

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias de la Vida

Diseño de un plan piloto de restauración ecosistémica en la comuna

San Marcos de Santa Elena

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero Agrícola y Biológico

Presentado por:

Byron Daniel Paredes López

Mayra Alejandra Vargas Yagual

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a quienes me han brindado apoyo incondicional y amor constante. A mis padres, quienes siempre han sido mi fuente de inspiración y sostén inquebrantable. A mi hermano, que, aunque recién inicia su carrera espero cumpla todas sus metas. A los profesores de la carrera, cuyos conocimientos y orientación han sido fundamentales en mi formación. A mis amigos más cercanos, por compartir risas, desafíos y momentos inolvidables.

Byron Daniel Paredes Lopez

El presente proyecto lo dedico principalmente a mis padres Guido y Mayra, por su amor, esfuerzo y sacrificio a lo largo de mi vida estudiantil, gracias a su apoyo, logramos alcanzar una meta más y finalmente convertirnos en profesionales. Este logro es nuestro.

A mis hermanas, su presencia ha sido invaluable en este camino.

A Jhonny Zambrano, por siempre haber creído en mí, y por su apoyo durante estos últimos años, este logro también es tuyo.

A todos los que me apoyaron, gracias. Especial reconocimiento a quienes facilitaron el camino y compartieron sabiduría para que este proyecto fuera exitoso.

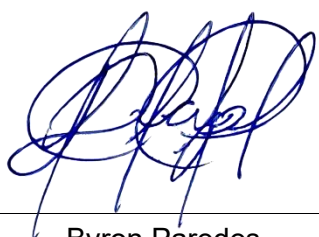
Mayra Alejandra Vargas Yagual

Agradecimientos

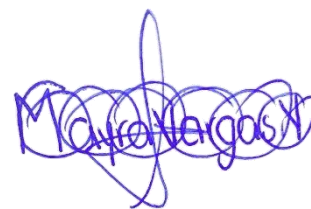
Nuestro más sincero agradecimiento al "Proyecto "Establecimiento de metas de NDT y restauración de paisajes degradados en los Andes Occidentales y las zonas costeras-GCP/ECU/093/GFF" (Proyecto NDT) ejecutado por el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), con la supervisión de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)."; y en particular a Eric Metzler, cuya colaboración fue fundamental en el desarrollo de esta investigación. A nuestro tutor, Edwin Jimenez, por su guía experta, paciencia y motivación constante. A nuestro profesor, Jaime Proaño, por compartirnos su destacado conocimiento en riego para la zona de estudio. Agradecimiento mutuo entre nosotros por la elaboración de la tesis y ser un apoyo en este desafío académico, por la dedicación y trabajo conjunto que fueron esenciales para alcanzar el éxito. Gracias por ser parte fundamental de nuestro camino en la carrera de ingeniería agrícola y biológica.

Declaración expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (nombre de los participantes) y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Byron Paredes



Mayra Vargas

Evaluadores

Dra. María Isabel Jimenez

Profesor de Materia

Edwin Rolando Jiménez Ruiz, M. Sc.

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un plan piloto de restauración ecosistémica en la comuna de San Marcos de Santa Elena, mediante técnicas activas, para mejorar las funciones ambientales y reducir la pérdida del suelo. El proyecto se motiva por la importancia de los bosques secos tropicales para la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria de la comuna, que se ven amenazados por la degradación del suelo debido a actividades humanas insostenibles. Para el desarrollo del proyecto, se realizó una caracterización biofísica del área de estudio, se seleccionaron las especies vegetales más adecuadas para la restauración, se diseñaron cuatro sistemas piloto de suministro de agua (zanjas de infiltración, Waterboxx, Cocoon y riego por goteo) y se socializaron los diseños con la comunidad local mediante un análisis FODA. Los resultados mostraron que los sistemas pilotos son viables y efectivos para optimizar el uso del agua y favorecer el establecimiento de las plantas en condiciones de sequía. Basado en los resultados del proyecto, el plan piloto de restauración desempeña un papel significativo en la recuperación de la salud del suelo, la revegetación con especies nativas y la restauración de las funciones ecológicas en el ecosistema de bosque seco tropical. Además, se observa que este enfoque contribuye de manera positiva a la generación de beneficios socioeconómicos para la comunidad local.

Palabras clave: bosque seco tropical, técnicas activas, suministro de agua, servicios ecosistémicos, renovación edáfica.

Abstract

This project aims to design a pilot ecosystem restoration plan in the commune of San Marcos de Santa Elena, using active techniques, to improve environmental functions and reduce soil loss. The project is motivated by the importance of tropical dry forests for the biodiversity, ecosystem services and food security of the commune, which are threatened by soil degradation due to unsustainable human activities. For the development of the project, a biophysical characterization of the study area was conducted, the most suitable plant species for restoration were selected, four pilot water supply systems were designed (infiltration ditches, Waterboxx, Cocoon and drip irrigation) and the designs were socialized with the local community through a SWOT analysis. Based on the project results, the pilot restoration plan plays a significant role in the recovery of soil health, revegetation with native species and restoration of ecological functions in the tropical dry forest ecosystem. In addition, it is observed that this approach contributes positively to the generation of socioeconomic benefits for the local community.

Keywords: tropical dry forest, active techniques, water supply, ecosystem services, edaphic renewal.

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	6
ÍNDICE GENERAL.....	8
ÍNDICE DE GRÁFICOS	14
ÍNDICE DE TABLAS.....	16
CAPÍTULO 1.....	18
1. Introducción.....	18
1.1 Descripción del problema	19
1.2 Justificación.....	20
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
1.4 Marco Teórico.....	22
1.4.1 Descripción histórica del territorio.....	22
1.4.2 Diversidad económica en la comuna San Marcos	23
1.4.3 Tipos de suelos en la comuna de San Marcos.....	23
1.4.4 La tecnología de los SIG	24
1.4.5 Ecosistemas de Bosques Secos Tropicales: Restauración, Importancia, y Desafíos	25
1.4.5.1 Restauración ecosistémica	25
1.4.5.2 Cobertura vegetal en el cantón Santa Elena.....	26
1.4.5.3 Bosques secos Tropicales en Ecuador	26

1.4.5.4	Importancia de Bosques secos Tropicales	27
1.4.5.5	Degradación del bosque seco tropical	28
1.4.6	Tipos de degradación de suelos	28
1.4.7	Impacto del uso del suelo en los servicios ecosistémicos	29
1.4.8	Técnicas de suministro de agua para la restauración de ecosistemas con limitaciones hídricas.	29
1.4.8.1	Zanjas de infiltración	30
1.4.8.2	Waterboxx	31
1.4.8.3	Cocoon	31
1.4.8.4	Riego por goteo	32
CAPÍTULO 2	34
2.	Metodología	34
2.1.	Área de estudio	34
2.2.	Mapa del área con diseños de sistemas piloto	36
2.3.	Caracterización ecológica y climática de la zona de estudio	37
2.3.1.	Diagrama Ombrotérmico.....	37
2.3.2.	Zona de vida de Holdridge.....	38
2.4.	Enfoque participativo en la metodología para la selección de especies en el proyecto.....	39
2.5.	Selección de especies mediante una matriz de decisión	40
2.6.	Diseño de sistemas piloto para la restauración.....	42
2.6.1.	Análisis de las pendientes para categorizar los diseños	42
2.6.2.	Análisis detallado de 5 modelos de restauración en zonas semiáridas	43
2.6.3.	Restauración mediante zanjas de infiltración	45

2.6.4.	Restauración con dispositivos Waterboxx y Cocoon	45
2.6.5.	Restauración a través de riego quincenal o mensual	46
2.6.5.1.	Cálculo de la albarda al microreservorio	47
2.6.5.2.	Cálculo del riego por gravedad al sistema de restauración	47
2.6.6.	Testigo	50
2.7.	Análisis de costos de los sistemas de restauración	51
2.7.1.	Sistema mediante Zanjas de infiltración.....	51
2.7.2.	Sistema mediante Waterboxx y Cocoon	52
2.7.3.	Sistema de riego con goteo quincenal o mensual.	53
2.7.3.1.	Establecimiento:	54
2.7.3.2.	Mantenimiento:	54
2.7.3.3.	Infraestructura:	54
2.7.3.4.	Sistema de Riego:	54
2.7.3.5.	Herramientas complementarias al sistema de riego:.....	55
2.8.	Análisis FODA del proyecto	55
CAPÍTULO 3.....	58	
3.	Resultados y discusión.....	58
3.1.	Caracterización climática.....	58
3.1.1.	Diagrama Ombrotérmico Santa Elena	58
3.1.2.	Diagrama Ombrotérmico Colonche.....	59
3.1.3.	Comparación y validación de datos climatológicos	61
3.2.	Zona de vida de Holdridge.....	62
3.3.	Matriz de decisión de las especies	65

3.4.	Mapa del área con diseños de sistemas piloto	67
3.5.	Restauración mediante zanjas de infiltración.....	68
3.6.	Restauración con dispositivos Waterboxx y Cocoon.....	70
3.7.	Restauración a través de riego quincenal y mensual.....	71
3.7.1.	Transporte de agua al microreservorio:.....	74
3.7.2.	Cálculos generales para riego por gravedad con goteo:	75
3.7.3.	Consideraciones hídricas del Hidrogel:.....	76
3.8.	Resumen de costos de los diseños de restauración	77
3.9.	Análisis FODA del proyecto	79
3.10.	Contraste con referencias bibliográficas	81
Capítulo 4		83
4.	Conclusión	83
5.	Recomendaciones.....	84
Bibliografía		85
Anexos		90

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Food and Agriculture Organization
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
SIG	Sistemas de Información Geográfica
GPS	Global Positioning System
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenaza
GAD	Gobierno autónomo descentralizado
NDT	Neutralidad de Degradación de la Tierra
ASODAGRI	Asociación de Agricultores
UPSE	Universidad Estatal Península de Santa Elena

SIMBOLOGÍA

°C	Grado Centígrado
m	Metro
m ²	Metro Cuadrado
m ³	Metro cúbico
Kg	Kilogramo
Ha	Hectárea
mm	Milímetro
mca	Metros de columna de agua
HP	Horsepower (caballos de fuerza)
h	Horas
L	Litro

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Mapa de la taxonomía de suelos en la Comuna de San Marcos	24
Figura 2. Representación de la infiltración de las zanjas.	30
Figura 3. Dispositivo Groasis Waterboxx para captación y suministro de agua.	31
Figura 4. Dispositivo biodegradable Cocoon Land Life para captación y suministro de agua.....	32
Figura 5. Representación de riego por goteo.....	33
Figura 6. Flujograma de proceso metodológico usado para el proyecto.	34
Figura 7. Mapa de la comuna San Marcos	35
Figura 8. Mapa de la sub-zona experimental.....	36
Figura 9. Clasificación de pendientes y sus características	43
Figura 10. Diagrama Ombrotérmico de la provincia de Santa Elena, temperatura vs precipitación.....	59
Figura 11. Diagrama Ombrotérmico de Colonche, temperatura vs precipitación.	60
Figura 12. Clasificación de la Zona de Vida mediante el Triángulo de Holdridge basado en el clima de Santa Elena.....	63
Figura 13. Mapa de la distribución y características de los sistemas de restauración.	68
Figura 14. Representación visual del diseño piloto mediante zanjas de infiltración.	69
Figura 15. Representación de las dimensiones de la zanja de infiltración.	69
Figura 16. Representación visual del diseño piloto mediante los dispositivos Waterboxx.....	70
Figura 17. Representación visual del diseño piloto del sistema de riego por goteo.	76

Anexo 1. Ficha técnica del sistema de Zanjas de infiltración donde se aprecia el desglose de costos.....	90
Anexo 2. Ficha técnica del sistema con dispositivos Groasis Waterboxx donde se aprecia el desglose de costos.. ..	91
Anexo 3. Ficha técnica del sistema con dispositivos Cocoon Land Life donde se aprecia el desglose de costos.. ..	92
Anexo 4. Ficha técnica del sistema de riego por goteo donde se aprecia el desglose de costos.....	93
Anexo 5. Detalle del diseño agronómico para el sistema de riego por goteo.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos mensuales de temperatura y precipitación para la provincia de Santa Elena	59
Tabla 2 Datos mensuales de temperatura y precipitación basados la estación meteorológica de Colonche	60
Tabla 3. Matriz de decisión para la selección de especies del plan piloto de restauración.	66
Tabla 4. Resumen de los cálculos del diseño agronómico del sistema de riego por goteo.	72
Tabla 5. Resumen de costos de los diseños de sistemas de restauración.	78
Tabla 6. Análisis estratégico para la socialización de la restauración ecosistémica: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).	80

CAPÍTULO 1

1. Introducción

La comuna San Marcos, ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador, ha experimentado una pérdida de calidad y fertilidad del suelo debido a prácticas agrícolas insostenibles, deforestación, erosión, salinización y urbanización.

Este ecosistema se caracteriza por una vegetación adaptada a la escasez de agua, una alta diversidad biológica y estacionalidad marcada entre períodos de lluvia y sequía. El bosque seco tropical de San Marcos incluye cuatro tipos de vegetación: bosque seco premontano, bosque seco montano bajo, matorral xerófilo y pastizal antropogénico. (Sanchez, 2019)

Sin embargo, el bosque seco tropical en San Marcos y otras regiones de la costa ecuatoriana ha sufrido un grave proceso de degradación. Actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la deforestación y la urbanización han provocado pérdida de cobertura vegetal, erosión y disminución de la fertilidad del suelo. (Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD), 2019)

Como resultado, se estima que más de la mitad del bosque seco original ha desaparecido en Ecuador, poniendo en riesgo su invaluable biodiversidad de flora y fauna nativa (Pozo, 2021).

La degradación del bosque seco tropical tiene serias repercusiones ambientales, económicas y sociales para la comuna San Marcos y sus alrededores. La erosión y pérdida de nutrientes en el suelo reduce los rendimientos agrícolas, amenazando la seguridad alimentaria y los medios de vida de la comunidad local (Ponce et al., 2018). La degradación también compromete servicios ecosistémicos vitales como la regulación hídrica, la prevención de la erosión, la provisión de alimentos y el control climático

(Constanza et al., 2014). Finalmente, la pérdida de biodiversidad nativa empobrece el patrimonio natural y cultural de la región.

Frente a esta problemática, el presente proyecto busca diseñar un plan piloto de restauración de suelos mediante técnicas activas en la comuna San Marcos. Entonces, con un enfoque participativo se involucrará a la comunidad local y se considerarán sus necesidades y saberes. Los resultados demostrarán el potencial de las técnicas activas para recuperar la salud del suelo, revegetar con especies adaptadas al bosque seco tropical y devolver las funciones ecológicas a este deteriorado ecosistema. El plan piloto sentará las bases para expansión y réplica en otras áreas degradadas de San Marcos y la región.

1.1 Descripción del problema

El ecosistema bosque seco tropical, que se encuentra en la comuna San Marcos de Santa Elena y en otras comunas vecinas de la provincia de Santa Elena, Ecuador, es uno de los más frágiles del mundo, ya que alberga una gran diversidad de especies endémicas y provee servicios ecosistémicos esenciales para la vida humana, como la regulación climática, la prevención de la erosión y la provisión de alimentos. Sin embargo, la expansión de la frontera agrícola, el sobrepastoreo, la tala indiscriminada y el uso inadecuado de fertilizantes y plaguicidas han provocado una pérdida progresiva de la cobertura vegetal y una disminución de la fertilidad del suelo.

Esto afecta negativamente a la calidad de vida y la seguridad alimentaria de las comunidades que dependen de este ecosistema para su subsistencia. Asimismo, la degradación de los bosques secos tropicales tiene repercusiones para todo el sector productivo de la zona, ya que compromete la sostenibilidad de las actividades económicas y el bienestar social. Por lo tanto, es necesario implementar acciones que permitan recuperar y conservar este valioso ecosistema, así como promover prácticas productivas más amigables con el ambiente.

1.2 Justificación

El problema que pretende resolver este proyecto es la degradación del suelo en el ecosistema del bosque seco tropical en la comuna de San Marcos de Santa Elena, que amenaza la biodiversidad, la provisión de servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria de la comuna. Este problema es de gran importancia, ya que afecta no sólo al medio ambiente y a la comunidad local, sino también a todo el sector productivo que depende del ecosistema del bosque seco tropical.

La degradación del suelo reduce la calidad y cantidad de los recursos del suelo, lo que provoca erosión del suelo, pérdida de materia orgánica, agotamiento de nutrientes, salinización y acidificación. Estos procesos comprometen la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento de las plantas, la regulación del agua, el secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad (Lal, 2015). La degradación del suelo reduce el rendimiento de los cultivos y aumenta los costos de producción, lo que genera inseguridad alimentaria y pobreza. (Baveye et al., 2020).

El problema de la degradación del suelo en San Marcos de Santa Elena tiene implicaciones más amplias que trascienden la comuna específica. El problema afecta a todo el sector productivo que se ha desarrollado desde la inauguración del Trasvase Chongón San Vicente que dependen del ecosistema del bosque seco tropical para su sostenibilidad y competitividad. La degradación del suelo socava el potencial del ecosistema del bosque seco tropical para proporcionar bienes y servicios valiosos que apoyen el desarrollo económico y el bienestar social. Además, la degradación del suelo pone en peligro el bienestar a largo plazo de la comunidad y de las generaciones futuras, ya que disminuye la capacidad del ecosistema del bosque seco tropical para hacer frente a los cambios e incertidumbres ambientales.

Existe un vacío en la literatura actual sobre cómo diseñar e implementar planes efectivos de restauración de suelos utilizando técnicas activas que involucren la

participación local en la península de Santa Elena que presenta una variada condición de altitud y tipo de suelo.

Este proyecto llena este vacío proporcionando un enfoque participativo para diseñar un plan piloto de restauración de suelos utilizando técnicas activas, también denominadas asistidas, para una condición ecosistémica donde una restauración pasiva sería lenta o no sería posible. La investigación tiene relevancia no solo en un contexto académico, sino también en términos prácticos, ya que contribuirá a mejorar la comprensión actual de la degradación y restauración del suelo en los ecosistemas de bosques secos tropicales. Además, proporcionará información valiosa y recomendaciones para futuros proyectos de restauración en contextos similares lo que, a su vez, tendrá un impacto positivo en la solución del problema y mejorará la situación de la comuna.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un plan piloto de restauración ecosistémico para la comuna de San Marcos mediante técnicas activas, para el mejoramiento de las funciones ambientales y reducción de la pérdida del suelo.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el área de restauración de la comuna mediante una categorización con el uso de Sistemas de información geográfica (SIG) y la participación de los actores locales.
2. Seleccionar las especies más idóneas para la zona de restauración activa y la generación de beneficios para la comuna.
3. Socializar los diseños piloto de los sistemas de restauración con los miembros de la comuna a través de discusiones participativas y un análisis FODA.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Descripción histórica del territorio

La Comuna San Marcos pertenece a la Parroquia Colonche, está ubicada en la parte baja del Río Javita, a 4 Km. de la cabecera parroquial de Colonche. La Comuna está conformada por los pueblos Javita, San Marcos, Barbascal, Sevilla, Los Manguitos, Pueblo Nuevo. (Quiroz, 2014).

