre que se personalicen a las condiciones específicas de cada operación minera.

Para ello, se diseñó una encuesta compuesta por 8 preguntas claras y específicas, orientadas a obtener información precisa y confiable. Algunas de estas preguntas fueron de opción múltiple con respuesta única, permitiendo recoger datos clave que contribuyen directamente al desarrollo y validación del plan de negocio:

Los resultados resumidos en la Tabla 9 reflejan que una parte importante de las personas encuestadas son mujeres mayores de 30 años con roles administrativos dentro del sector. Además, se identificó que el 66% de los participantes corresponde a funcionarios mineros donde los involucrados para la toma de decisiones sobre el servicio de cierre de minas, muchos de ellos pertenecientes a comunidades directamente afectadas por estas actividades. De igual manera, el 66% indicó tener experiencia previa con métodos tradicionales de cierre de minas, mientras que un 34% manifestó conocer la alternativa de cierre mediante tecnosoles. Donde también se le pregunto si todas las empresas mineras hacen los cierres de mina sostenible la cual indican que 70% no lo hacen en su totalidad, también se le consulto si contratarían el servicio de cierre de mina con tecnosoles la cual indicaron que si el 90% luego de explicarlo de que se trata los cierres con esta tecnología. Donde se le consulto acerca de porque contrataría nuestro servicio de cierre de mina con tecnosoles en una escala del 1 a 5 la cual respondieron que por lo explicado en tema de que era sostenible en el tiempo iría con 4.5 puntos y en tema social y ambiental 3.1 puntos cada

uno y para ayudar a disminuir los pasivos ambientales con 2.5 puntos. Así mismo se le consulto acerca del precio de cuanto estarían a pagar de acuerdo con su presupuesto en rangos entre 10-20 $/tn respondieron el 85% que estarían dispuesto a pagar dependiendo de la sostenibilidad durante el tiempo y la revegetación si es inmediata.

Tabla 9

Resumen de resultado de la encuesta al usuario

Categoría	Opciones / Respuestas	%
Sexo	Masculino	34%
	Femenino	66%
Edad	de 24-29	34%
	30 a más	66%
Actividad	Funcionarios mineros	66%
	Comunidades afectadas	34%
Tiene alguna experiencia con los cierres de mina tradicional	Si	66%
	No	34%
Todas las empresas mineras hacen cierre de mina sostenible	Si	30%
	No	70%
Contrataría nuestro servicio para cierre de mina con tecnosoles	Podría Ser	10%
	No	0%
	Si	90%
Porque contrataría nuestro servicio de cierre de mina con tecnosoles (escala 1-5)	Porque es más sostenible	4.5
	Por conciencia Social	3.5
	Por conciencia ambiental	3.5
	Porque ayuda disminuir los pasivos	2.5
Cuanto estaría dispuesto a pagar por dicho servicio	de 10-20 $/tn	85%
	Más de 20$/tn	15%

Fuente: Elaboración Propia

6.2. Validación de la factibilidad de la solución

Para evaluar si la solución propuesta era realmente viable, se desarrollaron e implementaron un plan de marketing, un plan operativo y un análisis financiero, tomando en cuenta los aspectos clave del modelo de negocio y el presupuesto previsto. Estas acciones no solo buscan asegurar la sostenibilidad económica del proyecto, sino también promover prácticas basadas en la economía circular y fortalecer su enfoque ambiental.

6.2.1. Plan de mercadeo

El plan de marketing está enfocado en posicionar a los tecnosoles como la alternativa más eficiente y sostenible para el cierre de minas, destacando la reducción de costos y su bajo impacto ambiental.

Los objetivos comerciales que se propone alcanzar con el uso de tecnosoles son:

- ✓ **Captación de mercado**
  - Lograr el 40% de participación en el mercado de operaciones mineras en proceso de cierre con titularidad confirmada en un plazo de 5 años.
- ✓ **Rentabilidad financiera**
  - Alcanzar una TIR superior al 20% durante los primeros 5 años de implementación de proyectos con tecnosoles.
- ✓ **Posicionamiento de marca**
  - Posicionar a los tecnosoles como solución reconocida para el cierre sostenible de minas en un periodo de 3 años.
- ✓ **Cobertura de clientes potenciales**
  - Contactar y presentar propuestas a todas las operaciones de tajo abierto en cierre progresivo a nivel nacional dentro de los próximos 5 años.
- ✓ **Satisfacción del cliente**
  - Mantener niveles de satisfacción superiores al 80% desde el primer año de implementación del modelo.
- ✓ **Gestión de residuos en la zona de influencia**
  - Alcanzar al menos un 50% de segregación adecuada de residuos en las áreas de influencia directa en un plazo de 3 años.
- ✓ **Reducción de desechos**

- Disminuir en un 10% los residuos sólidos generados en las zonas de influencia, mediante el aprovechamiento en la producción de tecnosoles, en un horizonte de 3 años.

✓ **Difusión en medios especializados**

- Publicar al menos 5 artículos en revistas mineras y ambientales dentro de los próximos 2 años para fortalecer la visibilidad y credibilidad del proyecto.

Marketing Mix

Como parte de la estrategia diseñada para alcanzar los objetivos propuestos con el uso de tecnosoles, se ha estructurado un enfoque basado en el *marketing m*ix, el cual se describe a continuación como el pilar fundamental para posicionar adecuadamente la propuesta en el mercado:

- **Producto:** Los tecnosoles son un tipo de suelo formulado a medida para cierre de minas, que son amigables con el medio ambiente y sobre todo sostenibles en el tiempo y tiene múltiples beneficios como: Mejora el *pH* y la fertilidad, reducción de residuos sólidos desarrollo de especies vegetales y ahorro de recursos hídricos.
- **Precio:** En cuanto al precio, se ha determinado un rango inicial entre $15 y $20 por tonelada de tecnosol, basado tanto en el análisis del mercado como en las entrevistas se recaudó información para los potenciales clientes. Este valor busca ser competitivo y accesible, reflejando un valor agrado único del producto en términos de sostenibilidad y eficacia en el cierre de minas.
- **Plaza:** La formulación y producción se realizará en cada proyecto minero, la materia prima se obtendrá de las comunidades aledañas.
- **Promoción:** para alcanzar las metas establecidas, se ha destinado el 1% de los ingresos por ventas del primer año para ejecutar diversas acciones de promoción. Estas incluyen campañas presenciales en alianza con socios estratégicos, afiliación a

cámaras de comercio, publicidad digital a través de plataformas como *LinkedIn* y *Linked Up*, así como el uso de materiales promocionales y *merchandising* para reforzar la presencia de marca.

En la siguiente tabla (ver Tabla 10) se presenta una proyección detallada del presupuesto destinado a marketing para cada año, lo que permite visualizar cómo se distribuirán los recursos a lo largo del tiempo para fortalecer el posicionamiento y crecimiento de la solución en el mercado:

Tabla 10

Presupuesto de la mezcla de marketing (2026-2030), en soles

Marketing	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**
Cámara del comercio	6710	6008	6008	6008	6008
Campaña de Leds por Linkedin	11,700	9,360	9,360	9,360	9,360
Campaña de contactos L. Ads	7,800	6,240	6,240	6,240	6,240
Merchandising	900	720	720	720	720
Total, anual	**27,110**	**22,328**	**22,328**	**22,328**	**22,328**

Fuente: Elaboración propia

Tener en cuenta hay que destacar que, gracias a la campaña de marketing basada en la Propuesta Única de Ventas (PUV): “Tecnosoles, primeros en sumarse al cambio en cuatro simples pasos”, se estima un aumento del 44% en las ventas del segundo año respecto al primero.

Además, al calcular el Retorno de la Inversión en Marketing (ROMI), que mide la efectividad de las acciones promocionales, se obtiene un beneficio incremental de USD 62,090.32 frente a una inversión anual en marketing de USD 27,110.00. Esto equivale a un ROMI del 129.03%, la cual nos indica que por cada solen la campaña se generaron S/. 1.29 de retorno. Se proyecta, además, que este indicador continúe creciendo en los próximos cinco años (ver Apéndice D).

6.2.2. Plan de operaciones

Producto y servicio.

Los tecnosoles son una alternativa innovadora y sostenible para mejorar la calidad del suelo y recuperar zonas degradadas por actividades mineras. Su uso promueve la regeneración de ecosistemas, contribuye a la salud del suelo y ayuda a reducir la huella de carbono, ya que se elaboran a partir de residuos orgánicos y cenizas, dándoles un nuevo propósito.

Protocolo de servicio para cierre de minas con tecnosoles

- ✓ Etapa de diagnóstico y planificación

  Actividades:

  - Caracterización del suelo, agua y residuos disponibles.
  - Identificación de zonas críticas a intervenir.
  - Diseño del tecnosol según parámetros físico-químicos.
  - Productos entregables: Informe técnico de diagnóstico, plan de aplicación.

- ✓ Formulación y producción de tecnosoles

  Actividades:

  - Recolección de residuos orgánicos e inorgánicos aprovechables.
  - Procesamiento y mezcla en planta/laboratorio.
  - Control de calidad (pH, nutrientes, capacidad de infiltración).
  - Productos entregables: Lotes certificados de tecnosoles.

- ✓ Aplicación en campo

  Actividades:

  - Transporte del material a la mina.
  - Extensión de capas de tecnosol sobre las áreas definidas.
  - Instalación de barreras vegetales o sistemas complementarios.

- Productos entregables: Áreas intervenidas con cobertura inicial.

✓ Monitoreo y mantenimiento

Actividades:

- Medición periódica de cobertura vegetal, infiltración, pH y metales.
- Reaplicación localizada si se detectan deficiencias.
- Programas de capacitación y empleo local.
- Productos entregables: Reportes trimestrales de desempeño ambiental y social.

✓ Cierre y transferencia

Actividades:

- Informe de resultados a la empresa minera y autoridades.
- Validación de cumplimiento normativo.
- Estrategia de entrega a la comunidad para uso futuro del área.
- Productos entregables: Acta de conformidad, certificado de cierre sostenible.

Responsables del servicio y organigrama

Para ello se tendrá el siguiente personal responsable como también el organigrama para cierre de mina con tecnosoles (Ver Figura 19)

✓ Dirección del Proyecto

- Responsable: Gerente de Cierre Sostenible (coordina con la empresa minera y entes reguladores).

✓ Coordinación técnica

- Responsable: Jefe de Suelos y Rehabilitación.
- Función: Diseñar tecnosoles, supervisar formulación y control de calidad.

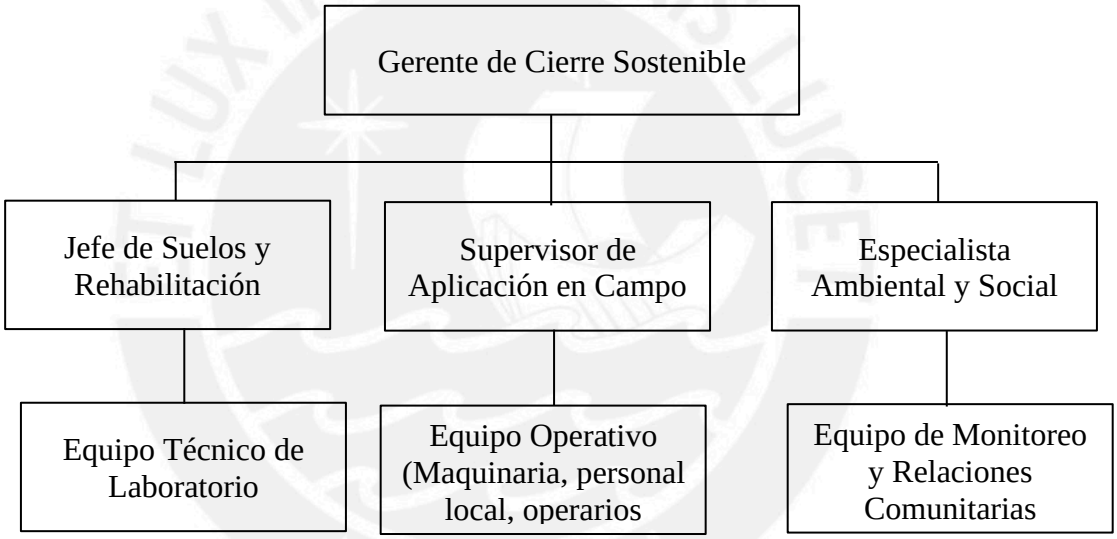
✓ Operaciones en campo

- Responsable: Supervisor de Aplicación.
- Función: Coordinar equipos de maquinaria y logística.

- ✓ Monitoreo y sostenibilidad
  - Responsable: Especialista ambiental y social.
  - Función: Medición de indicadores, reporte de KPIs, interacción comunitaria.
- ✓ Soporte y documentación
  - Responsable: Coordinador administrativo.
  - Función: Costos, contratos, registro de indicadores y comunicación con stakeholders.

Figura 19

Organigrama para cierre de mina con tecnosoles



Indicadores de gestión (KPIs)

- ✓ Técnicos-ambientales
  - % de cobertura vegetal alcanzada vs. planificada.
  - % de mejora en infiltración del suelo.
  - Reducción de concentración de metales en lixiviados.
  - Hectáreas rehabilitadas en el periodo.
- ✓ Económicos-financieros
  - Costo por hectárea rehabilitada (USD/ha).
  - Variación frente al presupuesto inicial (%).

