



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ESTIMACIÓN DEL CARBONO CAPTURADO POR LAS ESPECIES VEGETALES
PRESENTES EN LAS RIBERAS DEL RÍO BURGAY DENTRO DE LA ZONA
URBANA DE LA CIUDAD DE AZOGUES - ECUADOR

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: BYRON RUBÉN ESPINOZA VELECELA
SEBASTIÁN FERNANDO LÓPEZ CUEVA
TUTOR: DR. FREDI LEONIDAS PORTILLA FARFÁN, PHD.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Byron Rubén Espinoza Veleceta con documento de identificación N° 0302622790 y Sebastián Fernando López Cueva con documento de identificación N° 0105396956; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Byron Rubén Espinoza Veleceta

0302622790



Sebastián Fernando López Cueva

0105396956

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Byron Rubén Espinoza Veleceta con documento de identificación N° 0302622790 y Sebastián Fernando López Cueva con documento de identificación N° 0105396956, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “Estimación del carbono capturado por las especies vegetales presentes en las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues - Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2023

Atentamente,

Byron Rubén Espinoza Veleceta

0302622790

Sebastián Fernando López Cueva

0105396956

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fredi Leonidas Portilla Farfán con documento de identificación N° 0102824331, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTIMACIÓN DEL CARBONO CAPTURADO POR LAS ESPECIES VEGETALES PRESENTES EN LAS RIBERAS DEL RÍO BURGAY DENTRO DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE AZOGUES - ECUADOR, realizado por Byron Rubén Espinoza Velecela con documento de identificación N° 0302622790 y por Sebastián Fernando López Cueva con documento de identificación N° 0105396956, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Fredi Leónidas Portilla Farfán, PhD.

0102824331

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, ya que él ha permitido que se haga realidad este gran anhelo, por ser el promotor de cada uno de mis logros, por ser el soporte en mis momentos más críticos, por ser el que me levanta de cada caída y me da esa fortaleza para seguir y cumplir cada meta que me proponga en esta vida.

A mi madre Mariana Velecela y a mi padre Antonio Espinoza por haberme dado la vida y por haberme formado como una persona de bien, por haber inculcado en mí, que una gran decisión conlleva un gran sacrificio.

A mis, hermanos Rafael, Blanca, Ricardo, Nube, Nely, Freddy, que son los héroes de todo este proceso, por sus consejos, apoyo, paciencia, amabilidad desde el primer día, lo que hizo que como persona dé todo de mí para dedicárselos a ellos y hacer que estén orgullosos.

A mi hermano Milton que en paz descanse por ser mi ejemplo a seguir y la inspiración más grande que yo haya tenido en esta vida, porque después de muchos años de esfuerzo podré levantar la mirada al cielo y decirle que lo logre y que espero que este orgulloso de su hermano menor.

A mi amigo Martín que es mi hermano de otra madre por su apoyo incondicional y a todos mis amigos que estuvieron ahí desde el primer día apoyándome y sintiéndose felices y orgullosos de mí.

Byron Rubén.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida y la suficiente capacidad para terminar con éxito mi carrera universitaria.

A mi madre Lorena y a mi tía Verónica por haberme formado como una persona de bien, por toda su paciencia, comprensión y sobre todo amor incondicional desde el primer día de mi vida, por darme siempre lo mejor a su alcance, por nunca dejarme solo y por ser los pilares fundamentales de mi vida.

A mis dos ángeles, mi amada abuela Dora Mercedes y mi amado abuelo y papá José Moisés, quienes han sido mi inspiración para cada cosa que realizo y sé que desde el cielo protegen a su pequeño nieto y estarán orgullosos de verlo convertido en un profesional de bien.

A mi pequeña Zaya, por ser mi fiel compañera, fuente de alegría y paz, que siempre está a mi lado, que por todo su cariño y compañía incondicional se ha ganado un lugar especial en mi corazón.

Sebastián Fernando.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra gratitud infinita a Dios por ser el propulsor para alcanzar nuestras metas propuestas a lo largo de estos años de vida universitaria.

A nuestras familias por el apoyo y confianza incondicional depositada en cada momento de nuestra formación profesional.

A la Universidad Politécnica Salesiana por otorgarnos todos los conocimientos y herramientas necesarias para poder alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo de titulación.

A nuestro tutor el Dr. Fredi Portilla Farfán, PhD, por brindarnos siempre su apoyo y conocimientos, así como también sus consejos y estar siempre dispuesto a ayudarnos para que este trabajo haya concluido de manera exitosa.

A nuestro director de carrera el Dr. Tony Viloría, PhD, por estar siempre dispuesto a colaborar con los estudiantes y brindarnos su valioso apoyo en la realización de este trabajo.

A la Ing. Miryan Loayza por brindarnos su valioso apoyo y conocimientos en la realización de este trabajo.

Al GAD Municipal y al Departamento de Gestión Ambiental de la ciudad de Azogues por facilitar su apoyo y colaboración desde el planteamiento del estudio hasta su conclusión.

A todos los docentes de la carrera de ingeniería ambiental con quienes tuvimos la oportunidad de compartir experiencias y aprendizajes dentro y fuera de las aulas en todo lo largo de nuestra vida universitaria.

A todos nuestros compañeros y amigos quienes hicieron de nuestra vida universitaria una de las mejores etapas de nuestras vidas.

Byron & Sebastián.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo la finalidad de estimar la captura de carbono captada por las especies arbóreas presentes en las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues - Ecuador mediante la aplicación del método indirecto o no destructivo, realizando un inventario forestal para la identificación y caracterización de especies presentes para el posterior cálculo de la captura de carbono mediante la aplicación de ecuaciones alométricas. Como resultado del inventario forestal se identificaron 29 especies pertenecientes a 18 familias con un total de 2620 individuos en la zona de estudio que comprende 16,63 Ha, mismos que mediante la metodología mencionada, se calculó que el potencial de captura de carbono es de 2230,716 Ton durante el año 2022. Posteriormente se realizó la valoración económica del carbono capturado realizando tres proyecciones en diferentes mercados de carbono internacionales, SENDECO2, Alberta SGER y Carbonfund, siendo SENDECO2 el escenario más favorable en lo que respecta al análisis costo-beneficio, donde se podrían obtener beneficios económicos para el desarrollo social y ambiental de la ciudad de Azogues. Finalmente, se realizó una propuesta de manejo ambiental al GAD Municipal de Azogues para una mejor gestión de las riberas del río Burgay en base a problemas que se identificaron durante la realización de la presente investigación.

Palabras clave: Captura de carbono, inventario forestal, cambio climático, servicios ambientales, valoración económica.

ABSTRACT

The present investigative work had the purpose of estimating the capture of carbon captured by the tree species present on the banks of the Burgay river within the urban area of the city of Azogues - Ecuador by applying the indirect or non-destructive method, carrying out a forest inventory to the identification and characterization of species present for the subsequent calculation of carbon sequestration through the application of allometric equations. As a result of the forest inventory, 29 species belonging to 18 families were identified with a total of 2,620 individuals in the study area that comprises 16.63 Ha, same as using the aforementioned methodology, it was calculated that the carbon capture potential is 2,230 ,716 tons during the year 2022. Subsequently, the economic valuation of the captured carbon was carried out, making three projections in different international carbon markets, SENDECO2, Alberta SGER and Carbonfund, with SENDECO2 being the most favorable scenario in terms of cost-benefit analysis, where economic benefits could be obtained for the social and environmental development of the city of Azogues. Finally, an environmental management proposal was made to the Municipal GAD of Azogues for a better management of the banks of the Burgay river based on problems that were identified during the realization of this work.

Keywords: Carbon sequestration, forest inventory, climate change, environmental services, economic valuation.

Índice General

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. Introducción.....	1
1.1 Problema de Estudio	3
1.2 Justificación	4
1.3 Delimitación.....	5
1.4 Explicación del problema	7
1.5 Objetivos	8
1.5.1 Objetivo General	8
1.5.2 Objetivos Específicos.....	8
2. Marco Teórico.....	8
2.1 Cambio Climático	8
2.1.1 Causas del Cambio Climático	9
2.1.1.1 Especies Introducidas	10
2.1.2 Consecuencias del cambio climático.....	11
2.1.2.1 Aumento de la temperatura global.....	11
2.1.2.2 Variación en las precipitaciones	12
2.1.2.3 Derretimiento de los glaciares	12
2.1.2.4 Pérdida de rendimiento en la agricultura	13
2.1.2.5 Aumento del nivel del mar	14
2.1.2.6 Degradación de los suelos	15
2.1.2.7 Incremento de plagas	15
2.1.2.8 Efectos en la salud	16
2.1.2.9 Pérdidas de la biodiversidad y ecosistemas	17
2.1.3 Importancia del sector forestal como medida para mitigar el cambio climático	18
2.2 Inventario Forestal	18
2.2.1 Definición formal	19
2.2.2 Beneficios de un inventario forestal.....	19

2.2.3 Tipos de inventarios forestales	20
2.2.4 Consideraciones generales para la ejecución de un inventario forestal	21
2.3 El Carbono	22
2.3.1 Captura de carbono.....	22
2.3.2 Ciclo del carbono	23
2.3.3 Biomasa forestal.....	23
2.4 Importancia de las áreas verdes urbanas	24
2.4.1 Servicios ambientales.....	25
2.5 Valorización económica ambiental.....	25
2.5.1 Valorización económica de la captura de carbono.....	26
2.5.2 Los MDL y la valorización de la captura de Carbono	27
2.5.3 Mercados de Carbono.....	27
2.5.4 Créditos o bonos de carbono	28
2.5.4.1 Mercado voluntario de carbono.....	29
2.5.4.2 Mercado de cumplimiento regulado de carbono	29
2.5.5 Compradores de bonos de carbono y Certificados de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CERs)	30
3. Materiales y Métodos	31
4. Metodología.....	31
4.1 Primera Etapa: Inventario Forestal	31
4.1.1 Criterios de selección de especies a inventariar	32
4.1.2 Caracterización botánica	32
4.1.3 Determinación de la diversidad y dominancia de especies	32
4.1.3.1 Índice de Shannon-Wiener	32
4.1.3.2 Frecuencia.....	34
4.1.3.3 Dominancia por especie.....	34
4.1.3.4 Índice de valor de importancia	35
4.2 Segunda Etapa: Cálculo de la Captura de Carbono	36
4.2.1 Diámetro a la altura del pecho (DAP).....	36
4.2.2 Altura del árbol.....	37
4.2.3 Área basal.....	38
4.2.4 Volumen del árbol en pie	39
4.2.5 Cálculos de biomasa.....	40
4.2.5.1 Biomasa aérea.....	40
4.2.5.2 Biomasa radicular	41
4.2.5.3 Biomasa verde total	41
4.2.5.4 Biomasa seca	41

4.2.6 Captura de Carbono.....	42
4.2.6.1 Carbono aéreo.....	42
4.2.6.2 Carbono radicular	43
4.2.6.3 Carbono total	43
4.2.6.4 Conversión a toneladas de CO ₂ equivalentes.....	43
4.3 Tercera Etapa: Valoración Económica de la Captura de Carbono	44
4.3.1 Valor económico estimado del CO ₂ capturado.....	44
4.3.2 Posibles escenarios en los cuales se conseguirán ganancias por la captura de carbono.....	44
4.3.3 Proyección de ingresos y egresos.....	46
4.3.3.1 Ingresos.....	46
4.3.3.2 Egresos.....	47
4.3.3.3 Egresos correspondientes al mantenimiento de las riberas del río Burgay	50
4.3.4 Análisis Costo-Beneficio.....	51
4.3.4.1 Inversión inicial (I ₀).....	51
4.3.4.2 Valor actual neto (VAN)	52
4.3.4.3 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	53
4.3.4.4 Relación Costo-Beneficio (B/C).....	54
4.4 Cuarta Etapa: Elaboración de una Propuesta de Manejo Ambiental de las Riberas del Río Burgay	55
5. Resultados y Discusión	55
5.1 Delimitación de tramos de la zona de estudio	55
5.2 Primera etapa: Inventario Forestal	62
5.2.1 Árboles inventariados en las riberas del río Burgay	62
5.2.2 Diversidad de especies en las riberas del río Burgay	64
5.2.3 Análisis del área basal de las especies	65
5.2.4 Dominancia de especies en las riberas del río Burgay	67
5.2.5 Inventario forestal de especies encontradas	68
5.2.5.1 Árboles nativos	68
5.2.5.2 Árboles introducidos.....	76
5.2.6 Distribución de especies en las riberas del río Burgay.....	97
5.3 Segunda etapa: Estimación del carbono capturado.....	97
5.3.1 Histograma de alturas de las especies encontradas	97
5.3.2 Histograma de DAP de las especies muestreadas	99
5.3.3 Volumen de árboles en pie	100
5.3.4 Estimación de la captura de carbono C y CO ₂ por ribera.....	101
5.3.3 Estimación de la captura de carbono de las especies nativas	102

5.3.4 Estimación de la captura de carbono de las especies introducidas	103
5.3.5 Mapa de Captura de CO ₂ equivalente de las riberas del río Burgay	104
5.4 Tercera Etapa: Valoración económica de las toneladas de CO ₂ equivalentes capturadas por la vegetación.....	108
5.4.1 Valoración económica del CO ₂ capturado por las especies identificadas....	108
5.4.2 Análisis Costo–Beneficio.....	108
5.4.2.1 Resumen de egresos.....	109
5.4.2.2 Proyección de egresos	109
5.4.2.3 Determinación de VAN, TIR y B/C para los escenarios planteados.....	110
5.4.2.4 Escenario 1: Mercado Kioto o de cumplimiento (SENDECO ₂).....	111
5.4.2.5 Escenario 2: Mercado Kioto o de cumplimiento (Alberta SGER)	112
5.4.2.6 Escenario 3: Mercado no Kioto o voluntario (Carbonfund).....	112
5.5 Cuarta Etapa: Propuesta de manejo ambiental para las riberas del río Burgay ..	113
5.5.1 Problemas identificados	113
5.5.2 Reemplazo progresivo de especies introducidas que ya cumplieron su tiempo de prestación de servicios ambientales por especies nativas de la zona.	113
5.5.3 Implementación de programas de reforestación con especies nativas en las zonas erosionadas por construcciones y crecidas del río Burgay.....	115
5.5.4 Programas de concientización ambiental sobre la importancia y cuidado de las especies vegetales.....	117
5.5.5 Reutilización de madera y follaje obtenida de las especies reemplazadas...	118
5.6 Discusión.....	120
6. Conclusiones y Recomendaciones	124
6.1 Conclusiones	124
6.2 Recomendaciones	126
7. Bibliografía.....	127
8. Anexos.....	137
8.1 Anexo 1. Anexos fotográficos	137
8.2 Anexo 2. Modelo de bitácoras de campo de recogida de datos para la identificación de especies	141
8.3 Anexo 3. Modelo de bitácoras de campo de recogida de datos de campo base para el cálculo de la captura de carbono	142

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de delimitación del área de estudio.	7
Figura 2. Ciclo del Carbono.	23
Figura 3. Clasificación de la biomasa.....	24
Figura 4. Consideraciones para la toma de la CAP.	37
Figura 5. Diferentes alturas de un árbol	38
Figura 6. Referencia de medición con hipsómetro.....	38
Figura 7. Factor forma según la forma del tronco de un árbol.	39
Figura 8. Delimitación del primer tramo.	56
Figura 9. Delimitación del segundo tramo.	57
Figura 10. Delimitación del tercer tramo.	58
Figura 11. Delimitación del cuarto tramo.....	59
Figura 12. Delimitación del quinto tramo.	60
Figura 13. Delimitación del sexto tramo.	61
Figura 14. Abundancia de especies en las riberas del río Burgay.	63
Figura 15. Área basal por especie.....	66
Figura 16. Distribución de especies nativas e introducidas de las riberas del río Burgay.	97
Figura 17. Histograma de frecuencias de las alturas de las especies muestreadas.	98
Figura 18. Histograma de frecuencias del DAP de las especies muestreadas.	99
Figura 19. Distribución del volumen de árboles en pie por especie.....	101
Figura 20. Toneladas de CO ₂ equivalente capturado por las especies nativas.	102
Figura 21. Toneladas de CO ₂ equivalentes capturado por las especies introducidas...	104
Figura 22. Mapa de captura de CO ₂ en las riberas del río Burgay.	105
Figura 23. Representación gráfica del pronóstico lineal para los egresos en base al periodo 2018-2022.....	109
Figura 24. Equipos utilizados para la toma de datos en campo: Hipsómetro Nikon Forestry Pro, GPS y flexómetro.	137
Figura 25. Toma de datos de campo: CAP (Circunferencia a la altura del pecho).	137
Figura 26. Toma de datos de campo: Altura de los árboles.	138
Figura 27. Toma de datos de campo: Coordenadas geográficas.	138
Figura 29. Problema identificado: Zonas erosionadas de las riberas del río Burgay. ...	139
Figura 30. Problema identificado: Individuos arbóreos en mal estado por su tiempo de vida útil.....	139
Figura 31. Fotografías de referencia de estructuras, juegos infantiles, bancas y caminaderas de madera para la reutilización de la madera producto del reemplazo progresivo de especies.	140