El suelo donde se asienta la población se caracteriza por tener elevaciones y planicies, mientras que las zonas de cultivo están entre las montañas de la cordillera Chongón-Colonche y el tipo de suelo predominante es arcilloso y arenoso. (Espol, 2001)

1.4.2 Diversidad económica en la comuna San Marcos

La actividad económica predominante en la comuna se centra en la agricultura, seguida por la ganadería y la pesca. Los cultivos más frecuentes incluyen maíz, arroz, maní, plátano y sandía. Además, la comuna se dedica a la producción de leche y queso, así como a la cría de cerdos, aves y conejos.

La pesca se lleva a cabo en los ríos Javita y Seco, capturando especies como tilapia, camarón y cangrejo. Para fortalecer las condiciones de vida y labor de sus miembros, la comuna cuenta con una asociación de agricultores denominada ASODAGRI San Marcos, la cual se enfoca en brindar capacitación, acceso a créditos y facilitar la comercialización. (Tomalá, 2013).

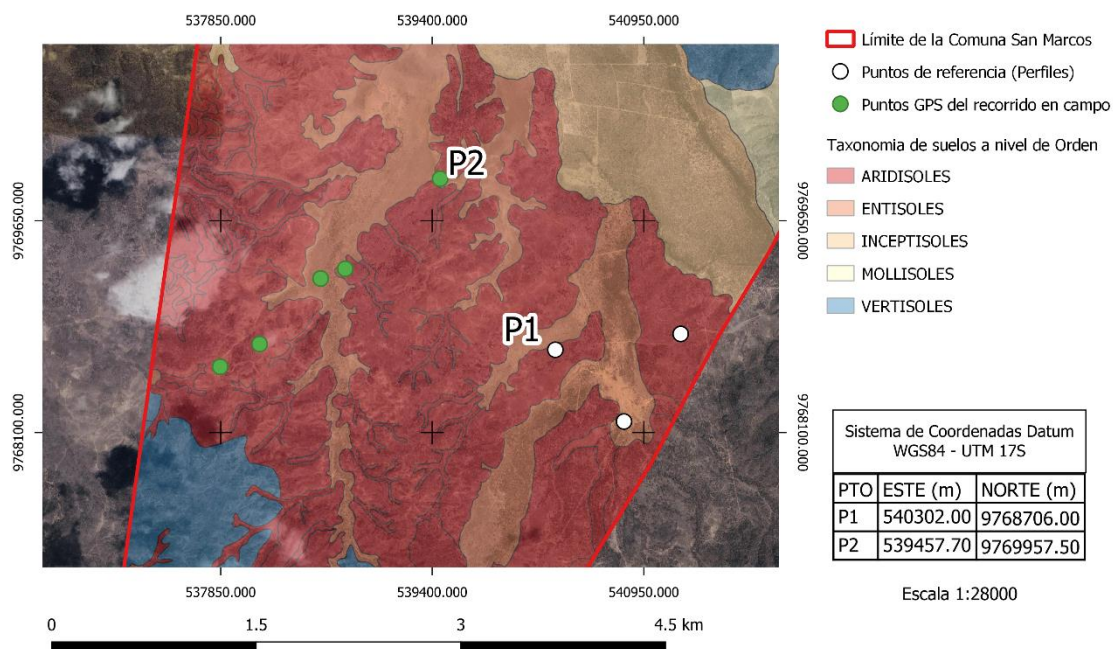
Otro factor económico que se puede considerar es la producción de carbón que la gente local menciona que fue un sustento familiar desde los años 70 hasta aproximadamente el 2010.

1.4.3 Tipos de suelos en la comuna de San Marcos

El cantón Santa Elena abarca una superficie intervenida de 360,530.20 hectáreas, donde los suelos predominantes son los Inceptisoles, constituyendo el 29.93%. Le siguen los Aridisoles, representando el 25.11%, seguidos por los Entisoles con un 11.26%. En menor proporción, se encuentran los Alfisoles con un 4.49%, los Inceptisoles nuevamente con un 5.35%, y finalmente, los Molisoles, presentes en una proporción más reducida, con un 1.88%. ((GAD), 2019).

Figura 1

Mapa de la taxonomía de suelos en la Comuna de San Marcos.



Nota: La imagen fue obtenida de SIGTIERRAS-MAG, 2019. El presente mapa proporciona una representación espacial de la distribución de los órdenes del suelo; donde predomina el Aridisoles, seguido por Entisoles, Inceptisoles y Vertisoles. También destaca que la mayor parte del suelo es arcilloso y franco-arcilloso.

1.4.4 La tecnología de los SIG

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aporta capacidades analíticas que mejoran la eficiencia en la aplicación de técnicas y productos para optimizar el tratamiento de cada sector agrícola. El desarrollo de un SIG específico para la agricultura es fundamental para aprovechar al máximo la información proporcionada por el campo.

Los SIG utilizados en actividades de Agricultura de Precisión (AP) se limitan principalmente a la visualización de mapas de cosecha y al cálculo del rendimiento promedio parcial o total de un lote, entre otras funciones. Sin embargo, carecen principalmente de herramientas que faciliten la integración de datos, como la

comparación de mapas de un mismo lote en diferentes campañas. En la actualidad, los ingenieros agrónomos involucrados en la AP recopilan diversos conjuntos de datos, que incluyen análisis de suelos, mapas de cosecha, detalles sobre el manejo histórico del campo, aplicación de fertilizantes en campañas anteriores y la información proporcionada por el propietario o encargado del campo. (Uva, 2007)

1.4.5 Ecosistemas de Bosques Secos Tropicales: Restauración, Importancia, y Desafíos

El propósito es explorar el ecosistémica en la categoría específica de Bosques Secos Tropicales. Se investigó la importancia de estos bosques en cuanto a biodiversidad y servicios ecosistémicos. Asimismo, se resaltaron los desafíos inherentes al proyecto, considerando factores como las condiciones climáticas y la variabilidad del suelo en la región.

Este análisis busca también establecer una base conceptual sólida para la formulación y ejecución exitosa del plan piloto de restauración en la subzona experimental identificada en la comuna de San Marcos.

1.4.5.1 Restauración ecosistémica

La recuperación de ecosistemas involucra una diversidad de acciones., ya sea llevadas a cabo de forma individual o en colaboración, con el propósito fundamental de rehabilitar los ecosistemas degradados. No obstante, para que una acción sea considerada como restauración de ecosistemas, debe traducirse en un beneficio neto para la biodiversidad, la salud e integridad de los ecosistemas, así como para el bienestar humano, que involucra la generación sostenible de bienes y servicios.

Esta práctica puede ser implementada en diversos tipos de ecosistemas y paisajes, tanto terrestres como marinos, que hayan experimentado degradación. Esto incluye no solo los sistemas naturales, sino también aquellos de carácter urbano, de

producción, culturales y seminaturales. (FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2021).

1.4.5.2 Cobertura vegetal en el cantón Santa Elena

En el cantón Santa Elena, la mayor extensión está dedicada a la cobertura vegetal natural, predominantemente caracterizada por matorrales secos medianamente alterados, bosques secos poco y medianamente alterados, vegetación herbácea seca muy alterada, bosques húmedos poco alterados, matorrales secos poco alterados y matorrales muy alterados.

El uso preponderante en el cantón es el de "Conservación y Protección", que engloba bosques secos y húmedos, manglares, matorrales secos y húmedos, así como la vegetación herbácea de humedal. Tanto la vegetación herbácea seca como la vegetación herbácea húmeda se asocian con el uso de "Conservación y Protección", abarcando áreas significativas en la zona central sur y extremo este del cantón, a menudo utilizadas para la alimentación del ganado. (Tamyra Gaón, 2021)

1.4.5.3 Bosques secos Tropicales en Ecuador

Los bosques secos tropicales ofrecen una variedad de beneficios a comunidades tanto rurales como urbanas a través de los bienes y servicios ecosistémicos que proporcionan. Sin embargo, la degradación de estos ecosistemas es una realidad global, reflejo de la interacción entre la sociedad y la naturaleza, resultado de la búsqueda de la satisfacción de las necesidades humanas. (Roxana, 2023).

En el país, los bosques secos se distribuyen de manera continua a lo largo de la costa y de forma aislada en los valles secos del callejón interandino. Los bosques costeros son una parte integral de la región tumbesina, que abarca aproximadamente 135,000 km² y se comparte entre Ecuador y Perú. Esta extensa área se extiende desde la provincia de Esmeraldas en el norte de Ecuador hasta el departamento de La Libertad en el noroeste de Perú, comprendiendo altitudes que varían entre 0-2,000 m y a veces

alcanzan hasta los 3,000 m. Esta región incluye no solo bosques secos, sino también bosques húmedos, matorrales, desiertos, manglares y páramos. (Brigida, 2015)

1.4.5.4 Importancia de Bosques secos Tropicales

Los bosques secos, como ecosistemas delicados y sometidos a presiones, albergan comunidades humanas que establecen sus asentamientos y llevan a cabo actividades productivas en estos territorios, aprovechando tanto productos forestales maderables como no maderables. Estos bosques tienen una importancia económica significativa para diversos sectores de la población rural, al proporcionar productos esenciales para la subsistencia y, ocasionalmente, para la comercialización. Destaca el uso tradicional de los bosques para el pastoreo de ganado caprino y vacuno. Además, se observa la extracción ilegal de maderas duras por parte de la población local. (Mendoza, 2012).

Los bosques secos en Ecuador desempeñan un papel crucial en la conservación de recursos, particularmente en lo que respecta a la flora y fauna autóctonas. Estos bosques no solo son una fuente vital de importancia para las comunidades, sino que también contribuyen al crecimiento económico, beneficiando a la sociedad en su conjunto. Asimismo, su preservación apunta a obtener resultados positivos en términos de sostenibilidad, asegurando que estos recursos se mantengan en un estado óptimo de conservación. (Alma Hernández-Jaramillo, 2018).

Por otro lado, la cobertura vegetal de la zona de vida es una formación vegetal que se caracteriza por tener una vegetación adaptada a la escasez de agua, una alta diversidad biológica y una estacionalidad marcada por períodos de lluvia y sequía. Este tipo de bosque se encuentra en varias regiones del mundo, especialmente en zonas tropicales y subtropicales con climas secos o semiáridos. Son principalmente arbustivas y caducifolias, con algunas especies arbóreas dispersas. La altura promedio de la vegetación es de 3 a 15 m, y la cobertura arbórea varía entre el 20 y el 70%. La flora es

diversa y endémica, con adaptaciones morfológicas y fisiológicas para resistir la sequía, como hojas pequeñas o caducas, espinas, corteza gruesa, raíces profundas o almacenamiento de agua. (Sanchez et al. 2019).

1.4.5.5 Degradación del bosque seco tropical

En la actualidad, no se ha alcanzado un consenso en torno a la definición de degradación forestal. Muchos investigadores y responsables de la toma de decisiones respaldan la idea de una "definición unificada de degradación", ya que esto proporcionaría pautas prácticas para la protección de la biodiversidad, el estímulo del uso sostenible de los bosques y promover el desarrollo sostenible (Zambrano, 2018).

La degradación forestal se define como un proceso que implica la disminución en la calidad de los bosques. Se la considera un cambio que afecta adversamente las características del bosque, siendo identificada como uno de los procesos que disminuyen la capacidad de un bosque para proporcionar servicios ecosistémicos clave, tal como el almacenamiento de carbono (FAO, 2022).

En términos generales, las definiciones de degradación forestal abordan cambios en la estructura del bosque, su dinámica y las funciones ecosistémicas, mayormente asociadas a causas de origen humano. Quizás el elemento común que se observa en estas definiciones es la reducción de la biomasa. Este fenómeno puede manifestarse de manera directa o indirecta, resultando en una disminución de la cobertura y almacenamiento de carbono, una reducción de la diversidad biológica y una disminución en la calidad del suelo (Dolors Armenteras, 2016).

1.4.6 Tipos de degradación de suelos

La degradación del suelo, marcada por una disminución en su calidad, resulta en la reducción de funciones y servicios ecosistémicos. Se identifican cuatro tipos de degradación: física, química, biológica y ecológica.

La degradación física provoca la pérdida de atributos estructurales, aumentando la vulnerabilidad del suelo a problemas como costras, compactación y erosión. La degradación química se manifiesta en acidificación, salinización y agotamiento de nutrientes. La degradación biológica implica la pérdida de biodiversidad, agotamiento de carbono orgánico y emisiones de gases de efecto invernadero. La degradación ecológica combina los tres anteriores, afectando funciones ecosistémicas.

La calidad del suelo, afectada por factores naturales y antropogénicos, conduce a la disminución de servicios ecosistémicos y la conservación de la naturaleza. El mal uso y la gestión del suelo, junto con prácticas agrícolas inadecuadas, desencadenan un ciclo descendente autopropagante de degradación del suelo. (Ratán, 2015)

1.4.7 Impacto del uso del suelo en los servicios ecosistémicos

Los suelos desempeñan funciones cruciales, brindando servicios ecosistémicos clasificados en hábitat, regulación, producción e información, esenciales para el bienestar humano. Aunque la conciencia sobre estos servicios ha crecido, su cuantificación sigue siendo limitada. La actividad humana ha transformado drásticamente la mayoría de los ecosistemas terrestres, generando una intensa degradación de los suelos. Urbanización, minería, agricultura y contaminación industrial son causas principales. (López, 2019)

El cambio de uso del suelo afecta servicios como la producción de alimentos y la regulación del clima. En Ecuador, la rápida conversión de la vegetación natural y múltiples usos posteriores del suelo plantean desafíos poco comprendidos, como la aceleración de la erosión y pérdida de nutrientes.

1.4.8 Técnicas de suministro de agua para la restauración de ecosistemas con limitaciones hídricas.

La sección abordó un análisis de los métodos y tecnologías empleados en el suministro de agua para la restauración ecosistémica, especialmente en contextos con

limitaciones hídricas. En el marco del plan piloto de restauración, se examinarán cuatro sistemas clave: zanjas de infiltración, Waterboxx, Cocoon Land Life y riego por goteo.

Cada enfoque representa una aproximación aislada para abordar las limitaciones de agua en el proceso de restauración y se compara en términos de eficacia, sostenibilidad y adaptabilidad a la comuna de San Marcos. El análisis busca identificar las opciones más viables para optimizar el suministro hídrico en la restauración ecosistémica, contribuyendo a la formulación de estrategias fundamentadas y contextualmente relevantes.

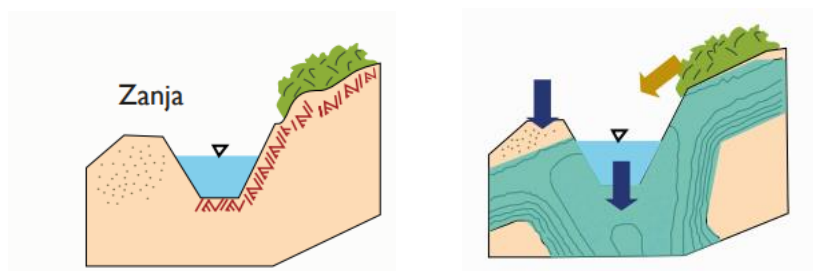
1.4.8.1 Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración, construidas en laderas sin desnivel, buscan captar agua superficial y disminuir procesos erosivos al facilitar la infiltración en el suelo. Pueden ser implementadas manual o mecánicamente, ubicándose en la parte superior o media de una ladera para retener la escorrentía de elevaciones superiores.

Su fundamento principal reside en estabilizar el suelo al facilitar el almacenamiento temporal de humedad para la vegetación a través de la retención de escorrentías superficiales. Es crucial señalar que, aunque las zanjas de infiltración no controlan completamente el fenómeno erosivo, su efectividad se potencia con prácticas adicionales como revegetación, forestación entre zanjas y técnicas conservacionistas como aradura, subsolado y siembra en contorno. (Locatelli et al., 2020)

Figura 2

Representación de la infiltración de las zanjas.



Nota: imagen obtenida de los autores Herwed y Ludi, 2017.

1.4.8.2 Waterboxx

El Waterboxx es una caja de polipropileno cuyo propósito es capturar y almacenar agua para luego dosificarla gradualmente a las plantas según sus necesidades. Tiene un diámetro de 50 cm, una altura de 25 cm y una vida útil estimada de 5 a 10 años, dependiendo de su composición. (Robles, 2015)

Esta caja permite establecer árboles con un consumo mínimo de agua y una alta tasa de éxito en las plantaciones. En el caso de los árboles, cuando se produce un fuerte crecimiento, especialmente de las ramas, se puede retirar el Waterboxx, ya que esto indica que la planta ha desarrollado su propio sistema de subsistencia y podrá seguir creciendo sin riegos adicionales, el Waterboxx se puede reutilizar aproximadamente diez veces antes de deteriorarse. Su dosificación gradual del agua asegura el éxito de la plantación incluso en condiciones de escasez hídrica. (Orrala., 2017)

Figura 3

Dispositivo Groasis Waterboxx para captación y suministro de agua.



Nota: imagen obtenida de la página web Groasis Waterboxx

1.4.8.3 Cocoon

El Cocoon es un innovador sistema de plantación compuesto por un depósito de agua y una cubierta protectora para el árbol. El depósito está fabricado con celulosa,

residuos de cultivos o pastos y otros compuestos orgánicos tratados para garantizar la impermeabilidad inicial. Este depósito solo se llena una vez durante la plantación.

El agua se dosifica gradualmente al árbol por medio de mechas con el fin de optimizar su uso. A medida que el depósito se va degradando y vaciando con el tiempo, actúa como microcuenca para recolectar la precipitación. Eventualmente, los restos del depósito se convierten en materia orgánica beneficiosa para el suelo.