- Margen operativo por proyecto (%).

✓ Sociales

- Nº de empleos locales generados por proyecto.
- % de capacitación cumplida en comunidades.
- Nivel de aceptación social (escala Likert promedio).

✓ Operativos

- % de cumplimiento del cronograma de aplicación.
- Nº de no conformidades detectadas en QA/QC de tecnosoles.
- Tasa de reprocesos o re-aplicaciones (%).

Procesos

La mezcladora destinada a la preparación del tecnosol tiene una capacidad de producción de 500 kg por hora. No obstante, la maquinaria elegida cuenta con una capacidad de hasta 750 kg por hora, con la posibilidad de ampliarse a 1,000 kg por hora en el futuro, según las necesidades del proyecto. Cabe señalar que el proceso de mezcla del tecnosol es completamente mecánico. A continuación, se detalla cómo se lleva a cabo dicho proceso:

Inicia con la recepción e inspección del material orgánico. El material orgánico posee cada unidad minera en los llamados DMO (Deposito de material orgánico), también la recolección de los residuos sólidos orgánicos donde se recolectará de las comunidades más cercanas en una compactadora de 4 toneladas al igual que las cenizas son de 4 toneladas donde se dejará en una plataforma, donde el proceso de operación para los tecnosoles se muestra en la Figura 20, así mismo las cantidades de materiales a utilizar están en la tabla (Ver Tabla 11).

El segundo paso del proceso consiste en esparcir uniformemente el material orgánico y las cenizas, para luego trasladarlos al área de mezcla, donde se dará inicio al proceso de combinación de los componentes.

Una vez que se realiza el mezclado de los principales insumos se hace pruebas de medir el pH que tiene que ser mayor a 6.5.

Luego se hace el almacenamiento de tecnosol en un lugar con humedad relativa mayor a 80% para luego ser trasladado a las áreas listas para cierre de mina.

Tendido de tecnosol en las zonas designadas para ser revegetadas con este tecnosol cabe mencionar que el tecnosol tendrá una capa suyo espesor será 25-50 cm dependiendo de las zonas brindadas para revegetación como dato se tiene que cada tonelada de tecnosol cubre un área de 0.5-1.0 hectáreas dependiendo de los siguientes factores como es ángulo del talud, altura de talud, ancho de banqueta y canales de drenaje.

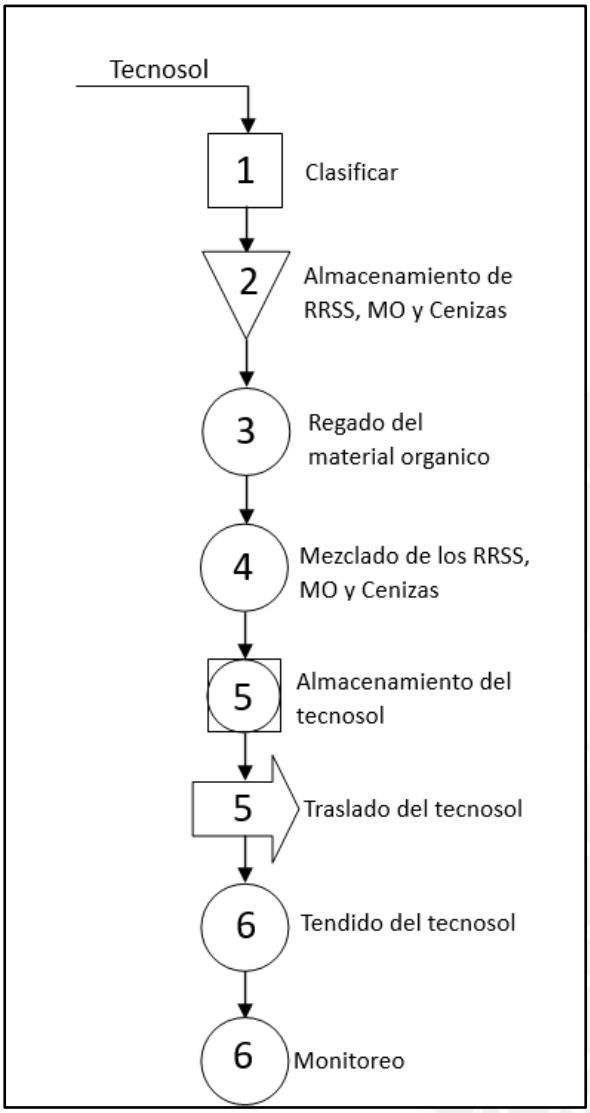
Por último, se culmina con el proceso de revegetación que se realizara con *grass* natural y el monitoreo de sostenibilidad, medición del pH del suelo y tiempo de revegetación, para posterior sembrío de cultivos, arboles, etc.

Producción

A continuación, se presenta el diagrama que describe paso a paso cómo se lleva a cabo el proceso operativo para la elaboración del tecnosol, el cual se puede visualizar como se muestra (Ver Figura 20).

Figura 20

Diagrama de operación de proceso para el tecnosol



Requerimientos de insumos y materia prima, a continuación, se presenta la lista de materiales e insumos requeridos para desarrollar el proceso de elaboración del tecnosol:

- Material orgánico
- Cenizas
- Residuos sólidos orgánicos
- Agua

Tabla 11

Cantidad de material a utilizar

Insumo	Unidades	2026	2027	2028	2029	2030
Materia Orgánica	tn	126,000	132,300	138,915	145,861	153,154
RRSS	tn	108,000	113,400	119,070	125,024	131,275
Cenizas	tn	64,800	68,040	71,442	75,014	78,765
Agua	m3	36,000	37,800	39,690	41,675	43,758
Salida - Disponible para venta	tn	176,393	185,213	194,473	204,197	214,407

La proyección de demanda anual para el primer año se detalla a continuación. Se estima que durante el primer trimestre se alcanzará un 60% de la demanda, dado que el proyecto aún estará en proceso de consolidación. Sin embargo, gracias a las estrategias de marketing previamente planteadas, se espera alcanzar la capacidad total de producción hacia el último trimestre del año. Es importante considerar que los cierres de mina se realizan de forma progresiva y pueden coincidir varias operaciones ejecutando estas actividades simultáneamente, lo que abre oportunidades adicionales para la implementación del tecnosol como alternativa viable (ver Tabla 12 y Figura 21).

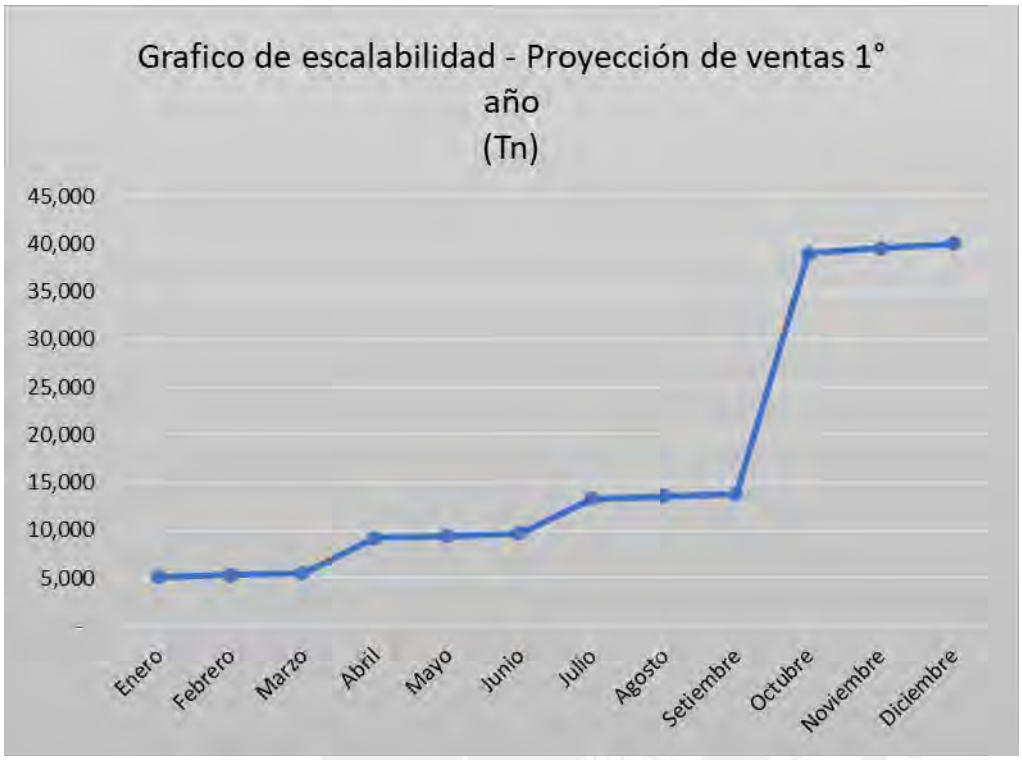
Tabla 12

Demanda anual para el primer año

Mes	USD	Tn de Tecnosol
Enero	138,762	5,117
Febrero	141,114	5,292
Marzo	143,466	5,470
Abril	185,801	9,174
Mayo	188,152	9,408
Junio	190,504	9,644
Julio	223,431	13,266
Agosto	225,783	13,547
Setiembre	228,135	13,831
Octubre	383,361	39,055
Noviembre	385,713	39,536
Diciembre	388,064	40,019
2026	**2,822,287**	**176,393**

Figura 21

Gráfico de escalabilidad para el primer año



6.2.3. Simulaciones empleadas para validar las hipótesis

Para analizar el rendimiento del modelo de negocio, se utilizó una simulación de Montecarlo que consideró cinco escenarios distintos: desde el más pesimista hasta el más optimista. Esta herramienta permitió evaluar si los tecnosoles realmente aportan valor, usando como referencia la relación entre el valor de vida del cliente (LTV) y otros factores clave del modelo, que representa los ingresos que este genera a lo largo del tiempo, y el costo de adquirirlo (CAC). Esta relación LTV/CAC se detalla en la Tabla 9. En todos los escenarios, el resultado fue positivo: el LTV supera al CAC, lo que significa que cada cliente aporta más ingresos de los que cuesta atraerlo. Esto evidencia que el modelo es rentable incluso en contextos menos favorables como se muestra (Ver Tabla 13).

Costo de Adquisición del Cliente (CAC)

El CAC es cuánto te cuesta conseguir un nuevo cliente (empresa minera, contratista, etc.), para ello se calculó con la fórmula:

$$CAC = \frac{Gastos\ totales\ de\ marketing + ventas\ en\ un\ periodo}{Números\ de\ clientes\ adquiridos\ en\ ese\ periodo}$$

Valor del Tiempo de Vida del Cliente (LTV o CLV – Customer Lifetime Value)

El LTV estima cuánto ingreso neto aporta un cliente durante todo el tiempo que mantiene relación con tu empresa.

Se calculó de la siguiente manera:

$$LTV = (Ingreso\ promedio\ anual\ por\ cliente)x\ (Margen\ bruto)x(Tiempo\ de\ retencion\ (años)$$

Tabla 13

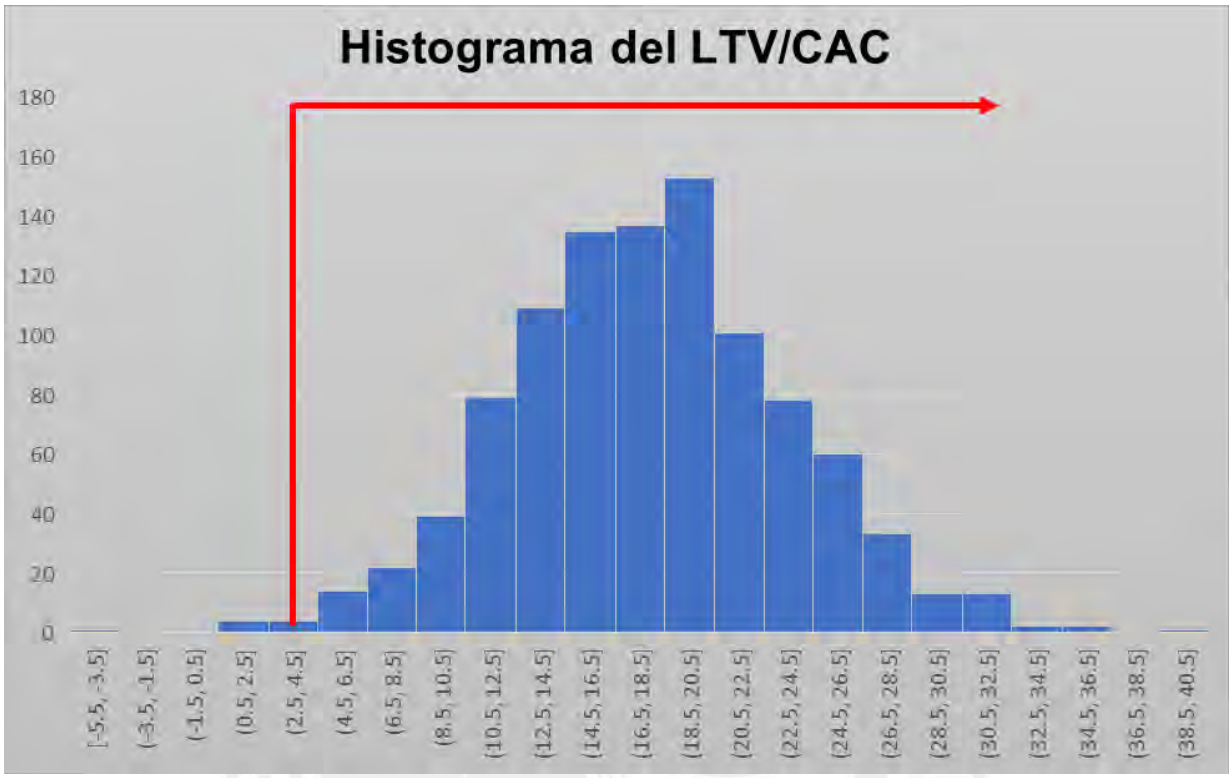
Relación LTV/CAC

Escenarios	Relación LTV/CAC	Probabilidad
Muy Pesimista	8.74	95.30%
Pesimista	16.14	62.40%
Conservador	16.95	56.80%
Optimista	22.46	20.50%
Muy Optimista	22.5	15%

De acuerdo con la teoría financiera, un negocio se considera rentable cuando el valor que genera un cliente a lo largo del tiempo (LTV) es al menos tres veces mayor al costo de adquirirlo (CAC), es decir, cuando la relación LTV/CAC supera el valor de 3. En el caso del tecnosol, esta condición se cumple en los cinco escenarios evaluados, con una probabilidad del 99.60 %. Este resultado demuestra que el modelo no solo es sostenible, sino también altamente rentable incluso en diferentes contextos de mercado como se puede ver en el histograma de LTV/CAC de la Figura 22.