Índice de Tablas

Tabla 1. Organizaciones de mercado no Kioto o voluntario	45
Tabla 2. Organizaciones de mercado Kioto o de cumplimiento regulado.....	45
Tabla 3. Egresos del año 2018 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.	47
Tabla 4. Egresos del año 2019 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.	48
Tabla 5. Egresos del año 2020 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.	48
Tabla 6. Egresos del año 2021 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.	49
Tabla 7. Egresos del año 2022 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.	49
Tabla 8. Egresos en el periodo 2018-2022 correspondientes al mantenimiento de las riberas del río Burgay.	50
Tabla 9. Determinación de la inversión inicial previa a la valoración económica del CO ₂ capturado.	51
Tabla 10. Coordenadas del Tramo 1.....	56
Tabla 11. Coordenadas del tramo 2.....	57
Tabla 12. Coordenadas del tramo 3.....	58
Tabla 13. Coordenadas del tramo 4.....	59
Tabla 14. Coordenadas tramo 5.....	60
Tabla 15. Coordenadas del tramo 6.....	61
Tabla 16. Especies arbóreas inventariadas en las riberas del río Burgay.....	62
Tabla 17. Determinación del Índice de Shannon-Wiener.....	64
Tabla 18. Análisis de áreas basales de las especies encontradas.....	65
Tabla 19. Determinación del IVI por especie.....	67
Tabla 20. Clasificación de individuos muestreados según su altura.	98
Tabla 21. Clasificación de individuos muestreados según el DAP.	99
Tabla 22. Volúmen de árboles en pie por especie.	100
Tabla 23. Estimaciones de Kg de C y Ton de CO ₂ por ribera.....	101
Tabla 24. Estimaciones de CT y CO ₂ capturado por especies nativas.	102
Tabla 25. Estimaciones de CT y CO ₂ capturado por especies introducidas.....	103
Tabla 26. Especies encontradas y Ton de CO ₂ equivalente capturado por tramo.....	105
Tabla 27. Valoración económica del CO ₂ capturado por las especies vegetales presentes en las riberas del río Burgay.	108
Tabla 28. Resumen de gastos anuales para el mantenimiento de las riberas del río Burgay en el periodo 2018-2022.	109
Tabla 28. Proyección de egresos a diez años.....	110

Tabla 29. Determinación del análisis costo-beneficio para los escenarios planteados.	111
Tabla 30. Alternativas de especies nativas para el reemplazo de especies introducidas.	114
Tabla 31. Reemplazo progresivo de especies introducidas que ya cumplieron su tiempo de prestación de servicios ambientales por especies nativas de la zona.....	114
Tabla 32. Implementación de programas de reforestación con especies nativas en las zonas erosionadas por construcciones y crecidas del río Burgay.....	117
Tabla 33. Programas de concientización ambiental sobre la importancia y cuidado de las especies vegetales.....	118
Tabla 34. Reutilización de madera y follaje obtenida de las especies reemplazadas ...	120
Tabla 35. Comparación de la captura total de CO ₂ frente a otros estudios.....	121
Tabla 36. Comparación de variedad de especies y número de individuos con otros estudios.....	122
Tabla 37. Comparación de los beneficios obtenidos por la entidad SENDECO ₂ con otros estudios seleccionada como el escenario más rentable.	123

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Especie nativa <i>Alnus Acuminiata</i>	68
Ilustración 2. Especie nativa <i>Myrcianthes rhopaloides</i>	69
Ilustración 3. Especie nativa <i>Prunus serotina</i>	70
Ilustración 4. Especie nativa <i>Cedrela montana</i>	71
Ilustración 5. Especie nativa <i>Inga insignis</i>	72
Ilustración 6. Especie nativa <i>Podocarpus sprucei</i>	73
Ilustración 7. Especie nativa <i>Juglans neotropica</i>	74
Ilustración 8. Especie nativa <i>Salix humboldtiana</i>	75
Ilustración 9. Especie introducida <i>Persea americana</i>	76
Ilustración 10. Especie introducida <i>Acacia dealbata</i>	77
Ilustración 11. Especie introducida <i>Acacia baileyana</i>	78
Ilustración 12. Especie introducida <i>Acacia melanoxylon</i>	79
Ilustración 13. Especie introducida <i>Acacia retinodes</i>	80
Ilustración 14. Especie introducida <i>Populus alba</i>	81
Ilustración 15. Especie introducida <i>Populus tremula</i>	82
Ilustración 16. Especie introducida <i>Callistemon salignus</i>	83
Ilustración 17. Especie introducida <i>Callistemon citrinus</i>	84
Ilustración 18. Especie introducida <i>Syzygium paniculatum</i>	85
Ilustración 19. Especie introducida <i>Cupressus sempervirens</i>	86
Ilustración 20. Especie introducida <i>Eucalyptus globulus</i>	87
Ilustración 21. Especie introducida <i>Schinus molle</i>	88
Ilustración 22. Especie introducida <i>Albiza lophanta</i>	89
Ilustración 23. Especie introducida <i>Tecoma stans</i>	90
Ilustración 24. Especie introducida <i>Jacaranda mimosifolia</i>	91
Ilustración 25. Especie introducida <i>Pinus sylvestris</i>	92
Ilustración 26. Especie introducida <i>Araucaria araucana</i>	93
Ilustración 27. Especie introducida <i>Grevillea robusta</i>	94
Ilustración 28. Especie introducida <i>Sambucus mexicana</i>	95
Ilustración 29. Especie introducida <i>Yuca elephantipes</i>	96

1. Introducción

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como un cambio en las variaciones del clima, efecto que se atribuye directa o indirectamente a actividades naturales y también a las actividades antropogénicas que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el término como tal denota un cambio en el estado del clima identificable, por ejemplo, mediante análisis estadísticos a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos (Díaz Cordero, 2012).

En la misma línea, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en su Informe sobre Desarrollo Humano (2007-2008), identifica el cambio climático como el tema clave que determinará el desarrollo humano para las generaciones venideras, lo que socavaría los esfuerzos internacionales para combatir la pobreza. Los modelos climáticos actuales predicen un calentamiento global de alrededor de 1.4- 5,8 grados centígrados entre 1990 y 2100, pronóstico basado en un conjunto de suposiciones sobre las fuerzas clave que impulsan la mayor cantidad de las emisiones en el futuro; como el crecimiento de la población y el cambio tecnológico, pero no parten de la base de que hay que aplicar políticas sobre cambio climático para reducir las emisiones (PNUD, 2007).

El estudio de los sistemas de captura de carbono por parte de los sistemas naturales está relacionado con el estudio del valor de las funciones ecológicas de los ecosistemas naturales. Por lo que el concepto del ciclo natural del carbono y la capacidad del suelo y los océanos se conoce desde hace muchos años atrás, pero el concepto de bosque como

"reservorio" de emisiones de combustibles fósiles no se propuso hasta 1976 por primera vez (Carvajal-Agudelo & Andrade, 2020).

En palabras resumidas, los sumideros de carbono terrestres son los ecosistemas forestales tales como son: plantas vivas, materia orgánica en descomposición y el suelo. Así como también sus productos la madera y no madera, combustibles fósiles no utilizados los que se refieren al carbono contenido. De manera similar, el flujo o las emisiones de carbono están asociados con la degradación tanto de los ecosistemas forestales como de sus productos (Ordoñez Díaz, 1999).

Los programas de captura de carbono son instrumentos de política que fueron diseñados para aprovechar el mecanismo ecológico descrito anteriormente a favor de la protección ambiental y del combate a la contaminación, por ende, al cambio climático. Las actividades económicas que llevan al crecimiento de las sociedades, incluso siendo extremadamente eficientes, no se pueden realizar a un nivel cero de emisiones, por lo que es indispensable la realización de diferentes proyectos que se pueden llevar a cabo para disminuir la concentración de carbono atmosférico (Yáñez, 2004).

La disminución en esta concentración atmosférica puede ser el resultado de evitar emisiones o la captura del carbono atmosférico. De esta manera, las empresas emisoras de CO₂ pueden "compensar" el efecto negativo de las emisiones de sus actividades económicas mediante la inversión o compra de "créditos" en proyectos cuyo resultado sea la captura del carbono que se halla en la atmósfera. La propuesta para considerar este tipo de proyectos de manera formal dentro de los esfuerzos internacionales para estabilizar o disminuir la concentración atmosférica de GEI, se establece en la Convención Marco sobre Cambio Climático de Naciones Unidas, donde se considera tanto el control de emisiones como la remoción por captura en sumideros. Sin embargo,

el pequeño porcentaje que los países desarrollados pueden acreditar en estos proyectos desaprovecha las ventajas ambientales que tienen los países tropicales, como son las altas tasas de crecimiento de la vegetación lo que se traduce en una captura de carbono más rápida (Pozo Proaño, 2016).

Una buena razón para implementar este proyecto con énfasis en los beneficios ambientales es determinar la concentración de dióxido de carbono de los árboles urbanos a partir de inventarios forestales como el diámetro de la altura del pecho (DAP) y la altura total de los individuos, obtenidos por la aplicación del método no destructivo. En definitiva, juega un papel importante como sumidero contable del ciclo del carbono, estableciendo la importancia de protección de espacios verdes dentro del cantón (Pintado Corte & Astudillo Pacheco, 2021).

1.1 Problema de Estudio

Conforme aumenta el deterioro ambiental, también crece la preocupación en grandes sectores de la población por encontrar herramientas para revertir estas tendencias negativas, tomando en cuenta los problemas sociales y económicos específicos de cada sociedad. Los programas de captura de carbono en bosques son instrumentos con enorme potencial para contribuir a la transición hacia el desarrollo sustentable. La captura de carbono en los bosques viene a ser una herramienta para la gestión ambiental (IPCC, 2001).

Según Sanahuja (2013), un factor muy importante es la captura de carbono para reducir el calentamiento global, donde la vegetación ayudan a reducir la cantidad de CO₂ que es emitido a la atmósfera y a su vez libera un gas indispensable para la vida como es el O₂ mediante los procesos fotosintéticos, a pesar que todos los tipos de vegetación absorben CO₂ los árboles son los más eficientes, siendo primordial las investigaciones en las

diferentes especies forestales, alcanzando de esta manera convivir en un ambiente sano y limpio. Se debe tener presente que los bosques también pueden ser fuentes de carbono cuando sufren perturbaciones, por lo que solo el manejo integral de los recursos forestales ayuda a contrarrestar las emisiones causadas por la deforestación.

A nivel internacional, se han planteado posibles soluciones a esta problemática, como es el uso de energías renovables, aplicación de tecnologías limpias y la implementación de sumideros de carbono, siendo esta última una de las opciones más factibles económicamente (Chacho, 2019). Se debe tener en cuenta que el tiempo de almacenaje del carbono varía dependiendo de las características de la especie, longevidad, ubicación, clima y rotación donde almacenan el carbono en forma de biomasa hasta el momento de su descomposición (Pintado Corte & Astudillo Pacheco, 2021).

1.2 Justificación

Los árboles y arbustos cumplen una función ambiental muy importante, es decir, ayudan a mejorar la calidad del aire, gracias a su capacidad de capturar y almacenar el carbono presente en la atmósfera a través de procesos fisiológicos como la fotosíntesis.

Es importante destacar los servicios ambientales que brindan los árboles a la ciudad. Esto incluye captura de carbono, control de la temperatura, calidad y cantidad del suministro de agua, producción de oxígeno, reducción de ruido, protección y restauración del suelo.

La presente investigación pretende obtener una información actualizada, fiable y oficial sobre los recursos forestales ya que representan una gran magnitud tanto para reforzar o generar de nuevas políticas nacionales para el desarrollo del sector (ordenanzas, leyes, normativas, planes de acción) para llevar a un plan de manejo de las áreas verdes públicas así como para la generación de actividades productivas integrales a través del uso

sostenible de los recursos asegurando, la provisión de bienes y servicios ambientales para las presentes y futuras generaciones.

De acuerdo a investigaciones se puede detallar que la información en el cantón Azogues sobre la vegetación urbana a detalle es muy limitada o inexistente, razón por la cual es necesario conocer la situación actual de biodiversidad forestal de las áreas verdes del cantón mediante un inventario y una estimación del carbono captado por la vegetación presente en la zona, siendo esta información a futuro de suma utilidad tanto para la municipalidad y para la universidad para analizar el estado ambiental de las áreas verdes y tomar acciones para que su influencia en la calidad de vida de la población sea positiva, y a nivel académico implicaría un aporte significativo de información dejando puertas abiertas para futuros trabajos e investigaciones. Además, con un completo inventario forestal se podrá realizar un análisis general de la cobertura arbórea del cantón Azogues.

La finalidad del presente estudio es determinar la biodiversidad de las especies de vegetación que se encuentran dentro de la zona urbana que comprende la ribera del río Burgay, esta investigación también permitirá comprender la estimación de la captura del carbono captado por las especies vegetales presentes en la zona, su valoración económica y la posibilidad de integrarse a los bonos de carbono.

Finalmente, este trabajo aportará con una propuesta de manejo ambiental, para la toma de decisiones del GAD cantonal de Azogues.

1.3 Delimitación

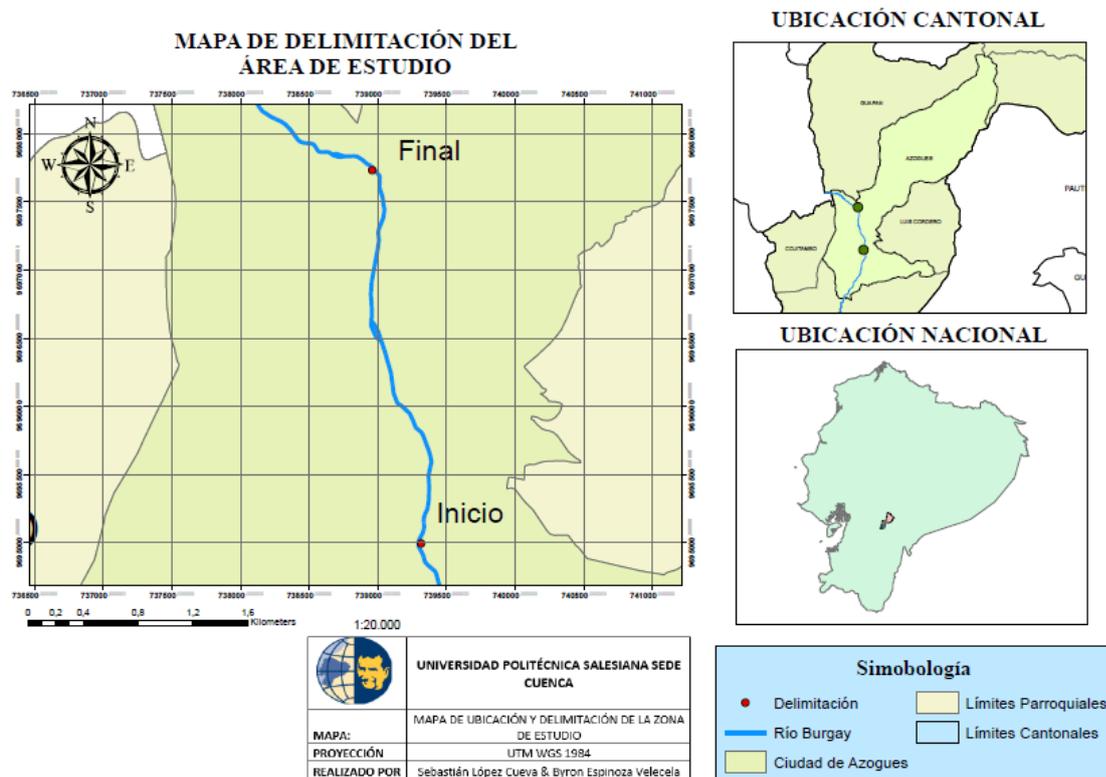
El área de estudio se localiza en la provincia del Cañar, tomando como zona de estudio las riberas del río Burgay del cantón Azogues, lo cual limita al norte con la cuenca del río Paute, al Este y Sur con la provincia del Azuay y al Oeste con los cantones Déleg y Biblián.

Geográficamente se encuentra localizada entre las coordenadas latitud 9697040,7 y longitud 739493,1 esta a su vez tiene una altitud de 2518 m s. n. m. y con un clima andino de 18°C en promedio. Morfológicamente existe una gran variación debido a diferentes factores de modelamiento superficial y la misma naturaleza geológica de los terrenos, en los cuales se pueden encontrar paisajes y ambientes glaciares que superan los 3200 msnm, entre otros valles fluviales amplios con laderas abruptas como las de los ríos Dudas, Pindilig y Mazar y valles fluviales con pendientes medias y bajas como el del Burgay en su zona baja.