La cubierta protectora es un cilindro que se ubica alrededor del árbol recién plantado para protegerlo del sol, el viento desecante y animales herbívoros. De esta manera, el Cocoon brinda al árbol joven los elementos esenciales para sobrevivir y crecer saludablemente: agua, sombra, protección climática y contra depredadores. Su diseño garantiza el éxito de la plantación incluso en zonas áridas. (Innovariego, 2022)

Figura 4

Dispositivo biodegradable Cocoon Land Life para captación y suministro de agua.



Nota: imagen obtenida de la página web Reforestex.

1.4.8.4 Riego por goteo

Los sistemas de riego por goteo facilitan la conducción del agua a través de una red de tuberías, aplicándola a los cultivos mediante emisores que suministran pequeños volúmenes de agua de forma periódica. Este método implica la liberación de gotas de agua a través de goteros. Considerado un sistema presurizado, el riego por goteo distribuye el agua a través de conductos cerrados que requieren presión. Desde la

perspectiva agronómica, se clasifica como riego localizado, ya que humedece un sector específico del suelo, suficiente para el óptimo desarrollo del cultivo.

También se conoce como riego de alta frecuencia, permitiendo riegos diarios o intermitentes, según las características del suelo y las necesidades del cultivo. La capacidad de realizar riegos frecuentes reduce significativamente el riesgo de estrés hídrico al mantener la humedad del suelo en niveles óptimos durante todo el ciclo de cultivo, mejorando las condiciones para el desarrollo de las plantas. (Liotta et al., 2015).

Figura 5

Representación de riego por goteo.



Nota: imagen obtenida de la página web Infoagro.

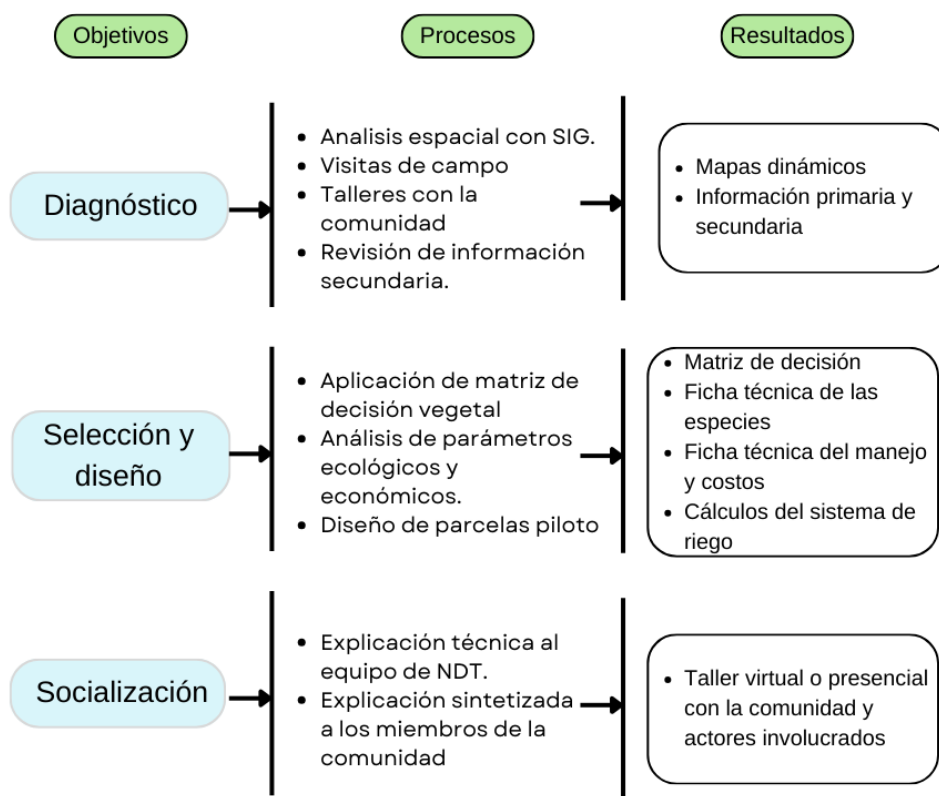
CAPÍTULO 2

2. Metodología

La elaboración del plan piloto de restauración ecosistémica en la comuna de San Marcos se desarrolló siguiendo un proceso metodológico estructurado que abarcó varias etapas. Estas fases se encuentran detalladas en el siguiente flujograma, diseñado con el propósito de asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Figura 6

Flujograma de proceso metodológico usado para el proyecto.



Nota: Elaborado por los autores a partir de la problemática y los objetivos planteados en el proyecto.

2.1. Área de estudio

La degradación de ecosistemas es un problema ambiental creciente a nivel global, que afecta la provisión de servicios ecosistémicos, biodiversidad y medios de vida

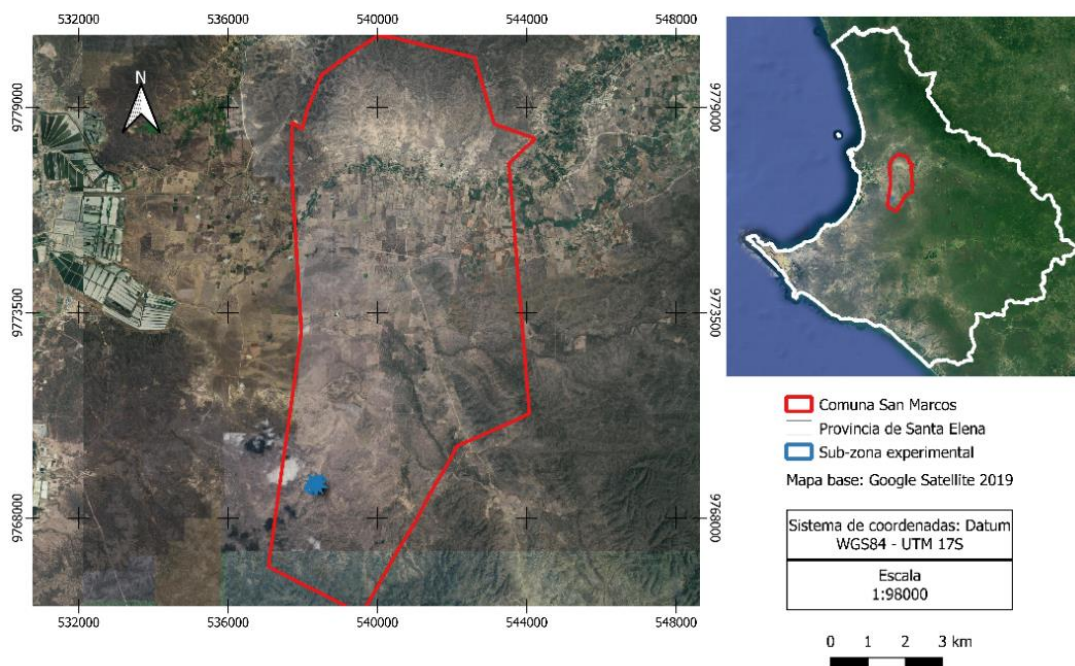
locales. En Ecuador, la costa ecuatoriana ha sufrido un deterioro considerable de sus ecosistemas nativos por actividades humanas no sostenibles.

El proyecto NDT Ecuador identificó como uno de sus sitios clave de intervención a la comuna de San Marcos en Santa Elena, observándose en la Figura 7. Esta comuna rural tiene una economía basada principalmente en actividades agropecuarias y extractivas, las cuales han contribuido al deterioro ambiental del área. Además, su ubicación en un ambiente semiárido y condiciones de suelo limitantes la hace especialmente vulnerable a la desertificación.

La comuna de San Marcos de Santa Elena es una comunidad rural ubicada en la parte norte de la provincia de Santa Elena, a 5 km de la cabecera parroquial de Colonche. Tiene una extensión de 7490 hectáreas y una población estimada de 2800 habitantes, según datos del Sistema Nacional de Información.

Figura 7

Mapa de la comuna San Marcos.

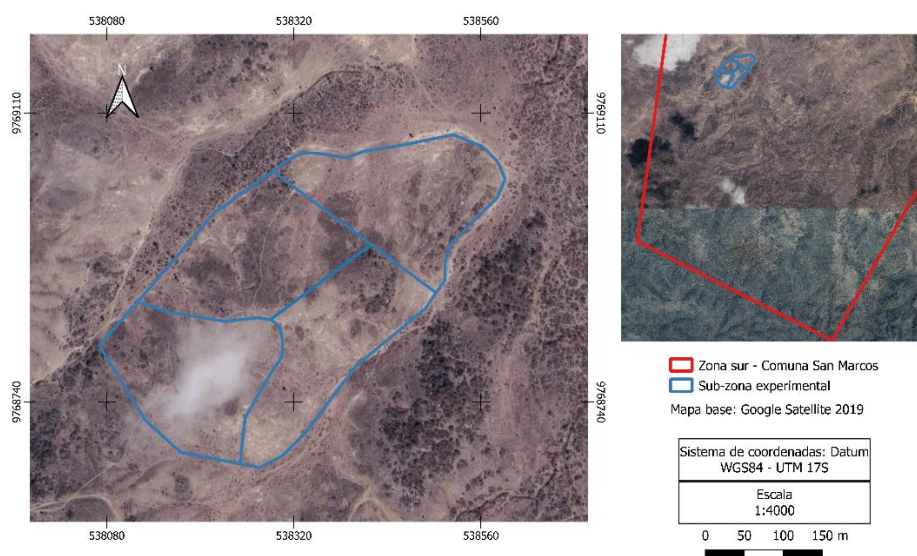


Nota: imagen elaborado por los autores.

En el área de estudio, se delimitó una sub-zona experimental dentro de la zona sur de la comuna debido a que presentaba condiciones de degradación que afectan al ecosistema de bosque seco tropical. Esto se realizó basado en investigaciones primarias (taller con comuneros) y secundarias (revisión bibliográfica), así como con un análisis de datos geoespaciales. La comuna indicó que en esta área la presencia de chivos es baja, lo que disminuye el riesgo de pérdida de plantas por estos animales. Por ello, se definió como una ubicación adecuada para llevar a cabo actividades experimentales de restauración.

Figura 8

Mapa de la sub-zona experimental.



Nota: imagen elaborado por los autores.

2.2. Mapa del área con diseños de sistemas piloto

Dentro del área de estudio se identificó una sub-zona experimental (**Figura 8**) donde se establecerán los diseños de sistemas de restauración, la superficie de la sub-zona puede ser variable y sirve como referencia para los diseños. En este caso se aproximó un área de 12 hectáreas; sin embargo, lo esencial es basar los cálculos y

diseños a 1 hectárea para que se pueda replicar a la zona de restauración. La extensión del área a restaurar dependerá también del presupuesto designado y de los costos fijos y variables de cada uno de los diseños.

Esta sub-zona fue seleccionada en conjunto con miembros de la comuna durante visitas de campo, quienes brindaron recomendaciones basadas en su conocimiento del territorio. Cerca de la Sub-zona experimental se encuentra un letrero del Proyecto Socio-Bosque que involucra a San Marcos y Barbascol.

El mapa se generó bajo el sistema de coordenadas Datum WGS84 – UTM 17S, a una escala de 1:2800 y con el mapa base de Google Satellite 2019. Dicho sistema es generalmente aceptado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) para el sur del Ecuador. El mismo incluyó curvas de nivel y se analizó su separación por el nivel de detalle requerido para la división de las unidades experimentales.

2.3. Caracterización ecológica y climática de la zona de estudio

Se realizó una caracterización biofísica del área de estudio basada en información secundaria respecto al ecosistema, biodiversidad, suelo, clima y cobertura vegetal.

Esto permitió determinar las condiciones ambientales de la zona y seleccionar las especies vegetales más adecuadas para la restauración. Para llevar a cabo una adecuada caracterización del área de estudio, se emplearon las siguientes herramientas:

2.3.1. Diagrama Ombrotérmico

Para el diagrama ombrotérmico de Santa Elena (Figura 5) se utilizaron los datos históricos de la Unidad de Investigación Climática (CRU) de la Universidad de East Anglia. Los datos se presentan con una resolución de 50 km x 50 km para el periodo 1990-2020.

Para elaborar el diagrama ombrotérmico de Colonche, se emplearon datos históricos de precipitación mensual abarcando el periodo de 1952 a 2015. Asimismo, se incluyó registros de temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$) en un rango de 13 años, desde 2002 hasta 2015. Estos datos fueron obtenidos de la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, gestionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Se planteó una comparación de los diagramas con el fin de validar los datos climáticos de ambas fuentes. La estación meteorológica de Colonche presenta una diferencia entre el rango de tiempo de la precipitación y temperatura entonces se deberá analizar con un dato constante como el de Santa Elena. Adicionalmente, se comparó el tipo de zona de vida que pueden generar y como la relación entre la temperatura y precipitaciones puede reflejar el tipo de vegetación, uso del suelo y adaptaciones climáticas.

2.3.2. Zona de vida de Holdridge

La herramienta de zona de vida de Holdridge es una forma de conocer las características de una zona desde una perspectiva bioclimática, es un sistema simple y objetivo que solo requiere unos pocos datos empíricos para su aplicación, a su vez permite clasificar las áreas terrestres según su clima, vegetación y suelo, lo que facilita el estudio de la biodiversidad y los procesos ecológicos. Su capacidad para identificar y comparar patrones de diversidad a nivel global o regional proporciona información útil para la matriz de decisión.

La clasificación fue realizada después de la elaboración del diagrama ombrotérmico con el objetivo de utilizar los datos de temperatura y precipitación correspondientes a Santa Elena y Colonche. Dichos datos fueron obtenidos a través de estaciones meteorológicas, mapas y modelos climáticos.

Como parte del proceso, se llevó a cabo el cálculo de la evapotranspiración potencial anual, que representa una medida de la demanda de agua del sistema, incluyendo la vegetación. La fórmula empleada para dicho cálculo fue la siguiente:

$$\text{Evapotranspiración} = (\text{prom. temp. mensual} * 58.93) / (\text{precipitación media anual})$$

En el desarrollo del proyecto, se procedió a ubicar la zona de interés en el diagrama de Holdridge utilizando los datos previamente mencionados, que abarcan la temperatura, la evapotranspiración y la precipitación. Cada combinación específica de estos factores define una zona de vida, la cual se categoriza según la latitud, altitud y nivel de humedad.

2.4. Enfoque participativo en la metodología para la selección de especies en el proyecto

Se conformó un equipo con miembros de la comuna San Marcos, técnicos locales, expertos del proyecto NDT y ESPOL, la participación conjunta de estos grupos desde el inicio buscó potenciar el éxito de las iniciativas de restauración, combinando diferentes perspectivas y conocimientos.

Este equipo llevó a cabo talleres donde se discutieron las necesidades, prioridades y conocimientos de la comunidad con relación al ecosistema. Asimismo, se intercambiaron perspectivas sobre las causas de la degradación ambiental en la zona y las posibles soluciones. A través de la implementación del método participativo y la colaboración de equipos de trabajo, se logró determinar, tanto a partir de la información secundaria como de los resultados del taller, las especies que serían empleadas en el proceso de restauración. La participación activa de la comuna desempeñó un papel clave al garantizar la pertinencia del proyecto y al definir con precisión las áreas de intervención.

2.5. Selección de especies mediante una matriz de decisión

Basados en la información secundaria y del taller, se identificaron opciones de especies para reforestación en bosque seco tropical, considerando criterios cualitativos y cuantitativos. Tras evaluar los distintos criterios, se seleccionaron las 10 especies con los valores numéricos más altos (entre 25 y 40 puntos) en la matriz de decisión. Posteriormente, esta preselección se socializó con la comunidad para validar las especies con base en su conocimiento ancestral y de uso tradicional. La intención de combinar criterios técnicos con saberes locales fue lograr un conjunto de especies óptimas tanto para la adaptación al entorno, como para las necesidades locales y los fines restaurativos del bosque tropical seco.

Se debe considerar que en el diseño se incluyeron sólo 6 especies, tomando en cuenta aspectos técnicos y prácticos. La decisión de seleccionar 6 especies también responde a la disponibilidad local en los viveros de la zona y la capacidad para producir plántulas de estas, a la vez que maximiza las probabilidades de éxito de restauración al hacer seguimiento eficiente con un número de especies que no sobrecargue los recursos disponibles.

De manera cualitativa se consideró:

- La “presencia de especies en el campo”, como referencia a las especies que se observaron actualmente en el recorrido realizado con la comunidad.
- “Recomendaciones por locales de la comunidad”, que representa las expectativas y necesidades de la población basado en su experiencia y conocimiento.
- La “disponibilidad en el vivero Cerro Blanco”, por ser el principal vivero de la zona y fuente importante de especies forestales de bosque seco.

Asimismo, se utilizaron criterios cuantitativos, tales como:

- Precipitación mínima anual: mide qué tan bien la especie puede sobrevivir en condiciones secas con escasa disponibilidad de agua.
- Tolerancia a la salinidad: mide qué tan bien la especie puede hacer frente a altas concentraciones de sal en el suelo o el agua.
- Tasa de crecimiento: mide que tan rápido una especie puede crecer en altura.
- Consumo por ganado: mide la cantidad de proteína que puede proveer, si es que es una especie utilizable para ganado.
- Potencial de uso: mide que tan útiles son las especies para la comunidad basado en las categorías:
 - o Adhesivo (ej. látex)
 - o Combustible (ej. carbón)
 - o Comestible
 - o Construcción
 - o Curtir/colorear (ej. corteza)
 - o Estimulante (ej. bebidas alcohólicas)
 - o Forraje
 - o Implementos de trabajo (ej. estacas o herramientas)
 - o Industrializable (ej. pulpa de papel)
 - o Maderable (neto maderable como decoración o carpintería)
 - o Medicinal
 - o Melífera (miel)
 - o Productos de belleza
 - o Artesanías
- Germinación de semillas: indica el porcentaje de germinación de semillas.
- Resistencia a plagas y enfermedades

- Aporte de materia orgánica: mide los kilogramos de materia orgánica que puede aportar al suelo, o a su vez puede provenir de cuanto suelo puede ayudar a formar.
- El estado de conservación: mide qué tan importantes son las especies como conservación de especies en peligro de extinción y nativas de la zona. Se va a dar prioridad a las especies más vulnerables.

A cada criterio se le asignó una calificación del 1 al 5, donde 5 indica el nivel más alto y 1 el más bajo.

2.6. Diseño de sistemas piloto para la restauración

Los diseños de restauración tienen condiciones específicas tales como porcentaje de pendiente, costos fijos y variables los cuales influyen en la decisión de escoger el diseño para replicarlo. El proceso para generar cada uno de los sistemas de restauración de manera independiente se presenta a continuación.