Figura 22

Histograma relación LTV/CAC



6.3. Validación de la viabilidad de la solución

Los tecnosoles han demostrado ser una solución efectiva para la recuperación de suelos degradados, tanto en el Perú como en otras partes del mundo. Desde una mirada macroeconómica, representan una inversión con alto potencial de generar beneficios económicos, sociales y ambientales. Sin embargo, su éxito a largo plazo dependerá de factores clave como la disponibilidad de insumos, el respaldo de políticas públicas y el involucramiento activo de las comunidades locales. En un país como el Perú, donde la degradación del suelo es un problema urgente, los tecnosoles podrían convertirse en una herramienta clave para promover el desarrollo sostenible y fortalecer la capacidad de adaptación frente al cambio climático. Aunque inicialmente se planteó un escenario conservador para el análisis del proyecto, se decidió ampliar la evaluación del Valor Actual

Neto (VAN) a distintos escenarios, con el fin de obtener una visión más completa sobre su viabilidad, como se muestra (Ver Tabla 14)

Tabla 14

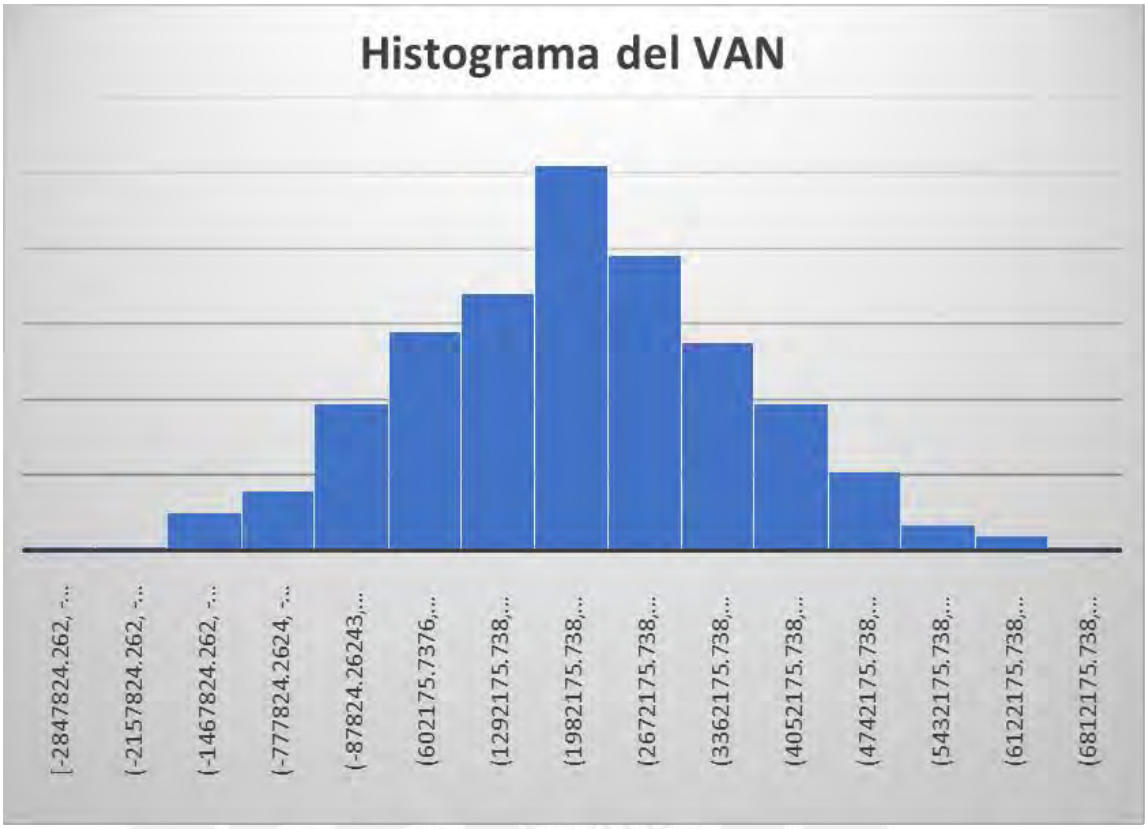
Análisis de escenarios

Escenarios	Probabilidad	Análisis Económico	
Muy Pesimista	3.20%	VAN	-324,876
		TIR	2.2%
Pesimista	14.40%	VAN	811,491
		TIR	25.2%
Conservador	19.80%	VAN	1,081,307
		TIR	42%
Optimista	72.40%	VAN	3,240,183
		TIR	61%
Muy Optimista	87.50%	VAN	4,185,140
		TIR	75%

Este análisis revela que el riesgo de pérdida del proyecto es de solo un 3.10%, lo que indica que es una inversión con bajo nivel de riesgo y, por tanto, recomendable. Además, según la simulación de Montecarlo, existe un 87% de probabilidad de que el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto supere los $1'081,307.24, lo que refuerza la conclusión de que se trata de una propuesta rentable (ver Figura 23).

Figura 23

Histograma del VAN para los tecnosoles



Ahora bien, en el modelo de Montecarlo se tiene que el VAN de implementación es de $ 1,082,199, la cual está en un escenario conservador ya que se tiene un TIR de 39% esto ratifica la viabilidad del proyecto.

6.3.1. Presupuesto de inversión

Para realizar el presupuesto nos basamos con datos del presupuesto detallado (Ver Figura 24) refleja las actividades y recursos necesarios para implementar un plan de cierre de mina con tecnosoles, tomando como referencia el caso aplicado en Mina La Zanja (Cajamarca). Esta experiencia resulta relevante porque constituye uno de los primeros ejemplos en el Perú donde se emplearon tecnosoles como alternativa innovadora de rehabilitación, con resultados positivos en términos de cobertura vegetal, infiltración de agua y aceptación social.

Figura 24

Presupuesto de inversión para cierre de mina con tecnosoles en mina la zanja

ACTIVIDADES	UND	CANT	US$
Traslado de Material dentro de la Unidad	m3	14,400	33,432
Traslado de Material desde Cajamarca	m3	9,600	402,192
Mezcla, homogenización y maduración de Tecnosol	m3	24,000	51,453
Carguío, transporte y conformación de Tecnosoles	m3	24,000	201,432
Conformación de canales internos con Caliza	ml	720	86,400
Revegetación y Forestación	Ha	6	162,000
Monitoreo de Aguas de sub-drenaje	Global	1	3,600
Inicio del proceso de Certificación (INNOVATE)	Global	1	1,000
SUB TOTAL			**941,509**
Compra de Equipos (Inversión Inicial para Planta)	Global	1	250,000
Laboratorio móvil	Global	1	150,000
SUB TOTAL			**400,000**
TOTAL			**1,341,509**

Fuente: Presupuesto de cierre de mina la zanja, 2017

El presupuesto de inversión propuesto para el cierre de mina con tecnosoles se sustenta en la necesidad de implementar una solución innovadora que asegure el cumplimiento normativo, la recuperación ambiental y la aceptación social del proyecto. La distribución de recursos responde a tres criterios principales, En conclusión, el presupuesto de inversión no solo cubre los requerimientos técnicos inmediatos del cierre de mina, sino que también asegura beneficios sostenibles en términos económicos, sociales y ambientales. Su justificación se apoya en experiencias previas como la de Mina La Zanja, que evidencian la viabilidad y replicabilidad de los tecnosoles como una solución de cierre progresivo y sostenible.

Para nuestro proyecto de inversión enfocado en los tecnosoles, se ha elaborado un presupuesto detallado (ver Apéndice H) que presenta datos actuales de sus cotizaciones ahora

en el mercado actual de los equipos y maquinaria que utilizaremos para la fabricación de los tecnosoles los recursos necesarios para su implementación. Dicho presupuesto puede consultarse (ver Tabla 15)

Tabla 15

Presupuesto de inversión

Inversión Inicial	**Monto (USD)**
Maquinaria	$203,846
Acondicionamiento planta	$61,677
Muebles y equipos admin.	$10,227
Equipos Auxiliares	$2,256
Intangibles	$622,048
Capital de trabajo	$55,294
Total	$986,262

Estructura	**Participación (%)**
Capital propio	12.17%
Financiamiento	87.83%
Total	100.00%

6.3.2. Análisis financiero

Una vez determinado el monto necesario de inversión, se procedió a realizar el análisis financiero del proyecto. Para ello, fue clave la elaboración del Estado de Resultados (ver Tabla 16) y del Flujo de Efectivo (ver Tabla 17), herramientas que permitieron evaluar con mayor claridad la viabilidad económica de la propuesta.

Tabla 16

Proyección de Estado de Resultados en dólares

	2026	2027	2028	2029	2030
Ingreso por ventas	2,822,287	2,963,401	3,111,572	3,267,150	3,430,508
Costo de ventas	2,031,678	2,084,688	2,140,348	2,198,792	2,260,157
Utilidad bruta	790,610	878,714	971,223	1,068,359	1,170,350
Gastos operativos					
Gastos generales	168,983	183,340	183,340	179,666	179,666
EBITDA	621,627	695,374	787,884	888,693	990,685
Depreciación	424,611	424,611	424,611	421,687	421,687
Amortización	57,288	34,965	34,965	34,965	34,965
Utilidad operativa (EBIT)	139,728	235,798	328,308	432,041	534,032
Otros ingresos/egresos					
Gastos financieros	98,183	94,063	89,391	84,557	79,105
Utilidad antes de participación	41,545	141,735	238,916	347,483	454,927
Participación (8%)	3,324	11,339	19,113	27,799	36,394
Utilidad antes de impuestos	38,222	130,396	219,803	319,684	418,533
Impuesto a la renta (30%)	11,466	39,119	65,941	95,905	125,560
Utilidad neta del ejercicio	26,755	91,277	153,862	223,779	292,973
Reserva legal (10%)	2,676	21,324			

Tabla 17

Flujo de efectivo en dólares

Año	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**
EBIT	139,728	235,798	328,308	432,041	534,032
Depreciación	424,611	424,611	424,611	421,687	421,687
Amortización	57,288	34,965	34,965	34,965	34,965
Gastos financieros	98,183	94,063	89,391	84,557	79,105
Impuesto a la renta	41,918	70,739	98,492	129,612	160,210
NOPAT	97,810	165,059	229,816	302,429	373,822
CAPEX	0	0	0	0	0
Capital de Trabajo	0	0	0	0	0
Flujo de caja Libre (FCL)	579,709	624,635	689,392	759,081	830,474
Flujo de Caja del Accionista (FCA)	481,526	530,572	600,001	674,524	751,369
FCA descontado	438,428	439,847	452,886	463,568	470,163

Se puede afirmar que el proyecto es viable, ya que al finalizar cinco años alcanza un Valor Actual Neto (VAN) de USD. 1'081,307.24, lo que refleja una rentabilidad sólida. Para este cálculo, los flujos de caja se descontaron utilizando una tasa WACC del 9.38%. Esta tasa

considera un costo de la deuda (Kd) del 11.14%, debido a que parte del financiamiento proviene de un préstamo con garantía hipotecaria el aporte de los accionistas en partes iguales y el flujo de caja del accionista (FCA) se puede observar en la tabla 17, y un costo del capital propio (Ks) del 9.83%, calculado en base a un coeficiente beta de 0.65, correspondiente a empresas con operaciones diversificadas (ver Tabla 18 y Tabla 19).

Cálculo del Costo de Capital Propio (Ke o Ks) usando el Modelo CAPM

El modelo de valoración de activos de capital (CAPM) se expresa como:

$$Ke = R_f + \beta\left(R_m - R_f\right)$$

Donde:

- ✓ RfR_fRf = Tasa libre de riesgo
  5.66%, correspondiente al rendimiento promedio de los bonos del tesoro norteamericano a 10 años (T-Bond).
  Fuente: U.S. Department of the Treasury (2024).
- ✓ RmR_mRm = Rentabilidad esperada del mercado
  9.49%, correspondiente al rendimiento histórico promedio del índice Standard & Poor's 500.
  Fuente: Standard & Poor's Market Analytics (2024).
- ✓ β\betaβ = Riesgo sistemático del proyecto respecto al mercado
  0.65, obtenido como el promedio de la beta de empresas del sector ambiental y minero durante los últimos cinco años.
  Fuente: Damodaran, A. (2024).