La ciudad de Azogues tiene una extensión de 60,94 km², según el censo 2010 tiene una población aproximada de 40.000 habitantes el cual la población urbana conforma el 89,10% frente al 10,90% de la población rural. El clima es templado, el rango de la temperatura climática varía entre los 6 °C y 18 °C y el promedio de precipitación mensual es de 90 mm.

La zona específica de estudio comprende los puntos que van desde el Antiguo Mercado Sucre hasta el nuevo mercado Complejo Comercial Municipal de Azogues, tramo que tiene una extensión de 16,63 Ha, en la Figura 3 se observa el mapa de ubicación de los puntos mencionados en el tramo de las riberas del río Burgay que comprenden.

Figura 1. Mapa de delimitación del área de estudio



Fuente: Autores (2022).

1.4 Explicación del problema

En el país se tienen déficit de la información sobre los inventarios forestales en áreas verdes urbanas por lo que no se permite la determinación de la eficiencia de la captura de carbono de dicha vegetación, lo cual genera la siguiente hipótesis:

“La vegetación presente en las riberas del río Burgay captura carbono.”

Y la hipótesis nula:

“La vegetación presente en las riberas del río Burgay no captura carbono.”

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Estimar la capacidad potencial de captura de carbono que tiene la vegetación presente en las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual de la zona de estudio mediante la realización de un inventario forestal para determinar la diversidad y abundancia de la zona.
- Estimar el carbono captado por la vegetación mediante el método indirecto o no destructivo.
- Determinar la valoración económica de la captura de carbono captado por la vegetación.
- Formular una propuesta de manejo ambiental de las riberas del río Burgay.

2. Marco Teórico

2.1 Cambio Climático

El clima se refiere al estado de la atmósfera (temperatura promedio, precipitación y viento) durante un período comúnmente especificado de treinta años. El cambio estadísticamente significativo en la media durante un largo período de tiempo, conocido como cambio climático, puede atribuirse a factores naturales o humanos, como la quema de combustibles fósiles, que se manifiestan en la composición de la atmósfera o en los cambios de uso del suelo (IPCC, 2001).

El cambio climático se define como un cambio estable ya largo plazo en la distribución de los patrones climáticos durante períodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Este concepto puede referirse específicamente al cambio climático causado por actividades humanas y al cambio climático causado por procesos naturales en la Tierra y el sistema solar (Guido Aldana, 2017).

2.1.1 Causas del Cambio Climático

Los informes del IPCC resaltan que las causas del cambio climático son de origen natural y antropogénicas. Hay una cadena de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las concentraciones atmosféricas, el forzamiento radiactivo, las respuestas climáticas y los efectos del clima. Entre 1970 y 2004, el aumento más importante de las emisiones de GEI proviene de los sectores de suministro de energía, transporte e industria, mientras que la vivienda y el comercio, la silvicultura (incluida la deforestación) y la agricultura han crecido más (Díaz Cordero, 2012).

El análisis de las causas del cambio climático debe considerar primero las causas del cambio climático, especialmente en relación a los GEI (Gases de Efecto Invernadero), los cuales son responsables de una cadena de eventos incluyendo sus emisiones, un aumento de su concentración en la atmósfera con la consecuente el forzamiento radiativo y sus consecuencias en forma de respuesta climática manifestada por los cambios que provoca, tanto en los ecosistemas naturales y gestionados, como en la salud humana (Useros, 2013).

Según la información publicada por el IPCC en su cuarto informe, el CO₂, procedente de combustibles fósiles representa el 56,6% y el resultante de la deforestación, degradación de biomasa etc. un 17,3%, de forma que entre ambos acaparan casi el 74% del total, siguiéndoles en importancia el metano con un 14,3% y, por fin, los derivados del

Nitrógeno con el 7,9% y en proporciones ínfimas (1,1%) los halocarbonados. Respecto de los sectores económicos responsables de la producción de GEI, la producción de energía representa un 25,9%, la industria el 19,4%, seguidos de las actividades silvícolas con el 17,4%, la agricultura con el 13,5% y el transporte, que produce el 13,1%. Otros sectores económicos tienen efectos menos relevantes (desechos y aguas de desecho (2,8%) y edificios residenciales y comerciales (7,9%). El impacto en forzamiento radiativo del dióxido de carbono aumentó en el periodo 1995-2005 un 20% más que en cualquier decenio de los últimos 200 años, y el forzamiento radiativo conjunto de dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno se cifró en 2,3 W/metro cuadrado, cifra muy probablemente sin precedentes (IPCC, 2007).

2.1.1.1 Especies Introducidas

Se puede definir una especie introducida como cualquier especie ajena o especie no nativa ni proveniente al sitio que ha llegado, la cual quiere decir que es procedente de otro sitio de origen. Esta es liberada intencional o accidentalmente por el hombre; además, esta definición viene a ser utilizada en varios países para diferentes grupos de organismos. Sin embargo, desde un punto de vista ecológico, independientemente del origen geográfico, la introducción es entendida como la inserción de un elemento totalmente nuevo en una región dada. Los impactos que generan las especies no nativas vienen a ser reflejados sobre la fauna nativa, especialmente si adquieren el carácter de invasoras, debido a que proliferan a costa de las autóctonas. Por lo que esto conlleva, a muchos conservacionistas e investigadores, a creer que las invasiones y extinciones están estrechamente vinculadas. Se estima que el 39% de las extinciones conocidas de animales desde el siglo XVI, se deben a la introducción de especies. Además, la introducción de especies no nativas invasoras puede llegar a crear una alteración en el equilibrio de los ecosistemas locales o incluso destruirlo, debido a la ausencia de competidores o enemigos naturales. Muchas

de estas especies no nativas invasoras son hábiles colonizadoras que toman ventaja de la limitada competencia, y suelen ser resistentes a la degradación de los hábitats (Restrepo-Santamaría & Álvarez-león, 2013).

2.1.2 Consecuencias del cambio climático

Las predicciones sobre el cambio climático muestran que los graves efectos adversos del cambio climático son cada vez más perjudiciales para muchos de los países más pobres del mundo debido a su escasa capacidad de adaptación, entre las múltiples consecuencias que se tiene por el cambio climático se tiene el aumento de la temperatura global, lo que trae consigo consecuencias negativas para el ambiente y la calidad de vida humana, alteraciones entre los ecosistemas, entre otras (IPCC, 2019).

2.1.2.1 Aumento de la temperatura global

Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual. Los modelos climáticos predicen fuertes diferencias en las características regionales del clima entre el momento actual y un calentamiento global de 1,5 °C, y entre un calentamiento global de 1,5 °C y de 2 °C. Esas diferencias comprenden un aumento de la temperatura media en la mayoría de las regiones terrestres y oceánicas, de los episodios de calor extremo en la mayoría de las regiones habitadas, de las precipitaciones intensas en varias regiones y de la probabilidad de falta de agua y la posterior sequía en muchas regiones del planeta (IPCC, 2019).

2.1.2.2 Variación en las precipitaciones

La evolución de las precipitaciones ha experimentado importantes cambios y variaciones de tendencia desde el año 1900, llegando así a registrar un incremento de las precipitaciones en ciertas regiones, tales como la Región oriental de América del Norte y Sur, Norte de Europa, Asia Central y Septentrional y por otra parte una disminución de las mismas en el Sahel, sur de Asia, África y el Mediterráneo. En todo caso es evidente que las superficies afectadas por sequías o grave escasez de lluvias se han incrementado desde el año 1970 (Useros, 2013).

Las precipitaciones han aumentado muy probablemente durante el siglo XX entre un 5 y un 10 por ciento en la mayor parte de las latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio norte, es probable que las precipitaciones hayan ido disminuyendo en un promedio del 3 por ciento sobre una gran parte de las áreas terrestres subtropicales. La frecuencia de fuertes precipitaciones (50 mm en 24 horas) ha aumentado probablemente en un 2–4 por ciento en latitudes medias y altas del hemisferio norte en la segunda mitad del siglo XX. Se han registrado aumentos relativamente pequeños de grandes sequías o grandes épocas húmedas durante el siglo XX en zonas terrestres. En muchas regiones, estos cambios se han visto dominados por una variabilidad climática de unos años o de décadas, sin que se pueda identificar ninguna tendencia de importancia (Velásquez-Tibatá, 2014).

2.1.2.3 Derretimiento de los glaciares

Los países de la Comunidad Andina concentran el 95% de los glaciares tropicales del mundo, los cuales cubren hoy una superficie estimada en 2,500 km². El 71% de los mismos están ubicados en Perú, el 22% en Bolivia, el 4% en Ecuador y el 3% en

Colombia. En todos ellos se observa un franco retroceso atribuible al calentamiento global (Can et al., 2007).

En los últimos decenios, el calentamiento global ha provocado una gran reducción de la extensión de la criósfera, con una pérdida de masa de los mantos de hielo y los glaciares, reducciones de los mantos de nieve y de la extensión y el espesor del hielo marino del Ártico, y un aumento de la temperatura del permafrost. Los glaciares y los mantos de hielo de todo el mundo han sufrido pérdidas de masa. Entre 2006 y 2015, el manto de hielo de Groenlandia perdió masa de hielo a un ritmo medio de 278 Gt/año lo que obedeció, sobre todo, al derretimiento en superficie. En el período 2006-2015, el manto de hielo de la Antártida experimentó una pérdida de masa a un ritmo medio de 155 Gt/año, debido principalmente al rápido adelgazamiento y retroceso de los grandes glaciares de aflujo que nutren el manto de hielo de la Antártida occidental. Los glaciares de todo el mundo, excepto los de Groenlandia y la Antártida, sufrieron una pérdida de masa a un ritmo medio de 220Gt/año equivalente a un aumento del nivel del mar de $0,61 \pm 0,08$ mm/año en el período 2006-2015 (Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, 2020).

2.1.2.4 Pérdida de rendimiento en la agricultura

La agricultura es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático a nivel mundial, ya que llega a ser altamente sensible a los cambios de temperatura y a los regímenes de precipitación. Los modelos climáticos prevén cambios drásticos en las condiciones climáticas en muchas regiones del mundo, incluyendo cambios en temperatura, precipitación e incremento en la frecuencia y severidad de eventos extremos como sequías y huracanes. Estos cambios tendrán efectos en el rendimiento y distribución de los cultivos, en la variación de los precios, la producción y el consumo, además de afectar el

bienestar de las familias productoras. Se espera que los rendimientos de los granos básicos, como arroz, maíz y trigo, disminuyan significativamente a nivel mundial para el año 2050, con diferencias entre países en vías de desarrollo y los países desarrollados. Los precios mundiales de los alimentos incrementarán a consecuencia de la disminución de la producción global que se espera debido a los efectos del cambio climático. Estas reducciones impactarán negativamente a la seguridad alimentaria a nivel mundial, por lo que se espera que al 2050 el consumo per cápita de cereales disminuya en un 7.1% en países en vías de desarrollo (Viguera et al., 2017).

2.1.2.5 Aumento del nivel del mar

Actualmente, a nivel mundial el nivel del mar está aumentando a una tasa de 3.6 mm por año, llegando a ser el doble de rápido que en el siglo XX. La aceleración en la tasa de aumento del nivel del mar en las últimas décadas es un fenómeno global, impulsada por las crecientes tasas de pérdida de hielo de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida. Los niveles del mar continúan aumentando a un ritmo creciente este podría alcanzar alrededor de 29–59 cm para el 2100, incluso si las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen drásticamente y se limita considerablemente el calentamiento global por debajo de los 2°C. Bajo un escenario de altas emisiones, los niveles del mar aumentarán aún más, en un rango promedio de 61 a 110 cm en todo el mundo. Por otra parte, en las zonas costeras bajas, actualmente 680 millones de personas en todo el mundo están en riesgo por el aumento de los océanos, una cifra que alcanzará mil millones de personas en el 2050. El aumento del nivel del mar podría desplazar a las personas. El aumento del nivel del mar es uno de los muchos peligros relacionados con el clima que puede afectar las costas de América Latina y otras costas del mundo, además de que los eventos climáticos extremos como ciclones, inundaciones y olas de calor marinas tienen un impacto en las comunidades costeras y lo tendrán en el futuro (Bárcena et al., 2020).

2.1.2.6 Degradación de los suelos

El suelo es un elemento ambiental al que normalmente no se presta demasiada atención a pesar de su importancia para los ecosistemas y la economía. Los alimentos que comemos, la ropa que vestimos y el agua que bebemos dependen de la capacidad del suelo para realizar sus funciones vitales. No obstante, cuando el suelo se degrada, esta capacidad resulta gravemente dañada. Además, cuando la degradación alcanza niveles graves, puede desembocar en desertificación, un fenómeno que no sólo afecta a zonas áridas, sino que también están sufriendo algunos países europeos y que previsiblemente se acentuará debido al cambio climático. No obstante, los cambios en las prácticas agrícolas son sólo una parte del problema. También influyen las modificaciones en los patrones de precipitación y el aumento de las temperaturas medias causados por el cambio climático. El incremento de la temperatura del planeta acelera la pérdida de carbono de los suelos y, con ello, eleva la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Por su parte, los cambios en las pautas de precipitación van a intensificar la erosión de los suelos más vulnerables, que en muchos casos presentan ya de por sí un escaso contenido de materia orgánica. De esta manera, la calidad del suelo va a seguir deteriorándose por la acción del cambio climático y, con ello, también continuará aumentando el riesgo de desertificación y degradación de la tierra, fenómenos que ya afectan a los Estados miembros del sur de la Unión Europea y que, previsiblemente, va a continuar su avance hacia el norte (Comunidades Europeas, 2009).

2.1.2.7 Incremento de plagas

Si bien es evidente que el cambio climático está modificando la distribución de las plagas y las enfermedades de los animales y las plantas, es difícil prever todos los efectos de este cambio. La modificación de las temperaturas, la humedad y los gases de la atmósfera

puede propiciar el crecimiento y la capacidad con que se generan las plantas, los hongos y los insectos, alterando la interacción entre las plagas, sus enemigos naturales y sus huéspedes. Las transformaciones que experimenta la cubierta vegetal de la Tierra, como la deforestación y la desertificación, pueden incrementar la vulnerabilidad de las plantas y los animales que quedan ante las plagas y las enfermedades. Si bien a lo largo de la historia con regularidad surgen nuevas plagas y enfermedades, el cambio climático ahora introduce una serie de incógnitas en la ecuación. Algunas de las transformaciones más espectaculares del cambio climático en las plagas y las enfermedades de los animales probablemente se observarán en los artrópodos, como los mosquitos, las mosquitas, las garrapatas, las pulgas y las pulgas de la arena, así como en los virus de los cuales son portadores. Debido al cambio de las temperaturas y la humedad, las poblaciones de estos insectos pueden extender la zona geográfica donde viven y exponer a los animales y las personas a enfermedades contra las cuales no tienen inmunidad natural (FAO, 2008).

2.1.2.8 Efectos en la salud

El cambio climático, no puede considerarse un fenómeno exclusivamente ambiental, sino que han de contemplarse también las profundas consecuencias económicas y sociales, y en especial sobre la salud pública. La comunidad internacional no ha sido ajena a este tema y en 2008, en la 61^a Asamblea Mundial de la OMS, 193 países asumieron la urgencia de desarrollar medidas en salud integradas en los planes de adaptación al cambio climático, reconociendo así su impacto en la salud pública. Numerosos determinantes medioambientales y sociales de la salud se verán afectados por el cambio climático; modificaciones que lo sitúan como un reto significativo para la acción en salud pública. El modelo conceptual que resume los impactos sitúa los cambios climáticos regionales, los eventos extremos y las olas de calor, las precipitaciones y las temperaturas como factores que influyen en la dinámica de transmisión de enfermedades. Por otra parte, la

evidencia actual muestra que los efectos en salud pueden ser positivos y negativos. A modo de ejemplo, entre los positivos se encuentran un incremento de la temperatura que puede disminuir la supervivencia de ciertos vectores transmisores de enfermedades o reducir el número de episodios de frío intenso particularmente en algunas regiones. Entre los negativos se incluyen la previsión de incremento en las tasas de malnutrición infantil en determinadas regiones geográficas, el aumento de los episodios de olas de calor, el incremento en las enfermedades de transmisión hídrica y alimentaria, y un potencial aumento de los cuadros alérgicos (Ministerio de Sanidad, 2013).