2.6.1. Análisis de las pendientes para categorizar los diseños

En cada propuesta piloto de restauración, resulta importante determinar la clasificación de la pendiente del terreno, ya que puede variar a lo largo de la superficie. Por ello, se llevó a cabo un cálculo promedio del porcentaje de pendiente en cada área. La **Figura 8** detalla y aclara el proceso de clasificación de estas pendientes.

Figura 9

Clasificación de pendientes y sus características.

PENDIENTE	SIMBOLO	DESCRIPCION	PROCESOS CARACTERISTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
0-3%	a	A nivel/ casi nivel	Denudación no apreciable; por su condición transitable y laborable, es objeto de uso agrícola, solamente se dificulta su uso bajo condiciones secas.
3-5%	b	Ligeramente inclinada/ ligeramente ondulada	Laderas afectadas especialmente por erosión hídrica en sectores desprovistos
5-12%	c	Moderadamente inclinada/ moderadamente	Laderas que pueden generar movimientos en masa de diferentes clases y baja velocidad, especialmente soliflucción y
12-25%	d	Fuertemente inclinada/ fuertemente ondulada/ moderadamente quebrada	Movimientos en masa de todo tipo, especialmente soliflucción, reptación erosión en surcos, ocasionalmente deslizamientos.
25-50%	e	Fuertemente quebrada/ ligeramente escarpada	Procesos denudacionales intensivos de diferentes clases zonas con reemplazos forestales evidencias claras de erosión del suelo.
50-75%	f	Moderadamente escarpada	Desprendimiento de rocas, coluviación.
75-100%	g	Fuertemente escarpada (incluye escarpe subverticales y verticales)	Caída de rocas, por efectos de tectonismo y bioclastia.

Nota: imagen obtenida del autor Jairo Alonso Figueredo Rodríguez

2.6.2. Análisis detallado de 5 modelos de restauración en zonas semiáridas

Se planificó llevar a cabo 5 modelos de diseños de sistemas de restauración en el área experimental:

- Restauración mediante zanjas de infiltración
- Restauración con dispositivos Waterboxx
- Restauración con dispositivos Cocoon
- Restauración a través de riego quincenal y mensual
- Testigo

Para todos los sistemas se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- El clima y disponibilidad de agua, en zonas semiáridas se recomienda reducir la competencia por agua con un mayor distanciamiento.
- La diversidad y estructura, para favorecer la regeneración natural.
- Los costos y el mantenimiento, teniendo en cuenta que a mayor densidad hay mayores labores y gastos.

El distanciamiento de siembra se estableció en 4x3 m considerando las condiciones climáticas de la zona, con precipitaciones reducidas y alta competencia por recursos hídricos y nutricionales dada la degradación existente. Esta distancia facilita las labores de riego y manejo, a la vez que, según criterios técnicos de densidades óptimas en silvicultura, promueve un crecimiento vigoroso de las plantas al reducir la restricción individual por disponibilidad de agua y nutrientes. Así, una densidad de 833 plantas por hectárea representa un punto de equilibrio que posibilita obtener una adecuada cobertura forestal en el mediano plazo sin incurrir en inversiones excesivamente altas inicialmente en número de plantas.

Se planteó sembrar las plantas en marco real ya que facilita el diseño del riego y las labores, además de promover el crecimiento de las plantas.

Esta distancia facilita las labores de riego y manejo, a la vez que, según criterios técnicos de densidades óptimas en silvicultura, promueve un crecimiento vigoroso de las plantas al reducir la restricción individual por disponibilidad de agua y nutrientes. Así, una densidad de 833 plantas por hectárea representa un punto de equilibrio que posibilita obtener una adecuada cobertura forestal en el mediano plazo sin incurrir en inversiones excesivamente altas inicialmente en número de plantas.

Para la sub-zona y los diseños de sistemas se utilizó un cercado de 5 líneas para poder delimitar las áreas y separar los experimentos. La distancia entre los postes puede ser de 2 a 3 metros y es necesario humedecer el suelo para realizar los hoyos con más facilidad. Esto se debe a la presencia de ganado bovino y caprino en la zona para poder

proteger a las plantas en sus etapas iniciales. Se consideraron los siguientes costos: costo de mano de obra, de los postes y del alambre de púas.

2.6.3. Restauración mediante zanjas de infiltración

Se identificaron las áreas críticas para la restauración ecosistémica, teniendo en cuenta la pendiente del terreno, es decir, las zanjas de infiltración deben ser diseñadas siguiendo las curvas de nivel. Las zanjas de infiltración deben seguir medidas que permitan el abastecimiento de agua requerido por la planta, medido en m³ y llevado a cuantos litros provee por planta.

Materiales: Principalmente se tomó en cuenta: picos y palas para la construcción de las zanjas, cubetas de agua para el riego inicial, cinta y piola para garantizar la disposición adecuada de las plantas conforme a las curvas de nivel.

Establecimiento: Para definir la distancia de la zanja a las plantas se consideró el desarrollo que pueden tener las especies en diámetro. La repartición de labores se basa en la organización del personal de tal forma que se logre la mayor eficiencia en la excavación de las zanjas, tomando en cuenta que primero se debe humedecer el suelo. Las dimensiones las establece un experto en base a las condiciones edáficas y climáticas, además del conocimiento especies seleccionadas.

Monitoreo: Se estableció un programa de monitoreo para evaluar la eficacia del sistema y detectar posibles problemas. Se debe verificar la acumulación de sedimentos en la pendiente o zanjas que puedan provocar posibles cambios en su forma. El intervalo entre monitoreos depende de la facilidad en acceder al sitio y del presupuesto asignado.

2.6.4. Restauración con dispositivos Waterboxx y Cocoon

Se realizó un análisis topográfico de las áreas designadas para la instalación de los dispositivos Waterboxx y Cocoon. Se optó por un enfoque uniforme en la distribución espacial de los dispositivos Waterboxx y Cocoon. Estos implementos fueron

posicionados alrededor de cada planta para garantizar un suministro eficiente y equitativo de agua.

Materiales: Los dispositivos Waterboxx y Cocoon fueron seleccionados en este proyecto por su capacidad comprobada para mejorar significativamente las tasas de supervivencia y crecimiento de plantas jóvenes en ambientes áridos y semiáridos. Dada la escasez hídrica y las limitantes edáficas en la zona de implementación, estos sistemas permiten optimizar la provisión de agua y nutrientes, reduciendo el estrés ambiental durante el establecimiento de las plántulas

Establecimiento: El proceso debe incluir actividades de limpieza y preparación del terreno, con el objetivo de eliminar cualquier obstáculo que pudiera interferir con la efectiva instalación de estos insumos. Durante la fase de instalación, se llenó completamente cada dispositivo, asegurando así una provisión adecuada para el crecimiento inicial de las plantas.

Monitoreo: Se añadió en los costos un monitoreo para evaluar la eficacia de los dispositivos Waterboxx y Cocoon. Este monitoreo permitirá revisar el nivel de agua presente en los dispositivos para estimar cuando es necesario rellenarlos nuevamente. Si el presupuesto lo permite, se puede recopilar datos sobre el tiempo durante el cual pueden suministrar de agua a las plantas en las condiciones de evapotranspiración de la comuna.

2.6.5. Restauración a través de riego quincenal o mensual

Los cálculos se llevaron a cabo en dos componentes distintos; uno de ellos involucra la canalización del agua desde la albarrada hacia un microreservorio destinado a abastecer de agua al sistema restauración, mientras que el otro se centra en el análisis de riego para las plantas de dicho sistema.

2.6.5.1. Cálculo de la albarrada al microreservorio

El primer análisis que se realizó fue para llevar agua de la albarrada al microreservorio. Se determinó por medio de QGIs el largo de la tubería y se realizó el cálculo considerando un diámetro de 2" de tubería, para este diámetro la velocidad máxima es 2.13 m/s y el caudal de 13.5 m³/h.

Se consideró que la pérdida de carga por cada 100 metros de tubería es de 8.98 mca. Además, se analizó la pérdida de carga relacionada a la diferencia de altura topográfica y la eficiencia de la bomba. Finalmente, se procedió a calcular la potencia de bombeo por medio de la siguiente fórmula:

$$Pb = \frac{Qt \times HF}{270 \times Ef}$$

Pb: potencia de bombeo

Qt: caudal de la tubería

HF: altura de metros de columna de agua total

Ef: eficiencia de la bomba

2.6.5.2. Cálculo del riego por gravedad al sistema de restauración

Se calculó como datos principales: la superficie humedecida, el volumen de agua por árbol, el volumen de agua por hectárea y el volumen de agua para un intervalo de 15 días. Se complementó con el análisis del hidrogel para suplir constantemente de agua a la planta basado en su volumen de agua y duración.

El diseño agronómico del riego permitió calcular los requerimientos hídricos del cultivo en los períodos de máxima demanda de agua. Se emplearon las siguientes fórmulas:

Lámina de agua disponible-LDzr

$$LDzr \left(\frac{mm}{zr} \right) = (CC - PMP) \times Da \times zr \times 10$$

Volumen de agua disponible-VDzr

$$VDzr \left(\frac{m^3}{zr} \right) = LDzr \times 10$$

Lámina de agua aprovechable-LAzr

$$LAzr \left(\frac{mm}{zr} \right) = LDzr \times \frac{UR \%}{100}$$

Porcentaje del área bajo riego-Par (%)

El porcentaje de área bajo riego recomendado para goteo está entre 40-50%.

$$Par (\%) = \frac{100 \times 0.785 \times D^2}{de \times dl} \times \frac{\alpha}{360^\circ}$$

Precipitación horaria del sistema de riego-Phr

La precipitación horaria de riego debe cumplir la premisa $Phr \leq Ib$, ya que si Phr es mayor que la infiltración básica (Ib) se producen encharcamientos. Si $Phr \geq Ib$ se debe cambiar el emisor seleccionado.

$$Phr \left(\frac{mm}{h} \right) = \frac{Qe \times 100}{de \times dl \times Par(\%)}$$

Ajuste de la Evapotranspiración

Cuando se usa un sistema de goteo hay que ajustar la evapotranspiración porque este valor obtenido del CROPWAT no refleja la realidad exacta.

$$ETc_{aj} = ETo_{aj} \times Kc$$

Intervalo de riego ajustado-Iraj

$$Iraj = entero \left(\frac{LAzr \times Par (\%)}{ETc_{aj} \times 100} \right)$$

Ciclo de Riego-CR

En un sistema de riego se debe considerar 1 o 2 días de paralización ya que en cierto momento de la temporada del cultivo se puede presentar un problema en el sistema.

$$CR \text{ (días)} = Ir_{aj} - Dp$$

Lámina de Riego Ajustada-LRaj

$$LR_{aj} = \frac{Ir_{aj} \times ETc_{aj} \times 100}{Par (\%)}$$

Lámina Bruta-LB

La eficiencia del método de riego, en este caso de goteo es de 90%.

$$LB = \frac{Lr_{aj} \times 100}{Eficiencia \text{ del riego}}$$

Dosis de Riego Bruta por área-DB

$$DB \left(\frac{m^3}{Ha} \right) = \frac{LB \times Par (\%)}{10}$$

Dosis de Riego Bruta por planta-DBp

$$DB \left(\frac{l}{planta} \right) = \frac{LB \times dp \times dh \times Par (\%)}{100}$$

Horas de Riego por turno-Ht

$$Ht \left(\frac{h}{turno} \right) = \frac{LB}{Phr}$$

Máximo número turnos de riego diarios-Td

El máximo número de horas de riego diarias (Hm) depende de la comuna, del funcionamiento del sistema de bombeo y de la disponibilidad del recurso hídrico.

$$Td = \frac{Hm}{Ht}$$

Horas de riego por día-Hd

$$Hd \left(\frac{h}{día} \right) = Td \times Ht$$

Horas de riego por ciclo-Hc

$$Hc \left(\frac{h}{ciclo} \right) = \frac{CR}{Hd}$$

Número de turnos por ciclo-Tc

$$Tc \left(\frac{turnos}{ciclo} \right) = \frac{CR}{Td}$$

Superficie bajo riego por turno-St

$$St \left(\frac{Ha}{turno} \right) = \frac{\text{Área neta bajo riego (Sr)}}{Tc}$$

Caudal requerido-QR

El caudal requerido se compara con el caudal disponible en el sistema de riego, donde $QR \leq Qs$, si esta premisa no se cumple se debe modificar el sistema de bombeo en pie.

$$QR \left(\frac{m^3}{h} \right) = \frac{St \times DB}{Ht}$$

2.6.6. Testigo

En la metodología de este estudio se incluyó una parcela de control o testigo, para comparar los resultados obtenidos con los demás sistemas de restauración

implementados. La designación del sistema testigo permite evaluar el progreso de la regeneración natural del bosque sin intervención activa, estableciendo así un punto de referencia respecto al cual medir la efectividad real de las técnicas de restauración.

La elección del testigo se fundamentó en su proximidad a los demás sistemas de restauración, su ubicación dentro de un área cercada, y la similitud de las condiciones del suelo con el resto de los sitios de estudio.

Se debe realizar un monitoreo inicial para caracterizar al testigo, durante la salida de campo. En esta exploración, se identificaron varios aspectos clave, tales como la cobertura vegetal, la diversidad de especies y la calidad del suelo. Este proceso permitió documentar la situación inicial de la zona, estableciendo así una línea base fundamental para realizar comparaciones en el futuro.

2.7. Análisis de costos de los sistemas de restauración

Después de idear y planificar los sistemas piloto para la restauración ecosistémica se prosigue con un enfoque a la evaluación financiera de dichos diseños. Este análisis proporcionará una comprensión de los recursos necesarios para la implementación, mantenimiento y sostenibilidad a largo plazo de cada sistema, pero principalmente se relaciona a la viabilidad económica de cada piloto, como se presenta a continuación.

2.7.1. Sistema mediante Zanjas de infiltración

La metodología para el análisis de costos del sistema de Zanjas de Infiltración se desglosa a continuación:

1. Costo de Construcción de Zanjas:

- Investigación Secundaria: Se llevó a cabo una investigación exhaustiva utilizando fuentes secundarias para determinar el número óptimo de

personas requeridas para la construcción de un conjunto específico de zanjas en un día.

- **Análisis Topográfico y Climático:** Se consideraron las características topográficas del terreno, evaluando su influencia en la velocidad de construcción de las zanjas. Además, se realizó un estudio detallado de las condiciones climáticas locales para ajustar los tiempos estimados según las variaciones meteorológicas.

2. Costo de Siembra:

- **Valoración de Plantas:** Se incorporó el costo de adquisición de las plantas, evaluando diversas opciones de proveedores y especies adaptadas a las condiciones del proyecto.
- **Mano de Obra para Siembra:** Se calculó el tiempo y la mano de obra necesarios para la siembra de las plantas, considerando la disposición espacial establecida en el diseño del sistema de zanjas.

3. Costos de Mantenimiento:

- **Identificación de Acciones de Mantenimiento:** Se identificaron todas las acciones necesarias para preservar la funcionalidad del sistema de zanjas de infiltración a lo largo del tiempo.
- **Cuantificación de Costos Asociados:** Se cuantificaron los costos asociados a las acciones de mantenimiento, incluyendo insumos, herramientas y mano de obra requeridos para llevar a cabo tareas periódicas como limpieza, inspección y reparación.

2.7.2. Sistema mediante Waterboxx y Cocoon

A continuación, la metodología para el análisis de costos del sistema de dispositivos Waterboxx y Cocoon:

1. Investigación de Precios y Proveedores:

- **Análisis de Mercado:** Se realizó una investigación exhaustiva del mercado para identificar proveedores de Waterboxx y Cocoon, considerando aspectos como calidad, costo y disponibilidad.
- **Comparación de Precios:** Se llevó a cabo una comparación detallada de los precios ofrecidos por distintos proveedores, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas y la durabilidad de los dispositivos.

2. Cálculo de la Cantidad Necesaria:

- **Determinación del Área Por Cubrir:** Se calculó la extensión total del área de estudio que se pretende cubrir con Waterboxx y Cocoon, considerando la disposición proyectada de estos dispositivos en el terreno.

3. Costos de Adquisición e Implementación:

- **Precio de Waterboxx y Cocoon:** Se incluyó el costo de adquisición de cada Waterboxx y Cocoon necesario para cubrir la totalidad del área de restauración.
- **Instalación:** Se calculó el costo asociado con la instalación y disposición adecuada de los dispositivos en el terreno.

4. Costos de Siembra:

- **Adquisición de Plantas:** Se cuantificó el costo de adquirir las plantas necesarias para el proyecto, considerando la variedad y cantidad requerida.
- **Mano de Obra para Siembra:** Se calculó el costo de la mano de obra necesaria para la siembra de las plantas, asegurando una estimación completa de los recursos requeridos para la implementación del sistema.

2.7.3. Sistema de riego con goteo quincenal o mensual.

La metodología se divide en tres categorías principales, a continuación, el detalle:

2.7.3.1. Establecimiento:

En la fase de establecimiento, se evaluarán los costos asociados con la preparación del terreno y la introducción inicial de las plantas. El análisis de suelo se realizará con el servicio del laboratorio de suelo de la ESPOL. Además, mediante la contratación de mano de obra se lleva a cabo tareas como señalamiento, hoyado, distribución de plantas, siembra y aplicación de fertilizante.

Adicionalmente, se considerarán los insumos necesarios, incluyendo la adquisición y transporte de plantas, cal, hidrogel y fertilizante. Se contemplarán también los costos asociados con la compra y transporte de materiales, herramientas y equipos necesarios para la fase de establecimiento.

2.7.3.2. Mantenimiento:

La fase de mantenimiento se centrará en los costos continuos relacionados con la operación del proyecto. Esto incluirá la mano de obra necesaria para actividades como el combustible de la bomba, operación del sistema de riego, y el monitoreo y control de plagas y enfermedades. Se calculará el subtotal de mantenimiento teniendo en cuenta estos elementos.

2.7.3.3. Infraestructura:

En la categoría de infraestructura, se evaluarán los costos asociados con la construcción y adquisición de elementos físicos necesarios para el proyecto. Esto incluirá mano de obra para la construcción de tuberías, microreservorio y otras estructuras. También se considerarán los costos de materiales, herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo estas tareas.