Tabla 18

Cálculo del Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC)

Estructura de Capital	**Kd**	**(1 - t)**	**W**	**Costo (Kd x W)**
Deuda	11.14%	70.50%	22.52%	1.77%
Patrimonio	9.83%		77.48%	7.61%
Total, Deuda y Patrimonio			100.00%	9.38%
WACC= Wd [Kd (1-t)] + Ws Ks			WACC	9.38%

Tabla 19

Cálculo del Modelo de Valoración de Activos Financieros. (CAPM)

CAPM = KLR +(KM - KLR) Beta	**Ks= CAPM + Riesgo país**
Rendimiento bolsa de valores de NY Índice Standard a Poor´s 500 promedio 20 años	9.49%
Rendimiento bonos del tesoro norteamericano T-Bond promedio 20 años	5.66%
Beta promedio de la empresa últimos cinco años	0.65
Riesgo país	1.68%
CAPM = 5,66% +(9,49% -5,66%) *0,65	8.15%
Ks = CAPM + Riesgo páis Ks =8,15% +1,68%=	9.83%

Además, para el cálculo de la TIR (Tasa Interna de retorno), que alcanzó un 42%, lo que refuerza la solidez del proyecto. En cuanto al EBITDA, es decir, las ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización, se estimó en 621,627 dólares para el primer año, lo que representa el flujo de caja operativo del negocio. Respecto al margen de este flujo operativo, se obtuvo un valor de 0.411, lo que significa que, por cada sol generado en ingresos, aproximadamente 41 centavos se traducen en ganancias operativas reales para el proyecto de tecnosoles.

6.3.3. Simulaciones empleadas para validar las hipótesis

Con el fin de evaluar la viabilidad del proyecto, se realizó una simulación del Valor Actual Neto (VAN) utilizando el método de Montecarlo, tomando como base los flujos de caja libre (FCL). Esta técnica permitió estimar la probabilidad de que el VAN sea menor a un millón de dólares, buscándose que este riesgo no superara el 8.15 %. No obstante, los resultados obtenidos indican un nivel de riesgo mayor, con una probabilidad de pérdida del 15.0 % una probabilidad de pérdida del 15% es manejable: el proyecto sigue siendo atractivo, pero no robusto del todo, esto nos indica como un escenario de riesgo moderado aceptable en proyectos innovadores, aclarando que con gestión de riesgos y alianzas estratégicas podría reducirse hacia el 10%, nivel considerado bajo, como se muestra (Ver Tabla 20).

Tabla 20

Simulación del VAN con el método de Montecarlo, en dólares

Años	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Flujo de caja neto	-986,262	410,471	479,113	546,370	618,196	692,843
Promedio ponderado de capital	9.4%					
Valor actual neto (VAN)	1,081,307					
Tasa Interna de Retorno (TIR)	42.2%					
Periodo de retorno (en años)	2					

Para obtener la desviación estándar deben probarse varios escenarios	VAN-Promedio 2,329,528	VAN - Desv.Est. 1,646,725
Primera simulación	4,484,196	
VAN Promedio simulado	2,133,452	
VAN desviación estándar simulada	1,658,250	
VAN Mínimo	-1,896,454	
VAN Máximo	6,653,492	
Riesgo de pérdida: VAN <1,000,000.00	15.00%	

Capítulo VII. Solución Sostenible

Este capítulo resalta la importancia del proyecto EcoSuelo y su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 8 y 15, a través del uso de tecnosoles como solución para el cierre de minas. Esta propuesta no solo permite rehabilitar suelos degradados, sino que también genera empleo en las comunidades locales. Además, los tecnosoles favorecen la recuperación de áreas impactadas por la actividad minera, en cumplimiento con la Ley N.º 31347, que establece la obligación de ejecutar planes de cierre de minas. En este contexto, los tecnosoles representan una alternativa sostenible en el tiempo, capaz de reducir la huella de carbono y restaurar los ecosistemas intervenidos.

7.1. Relevancia social de la solución

La relevancia social (Ver Tabla 21), la solución planteada destaca por su fuerte relevancia social, al alinearse con dos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por un lado, el ODS 8, que promueve el trabajo decente y el crecimiento económico: la producción, aplicación y monitoreo de los tecnosoles generará empleo en comunidades locales del Perú, además de impulsar la capacitación laboral y abrir nuevas oportunidades sostenibles tras el cierre de minas, como actividades agrícolas o de ecoturismo. Por otro lado, el ODS 15, enfocado en proteger la vida de los ecosistemas terrestres: el uso de tecnosoles contribuye a restaurar suelos degradados por la minería, favorece el regreso de la flora y fauna, reduce el drenaje ácido, mejora la calidad del agua y previene la contaminación de fuentes hídricas, ayudando así a conservar la biodiversidad en las zonas intervenidas.

Para calcular el Índice de Relevancia Social (IRS), se revisaron las metas del ODS 8 (ver Tabla 22) y se evaluó el grado de aporte del proyecto EcoSuelo a cada una. El análisis evidenció un impacto positivo en varias de ellas. El IRS se determina dividiendo la cantidad de metas a las que contribuye el proyecto entre el total de metas del ODS evaluado. En este caso, EcoSuelo cumple con 7 de las 10 metas, lo que arroja un IRS de 0.7:

$$IRS = \left(\frac{Metas\ del\ ODS\ movilizacion\ por\ la\ solución}{Total\ de\ metas\ del\ ODS}\right) * 100\%$$

$$IRS = \left(\frac{7}{10}\right) * 100\%$$

$$IRS = 70\%$$

En la relación a la ODS numero 8 se obtuvo un 70% de impacto de los cierres de mina con tecnosoles esto significa que esta tecnología ayudaría mucho durante el tiempo a recuperar el ecosistema que está haciendo degradado ahora en la actualidad por la contaminación en la minería, así como en otros rubros.

Tabla 21

Metas de ODS 8 Trabajo decente y crecimiento económico

N°	Objetivo de la ODS 8	Impacto	Evaluación
8.1	Se busca sostener el crecimiento económico por persona según las condiciones de cada país, y lograr, especialmente en los países menos desarrollados, un aumento del PBI de al menos 7 % por año.	_	No
8.2	El objetivo es aumentar la productividad económica apostando por la diversificación, la incorporación de tecnologías modernas y la innovación, con especial énfasis en sectores que generen mayor valor agregado y demanden más mano de obra.	El uso de nuevas tecnologias para brindar el servicio de cierre de minas genera un incremento de requerir mano de obra.	Si
8.3	Promover políticas que impulsen el crecimiento económico a través de actividades productivas, empleo digno, emprendimiento, innovación y creatividad. También es clave apoyar la formalización y fortalecimiento de las micro, pequeñas y medianas empresas, facilitando su acceso a financiamiento y herramientas que les ayuden a desarrollarse de forma sostenible.	Surge su necesidad de incremento de trabjo para cubrir adecuadamente las actividades relacionadas con la prestación del servicio.	Si
8.4	De cara al 2030, se aspira a avanzar progresivamente hacia modelos de producción y consumo más responsables y eficientes en el uso de los recursos a nivel mundial. La intención es que el crecimiento económico no continúe ligado al daño ambiental, siguiendo las pautas del Marco Decenal de Programas sobre Consumo y Producción Sostenibles, priorizando su aplicación en los países desarrollados.	Esta iniciativa está en sintonía con el Marco Decenal de Programas, el cual impulsa el uso responsable del recurso y fomenta prácticas sostenibles en producción y consumo.	Si

8.5	La meta hacia el 2030 es asegurar que todas las personas, sin distinción de género, edad o condición, incluyendo a jóvenes y personas con discapacidad, puedan acceder a un empleo pleno, productivo y digno. Además, se busca garantizar una remuneración justa y equitativa para todos, en función del valor real de su trabajo.	_	No
8.6	La meta planteada para el año 2020 fue disminuir de forma significativa el número de jóvenes que no cuentan con empleo, ni están estudiando o recibiendo formación, con el fin de promover su inclusión en el ámbito laboral y educativo.	_	No
8.7	Es urgente implementar medidas concretas para eliminar el trabajo forzoso, combatir la esclavitud moderna y la trata de personas, y erradicar las peores formas de trabajo infantil, como el reclutamiento de niños en conflictos armados. El objetivo es poner fin a todas las formas de trabajo infantil antes del año 2025.	Al promover prácticas laborales justas, se fomenta un entorno más sostenible y responsable, contribuyendo a la rehabilitación ambiental y al bienestar social.	Si
8.8	Asegurar el cumplimiento de los derechos laborales y promover entornos de trabajo seguros y sin riesgos, poniendo especial atención en la protección de los trabajadores migrantes, en particular las mujeres y quienes tienen empleos precarios o en situación vulnerable.	Al implementar medidas adecuadas, se pueden mejorar las condiciones laborales y reducir riesgos, promoviendo así un ambiente más seguro y justo para estos trabajadores.	Si
8.9	Para el año 2030, se busca desarrollar e implementar políticas que impulsen un turismo sostenible, capaz de generar empleo, fortalecer la cultura local y dar valor a los productos originarios de cada región.	Esto puede facilitar la transición hacia un uso sostenible del suelo, promoviendo la conservación ambiental y el desarrollo local, lo que beneficiaría a las comunidades afectadas	Si
8.10	Fortalecer a las entidades financieras del país para que puedan ofrecer y ampliar el acceso a servicios bancarios, financieros y de seguros a toda la población, promoviendo una inclusión financiera más justa y accesible para todos.	Esto no solo contribuye a la rehabilitación ambiental mediante el uso de tecnosoles, promueve el desarrollo económico y social.	Si

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se analizó el Índice de Relevancia Social (IRS) con respecto al ODS 15 “Vida de Ecosistemas Terrestres”, evaluando cada una de sus metas específicas (ver Tabla 22) y determinando de qué manera el proyecto EcoSuelo aporta a su cumplimiento. Los resultados reflejan que EcoSuelo genera un impacto positivo en varias de estas metas. El IRS

se obtiene al dividir la cantidad de metas a las que contribuye el proyecto entre el total de metas del ODS evaluado. En este caso, EcoSuelo impacta en 5 de las 9 metas del ODS 15, lo que da un índice de 0.56:

$$IRS = \left(\frac{Metas\ del\ ODS\ movilizacion\ por\ la\ solución}{Total\ de\ metas\ del\ ODS}\right) * 100\%$$

$$IRS = \left(\frac{5}{9}\right) * 100\%$$

$$IRS = 55.56\%$$

En la relación a la ODS número 15 “Vida de Ecosistemas Terrestres” se obtuvo un 55.56% esto significa que se recuperaría la vida terrestre del ecosistema ya que el cierre con los tecnosoles tiene mayor sostenibilidad que los cierres tradicionales.

Tabla 22

Metas de ODS 15 Vida de Ecosistemas Terrestres

N°	Objetivo de la ODS 15	Impacto	Evaluación
15.1	En el año 2020, se fijó como objetivo garantizar la conservación, restauración y uso sostenible de ecosistemas clave como bosques, humedales, montañas y zonas áridas, tanto terrestres como de agua dulce. Esta meta debía cumplirse en concordancia con los acuerdos internacionales vigentes, con el propósito de proteger los valiosos servicios que estos ecosistemas ofrecen a la sociedad y al planeta.	se contribuye no solo a la rehabilitación ambiental, sino también al bienestar de las comunidades locales el cumplimento de estándares internacionales de sostenibilidad	Si
15.2	Para el año 2020, se propuso impulsar una gestión sostenible y responsable de los distintos tipos de bosques, con el fin de frenar la deforestación, recuperar las zonas forestales deterioradas y fortalecer las acciones de forestación y reforestación a nivel global.	–	No

15.3	De aquí al 2030, se busca enfrentar la desertificación y restaurar las tierras y suelos deteriorados, en especial aquellos impactados por sequías, inundaciones u otros procesos de degradación. El propósito es avanzar hacia un escenario en el que la pérdida de suelo esté controlada o, idealmente, eliminada por completo.	Contribuyen a la regeneración de la vegetación nativa y a la recuperación de los ecosistemas, lo que a su vez fortalece la sostenibilidad ambiental y mejora la adaptación frente al cambio climático.	Si
15.4	Con miras al 2030, se propone asegurar la conservación de los ecosistemas de montaña y su biodiversidad, con el objetivo de reforzar su capacidad para brindar servicios esenciales que contribuyan al desarrollo sostenible.	Se promueve el retorno de especies nativas y se fortalece la capacidad de los ecosistemas para resistir y adaptarse a diversas amenazas del entorno.	Si
15.5	Es fundamental actuar con urgencia y decisión para detener la degradación de los hábitats naturales, frenar la pérdida de biodiversidad y, como se planteó para el año 2020, proteger a las especies en peligro de extinción y evitar que desaparezcan.	_	No
15.6	Promover una distribución justa de los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos, garantizando que todas las partes involucradas tengan acceso adecuado a estos recursos, en concordancia con los compromisos asumidos a nivel internacional.	Incluir a las comunidades locales en los procesos de restauración ecológica y garantizarles el acceso a los recursos recuperados fortalece un modelo de desarrollo más justo y sostenible.	Si
15.7	Es urgente actuar para frenar la caza ilegal y el comercio de especies protegidas, tanto de flora como de fauna. Esto implica abordar no solo la	_	No

	oferta, sino también la demanda de productos silvestres obtenidos de forma ilícita.		
15.8	Asimismo, en el año 2020 se estableció como meta implementar acciones que impidan el ingreso de especies invasoras, controlar su propagación y mitigar el impacto que generan en los ecosistemas, priorizando la eliminación de aquellas que representen mayores amenazas para la biodiversidad.	_	No
15.9	Desde el año 2020, se planteó la necesidad de integrar el valor de los ecosistemas y la biodiversidad en la planificación nacional y local, incluyendo los planes de desarrollo y las estrategias contra la pobreza, con el fin de reconocer su importancia en las decisiones públicas y en la calidad de vida de las personas.	La reducción de la pobreza, beneficiando a las comunidades ambientales locales y asegurando un futuro más sostenible para los ecosistemas afectados.	Si

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, el proyecto EcoSuelo demuestra una fuerte relevancia social, ya que busca generar impactos positivos al nivel ambiental y social. Su implementación contribuye a reducir la contaminación provocada por las actividades mineras, promueve la creación de nuevos empleos y mejora la revegetación de los ecosistemas. Además, ayuda a disminuir los pasivos ambientales y a recuperar zonas degradadas por la minería. Todo esto se refleja claramente en el Canvas Sostenible (ver Figura 25).