2.1.2.9 Pérdidas de la biodiversidad y ecosistemas

En el transcurso de este siglo, es probable que la absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres alcance un nivel máximo antes de mediados de siglo y luego se debilite e incluso se invierta, y amplíe el cambio climático, es probable que aproximadamente entre el 20-30% de las especies de plantas y animales evaluadas hasta el momento están en mayor riesgo de extinción si los aumentos de la temperatura media mundial excedan de 1,5-2,5 °C. Estos cambios acarrearían consecuencias predominantemente negativas para la biodiversidad y los bienes y servicios de los ecosistemas, por ejemplo, en el abastecimiento de agua y alimentos. Para mediados de siglo, se prevé que el aumento de temperatura y la disminución asociada del agua del suelo den como resultado el reemplazo gradual de los bosques tropicales por sabanas en el este de la Amazonia. La vegetación árida tenderá a reemplazar a la vegetación semiárida. Existe el riesgo de pérdida significativa de biodiversidad, mediante la extinción de especies en muchas zonas tropicales de América Latina (Parry et al., 2007).

2.1.3 Importancia del sector forestal como medida para mitigar el cambio climático

Los bosques son considerados como sumidero y fuente de CO₂ atmosférico a la vez, debido a que absorben carbono por fotosíntesis, pero emiten carbono por descomposición de biomasa y por quema de bosques debido a la presión antrópica; las principales fuentes de almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales son: la vegetación, el suelo, y el mantillo. La vegetación por sus procesos fotosintéticos es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico (Iglesias, 2016).

Una de las maneras más efectivas de encarar el cambio climático es mantener los árboles en pie, puesto que los bosques saludables son unos de los mayores depósitos de carbono del mundo. En tanto que los bosques enfermos aquellos que han sido degradados o deforestados, son las mayores fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, después de la quema de combustibles fósiles. El enfoque llamado REDD es uno de los medios más prometedores para mantener los árboles en pie en los países en desarrollo. “REDD” significa “reducción de emisiones por deforestación y degradación”. Los líderes intelectuales de REDD convinieron en que los incentivos son necesarios, no solo para reducir las emisiones combatiendo los impulsores de la pérdida de los bosques, sino para evitar las emisiones y aumentar el almacenamiento gracias a la adopción de medidas proactivas encaminadas a conservar y restaurar los bosques (REED+, 2016).

2.2 Inventario Forestal

La inventariación forestal es considerada como una herramienta fundamental para todo plan de manejo y ordenación de recursos forestales de un territorio, en cualquier escala de trabajo, la importancia radica en el aporte de los datos básicos para su correcta gestión (FAO, 2018).

2.2.1 Definición formal

Se puede definir un inventario forestal como la recolección sistemática de datos sobre los recursos forestales de una zona determinada, el cual permitirá la evaluación del estado actual de la misma y sirve como punto de partida para la planificación y gestión sostenible de los recursos forestales a inventariar (FAO, 2009).

En términos cualitativos, el inventario permite conocer la variación de la masa forestal en los diferentes estratos o ecosistemas, así como determinar la variación florística del bosque y las características específicas de las especies registradas, mientras que, en términos cuantitativos, el inventario forestal permite determinar el número de especies por unidad de área y las variables dasométricas, como diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial y altura total de las especies inventariadas, con estos datos es posible determinar otros aspectos importantes a considerar como el área basal y el volumen comercial estimado por unidad de área (Pinelo, 2004).

2.2.2 Beneficios de un inventario forestal

Entre los múltiples beneficios que trae consigo la realización de un inventario forestal para una zona determinada, destacan aquellos beneficios ecológicos y económicos, siendo desde el punto de vista ambiental, el más importante la determinación de la diversidad y de las características específicas de la vegetación de una zona, lo que trae consigo un aporte significativo de información para desarrollar planes de turismo y ecoturismo, mientras que a su vez determinando la diversidad ecológica de la zona, se pueden identificar especies sensibles, en caso de existir, con lo que significa un aporte para la formulación de planes de protección y manejo de recursos naturales.

Por otra parte, el beneficio esencial que trae la elaboración de un inventario forestal es determinar la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono (Rodríguez Llerena & Cargua Catagña, 2013).

2.2.3 Tipos de inventarios forestales

Orozco & Brumér (2002) clasifican los tipos de inventarios según su objetivo, donde se consideran los siguientes tipos:

- **Inventario exploratorio:** Este es un tipo de evaluación que da mayor énfasis al área de los tipos de vegetación, formaciones ecológicas, accesibilidad y uso potencial del suelo. Los parámetros que se toman en cuenta son: el volumen, el área basal o el número de individuos por unidad de área.
- **Inventario para manejo de bosques naturales:** La información que se obtiene establece bases para la ejecución de planes de manejo ambiental dependiendo de la naturaleza de la actividad o proyecto que se pretenda realizar en el área inventariada.
- **Inventario para aprovechamiento forestal:** Pretende identificar las características maderables o no maderables de un área forestal para su aprovechamiento.
- **Inventario para manejo de plantaciones:** Se levanta información de utilidad para determinar el tipo de productos que se pretende producir.

Otra clasificación que proponen los mismos autores por método estadístico es:

- **Inventario al 100% y muestreo al azar (estratificado y sin estratificar).**
- **Muestreo sistemático (estratificado o sin estratificar).**

Esto quiere decir que un inventario forestal puede ser diseñado ya sea considerando una población de especies vegetales total o tomando una muestra al azar y considerar o no la división de los estratos existentes, por otra parte, también se puede muestrear de forma

sistemática y ya sea que se cumpla o no la división de los estratos presentes (Orozco & Brumér, 2002).

2.2.4 Consideraciones generales para la ejecución de un inventario forestal

Es importante considerar aspectos como qué variables se van a medir en el campo, cómo se las medirá y que tipos de muestra se tomarán, el Ministerio de Agricultura del Perú (2010) establece como base los siguientes pasos para la planificación de inventarios forestales:

1. Identificar usuarios y objetivos generales.
2. Selección de preguntas para el plan de monitoreo.
3. Seleccionar los atributos que se desean caracterizar.
4. Compilar y evaluar los datos previos que se dispongan del área a inventariar.
5. Determinar las limitaciones de cada componente del plan de monitoreo.
6. Seleccionar el diseño de muestreo y las parcelas.
7. Determinar las parcelas en base al tamaño de la muestra y al diseño de inventario elegido.
8. Planificación del trabajo de campo.
9. Entrenamiento para el trabajo de campo.
10. Toma de datos in situ.
11. Registro de datos in situ.
12. Compilación de los datos obtenidos in situ.
13. Interpretación y evaluación de los datos obtenidos in situ.
14. Evaluación de cumplimiento de objetivos.
15. Toma de decisiones futuras en base a los resultados y objetivos del monitoreo.

Adaptado de: (Ministerio de Agricultura de Perú, 2012).

Una consideración muy importante previa a la realización de un inventario forestal es conocer la extensión del área de estudio, no se considera adecuado realizar directamente un inventario sin antes haber ubicado el área y realizar recorridos previos, para ello se pueden realizar levantamientos con GPS u otros equipos de medición, o mediante sensores remotos como son fotografías aéreas e imágenes satelitales (Prodan et al., 1997).

2.3 El Carbono

El carbono es considerado un elemento químico clave en los compuestos orgánicos, este circula entre los océanos, el suelo, la atmósfera y el subsuelo, siendo este último donde se encuentran la gran mayoría de almacenes de carbono. Es producto de procesos naturales de intercambio terrestre y atmosférico, tales como la respiración vegetal, la fotosíntesis y las emisiones de gases antrópicos (Rügnitz et al., 2008).

2.3.1 Captura de carbono

La captura de carbono es un proceso natural que realizan las especies vegetales mediante mecanismos naturales, donde el dióxido de carbono (CO_2) es absorbido por las hojas de las especies vegetales para ser almacenado en forma de biomasa y emanar oxígeno, esto mediante la fotosíntesis, donde también se produce otro tipo de materias primas como la glucosa y también ayuda al desarrollo de las especies, estudios han demostrado que una tonelada de CO_2 atmosférico equivale a 0,27 toneladas de carbono acumulado en la biomasa (Vallejo et al., 2005). En contraste con lo anterior expuesto, la cantidad de carbono que se almacena en un árbol dependerá de la densidad, de la madera, por lo que entre más dura y densa, más carbono será capaz de almacenar (Cabudivo Coquinche, 2016).

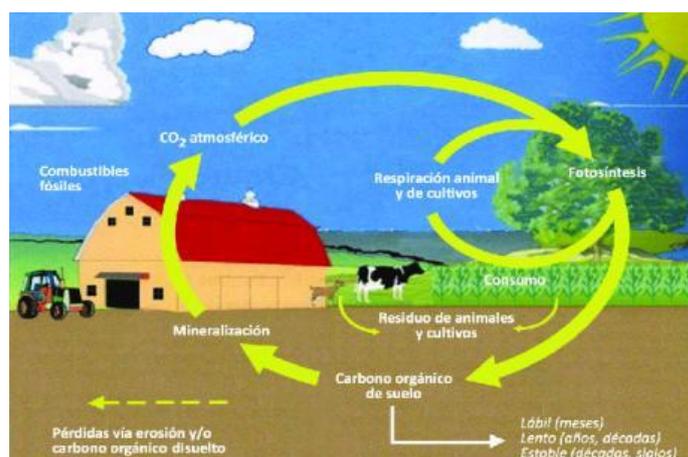
Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre, además de participar en más del 90% anual del flujo anual de carbono entre la

atmósfera y el suelo, por lo que este también juega un papel fundamental en el ciclo y almacenamiento del carbono (Ordóñez & Masera, 2001).

2.3.2 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono se inicia con la fijación del CO₂ atmosférico mediante los procesos de la fotosíntesis de las especies vegetales y ciertos microorganismos, en la misma el CO₂ y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno, produciéndose lo que se conoce como “intercambio gaseoso”, parte de los carbohidratos se consumen para dar energía a la planta y el CO₂ se libera a través de sus raíces, mientras que otra parte es consumida por los animales que a su vez también liberan CO₂ en sus proceso metabólicos, mientras que en última instancia, las plantas y animales muertos también aportan con CO₂ por la descomposición de sus restos por acción de los microorganismos (H. Burbano, 2018).

Figura 2. Ciclo del Carbono.



Fuente: (Ovalle Molina, 2020).

2.3.3 Biomasa forestal

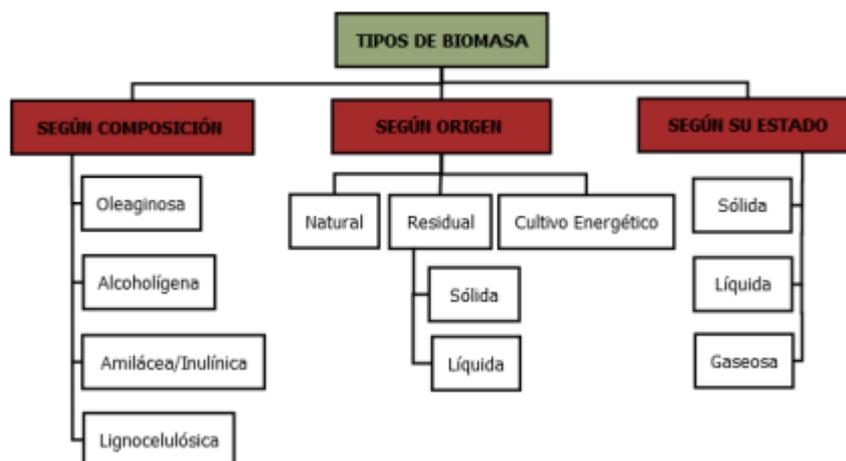
La biomasa forestal es definida como el peso de materia orgánica que existe en un determinado sistema forestal, tanto por encima como por debajo de la superficie del suelo (Muñoz & Vasquez, 2020).

El término biomasa como tal puede ser clasificado según la Agencia Extremeña de la Energía (2013) en:

- Biomasa natural: Aquella que se produce en la naturaleza sin acción antrópica.
- Biomasa residual: Generada por cualquier actividad humana.
- Biomasa producida: Cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustibles.

Según Herguedas, et al. (2012) la biomasa se clasifica según lo descrito en la Figura 3.

Figura 3. Clasificación de la biomasa.



Fuente: (Herguedas et al., 2012).

2.4 Importancia de las áreas verdes urbanas

Los espacios verdes en las ciudades prometen diferentes beneficios sociales y ecológicos, mismos que han sido asociados a la calidad ambiental como un factor de calidad de vida siendo un indicador principal para lograr la sostenibilidad ambiental en las ciudades (Rendón, 2010).

Las áreas de vegetación dentro de las ciudades han sido consideradas tradicionalmente como zonas de recreación, entre otros beneficios de las áreas verdes urbanas se

encuentran la sanidad básica, el control de inundaciones, la reducción de la contaminación del aire, el enriquecimiento de la biodiversidad y actuar como sumideros naturales de carbono (Sorensen et al., 1998). Sobre todo, en áreas de alto tránsito vehicular o altas emisiones de gases contaminantes, la presencia de áreas verdes pueden ser una herramienta de mitigación de la contaminación por emisiones de gases contaminantes.

2.4.1 Servicios ambientales

Entre los servicios ambientales que brindan las áreas verdes urbanas a las ciudades destacan la captura de carbono y purificación del aire, la regulación de la temperatura, la provisión de agua tanto en calidad como en cantidad, barreras naturales contra ruidos, protección de suelos, hábitats para especies animales, entre otros y es por ello la importancia de que una ciudad independientemente de su número de habitantes, cuente con suficientes áreas verdes urbanas (Reyes & Gutiérrez, 2010).

2.5 Valorización económica ambiental

Valorar económicamente al ambiente supone el intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por los recursos ambientales, independientemente de la existencia de precios de mercado para los mismos. Esto quiere decir que la necesidad de la valoración excede largamente al trabajo que hace el mercado otorgando precios y asignando recursos dentro de la economía. Hay una enorme cantidad de bienes y servicios ambientales para los cuales es imposible encontrar un mercado donde se generen los “precios” que racionen su uso dentro del sistema. La valoración puede servir para señalar los cambios en la dotación de recursos ambientales: su escasez relativa o absoluta. El principal objetivo de la valoración como medio de facilitar la toma de decisiones en materia de manejo, consiste en poner de manifiesto la eficiencia económica global de los distintos usos excluyentes (o no) de los recursos. En otras palabras: los recursos deben

asignarse a los usos que reporten ganancias netas a la sociedad, lo que se evalúa comparando los beneficios económicos de cada uso menos sus costos. La valoración traduce el impacto ambiental en valores que pueden ser comparados e integrados con criterios económicos y financieros (costo-beneficio) para tomar decisiones acertadas, dejando menos espacio para juicios subjetivos (Cerde & García, 2019).

2.5.1 Valorización económica de la captura de carbono

El precio al carbono ha sido por mucho tiempo aclamado por los economistas como el modo costo eficiente de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el precio al carbono es más que solo una teoría que se promueve en los círculos académicos. Cada vez más países prestan atención a las recomendaciones de los investigadores, al implementar precios al carbono por medio de impuestos a las emisiones o esquemas de permisos negociables. Alrededor del mundo, existen 57 iniciativas de precio al carbono, que cubren alrededor del 20 % de las emisiones globales. Por ejemplo, la Unión Europea, diversos estados federales de los Estados Unidos, además de Chile, Colombia y México han adoptado precios al carbono. De manera más reciente, nuevos esquemas de precio al carbono se iniciaron en Argentina, Sudáfrica, Singapur, así como en diversas provincias y territorios canadienses (Trinidad & Ortiz, 2019).

REDD+ busca la compensación de emisiones de carbono mediante bonos. Los países que quieren reducir sus emisiones de carbono transmiten beneficios económicos a aquellos que conservan superficies de selva y realizan prácticas sustentables en bosques con la participación de usuarios de bosques y poblaciones indígenas. El mecanismo es simple: la entidad calcula su impacto en emisiones de carbono y lo compensa en territorios boscosos y determinan que cada bono equivale a una tonelada de carbono (Sari, 2017).

2.5.2 Los MDL y la valorización de la captura de Carbono

El Protocolo de Kioto, a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), establece el marco legal para las transacciones de carbono entre países emisores y mitigadores. Esto supone oportunidades para los países en desarrollo de acceder a financiamiento y poner en marcha proyectos de recuperación de áreas deforestadas, ya sea estableciendo plantaciones forestales o por regeneración natural. Sin embargo, el MDL establece largos, complicados y costosos procedimientos, lo que sumado a la falta de métricas de carbono y de emisiones antrópicas de GEI y a la existencia de muchas barreras hace difícil que el sector forestal pueda ingresar a los mercados de carbono. Entre algunas barreras se citan la falta de recursos financieros, el alto costo de los estudios, falta de capacidades técnicas y de gestión del recurso con un alto grado de especialización y restricciones del mercado a los créditos forestales (Earth et al., 2012).

Ante las dificultades del MDL, los países tropicales tienen una nueva opción para obtener ingresos por el carbono almacenado por medio del programa REDD+ (reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques). El balance financiero de la restauración forestal incluyó los costos e ingresos previsibles por producción de madera, por captura de carbono y por pago por servicios ambientales en distintos escenarios, tomando el valor esperado por la tierra (VET) como criterio para aceptar o rechazar una inversión en usos de la tierra (Zenia & Paulo, 2008).