2.7.3.4. Sistema de Riego:

Para la infraestructura específica del sistema de riego, se detallarán los costos asociados con los accesorios necesarios, como tuberías, válvulas de aire, uniones, geomembranas, bomba, filtro de malla, válvulas, y todo el conjunto de elementos para

la instalación desde el microreservorio hasta las zonas de riego. Además, se realizarán cálculos variables específicos para 3 hectáreas, considerando elementos como válvulas, tubería principal, uniones, mangueras y goteros.

2.7.3.5. Herramientas complementarias al sistema de riego:

En la última fase del análisis, se incorporó el uso de hidrogel como complemento para mejorar la retención de agua en el suelo y reducir la frecuencia de riego. Se consultó con una empresa encargadas de su distribución que el hidrogel tenía una absorción práctica de 350 veces su peso, se debe analizar en conjunto la dosis por planta dependiendo del clima, suelo y plantas. Los expertos conocen que el producto mantiene hidratada a la planta durante aproximadamente 15 días en promedio para la península de Santa Elena.

2.8. Análisis FODA del proyecto

Se utilizó como una estrategia para evaluar factores internos y externos que pueden influir en el éxito de los sistemas de restauración ecosistémica en San Marcos:

- Se identifica metas y objetivos
- Se evalúa fortalezas y debilidades internas
- Se exploran oportunidades y amenazas externas
- Se priorizan elementos para decisiones informadas.

Luego del análisis y con la retroalimentación de la comunidad se debe ajustar los diseños de los sistemas, asegurando una adaptación precisa a las necesidades locales.

Para llevar a cabo este análisis de manera efectiva, se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1: comprender el propósito y el contexto

- Se identificó las metas, objetivos y áreas de enfoque clave descritos previamente.

Paso 2: Identificar fortalezas (factores internos)

- Se buscaron atributos, recursos y capacidades positivas mencionados en el documento.
- Se consideró factores como la experiencia, la tecnología, la estabilidad financiera y los recursos humanos.
- Se enumeró esta información en la sección 'Fortalezas'.

Paso 3: Identificar las debilidades (factores internos)

- Se identificaron áreas donde se evidencian desafíos, limitaciones o aspectos que necesitan mejora.
- Se consideró factores como la falta de recursos, mala gestión o conflictos internos.
- Se enumeró información en la sección 'Debilidades'.

Paso 4: Identificar oportunidades (factores externos)

- Se examinó información secundaria en busca de factores externos que podrían impactar positivamente el proyecto u organización.
- Se consideró las tendencias del mercado, los desarrollos de la industria, los cambios en las regulaciones o las tecnologías emergentes.
- Se enumeró esta información en la sección "Oportunidades".

Paso 5: Identificar amenazas (factores externos)

- Se buscó factores externos que puedan plantear desafíos o amenazas al proyecto.
- Se consideró la competencia, las recesiones económicas, los cambios regulatorios o las disrupciones tecnológicas.
- Se enumeró esta información en la sección "Amenazas".

Paso 6: priorizar y categorizar

- Se revisaron las listas de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.
- Se priorizaron los elementos según su importancia e impacto potencial.
- Se clasificaron elementos similares para crear un análisis más organizado y coherente.

CAPÍTULO 3

3. Resultados y discusión

En la presente sección se exponen los resultados alcanzados a partir de una investigación centrada en el diseño de un plan piloto de restauración. Basada en una comprensión integral del marco teórico y guiada por los objetivos establecidos, además se abordaron aspectos críticos de la restauración, como la selección de especies y el diseño de sistemas, sentando las bases esenciales para la discusión e interpretación posterior de los resultados.

3.1. Caracterización climática

Los datos de temperatura y precipitación fueron adquiridos con el propósito de identificar la zona de vida del ecosistema y tener un fundamento sólido para la selección de especies. Los datos específicos de temperatura y precipitación se encuentran en los diagramas a continuación:

3.1.1. Diagrama Ombrotérmico Santa Elena

En la península de Santa Elena, se realizó un análisis de la temporada de lluvias, que se extiende principalmente durante cuatro meses al año con su punto culminante en marzo. A partir de abril, se observó una disminución gradual de las precipitaciones, y en mayo se presentaron lluvias de manera ocasional, mientras que entre junio y diciembre, la precipitación alcanzó niveles mínimos.

Estos hallazgos compararon con los resultados obtenidos de (Meteoblue, 2024), que consideró una temperatura promedio de 24.4°C de Santa Elena. Las temperaturas más altas se registraron durante los meses de lluvias, mientras que se observó una disminución térmica en los meses de mínima precipitación.

Tabla 1

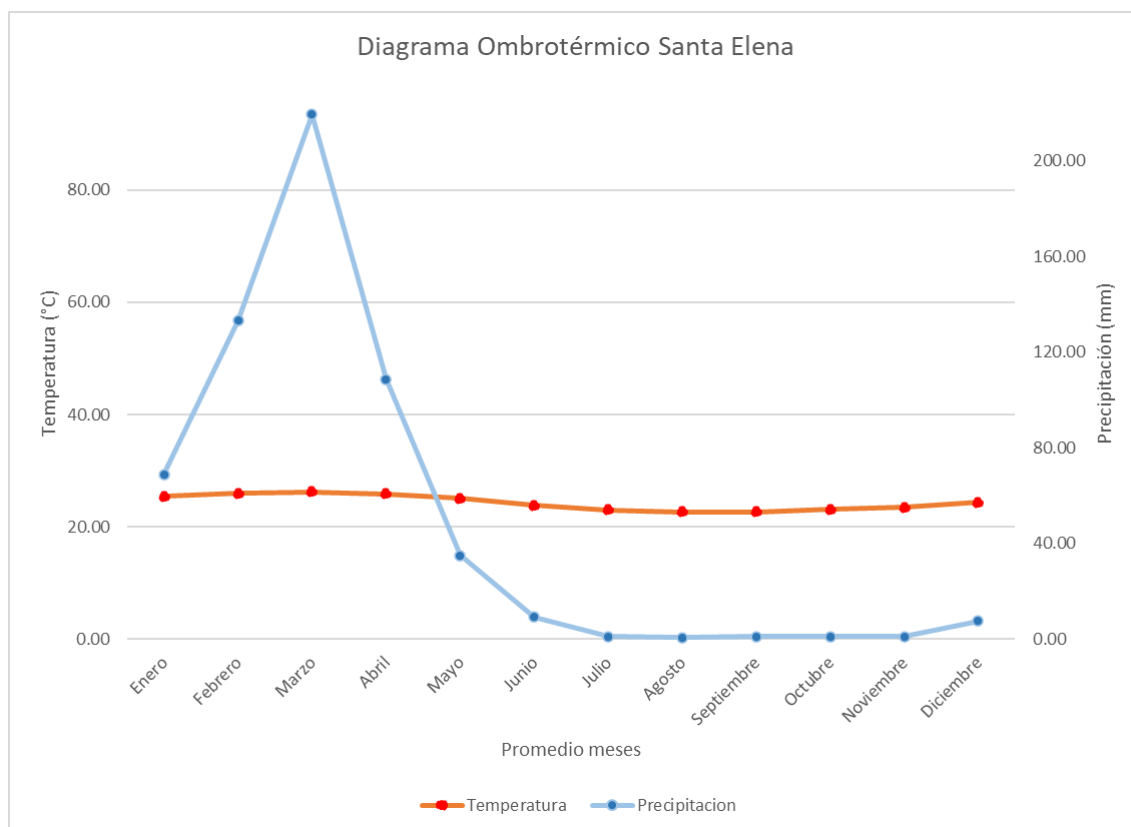
Datos mensuales de temperatura y precipitación para la provincia de Santa Elena.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
Temperatura (°C)	25.40	25.92	26.17	25.84	25.05	23.79	23.01	22.62	22.66	23.05	23.44	24.34	24.27
Precipitación (mm)	68.85	133.05	219.38	108.63	34.86	9.14	1.07	0.49	1.05	0.96	1.01	7.45	585.94

Nota: Datos obtenidos de la Unidad de Investigación Climática es un componente de la Universidad de East Anglia.

Figura 10

Diagrama Ombrotérmico de la provincia de Santa Elena, temperatura vs precipitación.



Nota: La tabla 1 y la figura 9 representan la relación entre la precipitación mensual y la temperatura.

3.1.2. Diagrama Ombrotérmico Colonche

Con base a los registros de la estación meteorológica de Colonche, se constató que la temporada de lluvias se concentró principalmente en dos meses al año (febrero y marzo), siendo febrero el mes de máxima intensidad. A partir de abril hasta mayo, se

evidenció una disminución en las precipitaciones, mientras que, entre junio y diciembre, la lluvia fue mínima.

Existen posibilidades de que se presentaran lluvias también en los meses de enero y abril. Estas observaciones concordaron con la información de la literatura revisada, la cual consideró una temperatura promedio de 24.22 °C. Durante los meses de lluvias se registraron las temperaturas más elevadas, mientras que en los meses de mínima precipitación se observó un descenso térmico. La precipitación total anual alcanzó los 303.4mm.

Tabla 2

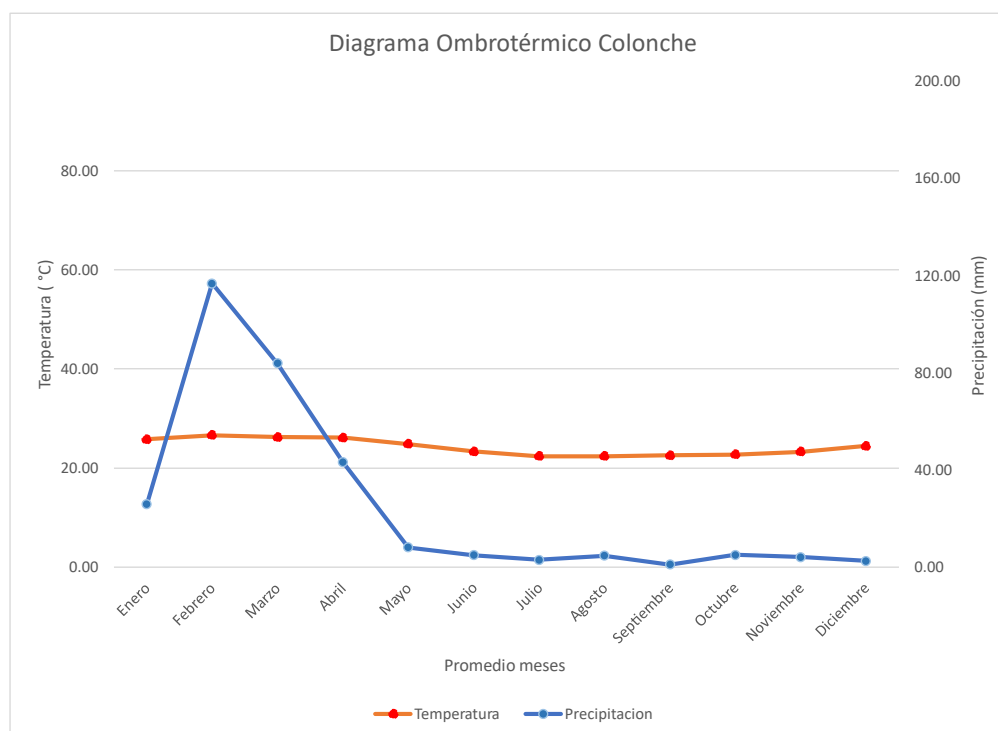
Datos mensuales de temperatura y precipitación basados la estación meteorológica de Colonche.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
Temperatura (°C)	25.78	26.63	26.22	26.12	24.85	23.32	22.37	22.36	22.56	22.73	23.28	24.46	24.22
Precipitación (mm)	25.86	116.76	83.91	43.21	8.16	4.96	3.03	4.68	1.03	5.07	4.15	2.58	303.40

Nota: Datos obtenidos del INHAMI de la estación meteorológica Colonche.

Figura 11

Diagrama Ombrotérmico de Colonche, temperatura vs precipitación.



Nota: La tabla 2 y la Figura 10 representan la relación entre la precipitación mensual y la temperatura.

3.1.3. Comparación y validación de datos climatológicos

La generación de dos diagramas ombrotérmicos, uno que representa la provincia de Santa Elena en su conjunto y otro específico de la estación meteorológica de Colonche, ha desencadenado una reflexión crucial para la comprensión precisa de las condiciones ambientales en el área de estudio. La elección de tener dos representaciones se fundamenta en la necesidad de capturar las particularidades climáticas que inciden directamente en la vegetación local.

La estación de Colonche, al ser la más cercana al área de estudio, inicialmente se consideró como la fuente principal de datos climáticos. Sin embargo, surgen discrepancias al analizar el diagrama de Holdridge generado con estos datos, ya que indica un ecosistema de monte espinoso tropical, en contradicción con la cobertura vegetal documentada como un bosque seco tropical en la revisión bibliográfica.

La resolución a esta discrepancia se encuentra al examinar el diagrama ombrotérmico de Santa Elena, que, a pesar de abarcar una región más extensa, proporciona una representación más fidedigna de las condiciones climáticas que se asemejan al ecosistema de interés. Los datos de temperatura en Santa Elena exhiben similitudes notables con los de Colonche, mostrando patrones de variación mensual consistentes, lo cual refuerza la confiabilidad de los datos térmicos a pesar del menor rango temporal en Colonche.

La selección del diagrama ombrotérmico de Santa Elena para la construcción de la zona de vida de Holdridge se justifica por su concordancia con la vegetación esperada en la región, correspondiendo al bosque seco tropical que se pretende analizar. No obstante, se subraya la importancia de considerar la precipitación anual indicada por la estación de Colonche en la matriz de decisiones para la selección de especies.

Aunque la precipitación en Colonche es considerablemente menor que la de Santa Elena, este dato se presenta como un indicador crítico para evaluar la capacidad de las plantas para sobrevivir en condiciones de baja precipitación. Datos adicionales mencionados en trabajos de investigación (donde se menciona a la comuna San Marcos) de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), sirven como indicadores con un rango de 125 a 300 mm anuales.

La combinación de datos de ambas estaciones meteorológicas, con énfasis en la temperatura del diagrama de Santa Elena y la información de precipitación de la estación meteorológica de Colonche, proporciona una visión más completa y precisa de las condiciones climáticas en el área de estudio.

3.2. Zona de vida de Holdridge

Una vez concluido el diagrama ombrotérmico, se procedió a la delimitación de la zona de vida. Este proceso se llevó a cabo con la ayuda del triángulo de Holdridge, empleando datos del diagrama ombrotérmico de Santa Elena, la precipitación media anual de 585.94 mm y la temperatura promedio anual de 24.27°C.

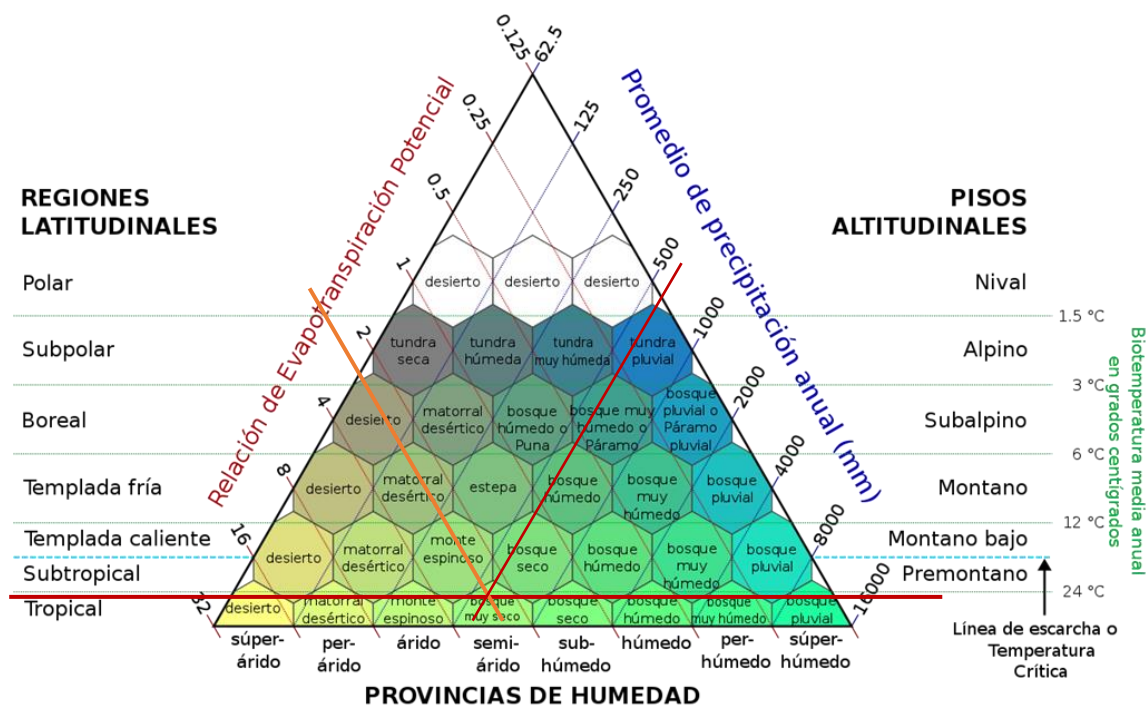
Durante la investigación secundaria se menciona que las especies de flora y fauna de la comuna Aguadita-San Marcos pertenecen a un ecosistema de bosque seco, por lo que se optó por caracterizar la zona de vida en función del diagrama ombrotérmico de Santa Elena. El autor (Pozo, 2021) de la UPSE adicionalmente identificó 499 especies entre árboles y arbustos.

La identificación de la zona de vida se realizó al determinar la intersección de ambas rectas (precipitación y temperatura), según las directrices del triángulo de Holdridge, revelando que la zona de vida para Santa Elena corresponde a un bosque muy seco tropical. Para validar la exactitud de esta clasificación, se aplicó la siguiente ecuación para calcular la evapotranspiración, la cual se correlaciona con el tercer punto de intersección en el triángulo:

$$\text{Relación de evapotranspiración} = (24.27 * 58.93)/585.94 = 2.44$$

Figura 12

Clasificación de la Zona de Vida mediante el Triángulo de Holdridge basado en el clima de Santa Elena.



Nota: imagen elaborado por los autores.

La relación de evapotranspiración proporcionó un valor de 2.44, lo que motivó trazar una línea en el triángulo con el fin de verificar la adecuación de la zona, como se visualiza en la Figura 11. Sin embargo, la revisión bibliográfica realizada en el marco teórico indica que la comuna de San Marcos se clasifica como bosque seco, contrastando con la categoría establecida mediante datos generales para la provincia de Santa Elena de bosque muy seco tropical.