Figura 25

Business Model Canvas Sostenible

Flourishing Business Canvas — ***Designed for: Ecosuelo*** — ***Designed by: Grupo 5*** — ***Date: 3/03/2025***

Medio Ambiente: Los cierres de mina ahora en la actulidad deberina ser sostenibles que mejoren el ecosistema de las area afectadas por la mineria

Sociedad: En la actualidad la mayoria de cierres de mina se realiza de manera tradicional la cual no es sostenible en el tiempo y generando a largo plazo pasivos ambientales

Economia: Ingresos generados por la producción y venta de tecnosoles a empresas mineras y otros sectores que requieren restauración de suelos.

Existencia Biofísica

Suelos más orgánicos y sostenibles

Servicios Ecológicos

Promuevan la sostenibilidad, como consultoría ambiental, restauración de ecosistemas, gestión de residuos, y educación ambiental.

Procesos

Recursos

* Expertos en restauración ecológíca
* Tecnología de producción de tecnosoles.
* Capacitación y formación

Alianzas

* Universidades y centros de investigación.
*Gobiernos y agencias ambientales.
*Empresas de tecnología ambiental.
* Empresas Mineras

Actividades

* Investigación y desarrollo.
*Evolución de sitios mineros
*Desarrollo de politicas y normativas.
* Marketing y promoción

Gobernanza

* Politicas sostenibles
*Cumplimiento normativo.
* Participación de las partes interesadas.
*Ética y responsabilidad social.

Valor

Co-creación del valor

Las comunidades:
Involucrar a las comunidades en el proceso de restauración y cierre de minas, asegurando que sus conocimientos y necesidades sean considerados.

Asociación con empresas mineras:
Establecer relaciones de colaboración con empresas mineras para diseñar e implementar planes de cierre que utilicen tecnosoles.

Desarrollar programas de participación:
Crear programas de capacitación en colaboración con instituciones educativas para formar a profesionales en el uso de tecnosoles y prácticas de restauración.

Destrucción del valor

* Falta de cumplimiento normativo
*Impacto ambiental negativo
* Desalineación con los objetivos de sostenibilidad

Personas

Relaciones

*Colaboración con las munidades locales
*Gobiernos locales
*Agencias reguladoras

Canales

* Sitio web corporativo
* Eventos como el PERUMIN, Cámara de comercio
*Publicaciones y artículos cientifícos
*Boletines informativos
* Redes de innovación y sostenibilidad

Actores Clave

* Las empresas mineras que requieren un cierre de mina sostenible y de restauración del suelo por impacto de sus operaciones.
*Organizaciones no gubernamentales y/o ambientales que estan involucradas con la reducción de los pasivos ambientales
* Las comunidades locales que estan afectadas por las operaciones mineras.

Actores del ecosistema

* Proveedores de materias primas
*Gobiernos locales
* Ministerio de medio ambiente
*Organizaciones internacionales
* Medios de comunicación
* Gobiernos regionales

Necesidades

* Asegurar que los cierres de mina sean sostenibles
* Necesidad de establecer alianzas con las empresas mineras y las ONGs
*Necesidad de cumplir con las regulaciones ambientales y obtener certificaciones que validen la las practicas sostenibles
* Necesidad de invertir en investigación de otras alternativas para cierre de minas sostenibles y regeneración del ecosistema.

Costos:

Activos tangibles (laptos, mobiliarios, etc.) gastos legales y mezcladora
Activos intangibles plataformas digitales y pagina web alquiler de maquinaria, costos de venta, gastos financieros, contingencias y otros servicios

Metas

Ejecutar los cierre de las operaciones mineras en un 80% con los tecnosoles
Formar alianzas con las minas para realizar el cierre de mina con tecnosoles
Obtener 2 certificaciones de sostenibilidad y mejorar la calidad de vida de las personas que viven en las comunidades

Beneficios:

Disminuir en un 50% de la contaminación del suelo
Lograr el 80% del cumplimiento con las regulaciones ambientales
Alinear al menos 3 proyectos de restauración con los ODS relevantes, contribuyendo a un impacto positivo en un 30% de las comunidades afectadas.

Resultados

7.2. Rentabilidad social de la solución

Los proyectos que incorporan el uso de tecnosoles ofrecen importantes beneficios sociales y ambientales, particularmente en la disminución de los costos económicos asociados a la contaminación del aire. Al aprovechar residuos sólidos y mejorar las condiciones del suelo, se contribuye a reducir las emisiones contaminantes, lo cual impacta positivamente en la salud pública y disminuye los gastos del Estado en tratamientos médicos y acciones de remediación ambiental. En ese sentido, este proyecto contempla como uno de sus aportes clave la reducción del costo económico total generado por la contaminación atmosférica, que según el estudio ESDA del Ministerio del Ambiente, representa un gasto anual estimado de S/ 3,625 millones.

Uno de los beneficios concretos del cierre de minas con tecnosoles es la disminución en la emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Aunque la cantidad de COV liberada puede variar, en suelos mal gestionados puede representar alrededor del 1 % de la contaminación del aire. También se ha estimado el impacto de los tecnosoles en la reducción de este problema a lo largo de los próximos cinco años (ver Apéndice Q).

Otro efecto positivo importante es la prevención de enfermedades graves. Se estima que el uso de tecnosoles podría evitar que al menos dos personas desarrollen cáncer, y en el Apéndice Q se detallan los cálculos relacionados con los costos del tratamiento de esta enfermedad para dos pacientes por año durante los próximos cinco años, los cuales suman aproximadamente S/ 1’200,000 (Gestión, 2022).

Todos estos beneficios sociales y ambientales derivados del uso de tecnosoles en el cierre de minas se realizó un resumen (Ver Tabla 23).

Tabla 23

Beneficios a la sociedad por el proyecto para cierre de mina con TECNOSOLES.

Años de operación	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Beneficio total anual por tratamiento de cáncer	USD/año	61,538	61,538	61,538	61,538	61,538
Beneficio de aporte del tecnosol al medio ambiente	USD/año	281,600	281,600	281,600	281,600	281,600
Beneficio / Impacto positivo total del proyecto		**343,138**	**343,138**	**343,138**	**343,138**	**343,138**

De igual forma, se realizó los cálculos los posibles impactos negativos del proyecto que podrían afectar a la sociedad durante los próximos 5 años. Uno de los principales factores considerados fue la emisión de CO_2 generada por el consumo de toda la energía eléctrica, empezando por el uso de cuatro laptops que operan 10 horas diarias, los 365 días del año (ver Apéndice Q).

También se calculó el impacto ambiental de las máquinas procesadoras de la planta de transformación. Según sus especificaciones técnicas, estas consumen 175.9 kWh y emiten aproximadamente 392.01 kg de CO_2 por hora, lo que equivale a unas 13,861.12 toneladas de CO_2 al año (ver Apéndice Q).

Además, se tomó en cuenta la huella de carbono de los camiones volquetes y del camión recolector de residuos sólidos. Con base en los datos técnicos de sus motores, se estimó una emisión de 297.32 gramos de CO_2 por kilómetro recorrido. Considerando un promedio de 20,250 km mensuales (243,000 km anuales), esto se traduce en unas 20,720.94 toneladas de CO_2 emitidas al año (ver Apéndice Q).

El costo estimado por tonelada de CO_2, de acuerdo con SENDECO2, es de 7.17 dólares estadounidenses, aunque este valor puede variar con el tiempo. Estos cálculos

permiten tener una visión más clara de los impactos negativos del proyecto en términos de emisiones y su costo asociado.

Los impactos negativos socioambientales asociados al proyecto EcoSuelo han sido cuantificados y organizados para ofrecer una visión clara de sus posibles efectos. Estos resultados se presentan (Ver Tabla 24).

Tabla 24

Costos a la sociedad por el proyecto para cierre de mina con tecnosoles.

Años de operación	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Costo de emisión de CO2 - energía eléctrica de laptop	USD/año	13.80	13.80	13.80	13.80	13.80
Costo de emisión de CO2– E. Eléctrica de máquinas	USD/año	99,384.23	99,384.23	99,384.23	99,384.23	99,384.23
Costo de emisión de CO2 - camión	USD/año	20,720.94	20,720.94	20,720.94	20,720.94	20,720.94
Costo / Impacto negativo total del proyecto	**USD/año**	120,118.98	120,118.98	120,118.98	120,118.98	120,118.98

Para estimar el Valor Actual Neto (VAN) social del proyecto de cierre de minas con tecnosoles (ver Tabla 25), se consideraron los beneficios sociales proyectados y se descontaron los costos esperados a lo largo de un periodo de cinco años. Este análisis se realizó utilizando una Tasa Social de Descuento (TSD) del 8 %, conforme a los lineamientos establecidos por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF, 2023). Tal como se detalla en la Tabla 25, el VAN social del proyecto EcoSuelo alcanza los USD 890,452.13, lo que evidencia un impacto altamente positivo, con un retorno equivalente al 82 % en beneficios directos para la sociedad.

Tabla 25

Cuadro de cálculo del VAN social

Aspecto Evaluado	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Beneficios o contribuciones sociales totales generadas por el proyecto	343,138	343,138	343,138	343,138	343,138
Costos o efectos adversos generados por el proyecto	-120,119	-120,119	-120,119	-120,119	-120,119
Resultado neto entre beneficios y costos	**223,019**	**223,019**	**223,019**	**223,019**	**223,019**
Tasa de descuento social (TSD) 8%					
VAN Social $890,452.13					

Capítulo VIII. Decisión e Implementación

La adopción del uso de tecnosoles por parte de empresas para el cierre de minas representa una alternativa innovadora orientada a la restauración ambiental de zonas impactadas por la actividad minera. Este enfoque contempla varios aspectos clave que deben considerarse para una implementación efectiva:

- ✓ Diagnóstico ambiental: Antes de optar por la aplicación de tecnosoles, es fundamental llevar a cabo un análisis detallado del estado del suelo y de los efectos ambientales ocasionados por la explotación minera.
- ✓ Análisis costo-beneficio: Frente a los métodos tradicionales, los tecnosoles representan una solución más económica y sostenible, ya que permiten reducir los costos de transporte de materiales y aprovechan residuos locales como insumos para su elaboración.
- ✓ Cumplimiento normativo: La implementación debe enmarcarse en la normativa ambiental vigente a nivel local y nacional, asegurando que el proceso de cierre y restauración cumpla con los requisitos legales establecidos.

8.1. Plan de implementación y equipo de trabajo

Para este proyecto, se ha proyectado una duración total aproximada de siete meses, abarcando todas las fases desde el inicio. Este periodo contempla actividades esenciales como el análisis de viabilidad financiera, la gestión para obtener la licencia de funcionamiento y las acciones necesarias para llegar a la implementación y puesta en marcha del proyecto. En la (Ver Figura 26) se muestra el cronograma detallado de estas etapas mediante un Diagrama de Gantt.

- ✓ Estudio, análisis y evaluación financiera (8–22 sep 2025)
  - Es la primera fase, lógica porque permite verificar viabilidad técnica y económica antes de comprometer inversiones mayores.

- Incluye diagnóstico preliminar, análisis de costos, ingresos esperados y evaluación de rentabilidad.
- Base para decidir continuar con las siguientes fases.

✓ Actividades preoperativas (22 sep – 8 oct 2025)

- Etapa corta, orientada a preparar condiciones iniciales: estudios preliminares, lineamientos ambientales y sociales.
- Aquí se aseguran insumos de información, permisos iniciales y logística de arranque.
- Lógica porque prepara el terreno para los trámites administrativos.