2.5.3 Mercados de Carbono

El mercado de carbono o de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero surge ante la necesidad total de tomar medidas ante la evidencia de que la actividad humana está influenciando un proceso de calentamiento climático global acelerado debido a la concentración de gases de efecto invernadero, con los consecuentes impactos

negativos sobre la salud humana y los recursos naturales. Según una investigación del Banco Mundial, se podría decir que no existe un solo mercado de carbono, definido por un sólo producto, un sólo tipo de contrato o un sólo sistema de compradores y vendedores. Lo que llamamos “mercado de carbono” es un conjunto de transacciones en donde cantidades de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero se intercambian. Al mismo tiempo la información es limitada, especialmente en precios, ya que no hay una cámara central de compensación para las transacciones de carbón. Sin embargo, podemos distinguir dos grandes esferas en donde las transacciones de carbono se están desarrollando. En una esfera las transacciones de carbono que buscan cumplir con el marco establecido por el Protocolo de Kyoto y, en la otra, iniciativas paralelas de comercio de emisiones fuera del protocolo, como son las iniciativas voluntarias de restricción de emisiones y las decisiones federales y estatales de EEUU para mitigar GEI, país que no es parte del Protocolo de Kyoto (Eguren C, 2004).

2.5.4 Créditos o bonos de carbono

Los créditos o bonos de carbono es un término comúnmente utilizado para referirse de manera genérica a la unidad de intercambio principal en el mercado de carbono. Por lo que se establece que cada bono de carbono equivale a una tonelada de CO₂ equivalente (tCO₂ e) que ha sido reducida o secuestrada mediante un proyecto de reducción de emisiones o de secuestro/captura de carbono. Sin embargo, los bonos de carbono son comercializados en los mercados de carbono. Aquí se propone que el propietario de los créditos los vende a un comprador que decide neutralizar parte o la totalidad de sus emisiones. Los ingresos generados por la venta de los créditos de carbono contribuyen a cubrir los costos del proyecto, a la transferencia de tecnología, al desarrollo sostenible y a generar ganancias económicas sobre la inversión realizada (Samayoa, 2011).

2.5.4.1 Mercado voluntario de carbono

En el mercado voluntario de carbono (MVC) participan organizaciones, empresas, gobiernos e individuos que voluntariamente se adhieren a una meta de reducción de emisiones. Por lo que en este mercado se ha desarrollado paralelamente al regulado para atender actividades que son excluidas por este último, o que no logran participar en él por los altos costos que implica o por ser muy pequeños (en relación con las cantidades de CO₂ equivalentes), entre otras razones (Samayoa, 2011).

El MVC representa únicamente el 1% del total de bonos de carbono comercializados en el mercado de carbono. Sin embargo, independientemente del tamaño, se caracteriza, entre otras cosas, por ser el campo de experimentación e innovación de actividades que se esperan que participen, en un futuro, en el mercado de cumplimiento; y por ser una opción más viable para proyectos. Sin embargo, el mercado regulado continúa siendo la meta de la mayoría de los desarrolladores de proyectos, puesto que ofrece mejores precios para los bonos de carbono generados por los proyectos, debido a que es un mecanismo que presenta mayor certidumbre de cumplimiento y regulaciones mucha más claras para la medición de reducciones (Samayoa, 2011).

2.5.4.2 Mercado de cumplimiento regulado de carbono

El mercado de cumplimiento es aquel en donde la demanda proviene de entidades tales como: (organizaciones, estados o incluso países) que tienen la obligación de limitar o disminuir sus emisiones como resultado de un instrumento regulatorio con efecto local, regional, nacional o internacional; dentro de estos instrumentos el mercado de carbono del Protocolo de Kyoto es, sin duda, el de mayor relevancia en el ámbito internacional y el MDL de dicho Protocolo es el medio por el cual países en desarrollo pueden implementar proyectos de reducción y/o absorción de emisiones (Samayoa, 2011).

2.5.5 Compradores de bonos de carbono y Certificados de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CERs)

Aquellos proyectos que ayuden a la reducción de GEI pueden emitir bonos o créditos de carbono, conocidos como “Certificados de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero” (CERs), para cada tonelada anual de reducción, pudiendo estos ser comprados por:

- Compradores privados.
- Compañías Japonesas.
- Multinacionales y transnacionales.
- Gobiernos que se encuentren bajo el protocolo de Kioto.
- Compañías que tienen compromisos voluntarios.

Adaptado de: (López Piñeros, 2013).

No existe un precio establecido de las CERs por el protocolo de Kyoto, por lo que se considera que una tonelada de CO₂ es equivalente a 1 CER, dependiendo de la negociación que se realice con el comprador, variando así los precios en función al proyecto, considerando si se trata de proyectos de alto riesgo, si se ofrece un pago por adelantado, o de inversión por parte del comprador (Morales & Vásquez, 2019).

Según López Piñeros (2013) los factores de mercado que se consideran como determinantes para el precio de los CERS son:

- Decisiones políticas e indicadores técnicos.
- Viabilidad del proyecto.
- Confianza de la entrega de las certificaciones y su potencialidad.
- Tipo de contrato
- Apoyo del país en donde se encuentre el proyecto.

3. Materiales y Métodos

Para la ejecución del trabajo se requirió el siguiente equipo necesario para la recolección de datos:

- 1 GPS
- 1 Hipsómetro
- 1 Cinta métrica
- 1 Cámara fotográfica
- Bitácoras de campo
- 2 Pares de botas de caucho
- 2 Impermeables personales
- Fundas pequeñas para la recolección de muestras

4. Metodología

4.1 Primera Etapa: Inventario Forestal

Para dar cumplimiento a la primera etapa se realizó un inventario forestal por existencias, metodología propuesta por la FAO (2017), que consiste en la recolección de información exacta abarcando el 100% del área de estudio, denominado también como censo comercial o inventario total pie a pie; esta metodología es escogida debido a que es la más factible en cuanto a los datos que se pueden obtener, como la cantidad de especies presentes, los tipos de especie y las características como es el diámetro a la altura del pecho y la altura total de los árboles, siendo estos datos indispensables a obtener para la siguiente etapa del trabajo, dentro de un límite de tiempo razonable a un bajo costo, esto permitió dar cumplimiento al primer objetivo específico del presente trabajo.

4.1.1 Criterios de selección de especies a inventariar

Para el inventario se tomó en cuenta únicamente especies arbóreas que superen la altura de 1.5 metros, evitando así el inventario de arbustos y árboles que puedan ser removidos por mantenimientos de la zona, además se tomarán en cuenta únicamente aquellos que se encuentren en buen estado físico visiblemente comprobable.

4.1.2 Caracterización botánica

Se realizó una recopilación de información in situ para la caracterización de los individuos, para ello se tomarán como base algunas guías botánicas como es la Guía de Especies Forestales Arbóreas y Arbustivas del Ecuador publicado por el MAE (2015) y la Guía de Árboles y Arbustos de los Ríos de Cuenca de Minga y Verdugo (2016), tomando en cuenta las similitudes entre las especies de flora de Cuenca y Azogues, en esta guía se ha encontrado a su vez información de utilidad para la zona de realización del trabajo.

4.1.3 Determinación de la diversidad y dominancia de especies

Posterior a la realización del inventario forestal, se determinó la diversidad de especies presentes en la zona, y a su vez las especies dominantes en la misma, para ello se aplicó los índices de diversidad de Shannon & Weaver (1949), siendo este uno de los más utilizados en ecología y agroforestería para la determinación de la diversidad de una zona en base al número de individuos de cada especie identificada y su proporción respecto al total de los individuos de todas las especies; para determinar si existe una dominancia de las especies y a su vez para contrastar con los resultados del índice de Shannon y Weaver.

4.1.3.1 Índice de Shannon-Wiener

Este índice fue desarrollado originalmente con el objetivo de medir la cantidad de información que se puede transmitir en un código, por ejemplo, en las señales telefónicas, sin embargo, por su principio de aplicación se ha convertido en una de las fórmulas de

cálculo más utilizadas en ecología y agroforestería para determinar cuantitativamente la diversidad biológica de una zona en específico (Somarriba, 1999), este es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i * \ln p_i \quad (1)$$

Donde:

- H= Índice de Shannon-Wiener
- p_i = Proporción de individuos de una especie con relación al total de individuos de todas las especies.

Para la calcular la proporción total de las especies se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

Donde:

- p_i = Proporción de individuos de una especie con relación al total de individuos de todas las especies.
- n_i = Número de individuos de una especie.
- N= Número total de individuos de todas las especies.

El valor del índice de Shannon-Wiener determina en términos cuantitativos la diversidad de una zona, por lo general va entre valores de 0,5 a 5, siendo considerados valores típicos entre 2 y 3, considerando todos aquellos valores inferiores a 2 como bajos en diversidad y superiores a 3 como altos en diversidad.

4.1.3.2 Frecuencia

La frecuencia es un valor que permite establecer el grado de precisión de aparición y distribución de una especie dentro de un área verde, mismo que permite la identificación significativa de presencia o ausencia en el área de muestreo (Cueva, 2015), utilizando para ello la siguiente ecuación.

$$fa = \frac{\text{Número de tramos en la que se encuentra la especie}}{\text{Total de Tramos}} \times 100 \quad (3)$$

Con base a este valor que se denomina frecuencia absoluta, se calcula la frecuencia relativa mediante la siguiente ecuación.

$$fr = \frac{fa}{\sum fa} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

- fr: Frecuencia relativa (%).
- fa: Frecuencia absoluta de la especie (%).
- $\sum fa$: Sumatoria de las frecuencias absolutas (%).

4.1.3.3 Dominancia por especie

A diferencia del índice de Simpson que determina el valor de la dominancia a nivel global del área de estudio, la dominancia por especie permite conocer la cobertura del área basal de cada especie y a su vez la relación con la sumatoria de todas las áreas basales de todas las especies (Cueva, 2015). Para ello se utiliza las siguientes ecuaciones, se requiere determinar la densidad absoluta de especies en #individuos/m², la densidad relativa en porcentaje y la dominancia relativa.

- Densidad absoluta:

$$D = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{área muestreada}} \times 100 \quad (5)$$

- Densidad relativa:

$$DR = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{total de individuos}} \times 100 \quad (6)$$

- Dominancia relativa

$$DmR = \frac{\text{Área Basal Especie}}{\text{Área Basal de Todas las Especies}} \times 100 \quad (7)$$

4.1.3.4 Índice de valor de importancia

Este índice según menciona Aguirre (2013), tiene el objetivo de obtener la proporción con respecto al porcentaje de las variables de dominancia relativa, frecuencia relativa y la densidad absoluta de cada especie. Según Cueva (2015), el valor del índice de importancia muestra la importancia ecológica relativa de cada especie muestreada, por lo que, entre más alto sea el valor del IVI, más dominante es ecológicamente.

$$IVI = \frac{DR + DmR + fr}{3} \quad (8)$$

Donde:

- IVI: Índice de valor de importancia (%)
- Densidad relativa (%)
- Dominancia relativa (%)
- fr: Frecuencia relativa (%)

4.2 Segunda Etapa: Cálculo de la Captura de Carbono

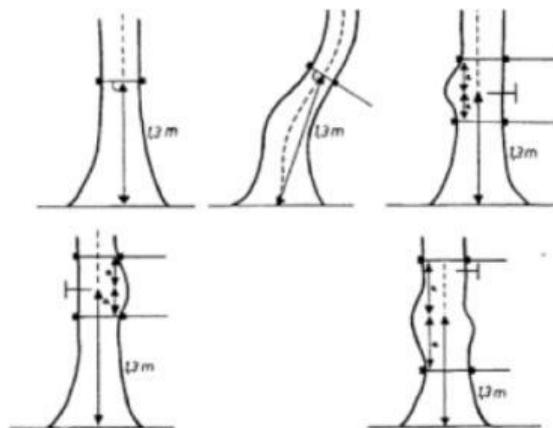
Para la estimación de la captura de carbono existen dos métodos, el método indirecto o no destructivo, y el método destructivo, para el presente estudio se aplicó el método no destructivo ya que este es basado en ecuaciones y cálculos en base a mediciones en campo, la metodología de este método permite calcular la biomasa y, por ende, la captación de carbono estimada de las especies determinadas en el inventario forestal realizado previamente. Se tomó en campo la circunferencia a la altura del pecho (CAP), necesaria para el cálculo del diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total, el área basal y la biomasa, con estos datos se obtuvo la captura de carbono en base a las variables recolectadas en el entorno.

Para ello se empleó la metodología del método no destructivo propuesta por Russo (2009), en la Guía Práctica para la Medición de la Captura de Carbono en la Biomasa Forestal publicado por la Universidad Earth de Costa Rica.

4.2.1 Diámetro a la altura del pecho (DAP)

La altura de medición según Prodan, et al. (1997) se denomina diámetro a la altura del pecho (DAP), misma que se calcula a partir de la medición directa en el árbol de la circunferencia a la altura del pecho (CAP). Considerando que, en árboles en pie, la altura normal representativa de un árbol se considera sobre 1,3 metros desde el nivel suelo, medidos sobre a pendiente, sin embargo, esto puede variar según la morfología del terreno donde se encuentre el árbol y a su vez la forma del tronco del mismo, ya que como se sabe este puede presentar irregularidades en cuanto a su geometría, esto se puede observar de manera resumida en la Figura 4, donde se presentan ciertas consideraciones para la toma de la CAP.

Figura 4. Consideraciones para la toma de la CAP.



Fuente: (Prodan et al., 1997).

Con una cinta métrica es posible tomar la medida de la CAP, misma que servirá como base para el cálculo del DAP mediante la siguiente ecuación:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (9)$$

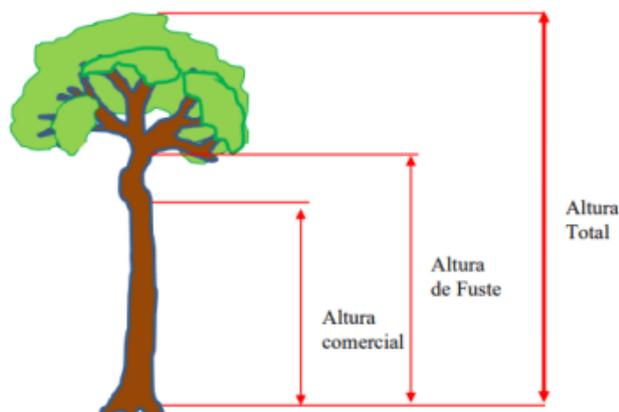
Donde:

- DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm).
- CAP= Circunferencia a la altura del pecho (cm).

4.2.2 Altura del árbol

Existen tres tipos de alturas según Cancino (2012), los mismos se observan en la Figura 5, las mismas son: Altura comercial, altura de fuste y altura total.

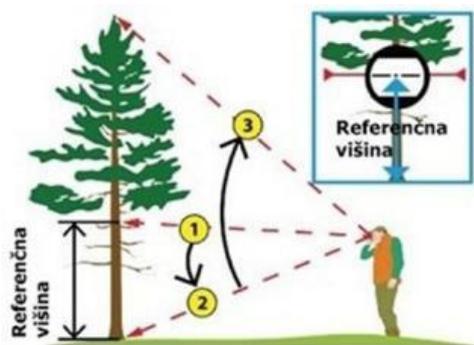
Figura 5. Diferentes alturas de un árbol



Fuente: (Grupo Gobernanza Forestal, 2014).

La altura total en este caso es la variable de interés para determinar la captura de carbono en cálculos posteriores, por lo que para la determinación de esta se requerirá como instrumentación un hipsómetro, siendo este un equipo de medición tipo óptico basados en principios geométricos y trigonométricos, el uso de estos equipos se debe a la dificultad que se presenta la medición directa con equipos como una cinta métrica por ejemplo, sobre todo en árboles cuyas alturas sobrepasan los 2 metros de alto (Prodan et al., 1997).

Figura 6. Referencia de medición con hipsómetro.



Fuente: Catalogo GIS IBÉRICA.

4.2.3 Área basal

Según Cancino (2012), una de las dimensiones empleadas con mayor frecuencia para caracterizar el estado de desarrollo de un árbol es el área basal, esta es definida como el

área de una sección transversal del fuste a 1,3 cm del suelo, esta variable no puede ser medida de forma directa debido a su forma irregular, por lo que se deriva de la medición del DAP, mediante la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{\pi * DAP^2}{4} \quad (10)$$

Donde:

- AB= Área Basal (cm²)
- DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm)

4.2.4 Volumen del árbol en pie

El volumen del árbol se considera como el espacio ocupado por la madera de un individuo arbóreo en metros cúbicos desde el tacón hasta el ápice del árbol, dependerá de la forma que tiene el tronco de cada árbol, la Figura 7 obtenida de la Guía de Cubicación de Madera de la Unión Europea detalla los factores forma a utilizar en la fórmula de cálculo del volumen del árbol en pie.