Algunas especies forestales que se pueden encontrar en el ecosistema de bosque seco tropical de Ecuador, según (Aguirre, 2012):

- Ceibo (*Ceiba trichistandra*): es un árbol de gran tamaño y belleza, que puede alcanzar hasta 70 m de altura. Tiene una copa amplia y ramificada, con flores blancas o rosadas que atraen a las abejas y a los murciélagos. Su tronco es esponjoso y almacena

agua. Es una especie nativa de América tropical y se usa para la producción de madera, fibra, aceite y medicina.

- Algarrobo (*Prosopis juliflora*): es un árbol de tamaño mediano, que puede llegar a 15 m de altura. Tiene una copa densa y espinosa, con flores amarillas que producen vainas comestibles. Su tronco es duro y resistente. Es una especie originaria de América tropical y se usa para la producción de madera, forraje, miel y combustible.
- Guayacán (*Tabebuia chrysantha*): es un árbol de tamaño mediano, que puede alcanzar hasta 25 m de altura. Tiene una copa redondeada y flores amarillas que forman un espectáculo visual. Su tronco es grueso y de color café. Es una especie nativa de América tropical y se usa para la producción de madera, ornamento y medicina.
- Palo santo (*Bursera graveolens*): es un árbol de tamaño pequeño, que puede llegar a 10 m de altura. Tiene una copa irregular y hojas compuestas que desprenden un aroma agradable. Su tronco es delgado y de color gris. Es una especie endémica de la región costera de Ecuador y Perú y se usa para la producción de aceite esencial, incienso y medicina.
- Palo blanco (*Lysiloma divaricatum*): es un árbol de tamaño mediano, que puede alcanzar hasta 20 m de altura. Tiene una copa amplia y hojas compuestas que se tornan rojizas en la estación seca. Su tronco es grueso y de color café. Es una especie nativa de América tropical y se usa para la producción de madera, forraje y sombra.
- Palo verde (*Parkinsonia aculeata*): es un árbol de tamaño pequeño, que puede llegar a 8 m de altura. Tiene una copa espinosa y hojas compuestas que se caen en la estación seca. Su tronco es delgado y de color verde. Es una especie originaria de América tropical y se usa para la producción de forraje, ornamento y medicina.

La cobertura vegetal es comúnmente xerófila, es decir, posee adaptaciones a zonas áridas como por ejemplo el Ceibo que puede realizar fotosíntesis por su tallo. Sin

embargo, es importante mencionar que a pesar de utilizar como referencia la zona de vida de bosque muy seco tropical, la estación meteorológica de Colonche indica que las precipitaciones pueden ser inferiores por lo que las plantas estarían en los límites de la precipitación mínima que necesitan para su fisiología.

3.3. Matriz de decisión de las especies

La **Tabla 3** funcionó como una matriz de decisión para identificar las especies más adecuadas a las condiciones ambientales y necesidades de la comuna. De la lista inicial, las primeras 6 especies (marcadas en verde) fueron incorporadas en el diseño del plan piloto debido a sus notables características. Aunque la imagen presentada incluye 10 especies de la matriz, esta ampliación se realizó con el propósito de compartir y validar el proyecto en la comunidad, respaldando así la selección de las especies a través de datos de investigación.

Las especies señaladas en celeste indican su potencial para reemplazar alguna especie marcada en verde. Por otro lado, las especies de tono durazno fueron consideradas, pero finalmente no fueron incluidas en el grupo seleccionado. Las especies elegidas se alinean con las identificadas durante el análisis ecológico y climático de la zona intervenida. El ecosistema de bosque seco tropical se distingue por albergar plantas xerófilas con la capacidad de sobrevivir con precipitaciones de 500 mm o menos.

Otros proyectos similares llevados a cabo por Fundación Natura Colombia y Enel Biodiversa (parte del grupo Enel Colombia) llevan una ejecución de 4 y 13 años respectivamente. Sus especies nativas principales para bosque seco son: la Ceiba, el Roble, el Cedro, Guayacán, Ébano, Caracolí y Carreto.

Tabla 3

Matriz de decisión para la selección de especies del plan piloto de restauración.

Descripción				Cualitativo			Cuantitativo									
#	Nombre común	Nombre científico	Familia	Presente en campo	Recomendado (por locales)	Disponibilidad vivero Cerro Blanco	Precipitación mínima anual	Tolerancia a la salinidad	Tasa de crecimiento	Consumo de ganado	Potencial de uso	Germinación de semillas	Resistencia a plagas y enfermedades	Aporte de MO	Estado de conservación	TOTAL
1	Zapote de perro	Capparis scabrada	Capparaceae	5	5	1	4	2	2	3	4	4	4	3	3	40
2	Algarrobo	Prosopis juliflora	Fabaceae	1	1	1	4	3	5	5	5	5	3	5	2	40
3	Palo Santo	Bursera graveolens	Burseraceae	5	5	5	4	2	2	1	3	1	5	3	3	39
4	Muyuyo	Cordia lutea	Boraginaceae	5	1	5	5	2	3	2	3	5	5	1	2	39
5	Leucaena	Leucaena leucocephala	Mimosaceae	1	1	5	3	3	3	2	4	4	4	4	2	36
6	Cascol	Caesalpinia glabrata	Fabaceae	1	5	5	2	2	3	1	2	5	5	1	3	35
7	Palo verde	Parkinsonia florida	Fabaceae	5	1	1	5	2	3	3	2	3	5	2	2	34
8	Ceibo	Ceiba trichistandra	Malvaceae	1	1	5	1	3	5	2	4	3	3	2	3	33
9	Seca	Geoffroea spinosa	Fabaceae	5	1	5	1	5	5	5	1	1	1	1	1	32
10	Ebano	Ziziphus thyriflora	Rhamnaceae	5	1	5	3	1	2	1	2	5	1	1	1	28
						TOTAL	32	25	33	25	30	36	36	23	22	

Nota: tabla elaborado por los autores. Las calificaciones asignadas van del 1 al 5, donde 5 representa el nivel más alto y 1 el más bajo.

3.4. Mapa del área con diseños de sistemas piloto

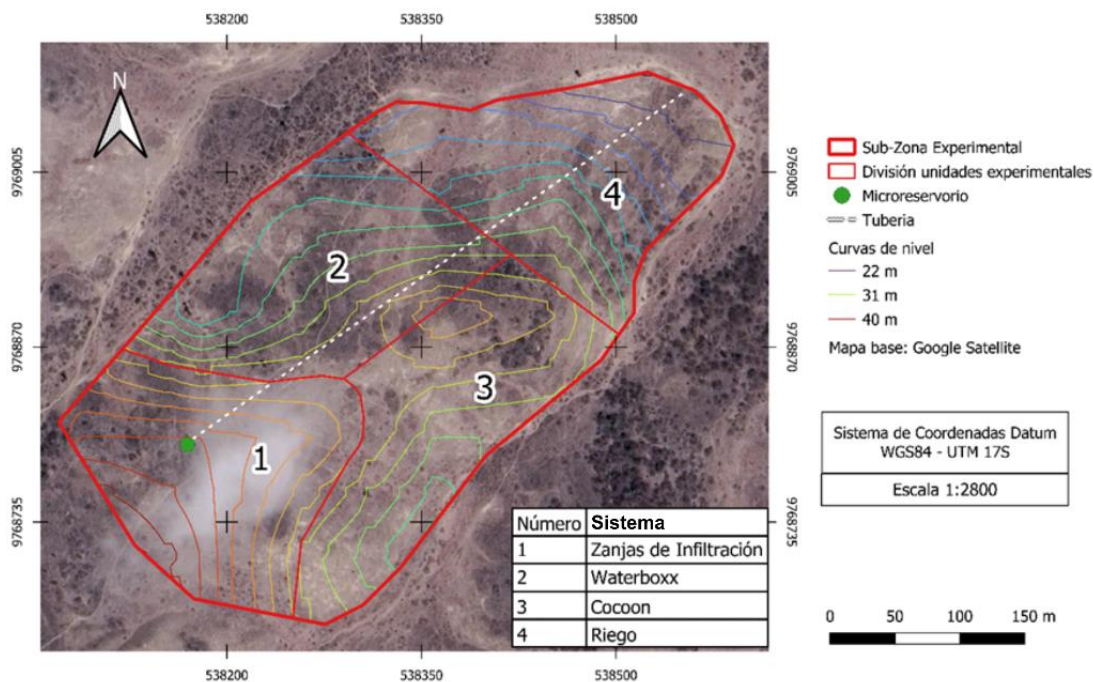
La Figura 12 representa la distribución de los diseños, los cuales fueron planificados simétricamente para asignar 3 hectáreas a cada uno. Además, se visualizaron las curvas de nivel que variaban entre altitudes de 22 a 40 metros, con una separación de 1 metro.

La restauración mediante zanjas de infiltración ocupó la posición más elevada del terreno, incorporando un microreservorio de 20 m³ diseñado para abastecer el sistema de riego de dicho sistema, ya sea de forma mensual o quincenal. El sistema de zanjas de infiltración se ubica en la parte más alta cercana a 40m de altitud, lo que se busca es tener una pendiente de mínimo 6% para que el sistema provea de agua por infiltración a las plantas. En este espacio se encuentra la ubicación del micro-reservorio.

Para el mapa, se consideró un sistema de riego por gravedad por lo que se destina al área con una altitud cercana a 25m y se observa la tubería que nace desde el micro-reservorio. Se busca que el sistema de riego tenga la mayor presión posible, por diferencia de altitud. En lo que respecta a la irrigación, el mapa exhibió la línea entrecortada de la tubería desde el microreservorio y cómo se distribuía a lo largo del centro del sistema para garantizar un riego eficiente y modular. Por último, los sistemas 2 y 3 se destinaron a los diseños con los dispositivos Waterboxx y Cocoon, respectivamente ya que son más versátiles en su ubicación por lo que pueden adaptarse a distintos niveles de pendiente.

Figura 13

Mapa de la distribución y características de los sistemas de restauración.



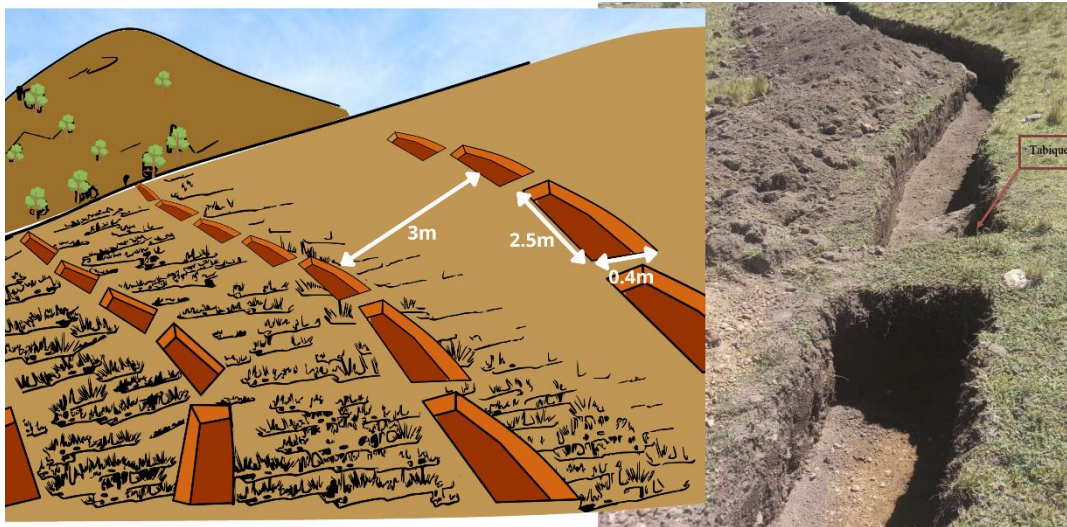
Nota: imagen elaborado por los autores.

3.5. Restauración mediante zanjas de infiltración

La Figura 13 muestra la representación visual de la restauración con zanjas de infiltración, donde se puede observar que el sistema presentaba una pendiente promedio del 7%, siendo categorizado como "moderadamente inclinado". A partir de esta característica topográfica, se diseñaron las zanjas siguiendo las curvas de nivel con el propósito de maximizar la captación del agua y abastecer a la planta de manera eficiente.

Figura 14

Representación visual del diseño piloto mediante zanjas de infiltración.

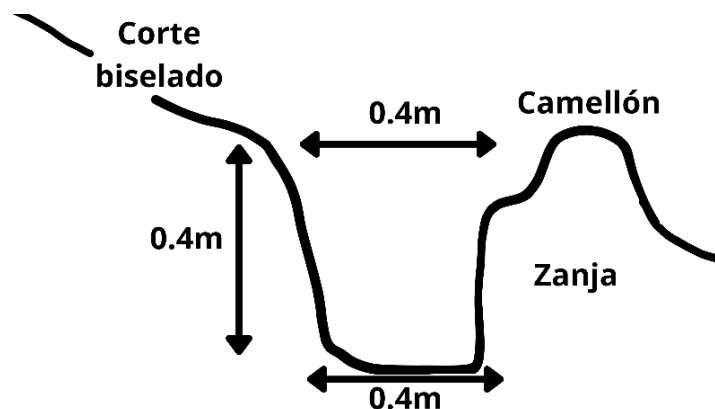


Nota: imagen combinada (1) elaborado por los autores y (2) por Arana, 2021.

La superficie de cada zanja fue de 1 metro cuadrado a una profundidad de 0.4 metros en promedio, la capacidad individual de retención hídrica de estas estructuras fue de 0,4 metros cúbicos equivalentes a 400 litros de agua, cantidad suficiente para proveer 13 litros diarios a cada planta durante un mes. En total, se construyeron 833 zanjas, con una separación de 0.5 metros entre ellas, abarcando de esta manera el sistema de restauración completo.

Figura 15

Representación de las dimensiones de la zanja de infiltración.



Nota: imagen elaborado por los autores.

3.6. Restauración con dispositivos Waterboxx y Cocoon

La Figura 15 representó una parte la distribución de las 6 especies en el terreno, las plantas se colocaron en marco real de 4x3 m y plantas de una misma especie forman un marco tipo tres bolillos de 8x9 m entre sí para estar lo más alejadas posible.

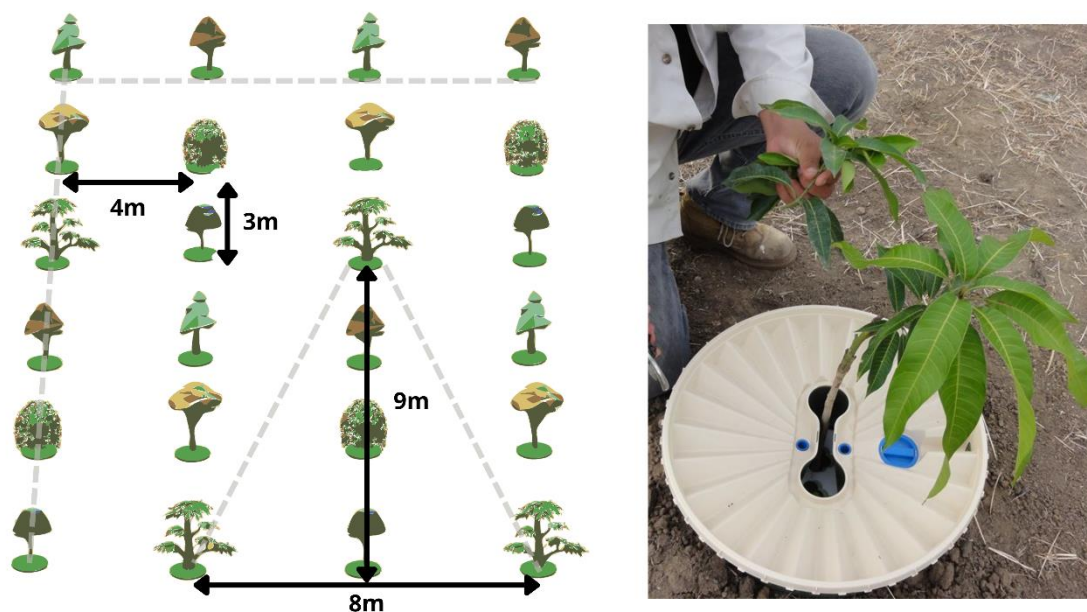
Los círculos verdes representan el Waterboxx o el Cocoon, de manera general cumplen el mismo propósito con un diseño similar. Los sistemas de estos recipientes se activan cuando la humedad del suelo es baja o cuando la mecha se activa por succión de la planta.

Sin embargo, tienen las siguientes diferencias:

- El Waterboxx está fabricado por plástico de propileno que es duradero y reutilizable. Tiene capacidad para 15 litros de agua.
- El Cocoon es fabricado con un material biodegradable que se descompone después de 1 año. Tiene capacidad para 25 litros de agua.

Figura 16

Representación visual del diseño piloto mediante los dispositivos Waterboxx.



Nota: imagen combinada (1) elaborado por los autores y (2) Lighthouse Emporium del sitio web: <https://lighthouseemporium.co.za/shop/waterboxx/>

3.7. Restauración a través de riego quincenal y mensual

Inicialmente, se contó con datos específicos sobre el cultivo forestal y la restauración, resaltando parámetros claves como: el área neta bajo riego (1 hectárea), la distancia entre laterales (4 metros) y emisores (3 metros), así como las horas requeridas para el riego diario.

Se consideró que, para el periodo de riego del sistema lo óptimo es abrir la válvula de control durante la noche, para cumplir con las 16 horas de riego que las plantas requieren. El tiempo de riego se formuló tomando en consideración: la evapotranspiración, la profundidad efectiva de raíces, el caudal del gotero y el extenso intervalo de riego. El riego nocturno, con posterior cierre matutino de la válvula, minimiza las pérdidas por evaporación diurna y satisface la demanda hídrica de los árboles, ajustado a las condiciones locales.

Este enfoque promueve la gestión responsable del agua y sirve como modelo para la restauración de zonas con poca precipitación. De esta manera, significaba un avance relevante para lograr la sostenibilidad en el manejo de ecosistemas frágiles como los bosques tropicales secos.

Tabla 4

Resumen de los cálculos del diseño agronómico del sistema de riego por goteo.