✓ Aspectos administrativos y legales (8 oct – 18 dic 2025)

- Es la fase más extensa de inicio, centrada en permisos, licencias y contratos legales.
- Incluye constitución de la empresa/consorcio, contratos con proveedores y formalización ante reguladores.
- Tiene lógica que sea paralelo a algunos estudios, ya que sin autorizaciones no se puede avanzar en construcción ni operación.

✓ Estudio técnico (19 dic 2025 – 13 feb 2026)

- Desarrolla la ingeniería básica y de detalle de la planta y del proceso de formulación de tecnosoles.
- Se ejecuta luego de tener el marco legal en marcha, lo cual asegura coherencia con normativas y requisitos.
- Define capacidades, equipos, especificaciones técnicas y layout de planta.

✓ Alquiler de oficina y maquinaria (13 feb – 13 mar 2026)

- Etapa de instalación de recursos físicos y administrativos.

- Asegura contar con espacio logístico y equipos temporales mientras se construye la plataforma.
- Sirve de puente hacia el inicio de actividades operativas.

✓ Construcción de plataforma para producción de tecnosol (13 mar – 21 abr 2026)

- Es la obra física principal, donde se habilita la planta productiva.
- Su ubicación después del estudio técnico es lógica, ya que requiere planos y especificaciones cerradas.
- Incluye movimiento de tierras, infraestructura básica y montaje de equipos.

✓ Estrategias comerciales (21–26 abr 2026)

- Etapa corta pero crucial, enfocada en promoción, marketing y acuerdos comerciales.
- Se programa en paralelo con el cierre de la construcción para garantizar que la producción tenga ya clientes objetivos al arrancar.

✓ Actividades operativas (19–25 abr 2026)

- Inicio formal de la operación piloto/productiva.
- Abarca la puesta en marcha, calibración de procesos y primeras entregas.
- Lógica porque arranca apenas termina la plataforma y mientras se despliegan estrategias comerciales, maximizando eficiencia en tiempos.

El proyecto sigue una secuencia lógica de maduración: primero la viabilidad (financiera y técnica) → luego permisos y estudios de detalle → después infraestructura → finalmente comercialización y operación.

Varias actividades están encadenadas en paralelo (ej. aspectos legales y estudios técnicos), lo que optimiza la duración total del proyecto (229 días).

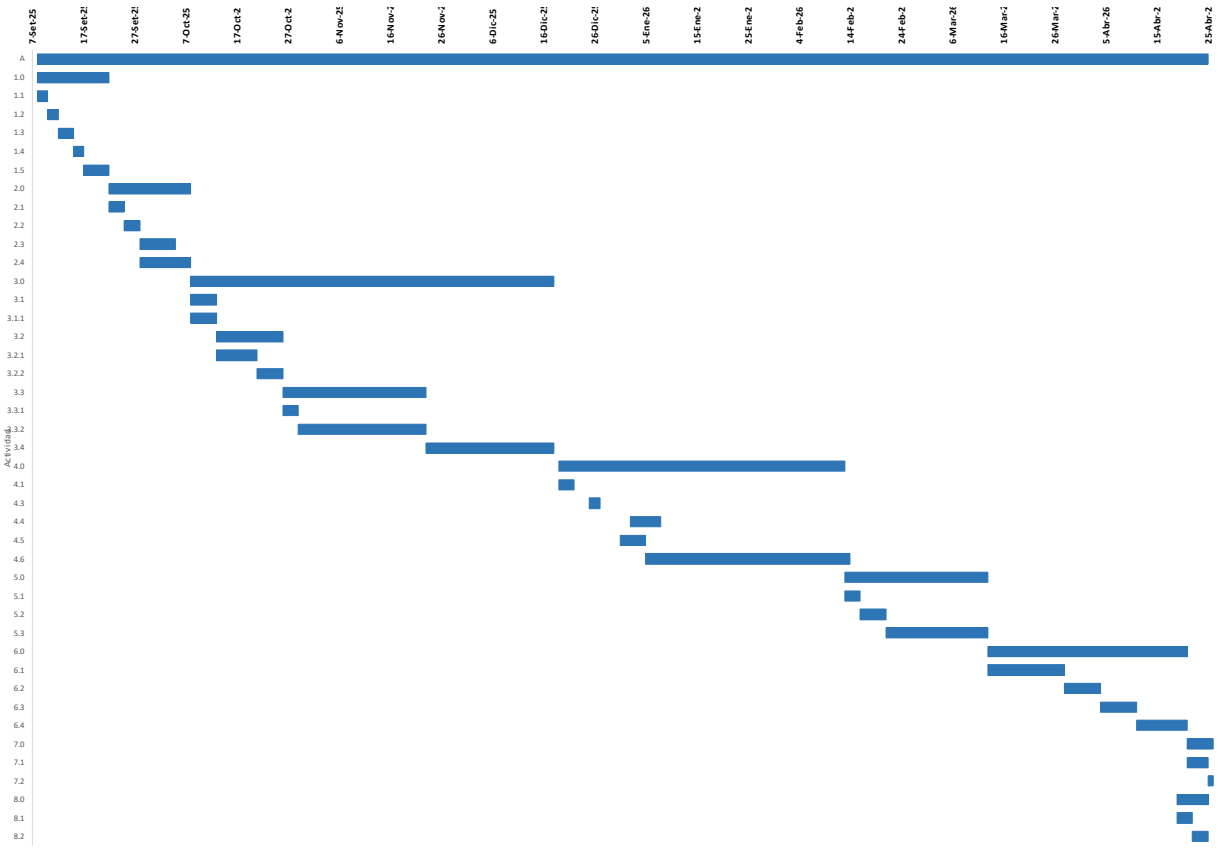
La planificación considera la ruta crítica: aspectos legales + estudio técnico + construcción → determinan el inicio de la operación.

Figura 26

Plan de ejecución temporal del proceso de cierre de mina mediante tecnosoles (Diagrama de Gantt).

DIAGRAMA DE GANTT PARA PLAN DE CIERRES DE UNA MINA CON TECNOSOLES

ID	Actividad	Inicio	Duración	Fin
A	**PROYECTO PLANTA DE PRODUCCION DE TECNOSOL**	**8-Set-25**	**229**	**25-Abr-26**
1.0	**ESTUDIO, ANALISIS Y EVALUACIÓN FINANCIERA**	**8-Set-25**	**14**	**22-Set-25**
1.1	Criterios y proyecciones	8-Set-25	2	10-Set-25
1.2	Inversiones del proyecto	10-Set-25	2	12-Set-25
1.3	Plan de financiamiento	12-Set-25	3	15-Set-25
1.4	Costos y gastos	15-Set-25	2	17-Set-25
1.5	Evaluación financiera del proyecto	17-Set-25	5	22-Set-25
2.0	**ACTIVIDADES PRE OPERATIVAS**	**22-Set-25**	**16**	**8-Oct-25**
2.1	Revisión del modelo de negocio	22-Set-25	3	25-Set-25
2.2	Definición del presupuesto y proveedores de maquinaria	25-Set-25	3	28-Set-25
2.3	Revisión de documentos para la licencia	28-Set-25	7	5-Oct-25
2.4	Alianzas estrategicas con las municipalidades y comercializadores de cenizas	28-Set-25	10	8-Oct-25
3.0	**ASPECTOS ADMINISTRATIVOS LEGALES**	**8-Oct-25**	**71**	**18-Dic-25**
3.1	Planteamiento estrategico	8-Oct-25	**5**	13-Oct-25
3.1.1	Razon social, Misión, Visión, Valores y logo	8-Oct-25	5	13-Oct-25
3.2	Constitución de la empresa	13-Oct-25	**13**	26-Oct-25
3.2.1	Inscripción de la empresa (RUC, SUNARP)	13-Oct-25	8	21-Oct-25
3.2.2	Estructura organica de la empresa	21-Oct-25	5	26-Oct-25
3.3	Selección de personal administrativo y operativo	26-Oct-25	**28**	23-Nov-25
3.3.1	Listado de personal necesario administrativo y operativo	26-Oct-25	3	29-Oct-25
3.3.2	Contratación de personal administrativo y operativo	29-Oct-25	25	23-Nov-25
3.4	Obtención de permisos para operar (licencias de funcionamiento, permisos y cetificaciones)	23-Nov-25	**25**	18-Dic-25
4.0	**ESTUDIO TECNICO**	**19-Dic-25**	**56**	**13-Feb-26**
4.1	Ingenieria del proyecto	19-Dic-25	3	22-Dic-25
4.3	Dimencionamiento del proyecto	25-Dic-25	2	31-Dic-25
4.4	Dimencionamiento de las intalaciones basicas del proyecto	2-Ene-26	6	8-Ene-26
4.5	Selección del tipo y marca de maquinaria a utilizar	31-Dic-25	5	5-Ene-26
4.6	Importación de maquinaria para implemetación de planta	5-Ene-26	40	13-Feb-26
5.0	**ALQUILER DE OFICINA Y MAQUINARIA**	**13-Feb-26**	**28**	**13-Mar-26**
5.1	Definición de caracteristicas y condiciones a evaluar para la selección la maquinaria	13-Feb-26	3	16-Feb-26
5.2	Evaluación de los resultados de los modelos de selección de la ubicación de la planta y oficinas	16-Feb-26	5	21-Feb-26
5.3	Alquiler de las oficinas	21-Feb-26	20	13-Mar-26
6.0	**CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA PARA PRODUCCION DEL TECNOSOL**	**13-Mar-26**	**39**	**21-Abr-26**
6.1	Obras civiles	13-Mar-26	15	28-Mar-26
6.2	Sistema electrico	28-Mar-26	7	4-Abr-26
6.3	Instalación de la maquinaria	4-Abr-26	7	11-Abr-26
6.4	Pruebas de funcionamiento de la maquinaria	11-Abr-26	10	21-Abr-26
7.0	**ESTRATEGIAS COMERCIALES**	**21-Abr-26**	**5**	**26-Abr-26**
7.1	Publicidad para lanzamiento de la marca	21-Abr-26	4	25-Abr-26
7.2	Inscripción en las revistas de mineria y linkedin	25-Abr-26	1	26-Abr-26
8.0	**ACTIVIDADES OPERATIVAS**	**19-Abr-26**	**6**	**25-Abr-26**
8.1	Contracto con productores de cenizas y Residuos solidos	19-Abr-26	3	22-Abr-26
8.2	Compra de Insumos	22-Abr-26	3	25-Abr-26



8.2. Conclusión

El análisis financiero demuestra que el proyecto no solo es viable, sino también altamente rentable. Aunque requiere una inversión inicial de USD 986,262.28, esta se recupera en solo dos años gracias a su corto periodo de retorno (payback). Además, alcanza un Valor Actual Neto (VAN) de USD 1'081,307.24 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 42%, lo que lo convierte en una propuesta atractiva para potenciales inversionistas. Su enfoque diferenciado, una clara estrategia de posicionamiento en el mercado y un plan operativo basado en los principios de la economía circular fortalecen su sostenibilidad y aseguran su proyección positiva a largo plazo.

El uso de tecnosoles en el cierre de minas presenta un alto potencial de escalabilidad, gracias a su eficiencia operativa, sus beneficios ambientales y su capacidad para adaptarse a diversos entornos. Esta tecnología favorece la restauración integral de los ecosistemas y optimiza el manejo del agua, lo que puede generar una respuesta positiva tanto por parte de las comunidades locales como de las entidades ambientales responsables.

El cierre de minas utilizando tecnosoles se presenta como una solución sostenible, orientada a mitigar el impacto ambiental vinculado a las emisiones de CO_2. De acuerdo con el estudio ESDA del Ministerio del Ambiente, estas emisiones representan un costo anual estimado de 3,625 millones de soles. Además, el proyecto está alineado con dos Objetivos de Desarrollo Sostenible prioritarios: el ODS 8, relacionado con el trabajo decente y el crecimiento económico, y el ODS 15, centrado en la protección de los ecosistemas terrestres. En esta línea, se obtuvo un Índice de Relevancia Social (IRS) del 70 % para el ODS 8 y del 55.56 % para el ODS 15, lo que evidencia un aporte concreto en ambos frentes.

La aplicación de tecnosoles en procesos de cierre de minas contribuye significativamente a la recuperación de ecosistemas afectados, al mismo tiempo que impulsa la generación de empleo formal y fomenta un modelo de desarrollo económico más

sostenible y responsable. Desde una perspectiva social, el proyecto demuestra un impacto favorable, reflejado en un Valor Actual Neto Social (VAN) de USD 890,452.13, lo que respalda su aporte en la protección ambiental, la salud pública y la mejora de la calidad de vida de las comunidades involucradas.

Es importante recordar que los aspectos ambientales y sociales están estrechamente conectados: sin un entorno saludable, no es posible lograr un desarrollo social sostenible ni un progreso real.

Se concluye que el 90 % de los usuarios encuestados expresó estar dispuesto a contratar el servicio de cierre de minas utilizando tecnosoles, lo que refleja un alto nivel de aceptación e interés por esta solución. Esta alta aceptación sugiere que los tecnosoles son percibidos como una solución efectiva y atractiva para la rehabilitación ambiental en el cierre de minas. Los beneficios de los tecnosoles, es la también mejorar la gestión de líquido elemento que es el agua, la reducción del tratamiento de aguas residuales producto de la minería tanto legal como también la ilegal a perpetuidad, y la integración más amigable al ecosistema local, pueden ser factores clave en esta preferencia. Además, la aplicación de tecnosoles ha demostrado ser eficaz en proyectos como el de la mina La Zanja en Cajamarca, Perú, y en otros casos internacionales, lo que respalda su viabilidad y aceptación entre los usuarios potenciales. La colaboración con entidades como Innóvate Perú también ha contribuido a difundir y validar esta tecnología, lo que puede influir positivamente en la percepción de los usuarios.