Figura 7. Factor forma según la forma del tronco de un árbol.

TIPO DENDROMÉTRICO DEL FUSTE	FACTOR DE FORMA
Cilíndrico 	$f \geq 0,75$
Paraboloide 	$0,74 \geq f \geq 0,4$
Cono 	$0,39 \geq f \geq 0,27$
Neiloide 	$f < 0,38$

Fuente: (Gutiérrez Rodríguez et al., 2013).

Para el cálculo del volumen de un árbol en pie se utiliza la siguiente ecuación (Jumbo et al., 2018).

$$V = AB * h * f \quad (11)$$

Dónde:

- V= Volumen del árbol en píce (cm³).
- AB= Área basal (cm²).
- h= Altura total (m).
- f= Factor de forma (valores en la Figura 7).

4.2.5 Cálculos de biomasa

Según afirma la FAO (2000), los cálculos de la biomasa de un espacio verde son fundamentales para la determinación de la captura de carbono y su potencial económico, previo a la determinación del carbono capturado, se requiere el valor de la biomasa verde aérea, la biomasa seca, la biomasa radicular y la biomasa total.

4.2.5.1 Biomasa aérea

Para este caso se aplican las constantes propuestas en el modelo matemático de Higuchi & Carvalho (1994), en base a los datos que se obtienen previamente, el DAP y las alturas totales de los árboles.

$$Bva = a * DAP^b * H^c \quad (12)$$

Donde:

- Bva= Biomasa verde área (Kg).
- DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm).
- H= Altura total (m).
- a= 0,026 (constante adimensional).
- b= 1,529 (constante adimensional).

- $c = 1,747$ (constante adimensional).

Este modelo propuesto por los autores mencionados es un modelo en base a una ecuación alométrica validada por muchos estudios científicos y ha sido utilizado en varias tesis realizadas, entre ellos se destacan (Morales & Vásquez, 2019; Muñoz & Vasquez, 2020; Pintado Corte & Astudillo Pacheco, 2021).

4.2.5.2 Biomasa radicular

Según el estudio realizado por Quinceno Urbina, et al. (2016), establece que la biomasa radicular es la que abarca la biomasa viva desde la raíz de un árbol, la misma se calcula tomando el 20% del peso de la biomasa área Bva.

4.2.5.3 Biomasa verde total

La biomasa verde total no es más que la suma de la biomasa área y la biomasa radicular, con este cálculo es posible determinar la biomasa seca.

$$Bvt = Bva + Bvr \tag{13}$$

Donde:

Bvt= Biomasa verde total (Kg).

Bva= Biomasa área (Kg).

Bvr= Biomasa radicular (Kg).

4.2.5.4 Biomasa seca

La biomasa seca según el estudio de Toscano Morales (2009) es aquella que se puede obtener de forma natural con humedad menor al 60%, de donde se deriva la siguiente ecuación para obtener el valor de la biomasa seca.

$$B_s = B_{vt} - \frac{B_{va} * 40}{100} \quad (14)$$

Donde:

- B_s = Biomasa seca (Kg).
- B_{vt} = Biomasa verde total (Kg).
- B_{va} = Biomasa aérea (Kg).

Este es el último paso para la determinación de la captura de carbono.

4.2.6 Captura de Carbono

Para el cálculo de la captura de carbono se pretende seguir una serie de cálculos en base a los cálculos previamente obtenidos mediante el uso de factores ponderales determinados por diferentes autores.

4.2.6.1 Carbono aéreo

El valor de la biomasa seca se debe multiplicar por 0,5, este factor es propuesto por la IPCC (2003), mediante una ponderación específica entre el contenido de carbono radicular, ramas, fuste y hojas.

$$CAT = B_s * 0,5 \quad (15)$$

Donde:

- CAT = Carbono aéreo total (Kg).
- Biomasa seca (Kg).

4.2.6.2 Carbono radicular

Para la obtención del carbono radicular mediante un método indirecto se relaciona el carbono aéreo con la media entre la biomasa baja o sobre el suelo, se pondera en un valor de 0,24 y se calcula mediante la siguiente ecuación (IPCC, 2003):

$$CR = CAT * 0,24 \quad (16)$$

Donde:

- CR= Carbono radicular (Kg).
- CAT= Carbono aéreo total (Kg).

4.2.6.3 Carbono total

El carbono total es la suma entre el carbono aéreo total y el carbono radicular, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CT = CAT + CR \quad (17)$$

Donde:

- CT= Carbono total (Kg).
- CAT= Carbono aéreo total (Kg).
- CR= Carbono radicular (Kg).

4.2.6.4 Conversión a toneladas de CO₂ equivalentes

El IPCC (2003) establece una relación base para la conversión del carbono almacenado en la biomasa a CO₂ equivalente, esta es la obtención de un factor que es el cociente entre el peso atómico del CO₂ (43,99915 gr/mol) y el peso atómico del carbono elemental

(12,001115 gr/mol), tomando todos los decimales para obtener un factor lo más exacto posible de 3,6663, este valor se utiliza en la siguiente ecuación:

$$Ton\ de\ CO_2 = \frac{CT * 3,6663}{1000} \quad (18)$$

Donde:

- Ton de CO₂= Equivalencia del carbono capturado en toneladas de CO₂ (Ton).
- CT= Carbono total (Kg).

4.3 Tercera Etapa: Valoración Económica de la Captura de Carbono

4.3.1 Valor económico estimado del CO₂ capturado

Para calcular la estimación del valor económico del dióxido de carbono capturado se utilizó la siguiente ecuación (Morales & Vásquez, 2019; Muñoz & Vasquez, 2020; Sosa Castillo, 2016). Se multiplica la cantidad de dióxido de carbono capturado por el precio ofertado por una tonelada de este gas en el mercado electo.

$$Ve = CO_2 \times Precio\ del\ mercado \quad (19)$$

Donde:

- Ve: Valor económico de carbono capturado [\$].
- CO₂: Dióxido de carbono capturado [Ton].

4.3.2 Posibles escenarios en los cuales se conseguirán ganancias por la captura de carbono

Con relación a los mercados de carbono existen dos, mercado Kioto o de cumplimiento regulado que está manejado por sistemas obligatorios de disminución de carbono tanto nacionales como internacionales, este mercado abarca para empresas y gobiernos que están obligados a dar información sobre las emisiones de gases contaminantes. Por otra

parte, el otro mercado denominado mercado no Kioto o voluntario, son aquellos que funcionan, pero no de manera obligatoria, principalmente son contratados por el sector privado (FAO, 2010).

Sin embargo, cabe destacar que los dos mercados tienen diferencias notorias por ejemplo en 2008 en el mercado de cumplimiento regulado se comercializó 119.000 millones de dólares y en el mercado voluntario se comercializó 704 millones de dólares (Muñoz & Vasquez, 2020).

A continuación, se detalla el beneficio monetario proveniente del pago de entidades u organizaciones que pertenecen a los diferentes tipos de mercado.

Tabla 1. Organizaciones de mercado no Kioto o voluntario

Organización	Origen	Precio tonelada métrica de CO₂ (\$)	Página web
Carbonfund	New York, EE. UU.	32,00	https://carbonfund.org/

Fuente: Autores (2022).

Tabla 2. Organizaciones de mercado Kioto o de cumplimiento regulado

Organización	Origen	Precio tonelada métrica de CO₂	Página web
Alberta SGER	Alberta, Canadá	50,00	https://www.alberta.ca/index.aspx
SENDECO2	Barcelona, España	85,61	https://www.sendeco2.com/es
California Air Resources Board	California, EE. UU.	59,17	https://ww2.arb.ca.gov/es
OMF CommTrade	Nueva Zelanda	85,00	https://www.comtrade.co.nz/

Fuente: Autores (2022).

4.3.3 Proyección de ingresos y egresos

4.3.3.1 Ingresos

Los ingresos son los resultados obtenidos en la valoración económica de la captura de carbono de especies nativas como introducidas identificadas en las riberas del río Burgay que suponen un beneficio económico, estableciéndose para esta proyección dos escenarios, el mercado de Kioto o de cumplimiento regulado y el mercado de voluntario o de no Kioto, en cada escenario se eligió una entidad.

- **Escenario 1: Mercado de Kioto o de cumplimiento regulado (Opción más optimista)**

Se eligió a la entidad española SENDECO₂, como la opción más optimista en donde la media del precio de tonelada métrica de CO₂ en el último año es de \$85,61, además de ser una empresa con una reconocida y amplia trayectoria en la negociación de CO₂, siendo accesible tanto para pequeñas como grandes empresas y proyectos de diferentes magnitudes.

- **Escenario 2: Mercado de Kioto o de cumplimiento regulado (Opción menos optimista)**

Se eligió la entidad canadiense Alberta SGER como la opción menos optimista en cuanto a los mercados de cumplimiento debido a que es el mercado con valor actual por tonelada de CO₂ más bajo, con un valor de \$50,00 por tonelada de CO₂, esta entidad lleva activa desde el año 2004 y es reconocida a nivel de Norteamérica y Centroamérica.

- **Escenario 3: Mercado de no Kioto o de cumplimiento voluntario**

Se eligió específicamente a la entidad americana Carbonfund, actualmente el precio de la tonelada métrica de CO₂ dentro del mercado de cumplimiento voluntario se

encuentra en \$32, debido a que es una entidad que maneja proyectos de compensación de carbono y de reforestación forestal y cumple con estándares muy exigentes de la industria, además de ser entre las más reconocidas, una organización confiable y con una larga trayectoria, lleva activa desde el año 2003 en la negociación de compra-venta de CO₂.

4.3.3.2 Egresos

Para poder realizar un análisis costo – beneficio se solicitó al GAD Municipal de Azogues los egresos que se generan por la unidad de mantenimiento de parques y jardines, ya que estos son los encargados del mantenimiento realizado en las riberas del río Burgay, se solicitó los egresos anuales generados desde el año 2018 al año 2022.

Tabla 3. Egresos del año 2018 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.

Egresos Año 2018		
Detalle	Valor Mensual	Valor Anual
Salarios	\$6.732,00	\$80.784,00
Fondos de reserva	\$483,00	\$5.796,00
Subsidio de antigüedad	\$234,00	\$2.808,00
Subsidio familiar	\$48,00	\$576,00
Transporte	\$60,00	\$720,00
Alimentación	\$663,00	\$7.956,00
Aportaciones al IESS	\$548,40	\$6.580,80
Retención judicial	\$1.200,00	\$14.400,00
Quirografario	\$1.029,60	\$12.355,20
Sindicatos	\$270,00	\$3.240,00
TOTAL GASTOS DE PERSONAL	\$11.268,00	\$135.216,00
Mantenimiento de Maquinaria	\$625,00	\$7.500,00
Adquisición de equipos		\$8.000,00
Adquisición de especies		\$1.200,00
Fertilizantes		\$1.200,00
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO	\$17.900,00	
TOTAL EGRESOS	\$153.116,00	

Fuente: GAD Municipal de Azogues (2022).

Tabla 4. Egresos del año 2019 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.

Egresos Año 2019		
Detalle	Valor Mensual	Valor Anual
Salarios	\$7.293,00	\$87.516,00
Fondos de reserva	\$555,49	\$6.665,88
Subsidio de antigüedad	\$275,60	\$3.307,20
Subsidio familiar	\$52,00	\$624,00
Transporte	\$84,50	\$1.014,00
Alimentación	\$780,00	\$9.360,00
Aportaciones al IESS	\$616,85	\$7.402,20
Retención judicial	\$1.430,00	\$17.160,00
Quirografario	\$1.118,00	\$13.416,00
Sindicatos	\$327,60	\$3.931,20
TOTAL GASTOS DE PERSONAL	\$12.533,04	\$150.396,48
Mantenimiento de Maquinaria	\$650,00	\$7.800,00
Adquisición de equipos		\$4.000,00
Adquisición de especies		\$2.200,00
Fertilizantes		\$2.000,00
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO		\$16.000,00
TOTAL EGRESOS		\$166.396,48

Fuente: GAD Municipal de Azogues (2022).

Tabla 5. Egresos del año 2020 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.

Egresos Año 2020		
Detalle	Valor Mensual	Valor Anual
Salarios	\$5.500,00	\$66.000,00
Fondos de reserva	\$550,00	\$6.600,00
Subsidio de antigüedad	\$327,80	\$3.933,60
Subsidio familiar	\$55,00	\$660,00
Transporte	\$55,00	\$660,00
Alimentación	\$1.375,00	\$16.500,00
Aportaciones al IESS	\$693,00	\$8.316,00
Retención judicial	\$2.024,44	\$24.293,28
Quirografario	\$1.375,00	\$16.500,00
Sindicatos	\$308,00	\$3.696,00
TOTAL GASTOS DE PERSONAL	\$12.263,24	\$147.158,88
Mantenimiento de Maquinaria	\$500,00	\$6.000,00
Adquisición de equipos		\$7.000,00
Adquisición de especies		\$500,00

Fertilizantes	\$500,00
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO	\$14.000,00
TOTAL EGRESOS	\$161.158,88

Fuente: GAD Municipal de Azogues (2022).

Tabla 6. Egresos del año 2021 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.

Egresos Año 2021		
Detalle	Valor Mensual	Valor Anual
Salarios	\$6.171,00	\$74.052,00
Fondos de reserva	\$514,03	\$6.168,36
Subsidio de antigüedad	\$319,55	\$3.834,60
Subsidio familiar	\$55,00	\$660,00
Transporte	\$88,00	\$1.056,00
Alimentación	\$880,00	\$10.560,00
Aportaciones al IESS	\$605,00	\$7.260,00
Retención judicial	\$2.024,44	\$24.293,28
Quirografario	\$1.320,00	\$15.840,00
Sindicatos	\$320,32	\$3.843,84
TOTAL GASTOS DE PERSONAL	\$12.297,34	\$147.568,08
Mantenimiento de Maquinaria	\$700,00	\$8.400,00
Adquisición de equipos		\$9.000,00
Adquisición de especies		\$1.500,00
Fertilizantes		\$1.500,00
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO	\$20.400,00	
TOTAL EGRESOS	\$167.968,08	

Fuente: GAD Municipal de Azogues (2022).

Tabla 7. Egresos del año 2022 por parte del GAD Municipal para el mantenimiento de parques y jardines de la ciudad de Azogues.

Egresos Año 2022		
Detalle	Valor Mensual	Valor Anual
Salarios	\$7.854,00	\$94.248,00
Fondos de reserva	\$654,22	\$7.850,64
Subsidio de antigüedad	\$353,50	\$4.242,00
Subsidio familiar	\$56,00	\$672,00
Transporte	\$112,00	\$1.344,00
Alimentación	\$1.064,00	\$12.768,00
Aportaciones al IESS	\$742,14	\$8.905,68

Retención judicial	\$2.576,56	\$30.918,72
Quirografario	\$1.302,00	\$15.624,00
Sindicatos	\$371,00	\$4.452,00
TOTAL GASTOS DE PERSONAL	\$15.085,42	\$181.025,04
Mantenimiento de Maquinaria	\$700,00	\$8.400,00
Adquisición de equipos		\$6.000,00
Adquisición de especies		\$2.000,00
Fertilizantes		\$1.500,00
TOTAL GASTOS DE MANTENIMIENTO	\$17.900,00	
TOTAL EGRESOS	\$198.925,04	

Fuente: GAD Municipal de Azogues (2022).

4.3.3.3 Egresos correspondientes al mantenimiento de las riberas del río Burgay

Los egresos solicitados corresponden a los que se destinan para el mantenimiento de todos los parques y jardines de Azogues, es decir para un total de 94,25 Ha, extensión que incluye tanto las riberas del río Burgay como parques, plazas, parterres y jardineras de calles y avenidas, taludes, distribuidores y redondeles y jardines de edificios y locales que pertenecen al GAD Municipal, por lo que considerando esto, los egresos totales para la extensión del área de estudio de 16,63 Ha se presentan a continuación.

Tabla 8. Egresos en el periodo 2018-2022 correspondientes al mantenimiento de las riberas del río Burgay.

Año	Egresos totales para todos los parques y jardines de la ciudad de azogues	Egresos totales para el mantenimiento de las riberas del río Burgay dentro de la ciudad de Azogues
2018	\$153.116,00	\$27.016,65
2019	\$166.396,48	\$29.359,93
2020	\$161.158,88	\$28.435,78
2021	\$167.968,08	\$29.637,23
2022	\$198.925,04	\$35.099,45

Fuente: Autores (2022).

4.3.4 Análisis Costo-Beneficio

Para realizar el análisis costo beneficio se tomaron en cuenta los índices de rentabilidad VAN (Valor actual neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y la relación costo-beneficio (B/C) que se darían en el caso de realizar una negociación de venta de bonos de carbono de las especies de las riberas del río Burgay.

Estos índices se aplican en base a parámetros establecidos.