CULTIVO:		Forestales/Restauración	
DATO	UNIDAD	VALOR	
Sr (área neta bajo riego)	Ha	1.00	
dh (Distancia e/hileras)	m	4.00	
dp (Distancia e/plantas)	m	3.00	
Emisor	tipo	PCJ NETAFIM	
Presión de operación (emisor)	mca	10.00	
qe (Caudal del emisor)	(L/h)	2.00	
dl (distancia entre laterales)	m	4.00	
de (distancia entre emisores)	m	3.00	
Ir aj (intervalo de riego aj.)	d	15.00	
Hd (horas de riego por día)	h	12.00	
Para llevar agua del reservorio al microreservorio			
Diámetro de tubería (3")	mm	75.00	
Velocidad máxima	m/s	1.11	
Qt (caudal de la tubería)	m ³ /h	16.20	
Perdida de carga	mca/100m	1.64	
Longitud tubería	m	2100.00	
hf (perdida de carga tubería)	m	34.44	
Altura bomba	m	10.00	
Altura microreservorio	m	30.00	
Δ Topográfica	m	20.00	
HF (altura mca total)	m	54.44	
Eficiencia	%	0.70	
Pb (Potencia de Bombeo)	HP	5.00	
Cálculos generales para riego por gravedad en goteo			
Etc	mm/d	2.00	
Etc (cambio de unidades)	m ³ /d/ha	20.00	
hfg (perdida de carga ultimo gotero)	m	15.00	
qe (caudal del emisor)	L/h	2.00	
Porcentaje mínimo bajo riego	%	0.20	
d (diámetro humedecido)	m	2.40	
Caudal por área	L/m ²	0.44	
Superficie humedecida	m ²	4.52	
Volumen x árbol	L/árbol	2.00	
Arboles x ha	arboles	833.00	
Volumen x ha x día	m ³ /día	1.67	
Volumen para 2 semanas	m ³	23.34	
Profundidad	m	2.00	
Superficie Microreservorio	m ²	11.67	

Tabla 4 (continuación)*Resumen de los cálculos del diseño agronómico del sistema de riego por goteo.*

Hidrogel			
Absorción practica	g/g		350.00
Dosis x planta	g		10.00
Dosis de agua	L		3.50
Agua x ha	m ³		2.92
Tiempo de duración (Estimado)	días		15.00

Nota: elaborado por los autores. Esta tabla se divide en dos páginas por motivos de espacio.

Se presenta un análisis del diseño del sistema de riego por goteo, evidenciado por la Tabla 4 y el Anexo 4. El primero ofrece un resumen de los cálculos, mientras que el segundo proporciona la tabla de cálculos agronómicos completos, destacando el intervalo de riego y el tiempo de aplicación del agua. No obstante, se observa que el intervalo de riego en el segundo gráfico se limita a un máximo de 3 días, cumpliendo con los principios básicos del riego por goteo. Este diseño se fundamenta en la teoría de proporcionar una lámina de agua suficiente para suplir la evapotranspiración de la planta.

Sin embargo, se reconoce que, en el contexto de un proyecto de restauración ecosistémica, la atención constante y precisa para mantener intervalos de riego tan cortos puede ser un desafío logístico. Por lo tanto, se ha tomado la decisión de ajustar el sistema de riego para permitir intervalos más amplios, específicamente de 15 o 30 días, mientras se mantiene el tiempo de riego de 16 horas. Este ajuste se logra mediante la implementación de hidrogel, goteros conectados a mangueras que dirigen directamente el agua a la raíz, y cálculos basados en un diámetro humedecido y un volumen de 2 litros por planta.

Se puede destacar que las especies utilizadas en el proyecto de restauración son adaptadas a condiciones áridas y pueden hacer uso de sus adaptaciones naturales para sobrevivir en ausencia de un suministro constante de agua. Aunque el sistema de riego con intervalos más largos no garantiza un alto porcentaje de supervivencia de las plantas, se espera que contribuya significativamente a la supervivencia en comparación con la ausencia total de riego.

Es importante señalar que, a pesar de la ausencia de datos específicos o experimentos que respalden completamente el uso del hidrogel y el riego por goteo dirigido a la raíz en este contexto, se reconoce la capacidad del hidrogel para proporcionar agua de manera segura durante al menos 15 días y la eficacia de entregar el agua directamente a la raíz para optimizar su uso.

La inclusión de ambos gráficos en el documento pretende ofrecer una perspectiva integral de las consideraciones técnicas y estratégicas detrás del diseño del sistema de riego. Aunque los cálculos se han ajustado para minimizar los gastos, se asegura la factibilidad del proyecto piloto de restauración, priorizando la supervivencia de las plantas en un entorno árido y desafiante.

3.7.1. Transporte de agua al microreservorio:

Para llevar agua del reservorio principal al microreservorio, se tomó la decisión de utilizar una tubería de 3 pulgadas (75 mm de diámetro nominal), considerando la velocidad máxima de la tubería de 1.11 m/s y un caudal de 16.20 m³/h. La longitud y la pérdida de carga total se basó en los análisis GIS realizados para determinar la distancia que recorrería el agua y la diferencia de altitud. Se necesitaba una bomba de 5-6 HP y una presión aproximada de 55 m.

La elección de la tubería de 3 pulgadas se basó en la necesidad de evitar el uso de una bomba no comercial o difícil de encontrar a un precio asequible. De manera

general a parte de tomar en cuenta el caudal requerido, el límite de presión no debe pasar los 7 bar o 70 mca por lo tanto no se puede reducir el diámetro de 3 pulgadas.

3.7.2. Cálculos generales para riego por gravedad con goteo:

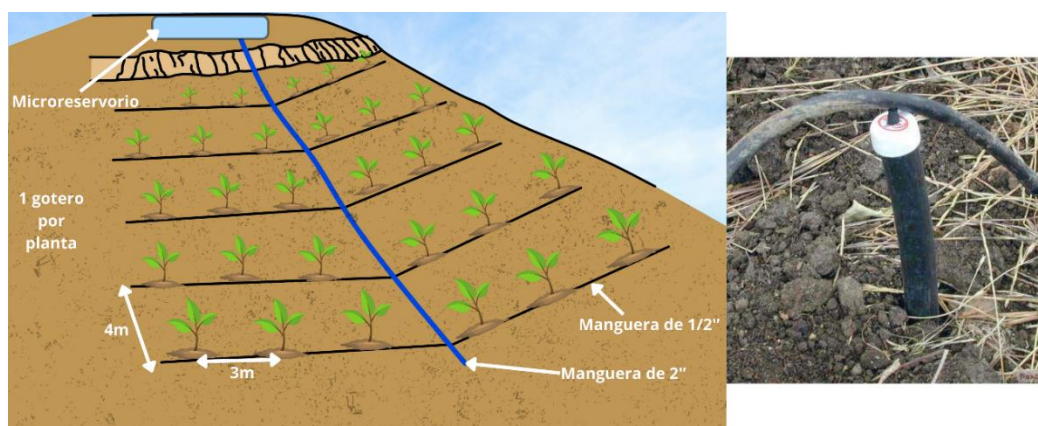
La sección de cálculos (**tabla 5**), para el riego por gravedad en goteo aborda aspectos como el caudal del gotero (2 L/h), la evapotranspiración (2 mm/día), el diámetro humedecido (2.4 m) y el volumen por árbol (2 L). Dichos parámetros son importantes para identificar el tamaño del microreservorio que tenga la capacidad de abastecer a cada planta con su dosis aceptable de agua. El volumen de agua que debe contener el microreservorio debe ser de al menos 24m³ para dos semanas de agua para una hectárea.

Cabe mencionar que dichos cálculos no representan las mejores condiciones con un sistema de riego ya que el objetivo es no desperdiciar recursos además que las especies deben adaptarse a las condiciones de su zona.

Un aspecto importante para considerar es la disposición del sistema de riego, a diferencia de un riego por goteo tradicional la idea es aumentar la eficiencia por lo que se incorporan mangueras en los goteros para suplir con agua directamente a la raíz como se puede observar en la Figura 16. No se encontraron cálculos exactos para conocer la eficiencia del sistema, sin embargo, experimentos caseros han demostrado su efectividad y puede ser un trabajo adicional experimentarlo de manera técnica.

Figura 17

Representación visual del diseño piloto del sistema de riego por goteo.



Nota: imagen combinada (1) elaborado por los autores y (2) por Garcia et al., 2021.

Para el desarrollo de los cálculos previos se consideró el mismo arreglo espacial de las plantas, va un gotero por planta y la manguera que alimenta el turno de riego va a ser de 2 pulgadas, como se observa en la tabla 4. Los goteros son los PCJ desarrollado por Netafim con un caudal de 2 L/h que van conectados a una manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Como se mencionó, la idea es un sistema de riego por gravedad que utiliza la diferencia de altitud para generar la presión necesaria por el sistema. Entonces, para darle suficiente presión al último gotero se necesitan mínimo 10 mca y adicional se debe considerar cualquier pérdida de presión adicional como la fricción en la manguera o que no en todo el terreno está a la misma altura.

Debido a la topografía de la zona es importante considerar que no todos los lugares van a ser aptos para utilizar este método y de manera general para grandes extensiones de tierra es necesario un cálculo con una bomba de agua que de la presión necesaria.

3.7.3. Consideraciones hídricas del Hidrogel:

En la última fase del análisis, se incorporó el uso de hidrogel como complemento para mejorar la retención de agua en el suelo y reducir la frecuencia de riego. Se estimó

que el hidrogel tenía una absorción práctica de 350 veces su peso, con una dosis de 10 g por planta y un suministro de agua de 10 L por planta. Los expertos conocen que el producto mantiene hidratada a la planta durante aproximadamente 15 días en promedio. Se estima que la duración en el tiempo del hidrogel es de 1 año, lo que implica un ahorro significativo de agua y energía.

3.8. Resumen de costos de los diseños de restauración

El proyecto mostró importantes diferencias en costos totales por hectárea entre los distintos sistemas de restauración (**Tabla 5**).

Específicamente, los sistemas R2 y R3 (Waterboxx y Cocoon, respectivamente) presentaron los costos más elevados, llegando a alcanzar los \$18,383.53 por hectárea, esta diferencia se debió principalmente al valor de compra de los dispositivos. A pesar de que se consideraron los descuentos por una compra al por mayor (en el caso de que ya se implemente en un área extensa), el costo se mantiene considerablemente alto para cada dispositivo. De manera similar se debe considerar un porcentaje de reemplazo para prever un riesgo potencial de daño o robo.

En contraste, el sistema R4, con riego quincenal o mensual, fue un costo total similar de \$3,459.20 por hectárea. Lo que incluye principalmente en su costo es la infraestructura necesaria para su implementación.

Por otra parte, las zanjas de infiltración se perfilaban como la opción más económica entre todos los sistemas de restauración, siendo la principal contribución al bajo costo el rubro correspondiente a la mano de obra empleada en la construcción de dichas zanjas.

Tabla 5

Resumen de costos de los diseños de sistemas de restauración.

Sistemas	Rubros	Costos 1 ha	Total x ha
R1: Zanjas infiltración	Mano de Obra Zanjas	\$1,125.00	\$1,283.33
	Mano de Obra Siembra	\$120.83	
	Mantenimiento	\$37.50	
R2 y R3: Waterboxx y Cocoon	Insumos Siembra	\$1,036.20	\$18,383.53
	Mano de Obra Siembra	\$233.33	
	Waterboxx	\$10,412.50	
	Cocoon	\$6,664.00	
	Mantenimiento	\$37.50	
R4: Riego quincenal	Insumos Siembra	\$1,100.38	\$3,459.20
	Insumos Riego	\$2,030.32	
	Siembra	\$108.33	
	Implementos	\$166.67	
	Operación	\$28.50	
	Mantenimiento	\$25.00	
R4: Riego mensual	Insumos Siembra	\$1,100.38	\$3,459.20
	Insumos Riego	\$2,030.32	
	Mano de Obra Siembra	\$108.33	
	Mano de Obra Riego	\$166.67	
	Operación	\$28.50	
	Mantenimiento	\$25.00	
Costos fijos	2.1km de tubería	\$5,868.30	\$6,811.30
	Mano de Obra tubería	\$415.00	
	Materiales y herramientas	\$528.00	
Costos variables	Alambre 5 líneas x ha	\$258.60	\$1,947.60
	Comprar Estacas	\$400.00	
	Mano de Obra Cercado	\$1,250.00	
	Análisis de Suelo	\$39.00	
		Total	\$35,344.16

Nota: elaborado por los autores.

Los costos fijos estaban vinculados a la infraestructura necesaria para suministrar agua a la sub-zona e incluían la mano de obra (\$415), los materiales y herramientas (\$528), y la tubería (\$5,868.3). Por otro lado, los costos variables se relacionaban con el análisis del suelo, con un valor de \$39, el alambre necesario para 5

líneas de cercado (\$258.6), la adquisición de estacas (\$400), y la mano de obra para el cercado (\$1,250).

3.9. Análisis FODA del proyecto

La Tabla 6 muestra un análisis FODA que ofrece una perspectiva integral y estratégica sobre el funcionamiento interno del proyecto y su contexto externo. Al examinar los objetivos y resultados se sistematizaron las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, el análisis proporciona una comprensión organizada del estado actual del proyecto y los posibles desafíos y oportunidades que puede enfrentar.

Esta tabla sirve como guía para la toma de decisiones, facilitando la optimización de las fortalezas internas, la remediación de las debilidades, el aprovechamiento de las oportunidades externas y la mitigación de amenazas potenciales. Además, el análisis complementa la planificación y ofrece una hoja de ruta para la implementación eficaz y sostenible del proyecto. El proyecto se basó en las fortalezas de colaborar con la comunidad e identificar áreas que requirieron un análisis con SIG. Estas fortalezas le dieron una ventaja competitiva al proyecto, que diseñó e implementó soluciones adaptadas al contexto local. Tuvo oportunidades de alinearse con las tendencias en la restauración ecológica y la agricultura sostenible. El proyecto se preparó para enfrentar las amenazas de fenómenos climáticos principalmente relacionado a precipitaciones y la destrucción antrópica del hábitat, que afectaron su impacto.

Tabla 6

Análisis estratégico para la socialización de la restauración ecosistémica: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).

Fortalezas	Experiencia en GIS y Categorización Espacial	<p>Conexión a la restauración: Utiliza capacidades GIS para identificar con precisión áreas que requieren restauración.</p> <p>Estrategia: Aprovechar las herramientas de análisis espacial para optimizar los esfuerzos de restauración y abordar necesidades ecológicas específicas.</p>
	Enfoque colaborativo alineado con las necesidades de la comunidad	<p>Conexión con la restauración: La colaboración profunda garantiza un conocimiento local de las especies nativas y los requisitos de restauración.</p> <p>Estrategia: Continuar fomentando la participación de la comunidad para lograr un apoyo y éxito sostenidos del proyecto.</p>
Oportunidades	Creciente énfasis gubernamental/ONG en la restauración de ecosistemas	<p>Conexión con la restauración: Alinearse con la tendencia emergente de asegurar financiamiento y asociaciones para una implementación más amplia.</p> <p>Estrategia: Buscar activamente oportunidades de financiamiento y asociaciones para ampliar el alcance del proyecto.</p>
	Movimiento emergente de agricultura sostenible	<p>Conexión con la restauración: Reconocer el potencial de las asociaciones en agricultura sostenible para una participación comunitaria más amplia.</p> <p>Estrategia: Colaborar con los proponentes de la agricultura sostenible para fomentar las mejores prácticas, promoviendo la conservación del medio ambiente.</p>
Debilidades	Confianza en datos secundarios para el análisis ambiental	<p>Conexión con la restauración: Reconocer las limitaciones en la precisión de la caracterización biofísica.</p> <p>Estrategia: Invertir en métodos de recopilación de datos primarios para un análisis más detallado y preciso.</p>
	Restricciones financieras para la implementación a gran escala	<p>Conexión con la restauración: Los recursos limitados dificultan la capacidad de escalar el proyecto inicialmente.</p> <p>Estrategia: Implementar un enfoque por etapas, comenzando con el piloto de la comuna y expandiéndose gradualmente con una mayor financiación del gobierno o de fuentes filantrópicas.</p>
Amenazas	El cambio climático altera las condiciones ambientales	<p>Conexión con la restauración: Comprender el impacto del cambio climático en las prácticas de restauración y selección de especies.</p> <p>Estrategia: Actualizar periódicamente las metodologías de restauración en función de la evolución de las condiciones ambientales.</p>
	Destrucción continua del hábitat debido al uso indebido de la tierra	<p>Conexión con la restauración: Reconocer la amenaza continua que representa el uso insostenible de la tierra.</p> <p>Estrategia: Colaborar con las autoridades locales para hacer cumplir las regulaciones ambientales y educar a las comunidades sobre prácticas sostenibles de uso de la tierra.</p>

Tabla 6 (continuación)

Análisis estratégico para la socialización de la restauración ecosistémica: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).

Restricciones financieras	Estrategia: Abordar las limitaciones financieras mediante un enfoque gradual, comenzando con el piloto de la comuna.
	Conexión con la oportunidad: Aumentar las oportunidades de financiamiento alineándose con el creciente énfasis en la restauración de ecosistemas por parte del gobierno y las ONG.
Compromiso comunitario y agricultura sostenible	Estrategia: Involucrar a los defensores de la agricultura sostenible para catalizar la adopción de mejores prácticas.
	Conexión con la oportunidad: Aprovechar el movimiento emergente de agricultura y ganadería sostenible para lograr una participación comunitaria más amplia y esfuerzos de conservación.

Nota: Elaborado por los autores. Esta tabla se divide en dos páginas por motivos de espacio.

3.10. Contraste con referencias bibliográficas

Los resultados obtenidos indicaron que el sistema de restauración a través de zanjas de infiltración exhibió el costo más bajo en comparación con las alternativas evaluadas. Este resultado coincide con la investigación de (Ochoa Boris et al., 2022), quien previamente destacó que la implementación de zanjas de infiltración conlleva una inversión económica inferior en comparación con otros métodos de revegetación asistida.

Esta ventaja en términos de costo-efectividad se debe principalmente al uso intensivo de mano de obra durante la implementación, más que a requerimientos de materiales o insumos especializados (Ochoa Boris et al., 2022). No obstante, la ubicación de las zanjas en las partes altas del relieve implica retos en el trazado y excavación, especialmente cuando los terrenos son escarpados.

Por otro lado, los sistemas de restauración con Waterboxx y Cocoon exhibieron los costos por hectárea más elevados, lo cual coincide con los informes de Hart et al. (2022) respecto a proyectos a pequeña escala. Aunque estas tecnologías facilitan el

establecimiento de plantaciones en entornos áridos, la adquisición de estas representa una proporción considerable de los gastos totales (Hart et al., 2022). En el futuro, se podría optimizar su relación costo-beneficio mediante la expansión de la escala de implementación.