Con base en todo lo expuesto, se puede afirmar que el proyecto de cierre de minas mediante el uso de tecnosoles, considerado una innovación incremental, resulta factible, viable y sostenible en el tiempo.

8.3. Recomendación

Se recomienda realizar ensayos de permeabilidad en cada depósito para determinar con mayor precisión el nivel de infiltración y caracterizar el comportamiento hidrogeológico del suelo tratado.

Se recomienda utilizar casos de éxito, como el de la mina La Zanja, para demostrar la viabilidad técnica y ambiental del proyecto, y al mismo tiempo sustentar la planificación de su escalabilidad hacia nuevas operaciones.

Se recomienda considerar la aplicación de los tecnosoles en otros sectores estratégicos, como la agricultura (para mejorar la fertilidad de suelos degradados) y las obras civiles (para la revegetación de taludes o el control de erosión), con el objetivo de ampliar su impacto y diversificación.

Se recomienda emplear diferentes tipos de residuos orgánicos y materiales aprovechables como compost, lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales y biomasa local para enriquecer el suelo, mejorar su estructura y aumentar su capacidad de retención de agua.

Se recomienda implementar tecnologías que permitan la automatización de la fabricación, transporte y aplicación de tecnosoles, con el fin de optimizar los procesos, reducir los costos asociados y garantizar mayor eficiencia operativa.

Referencias

Aduvire, O. (2023). *Drenaje ácido de mina: generación y tratamiento*. Instituto geológico y minero de España-Dirección de recursos minerales y geoambientales.

ANIR. (2020). ANIR - Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje A.G. Estudio del Material Disponible País y el reciclado de los productos prioritarios en Chile, 2020. Recuperado de https://www.anir.cl/wp-content/uploads/2021/12/ANIR-2020-Estudio-del-material-disponible-Pais-Neumaticos.pdf

Australian Government. (2023). *Leading practice sustainable development program for the mining industry*. https://www.industry.gov.au/

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2020). *Informe de gestión del agua en el Perú*. https://www.gob.pe/ana

Banco Mundial. (2022). *Sustainable mining development*. https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/

BCR. (2024). Recuperado de: https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2022/junio/ri-junio-2022-recuadro-3.pdf

BGS. (2022). *Environmental sustainability in mining. British Geological Survey.* https://www.bgs.ac.uk/

Bolaños, D. 2018, *Aplicación de Tecnosoles para la recuperación de suelos y aguas afectados por actividades de obras civiles, urbanas y minería*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/10347/12503/1/rep_804.pdf.

CENEPRED. (2020). *Gestión del riesgo ambiental en zonas mineras*. https://www.cenepred.gob.pe/

CEPAL: *Gestión del Cierre de Minas*

Cero CO_2. (2023). Cero CO_2 ORG. Te ayudamos a ser neutro en CO_2. Recuperado de https://www.ceroco2.org/calculadoras/home

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2022). *La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe 2022*. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/b4a9b19b-4d17-40b9-bf59-b4ef7d8c575b/content

Contraloría General de la República. (2021). *Informe sobre la gestión de pasivos ambientales en minería*. https://www.contraloria.gob.pe/

Damodaran, A. (2023). Betas by Sector (US). Recuperado de https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html

Damodaran, A. (2023). *Cost of capital by industry sector. NYU Stern School of Business.* http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/

El Comercio. (2018) Recuperado de https://elcomercio.pe/lima/callao/callao-veredas-usadas-deposito-clandestino-llantas-fotos-noticia-512927-noticia/

El Peruano Inversión en el sector minero 2024

EPA. (2023). *Abandoned mine lands: Site cleanup technologies*. https://www.epa.gov/

Ernst & Young. (2022). *Top 10 business risks and opportunities for mining and metals*. https://www.ey.com/en_gl/mining-metals/10-business-risks-facing-mining-and-metals

FAO. (2021). *Suelos y restauración ecológica en actividades extractivas.* https://www.fao.org/

Foro Económico Mundial. (2021). *Mining and metals scenarios 2030*. https://www.weforum.org/reports/mining-metals-scenarios-to-2030/

Gestión. (2024). Recuperado de https://gestion.pe/noticias/riesgo-pais/

Gestión. (2025). Gastos en tratamientos del cáncer en el Perú va entre S/. 70,000 y S/. 600,000 Recuperado de https://gestion.pe/tu-dinero/gasto-tratamientos-cancer-peru-s-70-000-s-600-000-75580-noticia/?ref=gesr

Global Reporting Initiative (GRI). (2020). *Mining sector standards*. https://www.globalreporting.org/

Grupo de Análisis para el Desarrollo - GRADE. (2021). *Estudio de impactos socioambientales de relaves abandonados.* https://www.grade.org.pe/

https://elperuano.pe/noticia/243408-inversion-en-el-sector-minero-ascenderia-a-5000-millones-de-dolares-en-el-2024

https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/512df32b-0653-4cc7-a5db-4cb49bc459af/content.

https://www.gob.pe/institucion/minem/colecciones/18527-publicaciones-normativas-del-sector-minero

https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4156124-ley-y-reglamento-que-regula-el-cierre-de-minas-ed-2023

https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/5724261-mapa-de-principales-unidades-mineras-en-produccion-2024

IFC. (2023). *Performance standards on environmental and social sustainability*. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-atif

IIMP. (2022). *Boletín estadístico minero. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*. https://iimp.org.pe/estadisticas

IIMP; 2023,

INEI. (2022). *Indicadores ambientales y económicos del sector minero*. https://www.inei.gob.pe/

INEI: *Producción del Sector Minería e Hidrocarburos marzo 2024* Minerohttps://www.rumbominero.com/peru/inei-produccion

Instituto de Ingenieros de minas del Perú. (2021) Recuperado de https://revistamineria.com.pe/tecnico-cientifico/reduccion-del-impacto-al-medio-ambiente-ocasionado-por-los-neumaticos-de-camion-minero-mediante-el-reencauche

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (2024). *Estudio técnico sobre pasivos ambientales mineros.* https://www.ingemmet.gob.pe/

International Council on Mining and Metals – ICMM. (2021). *Good practice guidance for mining and biodiversity*. https://www.icmm.com/

IPE. (2021). Instituto Peruano de Economía. IPE. El costo de la incertidumbre política. Recuperado de https://www.ipe.org.pe/portal/el-costo-de-la-incertidumbre-politica/

ISO. (2022). *ISO 14001: Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. https://www.iso.org/standard/60857.html

MEF. (2024). Informe de actualización de Proyecciones Macroeconómicas 2022-2025 Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/pol_econ/marco_macro/IAPM_2022_2025.pdf

MINAM. (2022). Cuadro de tipificación de infracciones administrativas y escala de sanciones. Recuperado de https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-el-cuadro-de-tipificacion-de-infracciones-administ-resolucion-n-00013-2021-oefacd-1985672-1/

MINAM. (2023). Estudio de Desempeño Ambiental (ESDA) 2003 - 2013. 6.1.4. Efectos en la salud de las personas que produce la contaminación; estudios que estimen el impacto de la contaminación en la salud de la población. Recuperado de https://www.minam.gob.pe/esda/6-1-4-efectos-en-la-salud-de-las-personas-que-

produce-la-contaminacion-estudios-que-estimen-el-impacto-de-la-contaminacion-en-la-salud-de-la-poblacion/

MINAM. (2023). *Política Nacional del Ambiente al 2030*. https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2092460-146-2021-minam

MINAM. (2024). Régimen Especial de Neumáticos Fuera de Uso. Recuperado de https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2452205-regimen-especial-de-neumaticos-fuera-de-uso

MINEM. (2023). *Estadísticas mineras oficiales. Ministerio de Energía y Minas del Perú.* https://www.gob.pe/minem

Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2022). *Informe de la actividad minera en el Perú*. https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones

Ministerio de Energía y Minas: *Mapa de principales unidades mineras en producción 2024*

Ministerio del Ambiente del Perú. (2022). *Lineamientos para la recuperación de ecosistemas en zonas mineras.* https://www.gob.pe/minam

Natural Resources Canada. (2022). *Mine closure and reclamation*. https://natural-resources.canada.ca/

ODS (2025). Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS. Recuperado de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

OECD. (2020). *Framework for responsible mining investment.* https://www.oecd.org/investment/framework-for-responsible-mining.htm

OEFA. (2022). *Supervisión y fiscalización ambiental minera*. https://www.oefa.gob.pe/

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2020). *Informe sobre el agua y la salud en el mundo.* https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento

Orihuela, 2023; *"Pasivos ambientales: residuos de la minería que nadie quiere asumir"*, https://data.larepublica.pe/pasivos-ambientales-los-residuos-de-la-mineria-que-nadie-quiere-asumir/

PeruPetro. (2022). *Gestión de pasivos ambientales en hidrocarburos.* https://www.perupetro.com.pe/

Publicaciones Normativas del Sector Minero

PWC. (2021). *Mine 2021: Great expectations, seizing tomorrow*. https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/publications/mine.html

RPP (2025) Quince de cada 100 hogares tienen un auto, asegura la Asociación Automotriz, recuperado de https://rpp.pe/economia/economia/quince-de-cada-100-hogares-tienen-un-auto-asegura-la-asociacion-automotriz-noticia-1434629?ref=rpp

SERNANP. (2023). *Plan de restauración ecológica para zonas degradadas por minería ilegal.* https://www.sernanp.gob.pe/

SNMPE. (2020). *Informe anual de sostenibilidad minera. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía*. https://www.snmpe.org.pe/

SUNASS. (2022). *Gestión de recursos hídricos en zonas mineras*. https://www.sunass.gob.pe/

UNEP. (2019). *Guidelines for mine closure and post-mining land use.* https://www.unep.org/resources/report/guidelines-mine-closure-and-post-mining-land-use

UNMG. (2024). Universidad Militar de Nueva Granada. Recuperado de https://www.redalyc.org/journal/911/91150559002/html/

USGS. (2021). *Mineral commodity summaries.* https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/

WBCSD. (2020). *Water stewardship in mining*. https://www.wbcsd.org/

Apéndices

Apéndice A: Guía estructurada para la conducción de entrevistas

Tabla A1

Guía de entrevista para proyecto de inversión para cierre de mina con tecnosoles

BIO	
	¿Podrías contarme tu nombre, cuántos años tienes, dónde vives actualmente, tu género, tu estado civil y a qué te dedicas?
ACTIVIDADES	
	¿En qué lugar trabajas actualmente o dónde desempeñas tu labor diaria? ¿Cuántas horas al día sueles dedicarle a tu trabajo? ¿Cuántas horas de sueño tienes normalmente durante la noche? ¿Qué actividades disfrutas en tu tiempo libre? ¿Practicas alguna rutina de ejercicio o actividad física regularmente?
	¿Has escuchado o tienes algún conocimiento sobre lo que implica el cierre de una mina? ¿Qué esperas o cuál es tu opinión sobre lo que debería ocurrir cuando una mina finaliza sus operaciones? ¿Tienes alguna observación acerca del cierre de mina? ¿Conoces del cierre de mina? ¿Consideras el cierre de mina solo con Material orgánico es eficiente? ¿Te gustaría conocer más de otra alternativa de cierre de mina?
	¿Qué es un pasivo ambiental? ¿Conoces los efectos de no hacer un cierre adecuado de mina?

PROBLEMA	
	¿Qué complicaciones se tendría si no se realza un cierre de mina? ¿Conoces el efecto de los pasivos ambientales? ¿Qué efectos se tendría a largo plazo con un cierre de mina convencional?
FAMILIA	
	¿Conoces la cantidad de pobladores de las comunidades que tienen impacto directo por la minería de cada proyecto en el Peru? ¿Tienes algún familiar que está en algunas de estas comunidades que están cerca a los proyectos mineros?
SOCIAL	
	¿Cómo es el modo de actuar de los proyectos mineros con los pobladores de las comunidades cercanas a los proyectos? ¿Realizan algunas actividades acerca del cierre de minas? ¿Comparten opiniones acerca de los cierres convencionales y con tecnosoles?

Apéndice B: Ficha de validación de hipótesis clave del modelo de negocio de cierre de mina con tecnosoles

Figura B1

Ficha de validación de la primera hipótesis 1, Problema Social Relevante

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad	**Problema Social Relevante**
Responsable	**Grupo 5**

Paso 1: Hipótesis (Riesgo ☠ ☠ ☠)

Creemos que los pasivos ambientales producto del cierre inapropiado de operaciones mineras generan daño sobre el medio ambiente y la salud de las poblaciones cercanas y no deben remediarse.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 👍 👍 👍)

Para verificarlo, nosotros haremos entrevistas y recopilaremos información acerca de las condiciones medio ambientales en las que se encuentran las poblaciones aledañas.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 🕓 🕓 🕓)

Además, mediremos El tiempo requerido para poder tener el resultado de la revegetación en el área y mejora de las condiciones ambientales con el uso de tecnosoles.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si Si durante el tiempo el uso del Tecnosol es sostenible y cumple con mejorar las condiciones medio ambientales del área afectada.