4.3.4.1 Inversión inicial (I_0)

Hace referencia al capital necesario para la puesta en marcha de un proyecto, para determinar la inversión inicial se han tomado en cuenta aspectos importantes como son permisos locales, aspectos necesarios para la consolidación de la iniciativa, publicidad, capital de trabajo, entre otros costos indirectos.

Se tomó como referencia a la inversión inicial de (Aguirre et al., 2017; Morales & Vásquez, 2019).

Tabla 9. Determinación de la inversión inicial previa a la valoración económica del CO_2 capturado.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Total USD
Permisos Locales			1900
Permisos de operación	1	280	280
Patentes Municipales	1	120	120
Constitución	1	1500	1500
Consolidación de la Iniciativa			52600
Quito: Coordinación con el MAATE	4	400	1600
Diseño e implementación del sistema de monitoreo de CO_2 capturado	1	30000	30000
Consultoría para la estructura y gestión de una base de datos de almacenamiento de CO_2	1	6000	6000

Feria para la promoción del mercado del carbono en las riberas del río Burgay.	1	10000	10000
Talleres y discusión de la iniciativa (mesas de diálogo)	1	5000	5000
Gastos Publicitarios			2500
Diseño de publicidad Web	1	500	500
Imagen corporativa	1	1000	1000
Publicidad impresa (trípticos, pancartas)	500	2	1000
Capacitaciones			5000
Mercados de carbono	1	2500	2500
Gerencia y comercialización	1	2500	2500
Capital de Trabajo			27400
Gerente General	1	4000	4000
Técnico Senior	1	2400	2400
Técnico Junior	1	1800	1800
Asistente administrativo	2	600	1200
Gerente de campo	1	4000	4000
Técnicos de campo	5	1400	7000
Técnicos comunitarios	5	1400	7000
Costos Indirectos			5520
Mantenimiento de las riberas del río Burgay	12	460	5520
TOTAL INVERSIÓN INICIAL			92420

Fuente: Adaptado de (Aguirre et al., 2017; Morales & Vásquez, 2019).

4.3.4.2 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto es un indicador financiero utilizado para medir los ingresos y egresos que tendrá un proyecto en un futuro, de esta forma permite representar la utilidad que tendrá un inversionista una vez recuperada su inversión inicial (Martinez, 2002).

La ecuación utilizada para el cálculo es la siguiente (Marcillo, 2002).

$$VAN = -Inversión + \sum_{n=0}^N \frac{In-En}{(1+i)^t} \quad (20)$$

Donde:

- VAN: Valor Neto Actual.

- In: Ingresos.
- En: Egresos.
- i: Tasa de descuento
- t: Tiempo proyectado en años

La regla del VAN establece que:

- Si $VAN > 0$: Indica que existe un beneficio generado por el proyecto.
- Si $VAN = 0$: Indica que no existen beneficios ni pérdidas por el proyecto.
- Si $VAN < 0$: Indica que existen pérdidas por el proyecto, lo cual indica que este no es viable (Mete, 2014).

Según Castillo & Zhangallimbay (2021), en una publicación de la “CEPAL REVIEW”, la tasa de descuento vigente para el país se encuentra entre el 10 al 12%, por lo cual el valor seleccionado para la aplicación del VAN es del 12%.

4.3.4.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa que permite descontar los flujos netos de operación e igualarlos a la inversión inicial, es decir, se define como el valor de la tasa de interés que hace que el VAN sea igual a cero (J. Burbano, 2005; Mete, 2014).

La ecuación para el cálculo del TIR es la ecuación del VAN igualada a cero, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$TIR = -Inversión + \sum_{n=0}^N \frac{In-En}{(1+i)^t} = 0 \quad (21)$$

Donde:

- TIR: Tasa interna de Retorno (%).

- In: Ingresos.
- En: Egresos.
- i : Tasa de descuento
- t : Tiempo proyectado en años

La regla del TIR establece que:

- $TIR > i$: Se aprueba el proyecto.
- $TIR = i$: El proyecto no genera pérdidas ni ganancias.
- $TIR < i$: Se rechaza el proyecto (Mete, 2014; Solé Madrigal, 2011).

4.3.4.4 Relación Costo-Beneficio (B/C)

La relación Costo-Beneficio es definida como una metodología utilizada para la valoración de costos y beneficios que conlleva un proyecto con el principal objetivo de determinar la viabilidad de este, esta relación debe ser expresada en unidades monetarias (Ortega Aguaza, 2012). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC + I_0} \quad (22)$$

Donde:

- VAI: Valor actual de los ingresos netos.
- VAC: Valor actual de los egresos.
- I_0 = Inversión inicial

La interpretación de la B/C es:

- Si $B/C > 1$: El proyecto es viable a ejecutarse debido a los beneficios que se obtienen tras su ejecución son mayores a los costos.

- Si $B/C = 1$: El proyecto es indiferente a que se ejecute o no debido a que los beneficios son iguales a los costos.
- Si $B/C < 1$: El proyecto no es viable a ejecutarse debido a que los costos son mayores a los beneficios (Guerrero Candel, 2014; Munera Arenas, 2006).

4.4 Cuarta Etapa: Elaboración de una Propuesta de Manejo Ambiental de las Riberas del Río Burgay

Para la presente etapa del trabajo de titulación, con los datos de inventario forestal y captura de carbono tomando en cuenta una serie de problemas identificados en el área de estudio durante la elaboración del trabajo, realizó una propuesta de manejo ambiental con una serie de medidas propuestas al GAD Municipal de Azogues para una mejor gestión de las riberas del río Burgay, mismas que se estructuran de la siguiente manera:

- Medida Propuesta
- Objetivos
- Medio de Verificación
- Plazo
- Presupuesto

Cada propuesta cuenta con su fundamentación y el detalle de los beneficios que traerán consigo para la población tras su ejecución.

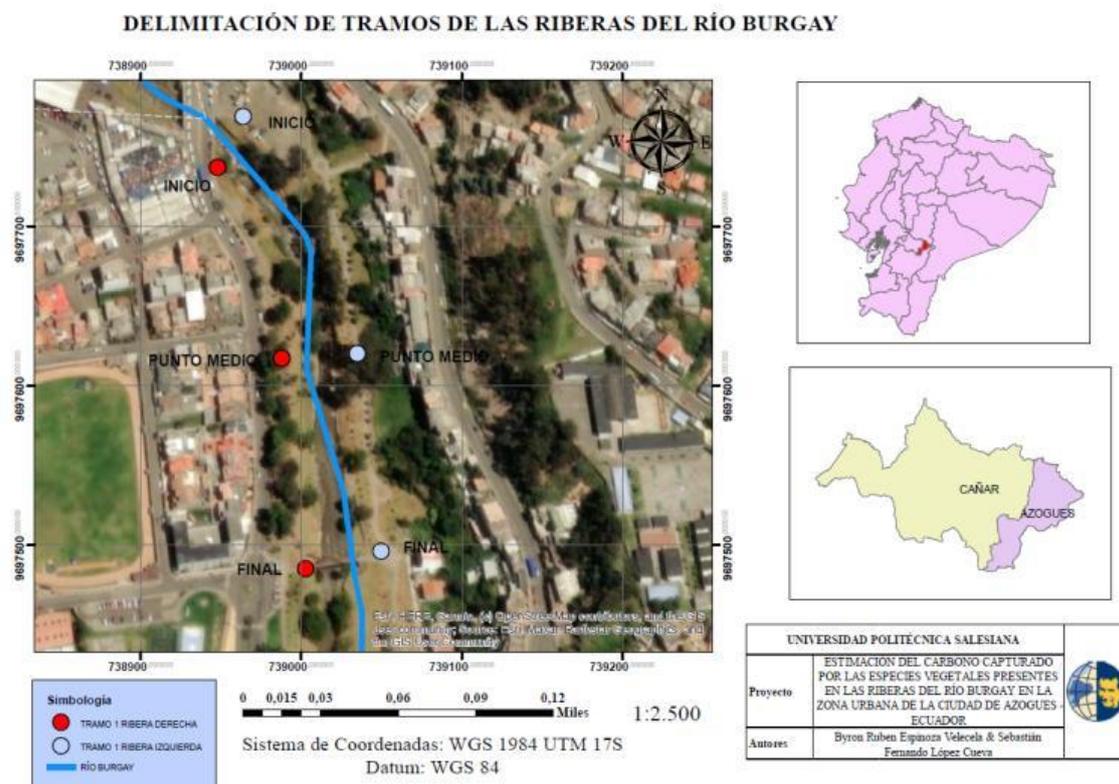
5. Resultados y Discusión

5.1 Delimitación de tramos de la zona de estudio

La zona de estudio fue dividida en 6 tramos por cada lado de la ribera del río Burgay, a continuación, se presentan las secciones en las cuales se dividió la misma.

- **Tramo 1:**

Figura 8. Delimitación del primer tramo.



Fuente: Autores (2022).

El tramo uno inicia desde el antiguo “Mercado Sucre” hasta el “Colegio Roberto Rodas”.

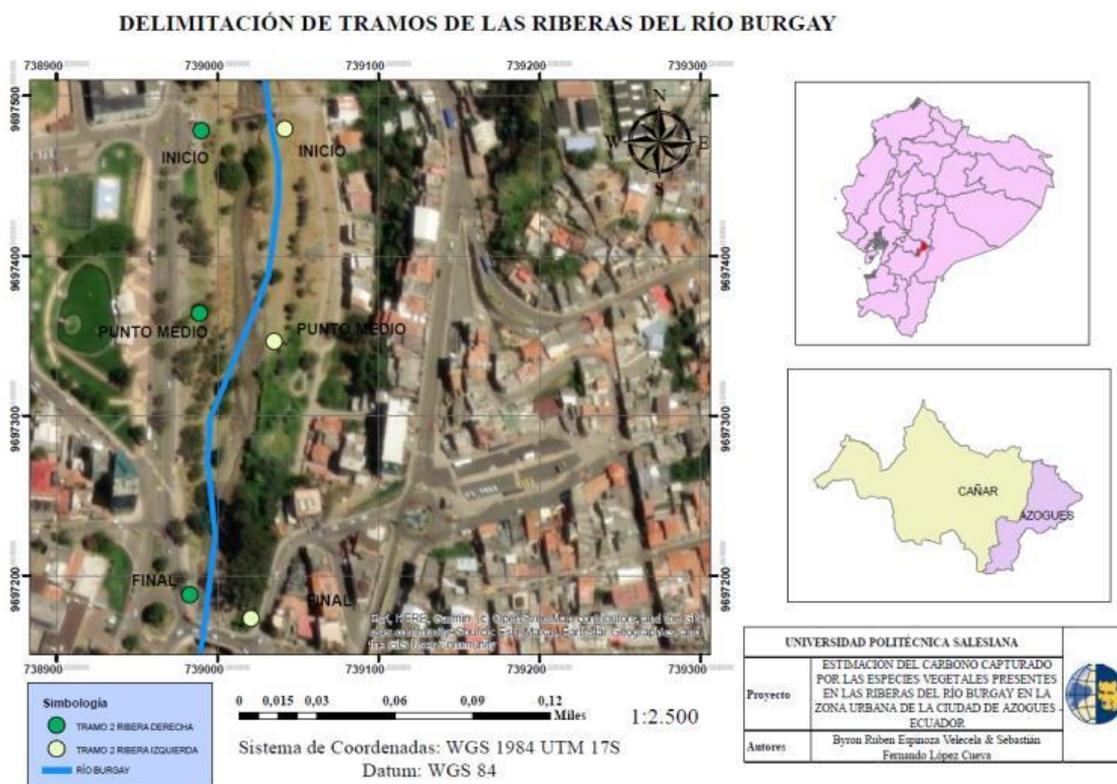
Tabla 10. Coordenadas del Tramo 1.

Coordenadas Ribera Derecha			Coordenadas Ribera Izquierda		
X	Y	Descripción	X	Y	Descripción
738988	9697617	INICIO	738964	9697769	INICIO
		PUNTO			PUNTO
739003	9697485	MEDIO	739035	9697620	MEDIO
738948	9697737	FINAL	739369	9695001	FINAL

Fuente: Autores (2022).

- **Tramo 2:**

Figura 9. Delimitación del segundo tramo.



Fuente: Autores (2022).

El segundo tramo va desde el puente del colegio “Roberto Rodas” hasta el hospital “Homero Castañer”.

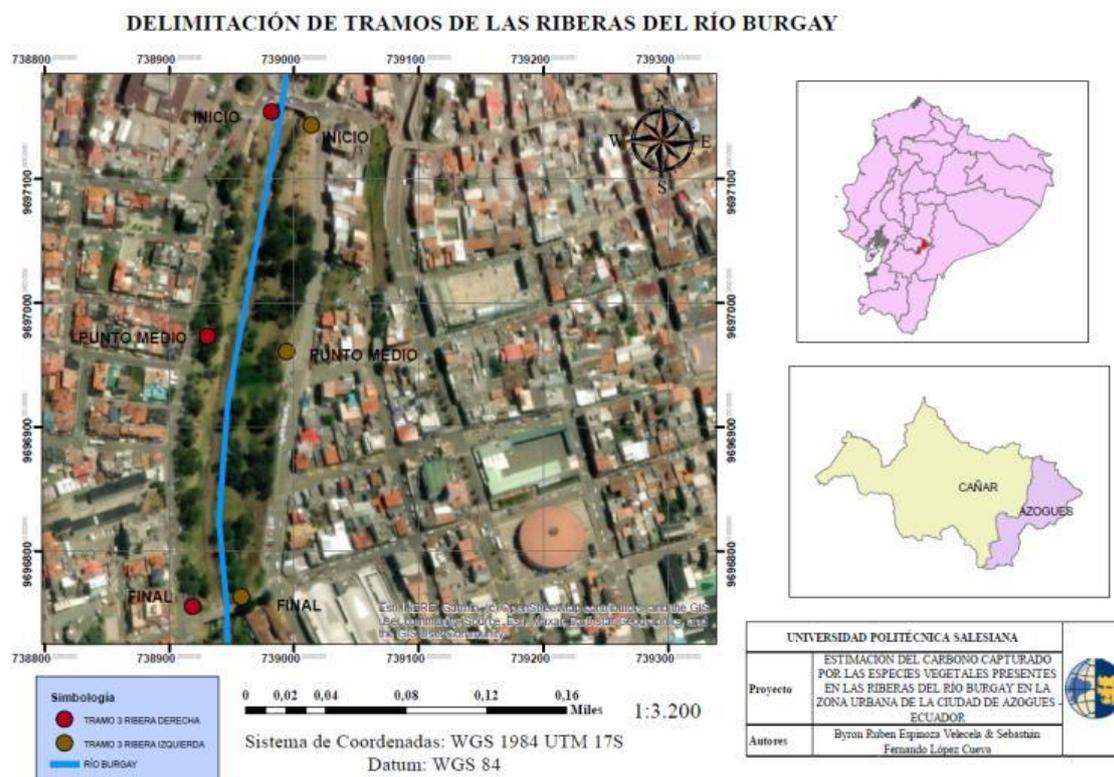
Tabla 11. Coordenadas del tramo 2.

Coordenadas Ribera Derecha			Coordenadas Ribera Izquierda		
X	Y	Descripción	X	Y	Descripción
738990	9697478	INICIO	739042	9697479	INICIO
		PUNTO			PUNTO
738989	9697364	MEDIO	739027	9697287	MEDIO
738983	9697188	FINAL	739021	9697173	FINAL

Fuente: Autores (2022).

- **Tramo 3:**

Figura 10. Delimitación del tercer tramo.



Fuente: Autores (2022).

El tercer tramo inicia desde el hospital “Homero Castañer” hasta el puente del recinto ferial.

Tabla 12. Coordenadas del tramo 3.

Coordenadas Ribera Derecha			Coordenadas Ribera Izquierda		
X	Y	Descripción	X	Y	Descripción
738982	9697154	INICIO	739014	9697143	INICIO
		PUNTO			PUNTO
738931	9696973	MEDIO	739005	9696997	MEDIO
738919	9696755	FINAL	738958	9696763	FINAL

Fuente: Autores (2022).

- **Tramo 4:**

Figura 11. Delimitación del cuarto tramo.



Fuente: Autores (2022).

El cuarto tramo inicia pasando el puente del recinto ferial y termina hasta el centro comercial “La Playa Mega Store”.