En relación con los sistemas de riego mensual y quincenal, se observó que sus costos fueron intermedios y comparables entre sí. Es importante destacar que la evaluación económica del riego a menudo subestima aspectos críticos como la infraestructura y el mantenimiento a largo plazo, los cuales pueden incrementar significativamente los costos (Ecuador, s.f.). Por esta razón, el análisis realizado, aunque indicativo, requiere ser complementado con proyecciones en un plazo más extenso una vez implementado el piloto.

En lo que respecta a la selección de especies, el uso de una matriz de criterios múltiples se alinea con la literatura como un enfoque sólido para identificar las opciones más adecuadas para el ecosistema objetivo. Este método, al incorporar variables biofísicas, socioculturales y económicas, asegura un proceso informado, sistemático y transparente para la priorización de especies. De este modo, se logra un equilibrio entre la adaptación al entorno local, los beneficios para la comunidad y la factibilidad.

Capítulo 4

4. Conclusión

- I. El empleo eficiente de herramientas geográficas e investigaciones secundarias en conjunto con la activa participación de la comunidad local en el proceso de diagnóstico ecosistémico permitió una identificación precisa de las áreas críticas para la restauración en la comuna de San Marcos. La integración de conocimientos locales fortaleció la validez del diagnóstico, asegurando una comprensión profunda de las necesidades y perspectivas de la comunidad.
- II. El proceso de selección de especies, respaldado por investigaciones y talleres participativos, estableció una base para el diseño del plan piloto de restauración ecosistémica en la comuna de San Marcos. Aunque estas especies se han identificado como las más adecuadas, el éxito a largo plazo de su supervivencia depende de factores relacionados al diseño y mantenimiento del plan piloto. Las especies seleccionadas son: *Capparis scabrida*, *Prosopis juliflora*, *Bursera graveolens*, *Cordia lutea*, *Leucaena leucocephala*, *Caesalpinia glabrata*.
- III. La socialización del diseño piloto de los sistemas de restauración, apoyado de un análisis FODA, demostró ser un factor fundamental para lograr la aceptación y comprensión por parte de la comunidad en San Marcos. La participación y la retroalimentación durante las sesiones permitieron ajustar los diseños, asegurando una adaptación precisa a las necesidades locales. La opción más económica son las zanjas de infiltración, mientras que la más costosa son los dispositivos Waterboxx o Cocoon y el sistema de riego por goteo depende de una infraestructura extensa. Por lo tanto la mejor opción va a depender de una evaluación futura en campo de cada sistema para tener mayor certeza.

El plan piloto de restauración aparte de ayudar a la comuna de San Marcos tiene potencial para replicarse en otras áreas de bosque seco tropical o como modelo para ecosistemas análogos que enfrentan desafíos similares en la región. Esta iniciativa contribuye al creciente conjunto de conocimientos sobre restauración participativa, ofreciendo ideas sobre el mantenimiento de la biodiversidad, la integridad ecológica y el bienestar humano en ecosistemas en peligro.

5. Recomendaciones

- I. Basándose en las discrepancias identificadas entre la clasificación de la Zona de Vida de Holdridge y los datos locales, se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales con el objetivo de mejorar la precisión de dicha clasificación. La colaboración activa con expertos climáticos locales y la inclusión de datos climáticos más recientes se consideran elementos esenciales para lograr una clasificación más precisa. Estos esfuerzos conjuntos proporcionarán una base sólida que respaldará las futuras decisiones de diseño ecológico.
- II. Tomando en cuenta el análisis económico, se recomienda explorar oportunidades de colaboración con diversas entidades para optimizar los recursos financieros. Además, se aconseja establecer un programa de monitoreo a largo plazo para evaluar la efectividad de los diseños de restauración. Este monitoreo continuo proporcionará datos valiosos para ajustes y mejoras continuas en la implementación.
- III. Para fortalecer la sostenibilidad a largo plazo, se sugiere implementar programas de educación ambiental y fomentar la participación comunitaria en la planificación y ejecución de proyectos de restauración. Concienciar a la comunidad local sobre la importancia de la restauración ecológica no solo fortalecerá el apoyo, sino que también puede conducir a prácticas más sostenibles y a la preservación a largo plazo de los ecosistemas restaurados.

Bibliografía

- (GAD), G. A. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL - CANTÓN SANTA ELENA 2014 - 2019*. Santa Elena. Obtenido de https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/Diagn%C3%B3stico%20PDyOT%20Santa%20Elena_14-11-2014.pdf
- Acosta, B. (26 de Enero de 2021). *Ecología Verde*. Obtenido de Plantas xerófitas: qué son, características y ejemplos: <https://www.ecologiaverde.com/plantas-xerofitas-que-son-caracteristicas-y-ejemplos-3011.html>
- Agricultura), F. (. (2021). *Principios para la restauración de los ecosistemas como guía para el decenio de las naciones unidas 2021-2023*. Costa Rica. Obtenido de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40470/PERG_SP.pdf?sequence=5
- Alma Hernández-Jaramillo, R. A. (2018). *Bosque seco Tropical guía de especies*. Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Roy-Gonzalez-M/publication/332864504_Bosque_seco_tropical_guia_de_especies/links/5ccdee8d92851c4eab834fbe/Bosque-seco-tropical-guia-de-especies.pdf
- Baveye, P., Schnee, L., Boivin, P., Lava, M., & Radulovich, R. (10 de Septiembre de 2020). *Soil Organic Matter Research and Climate Change: Merely Re-storing Carbon Versus Restoring Soil Functions*. Obtenido de Frontiers: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579904>
- Boris F. Ochoa-Tocachi, C. J. (2022). *CUBHIC 2.0: DOCUMENTO METEOROLÓGICO: ZANJAS DE INFILTRACIÓN*. Lima. Obtenido de <https://www.forest->

trends.org/wp-content/uploads/2022/08/CUBHIC-2.0-Documento-Methodologico-Zanjas.pdf

Brigida, A. C. (2015). *INFLUENCIA DEL PROGRAMA SOCIO BOSQUE EN LA DINÁMICA DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS BOSQUES SECOS DECIDUOS DEL ECUADOR*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9241/6/UPS-QT06945.pdf>

Bruno Locatelli, J.-M.-T. (2020). *Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos?* Canada. Obtenido de https://agritrop.cirad.fr/595756/1/Locatelli_et_al_2020_Impactos_zanjas_infiltracion_agua_suelos.pdf

Constanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S., Kubiszewski, I., . . . Turner, K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Elsevier*, 152-158.

Dolors Armenteras, T. G. (2016). *Degradación de bosques en Latinoamérica. Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/299646026_Degradacion_de_bosques_en_Latinoamerica_Sintesis_conceptual_metologias_de_evaluacion_y_casos_de_estudio_nacionales

ecuador, R. (s.f.). *ventas de riego ecuador*. Obtenido de <https://www.riegoecuador.com/>

Espol. (2001). *Taller de plan estrategico participativo de la comuna manantial de Colonche*. Obtenido de http://www.pdpse.espol.edu.ec/documentos/proyectos/2001/colonche/manantial_colonche1c01.pdf

- FAO. (2022). *LOS BOSQUES Y LOS ÁRBOLES PROPORCIONAN BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ESENCIALES, PERO ESTÁN INFRAVALORADOS EN LOS SISTEMAS ECONÓMICOS*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/cb9360es/online/src/html/deforestation-land-degradation.html>
- Innovariego. (2022). El Cocoon es la solución para las reforestaciones. Obtenido de <https://innovariego.cl/la-solucion-a-la-reforestacion-el-cocoon/>
- Lal, R. (2015). *Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation*. Obtenido de Sustainability: <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: riego por goteo*. San Juan. Obtenido de https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4528/INTA_EEASanJuan_Liotta_Riego_por_goteo.pdf?sequence=1
- López, R. M. (2019). Servicios ecosistemicos del suelo.
- Mendoza, Z. H. (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Zhofre-Aguirre/publication/280625434_Especies_forestales_de_los_bosques_secos_d_el_Ecuador/links/55bfa47e08ae092e96669ca1/Especies-forestales-de-los-bosques-secos-del-Ecuador.pdf
- Orrala, H. A. (2013). PLAN DE ASOCIATIVIDAD PARA LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES ASODAGRI SAN MARCOS, DE LA COMUNA SAN MARCOS, PROVINCIA DESANTA ELENA, AÑO 2013. *Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena*, 65-74.
- Orrala., A. K. (2017). *Evaluación de tres métodos de plantación en el prendimiento de la especie forestal algarrobo (Prosopis juliflora (sw) dc.) en la zona seca árida de ancón, cantón Santa Elena*. Santa Elena. Obtenido de

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4283/1/UPSE-TIA-2018-0003.pdf>

Pozo, K. L. (2021). *Composición, estructura y diversidad florística del bosque seco en la comuna Aguadita - San Marcos, de la provincia de Santa Elena*. La libertad. Obtenido de

<https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/6522/UPSE-TIA-2021-0129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quiroz, R. J. (2014). *MODELO DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA LA COMUNA SAN MARCOS, PARROQUÍA COLONCHE, CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA AÑO 2014*. Santa Elena. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/1578/MODELO%20DE%20GESTI%20ADMINISTRATIVA%20PARA%20LA%20COMUNA%20SAN%20MARCOS%20PARROQUIA%20COLONCHE%20CANTON%20SANTA%20ELENA%20PROVINCIA%20DE%20SANTA%20ELENA%20A%20>

Ratán. (2015). *Restaurar la calidad del suelo para mitigar su degradación*. Ohio. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/5/5875>

Robles, J. L. (2015). *El control de la supervivencia en plantaciones agroforestales con waterboxx mediante vehículos aéreos no tripulados e información multiespectral*. España. Obtenido de <file:///C:/Users/malev/Downloads/Tesis894-160310.pdf>

Roxana, P. L. (2023). *Degradación del bosque seco tropical de la comunidad Joa del cantón Jipijapa, Manabí*. Manabí. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5315/1/Pilay%20Le%20n%20Katty%20Roxana%20-%20Bal%20Gonz%20a1lez%20Judith%20Yamileth.pdf>

Sanchez, E. A. (2019). *Gestión de los bosques tropicales estacionalmente secos de la provincia de Santa Elena, Ecuador: una perspectiva desde la conservación.*

Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/816/81662532009/html/>

Tamya Gaón, M. Z. (2021). *RESTAURACIÓN DE BOSQUES Y PAISAJES EN TIERRAS SECAS.* Santa Elena. Obtenido de

<https://storymaps.arcgis.com/stories/1e964223191c4245b310190d8f4a5868>

Tomalá, H. A. (2013). *PLAN DE ASOCIATIVIDAD PARA LA ASOCIACIÓN DE AGRICULTORES ASODAGRI SAN MARCOS, DE LA COMUNA SAN MARCOS, PROVINCIA DE SANTA ELENA.* Obtenido de

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/1324/1/PLAN%20DE%20ASOCIATIVIDAD%20PARA%20LA%20ASOCIACION%20DE%20AGRICULTORES%20ASODAGRI%20SAN%20MARCOS%20DE%20LA%20COMUNA%20SAN%20MARCOS%20PROVINCIA%20DE.pdf>

Uva, M. A. (2007). AP-SIG: un SIG con funciones específicas para Agricultura de Precisión.

Zambrano, E. (2018). *DETERMINACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS DEL BOSQUE SECO.* Manabí. Obtenido de

<https://www.ppd-ecuador.org/wp-content/uploads/2019/FondoBecas/Costa/DETERMINACION-DE-AREAS-DEGRADADAS-EN-LA-LAGUNA-Y-MEMBRILLAL-ed-FIDES.pdf>

Anexo 4.

Ficha técnica del sistema de riego por goteo donde se aprecia el desglose de costos.

FICHA TÉCNICA PARA PROYECTOS DE FORESTACIÓN O REFORESTACIÓN

9. DESGLOSE DE PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIAMIENTO *						
Código	Rubro	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (USD \$)	Costo Total por ha (USD \$/ HA)	Costo Total Proyecto para 3 has (USD \$)
Costos Directos						
RIEGO POR GOTEO						
1	ESTABLECIMIENTO					
2	Análisis de suelo	Unidad	2.00	\$ 43.68	\$ 87.36	\$ 87.36
3	a) Mano de obra					
4	Señalamiento (balizada)	Jornal	1.50	\$ 25.00	\$ 37.50	\$ 112.50
5	Hoyado	Jornal	1.00	\$ 25.00	\$ 25.00	\$ 75.00
6	Distribución de plantas en terreno	Jornal	0.50	\$ 25.00	\$ 12.50	\$ 37.50
7	Siembra	Jornal	1.00	\$ 25.00	\$ 25.00	\$ 75.00
8	Aplicación de fertilizante	Jornal	0.33	\$ 25.00	\$ 8.33	\$ 25.00
9						
10	b. Insumos					
11	Adquisición de plantas	Plantas	833	\$ 0.70	\$ 583.10	\$ 1,749.30
12	Transporte de plantas	Flete	1	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 300.00
13	Transporte interno de plantas	Gasolina	1	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 24.00
15	Cal (balizada)	Sacos	1.00	\$ 5.00	\$ 5.00	\$ 15.00
16	Adquisición hidrogel	Kilos	8.33	\$ 21.00	\$ 189.00	\$ 498.75
17	Adquisición Fertilizante (ej. Sumicoat)	Sacos	0.83	\$ 86.00	\$ 86.00	\$ 258.00
18	Transporte de fertilizante	Flete	1.00	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 100.00
19	Transporte interno de fertilizante	Gasolina	1.00	\$ 1.00	\$ 8.00	\$ 24.00
20	c. Materiales y herramientas					
21	Adquisición de materiales, herramientas y equipos	Kit	1.00	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 100.00
22	Transporte de materiales y herramientas	Gasolina	1.00	\$ 8.00	\$ 8.00	\$ 8.00
23	SUBTOTAL ESTABLECIMIENTO				\$ 1,404.08	\$ 6,215.21
24						
25	MANTENIMIENTO					
26	a. Mano de obra					
27	Combustible de la Bomba	Litros	7.00	\$ 0.50	\$ 3.50	\$ 10.50
28	Operador de riego	Jornal	1.00	\$ 25.00	\$ 25.00	\$ 75.00
29	Monitoreo y control de plagas y enfermedades	Jornal	0.50	\$ 25.00	\$ 12.50	\$ 37.50
30	SUBTOTAL MANTENIMIENTO				\$ 41.00	\$ 123.00
31						
32	INFRAESTRUCTURA					
33	a. Mano de obra					
34	Construcción tubería 2.1km	Jornal	15.00	\$ 25.00	\$ 375.00	\$ 375.00
35	Construcción microreservorio 20m3	Hora maquina	2.00	\$ 20.00	\$ 40.00	\$ 40.00
36	Construcción tubería 480m	Jornal	10.00	\$ 25.00	\$ 83.33	\$ 250.00
37	Construcción mangueras y goteros	Jornal	10.00	\$ 25.00	\$ 83.33	\$ 250.00
38	b. Materiales y herramientas					
39	Adquisición de materiales, herramientas y equipos	Kit	1.00	\$ 6.94	\$ 100.00	\$ 300.00
40	Materiales zona reservorio	Kit	1.00	\$ 3,868.30	\$ 3,868.30	\$ 3,868.30
41	Materiales zona microreservorio	Kit	1.00	\$ 2,088.70	\$ 2,088.70	\$ 4,172.00
42	SUBTOTAL INFRAESTRUCTURA				\$ 6,638.67	\$ 9,255.30
43						
44	ASISTENCIA TÉCNICA	7%				\$ -
45						
Sub total costos Forestales					8,083.74	\$ 15,593.51
Costos indirectos						
066	Costos de administración	10%	\$ -			
068	Seguro forestal	8%	\$ -			
Sub total costos indirectos						\$ -
Total Egresos						\$ 15,593.51
Costo promedio por ha.						8,083.74

* Adjuntar flujo financiero

**Colocar el valor de la actividad presupuestada, según el requerimiento de financiamiento

Nota: elaborado por los autores

Anexo 5.

Detalle del diseño agronómico para el sistema de riego por goteo.

Cultivo:	Forestal	
Sistema de riego:	Goteo	
	UNIDAD	VALOR
A (area bruta)	Ha	1.00
Sr (area neta bajo riego)	Ha	1.00
Tipo de suelo	textura	FRANCO ARCILLOSO
Cc (Capacidad de campo)	%	27
Pm (Punto de marchitez)	%	13
da (densidad aparente)	(gr/cm ³)	1.35
Inf (Infiltración básica)	mm/h	8
Pr (profundidad efectiva del suelo)	m	0.50
Etc (Evapotranspiración punta)	mm/d	2.00
HR (humedad relativa)	%	60
Kc (El coeficiente del cultivo)	coeficiente	0.4
Zr (Prof.ef.de raíces)	m	2
Pa (max.agua aprovechable)	%	30%
dh (Distancia e/hileras)	m	4.00
dp (Distancia e/plantas)	m	3.00
Espaciamento- area	m ²	12.00
Método de riego		goteo
Ef (Eficiencia del sistema)	%	90.00%
Emisor	tipo	PCI NETAFIM
Presión de operación	m(altura)	17.00
qe (Caudal del emisor)	(L/h)	2.00
dl (Espaciamento entre laterales)	m	4.00
de (Espaciamientoentre emisores)	m	3.00
Espaciamento de la red	m ²	12.00
d Diámetro efectivo/humedecido	m	0.56
Angulo de cubertera	grados	360.00
Hd (Max. horas de operación por dia)	H	16.00
Dias de paro	d	0.00
Ld_{zr} (Lamina disponible de la zona radicular)	mm/zr	378.00
Vd_{zr} (Volumen de agua disponible -zona radicular)	(m ³ /Ha/zr)	3,780.00
Laz_r (Lamina aprov. a la prof. radicular)	mm/zr	2.1% 113.40
Par (Porcentaje del area bajo riego)	%	0.25 2.1%
Phr (Precipitación horaria del sistema de riego)	mm/h	CIERTO 8
Ktan (Coeficiente del tanque clase "A")		1.00
ETc (Uso consuntivo)	mm/dia	0.80
Ir (Intervalo de riego)	d	2.95
Ir aj (Intervalo de riego aj.)	d	3.00
CR (Ciclo de riego)	d	3.00
LR(aj) (Lamina de riego ajustado)	mm	115.20
Pa (Porcentaje del agua aprovechada)	%	30.48%
LB (Lamina bruta)	mm	128.00
DB (Dosis de riego bruta)	(m ³ /Ha)	26.67
Ht (Horas de riego por turno)	h/turno	16.00

Nota: elaborado por los autores.