Figura B2

Ficha de validación de la primera hipótesis relacionada con el beneficiario del proyecto

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad	**Beneficiario**
Responsable	**Grupo 5**

Paso 1: Hipótesis (Riesgo)

Creemos que los beneficiarios directos son los pobladores de las zonas aledañas, pero por su falta de conocimiento no percibirían el cambio una vez que se use esta tecnología.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos)

Para verificarlo, nosotros Haremos entrevistas con los principales beneficiarios de esta tecnología para ver como miden y perciben las condiciones medioambientales actualmente y de qué manera afecta el desarrollo de sus actividades.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido)

Además, mediremos El tiempo requerido para monitorear los cambios a producirse en el ambiente cuando se empleen los tecnosoles.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si durante el tiempo el Tecnosol permite evidenciar los cambios en las condiciones medioambientales.

Figura B3

Ficha de validación de la primera hipótesis centrada en el usuario

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad	**Usuario**
Responsable	**Grupo 5**

Paso 1: Hipótesis (Riesgo ☠ ☠ ☠)

Creemos que Los fabricantes de tecnosoles

Podremos generar un impacto positivo ya que está elaborado por residuos y es sostenible en el tiempo.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 👍 👍 👍)

Para verificarlo, nosotros Haremos entrevistas

con los principales beneficiarios de esta tecnología para cierre de minas como principal alternativa.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 🕓 🕓 🕓)

Además, mediremos El tiempo requerido

Para adaptación del tecnosol en el cierre de mina y sus revegetación.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si Si durante el tiempo el

Tecnosol es sostenible

Figura B4

Ficha de validación de la primera hipótesis sobre el perfil del cliente

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad	**Cliente**
Responsable	**Grupo 5**

Paso 1: Hipótesis (Riesgo ☠ ☠ ☠)

Creemos que Las empresas mineras en Perú no están dispuestas a adoptar tecnosoles como alternativa de remediación de pasivos mineros debido a barreras económicas, regulatorias o de desconocimiento tecnológico.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 👍 👍 👍)

Para verificarlo, nosotros Realizaremos entrevistas y encuestas con directivos de medio ambiente, operaciones y cierre de minas para identificar las principales barreras de adopción.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 🕒 🕒 🕒)

Además, mediremos Cantidad de empresas mineras Principales razones de rechazo, como costos, falta de conocimiento o falta de incentivos regulatorios.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si Podemos identificar estrategias para superar las barreras de adopción de tecnosoles, ya sea mediante reducción de costos, difusión de casos de éxito, generación de incentivos regulatorios o educación sobre sus beneficios en la industria minera

Figura B5

Ficha de validación de la primera hipótesis sobre el producto mínimo viable

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad	**Producto mínimo viable.**
Responsable	**Grupo 5**

Paso 1: Hipótesis (Riesgo ☠ ☠ ☠)

Creemos que Los tecnosoles contribuirá a la economía circular la reutilización de residuos para reducir el impacto ambiental

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 👍 👍 👍)

Para verificarlo, nosotros Implementar Sistemas de monitoreo para recopilar los datos de manera sistemática.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 🕒 🕒 🕒)

Además, mediremos El tiempo requerido para Para restauración del ecosistema.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si Se evaluará si cumple Con los estándares de calidad y sostenibilidad

Figura B6

Ficha de validación de la primera hipótesis relacionada al mercado objetivo

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad	**Mercado**
Responsable	**Grupo 5**

Paso 1: Hipótesis (Riesgo ☠ ☠ ☠)

Creemos que **Existe un mercado potencial en la industria minera para el uso de tecnosoles como alternativa sostenible.**

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 👍 👍 👍)

Para verificarlo, nosotros **Realizaremos un análisis de los estudios de cierre de minas y de los informes del Ministerio de Energía y Minas.**

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 🕒 🕒 🕒)

Además, mediremos **Número de operaciones mineras, presupuesto estimado en remediación ambiental y el crecimiento proyectado del sector minero.**

Paso 4: Criterio

Estamos bien si **El mercado minero peruano está listo en considerar la implementación de tecnosoles.**

Apéndice C: Preparación de los tecnosoles

Figura C1

Preparación de los tecnosoles con cargador frontal y volquetes de 15m3.

Apéndice D: Análisis ROMI de la inversión de marketing para los 05 primeros años

Figura D1

Análisis ROMI de la inversión de la campaña de marketing (concepto de PUV).

	2026	2027	2028	2029	2030
Ventas año 1:	2,796,208.13	2,936,018.53	3,082,819.46	3,236,960.43	3,398,808.46
Ventas año 2:	2,936,018.53	3,082,819.46	3,236,960.43	3,398,808.46	3,568,748.88
Ventas incrementales:	139,810.41	146,800.93	154,140.97	161,848.02	169,940.42
Ventas incrementales por campaña de marketing	61,516.58	64,592.41	67,822.03	71,213.13	74,773.79
ROI (Beneficio – Inversión) / Inversión *100	**126.92%**	**189.29%**	**203.75%**	**218.94%**	**234.89%**

	2026
Ventas año 1:	2,796,208.13
Ventas año 2:	2,936,018.53
Ventas incrementales:	139,810.41
Ventas incrementales por campaña de marketing	61,516.58
ROI (Beneficio – Inversión) / Inversión *100	**126.92%**

Apéndice F: Beneficio y costos económico social

Figura F1

Beneficio económico por disminución de contaminación de aire

Años de operación		1	2	3	4	5
Cantidad total de EcoSuelo al año	tn	176,392.94	185,212.59	194,473.22	204,196.88	214,406.73
Ventas	tn	2,822,287.10	2,963,401.46	3,111,571.53	3,267,150.11	3,430,507.61
Factor de aporte de EcoSuelo al medio ambiente		2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
Costo anual por contaminación del aire ($)	Dolares	12,800,000.00	12,800,000.00	12,800,000.00	12,800,000.00	12,800,000.00
Costo anual por contaminación del aire (S)	Soles	49,920,000.00	49,920,000.00	49,920,000.00	49,920,000.00	49,920,000.00
Factor de aporte a la contaminación del aire a causa de los EcoSuelo mal gestionados		1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%
Beneficio de aporte del tecnosol al medio ambiente	**USD/año**	**281,600.00**	**281,600.00**	**281,600.00**	**281,600.00**	**281,600.00**

Figura F2

Beneficio económico por tratamiento cáncer de 2 pacientes en 5 años

Años de operación		1	2	3	4	5
Nro de pacientes		2	2	2	2	2
Costo anual por tratamiento de cancer	Soles/año	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
Beneficio total anual por tratamiento de cancer	**USD/año**	**61,538.46**	**61,538.46**	**61,538.46**	**61,538.46**	**61,538.46**

Figura F3

Costo ambiental estimado por emisiones de CO_2 derivadas del uso de laptops en un periodo de cinco años.

Periodo de funcionamiento considerado para el análisis		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Cantidad total de laptops en uso	Und	4	4	4	4	4
Energía estimada que consume cada laptop por día en una jornada laboral de 8 horas	kWh/día	2	2	2	2	2
Número total de días laborables en el año	Días	365	365	365	365	365
Suma total de energía consumida por todas las laptops en un año	kWh/año	2,920	2,920	2,920	2,920	2,920
Tasa de emisión de CO_2 por cada unidad de energía eléctrica consumida (Kg CO_2/kWh)	kgCO2/kWh	0.6593	0.6593	0.6593	0.6593	0.6593
Emisiones totales de CO_2 generadas por el uso eléctrico de las laptops	tnCO2/año	1.9252	1.9252	1.9252	1.9252	1.9252
Valor económico asignado a las emisiones de CO_2	$/tn	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17
Impacto económico total por emisiones de CO_2 derivadas del uso eléctrico de	**USD/año**	**13.80**	**13.80**	**13.80**	**13.80**	**13.80**

Figura F4

Costo ambiental asociado al uso de energía eléctrica en maquinaria industrial

Parámetro Evaluado		1	2	3	4	5
Cantidad de maquinas	Und	10	10	10	10	10
Consumo energético teórico por hora por 10 máquinas	kW/h	175.9	175.9	175.9	175.9	175.9
Generación de CO2 de 10 maquinas por hora	KgCO2/h	3,920.00	3,920.00	3,920.00	3,920.00	3,920.00
Horas efectivas trabajadas al año		3,536.00	3,536.00	3,536.00	3,536.00	3,536.00
Emisión de CO2 de las maquinarias por dia (tn)	Tn/año	13,861.12	13,861.12	13,861.12	13,861.12	13,861.12
Precio social carbono por kg de CO2e ($)	USD	7.1700	7.1700	7.1700	7.1700	7.1700
Costo asociado a las emisiones de CO_2 generadas por el consumo de energía eléctrica en maquinaria	**USD/año**	**99,384**	**99,384**	**99,384**	**99,384**	**99,384**

Figura F5

Costo ambiental por emisiones de CO_2 generadas por el camión volquete

Parámetro Evaluado		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Cantidad de volquetes	Und	2	2	2	2	2
Distancia promedio recorrida por vehículo al año	Km	4,860,000.00	4,860,000.00	4,860,000.00	4,860,000.00	4,860,000.00
Tasa de emisión mensual de CO_2 por kilómetro recorrido (Kg/km)	kgCO2/km	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297
Cálculo de huella de carbono atribuida al consumo de gasolina de los Volquetes	tnCO2/año	2,889.95	2,889.95	2,889.95	2,889.95	2,889.95
Valor monetario asociado a las emisiones de CO_2 generadas	USD/tn	7.1700	7.1700	7.1700	7.1700	7.1700
Costo total anual por emisiones de CO_2 atribuibles al camión volquete	**USD/año**	**20,720.94**	**20,720.94**	**20,720.94**	**20,720.94**	**20,720.94**

Apéndice G: Plataforma del negocio

Apéndice H: Cotizaciones de maquinaria para producción de tecnosoles

THE SAND
Creando Valor

9912551851 – 991257424
consorcio@thesand.com.pe
Mz. A Lote 1 Int. 101 urb. Las Flores del Golf, Trujillo
La Libertad

PROPUESTA ECONOMICA

Lima, 14 de enero del 2025

Señores

ECOSUELO SAC

MÁQUINA + REPUESTOS + SERVICIOS: La tarifa incluye Mantenimiento Preventivo (Filtros, Aceites, Mano de Obra) en el lugar de trabajo y la implementación según las especificaciones del cliente.

Item	Familia	Equipo	Marca	Modelo	Conciliado
01	EXCAVADORA	EXCAVADORA 336 DL	CATERPILLAR	336 D2L	67.30
02	EXCAVADORA	EXCAVADORA 320 D2L	CATERPILLAR	320 D2L	53.80
03	EXCAVADORA	EXCAVADORA 340 D2L	CATERPILLAR	340 D2L	70.88
04	TRACTOR	TRACTOR D6T	CATERPILLAR	D6T	68.06
05	TRACTOR	TRACTOR D8T	CATERPILLAR	D8T	102.84
06	CARGADOR	CARGADOR FRONTAL 950H	CATERPILLAR	950 H	57.78
07	CARGADOR	CARGADOR FRONTAL 966H	CATERPILLAR	966 H	68.30
08	RODILLO VIBRATORIO	RODILLO VIBRATORIO CS56B	CATERPILLAR	CS56B	31.35
09	MOTONIVELADORA	MOTONIVELADORA 140K	CATERPILLAR	140K	58.04
10	RETROEXCAVADORA	RETROEXCAVADORA 420F	CATERPILLAR	420F	30.61
11	MINICARGADOR	MINICARGADOR 246C	CATERPILLAR	246C	14.55
12	CAMIÓN VOLQUETE	CAMIÓN VOLQUETE - 15 M3	VOLVO	15 M3	31.08
13	CAMIÓN VOLQUETE	CAMIÓN VOLQUETE - 17 M3	MERCEDES	17 M3	30.54
14	CAMIÓN VOLQUETE	CAMIÓN VOLQUETE - 20 M3	VOLVO	20 M3	35.29
15	CAMIÓN VOLQUETE	CAMIÓN VOLQUETE - 26 M3	SCANIA	26 M3	34.85
16	CAMION VOLQUETE	CAMION VOLQUETE -17 M3	VOLVO	17 M3	28.27
17	CAMION GRUA	CAMION GRUA - 12 TON	VOLVO	8X4	61.00
18	ZARANDA	ZARANDA VIBRATORIA	METSO	ST4.8	105.25
19	CHANCADORA	CHANCADORA PRIMARIA	METSO	LT106	136.36
20	EXCAVADORA MARTILLO	EXCAVADORA 336 DL	CATERPILLAR	336 D2L	104.33
21	EXCAVADORA BRAZO LARGO	EXCAVADORA 320 D2L	CATERPILLAR	320 D2L	49.89
22	RODILLO VIBRATORIO	RODILLO VIBRATORIO BW211D-40	BOMAG	BW211D-40	24.66
23	CISTERNA DE AGUA	CISTERNA DE 5000 GLN	SCANIA	P440	27.37

La propuesta tiene una validez de 7 días

Firmado digitalmente por Marco Romero
Fecha: 2023.12.14 14:49:33 -05'00'

Marco Romero Villanueva
Gerente de Operaciones

THE SAND
Creando Valor

RUC: 20603924429