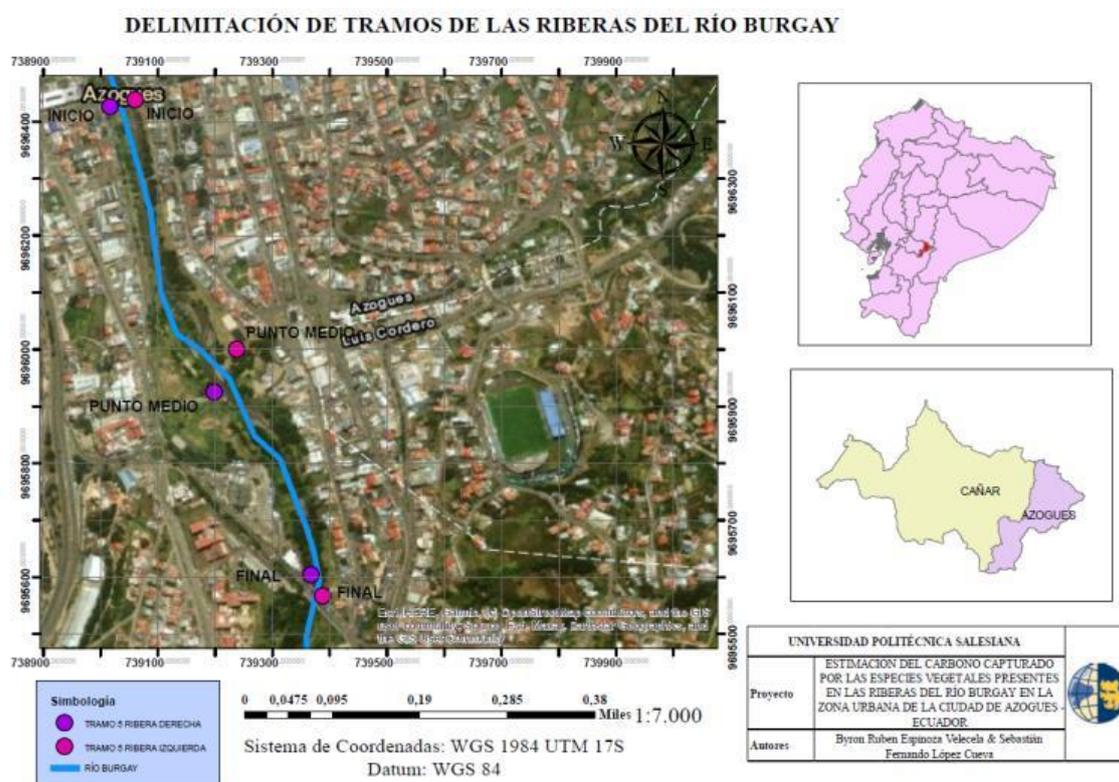
Tabla 13. Coordenadas del tramo 4.

Coordenadas Ribera Derecha			Coordenadas Ribera Izquierda		
X	Y	Descripción	X	Y	Descripción
738921	9696743	INICIO	738961	9696744	INICIO
		PUNTO			PUNTO
738931	9696613	MEDIO	738999	9696552	MEDIO
739007	9696443	FINAL	739050	9696454	FINAL

Fuente: Autores (2022).

- Tramo 5:

Figura 12. Delimitación del quinto tramo.



Fuente: Autores (2022).

El quinto tramo inicia pasando el centro comercial “La Playa Mega Store” hasta la Universidad Católica de Cuenca sede Azogues.

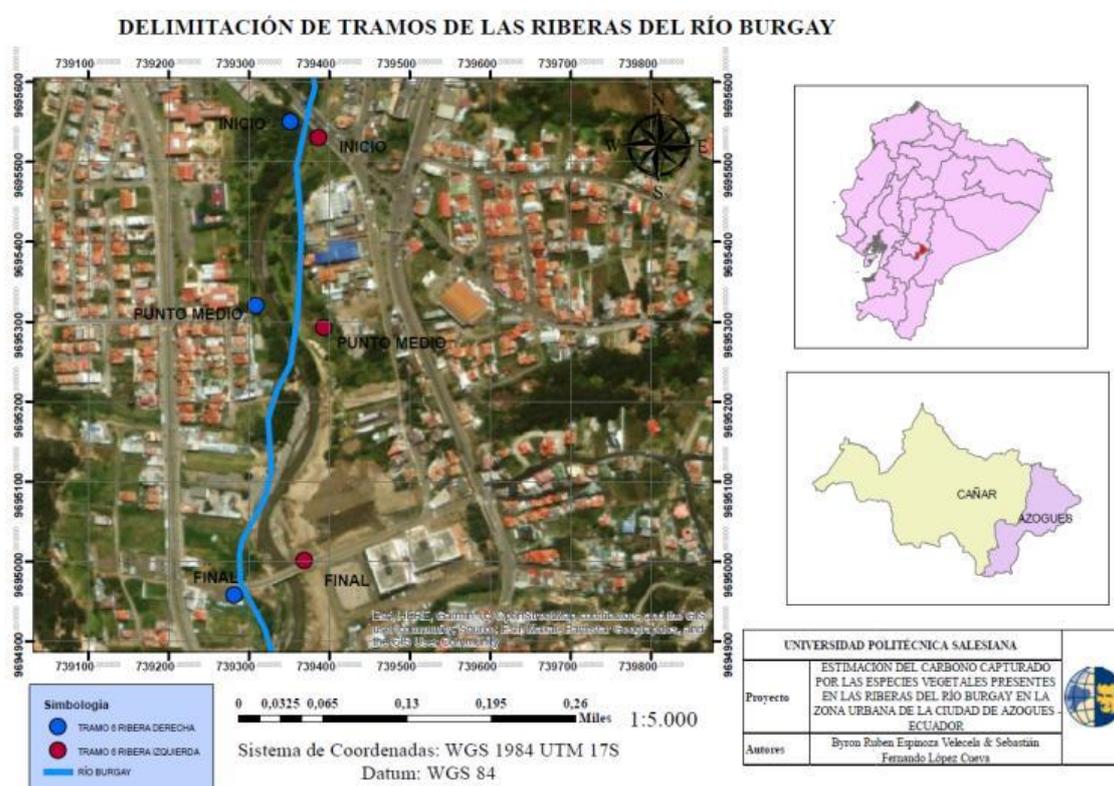
Tabla 14. Coordenadas tramo 5.

Coordenadas Ribera Derecha			Coordenadas Ribera Izquierda		
X	Y	Descripción	X	Y	Descripción
739017	9696426	INICIO	739061	9696438	INICIO
		PUNTO			PUNTO
739199	9695925	MEDIO	739238	9696000	MEDIO
739368	9695604	FINAL	739388	9695567	FINAL

Fuente: Autores (2022).

- Tramo 6:

Figura 13. Delimitación del sexto tramo.



Fuente: Autores (2022).

El sexto y último tramo inicia desde la Universidad Católica de Cuenca sede Azogues, hasta el nuevo complejo comercial.

Tabla 15. Coordenadas del tramo 6.

Coordenadas Ribera Derecha			Coordenadas Ribera Izquierda		
X	Y	Descripción	X	Y	Descripción
739364	9695582	INICIO	739387	9695530	INICIO
		PUNTO			PUNTO
739309	9695320	MEDIO	739396	9695234	MEDIO
739282	9694958	FINAL	739369	9695001	FINAL

Fuente: Autores (2022).

5.2 Primera etapa: Inventario Forestal

En la presente sección se detallan los resultados recogidos en campo del inventario forestal de la zona de estudio, tales como nombre común, nombre científico, familia y el número de individuos registrados de cada especie.

5.2.1 Árboles inventariados en las riberas del río Burgay

En la Tabla 16 se detallan las especies arbóreas inventariadas, registrando un número total de 2620 individuos, distribuidos en 29 especies pertenecientes a 18 familias en todo el tramo que comprende ambas riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues.

Tabla 16. Especies arbóreas inventariadas en las riberas del río Burgay.

Número	Nombre Común	Nombre Científico	Familia
1	Acacia Común	<i>Acacia dealbata</i>	Fabaceae
2	Acacia Morada	<i>Acacia baileyana</i>	Fabaceae
3	Acacia Negra	<i>Acacia melanoxylon</i>	Fabaceae
4	Acacia Plateada	<i>Acacia retinodes</i>	Fabaceae
5	Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae
6	Álamo Blanco	<i>Populus alba</i>	Salicaceae
7	Álamo Coreano	<i>Populus tremula</i>	Salicaceae
8	Aliso Común	<i>Alnus acuminata</i>	Betulaceae
9	Arrayán	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	Myrtaceae
10	Capulí	<i>Prunus serónita</i>	Muntingiaceae
11	Cedro Clavel	<i>Cedrela montana</i>	Meliaceae
12	Cepillo Blanco	<i>Callistemon salignus</i>	Myrtaceae
13	Cepillo Rojo	<i>Callistemon citrinus</i>	Myrtaceae
14	Cereza Magenta	<i>Syzygium paniculatum</i>	Myrtaceae
15	Ciprés	<i>Cupressus sempervirens</i>	Cupressaceae
16	Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Myrtaceae
17	Falso Pimentero (Molle)	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae
18	Guaba	<i>Inga insignis</i>	Leguminosae
19	Guabisay	<i>Podocarpus sprucei</i>	Podocarpaceae
20	Guaje	<i>Albizia lophanta</i>	Fabaceae
21	Guarán Amarillo	<i>Tecoma stans</i>	Bigoniaceae
22	Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifilia</i>	Bigoniaceae

23	Nogal	<i>Juglans neotropica</i>	Juglandaceae
24	Pino Común	<i>Pinus sylvestris</i>	Pinaceae
25	Pino de Brazos	<i>Araucaria araucana</i>	Araucariaceae
26	Roble Australiano	<i>Grevillea robusta</i>	Protaceae
27	Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	Salicaceae
28	Tilo Blanco	<i>Sambucus mexicana</i>	Adoxaceae
29	Yuca Pie de Elefante	<i>Yucca elephantipes</i>	Asparagaceae

Fuente: Autores (2022).

Figura 14. Abundancia de especies en las riberas del río Burgay.



Fuente: Autores (2022).

En la Figura 14 se puede observar la abundancia por individuos de cada especie, donde se puede observar una mayor abundancia de las especies *Schinus molle*, con un 21,75% del total de los individuos inventariados y *Salix humboldtiana* con un 15,99% del total de los individuos inventariados, siendo estas las especies más representativas respecto al total de las especies inventariadas, seguidas de la *Acacia dealbata* (15,49%), *Tecoma*

stans (5,83%), *Eucalyptus globulus* (5,38%), *Grevillea robusta* (4,92%), *Acacia retinodes* (4,27%) y *Acacia baileyana* (3,96%). Por el contrario, 21 especies presentaron menos de 100 individuos, representando un porcentaje de 22,36%.

5.2.2 Diversidad de especies en las riberas del río Burgay

Para determinar la diversidad de especies se aplicó el índice de Shannon–Wiener, realizando las respectivas ponderaciones aplicando las ecuaciones (1) y (2) se obtuvo que un valor del índice de 2,575, lo cual según la teoría indica que la diversidad se encuentra dentro del rango típico entre 2 y 3, siendo valores mayores a 3 considerados como alta diversidad y menores a 2 como baja diversidad, por lo que se podría decir que la ribera del río Burgay presenta una diversidad media de especies arbóreas.

Tabla 17. Determinación del Índice de Shannon-Wiener.

Especie	Individuos	Pi	Pi*LnPi
<i>Araucaria araucana</i>	1	0,0004	-0,003
<i>Cupressus sempervirens</i>	2	0,0008	-0,005
<i>Persea americana</i>	3	0,0011	-0,008
<i>Juglans neotropica</i>	3	0,0011	-0,008
<i>Sambucus mexicana</i>	5	0,0019	-0,012
<i>Pinus sylvestris</i>	9	0,0034	-0,019
<i>Cedrela montana</i>	10	0,0038	-0,021
<i>Inga insignis</i>	14	0,0053	-0,028
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	19	0,0073	-0,036
<i>Syzygium paniculatum</i>	19	0,0073	-0,036
<i>Yucca elephantipes</i>	19	0,0073	-0,036
<i>Albizia lophanta</i>	21	0,0080	-0,039
<i>Callistemon salignus</i>	23	0,0088	-0,042
<i>Alnus acuminata</i>	35	0,0134	-0,058
<i>Acacia melanoxylon</i>	37	0,0141	-0,060
<i>Populus tremula</i>	44	0,0168	-0,069
<i>Prunus serónita</i>	44	0,0168	-0,069
<i>Podocarpus sprucei</i>	48	0,0183	-0,073
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	49	0,0187	-0,074
<i>Populus alba</i>	86	0,0328	-0,112
<i>Callistemon citrinus</i>	95	0,0363	-0,120
<i>Acacia baileyana</i>	104	0,0397	-0,128
<i>Acacia retinodes</i>	112	0,0427	-0,135
<i>Grevillea robusta</i>	129	0,0492	-0,148
<i>Eucalyptus globulus</i>	141	0,0538	-0,157

<i>Tecoma stans</i>	153	0,0584	-0,166
<i>Acacia dealbata</i>	406	0,1550	-0,289
<i>Salix Humboldtiana</i>	419	0,1599	-0,293
<i>Schinus Molle</i>	570	0,2176	-0,332
	2620	1,0000	-2,575

Fuente: Autores (2022).

5.2.3 Análisis del área basal de las especies

El área basal es una variable fundamental para la determinación de la dominancia de las especies, únicamente analizando la sumatoria de las áreas basales de los individuos de una especie se pueden sacar conclusiones previas al cálculo del IVI de que especies son las más dominantes dentro de una zona, en la Tabla 18 se muestran los resultados de la sumatoria de áreas basales de los individuos de cada especie encontrada y su porcentaje respecto a la sumatoria total.

Tabla 18. Análisis de áreas basales de las especies encontradas.

Especie	Área basal por especie (m²)	%AB por especie
<i>Acacia dealbata</i>	35,82	16,26
<i>Acacia baileyana</i>	5,31	2,41
<i>Acacia melanoxylon</i>	2,69	1,22
<i>Acacia retinodes</i>	7,83	3,55
<i>Persea americana</i>	0,21	0,09
<i>Populus alba</i>	2,51	1,14
<i>Populus tremula</i>	4,25	1,93
<i>Alnus acuminata</i>	1,33	0,60
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	0,71	0,32
<i>Prunus serotina</i>	0,99	0,45
<i>Cedrela montana</i>	0,50	0,23
<i>Callistemon salignus</i>	0,36	0,17
<i>Callistemon</i>	1,66	0,75
<i>Syzygium paniculatum</i>	0,35	0,16
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,06	0,03
<i>Eucalyptus globulus</i>	34,37	15,60
<i>Schinus molle</i>	19,43	8,82
<i>Inga insignis</i>	0,24	0,11
<i>Albiza toaphanta</i>	0,37	0,17
<i>Tecoma stans</i>	3,38	1,54

<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1,80	0,82
<i>Podocarpus sprucei</i>	0,81	0,37
<i>Juglans neotropica</i>	0,14	0,06
<i>Pinus sylvestris</i>	1,67	0,76
<i>Araucaria araucana</i>	0,01	0,01
<i>Grevilea robusta</i>	19,98	9,07
<i>Salix humbolditana</i>	72,93	33,10
<i>Sambucus mexicana</i>	0,29	0,13
<i>Yucca elephantipes</i>	0,34	0,15
	<u>220,34</u>	<u>100,00</u>

Fuente: Autores (2022).

Figura 15. Área basal por especie.



Fuente: Autores (2022).

Se observa que la especie con un mayor porcentaje de área basal es la *Salix humbolditana* con un 33,10%, seguida del *Eucalyptus globulus* con un 15,60%, siendo estas dos especies las que mayor área basal tienen debido a sus características diamétricas y altimétricas. La sumatoria de las áreas basales es un dato necesario para el cálculo del IVI y determinar la dominancia de las especies.

5.2.4 Dominancia de especies en las riberas del río Burgay

Aplicando las ecuaciones de dominancia por especie y el índice de valor de importancia (IVI) en la Tabla 19 se muestran los resultados de cálculo.

Tabla 19. Determinación del IVI por especie.

Especie	D (ind/m ²)	Dr (%)	fa(%)	fr(%)	DmR (%)	IVI (%)
<i>Acacia dealbata</i>	0,244	15,496	83,333	7,092	16,257	12,949
<i>Acacia baileyana</i>	0,063	3,969	50,000	4,255	2,411	3,545
<i>Acacia melanoxylon</i>	0,022	1,412	41,667	3,546	1,219	2,059
<i>Acacia retinodes</i>	0,067	4,275	50,000	4,255	3,553	4,028
<i>Persea americana</i>	0,002	0,115	25,000	2,128	0,093	0,778
<i>Populus alba</i>	0,052	3,282	25,000	2,128	1,141	2,184
<i>Populus tremula</i>	0,026	1,679	66,667	5,674	1,929	3,094
<i>Alnus acuminata</i>	0,021	1,336	50,000	4,255	0,603	2,065
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	0,011	0,725	16,667	1,418	0,320	0,821
<i>Prunus serotina</i>	0,026	1,679	75,000	6,383	0,449	2,837
<i>Cedrela montana</i>	0,006	0,382	33,333	2,837	0,227	1,148
<i>Callistemon salignus</i>	0,014	0,878	16,667	1,418	0,166	0,821
<i>Callistemon</i>	0,057	3,626	58,333	4,965	0,753	3,115
<i>Syzygium paniculatum</i>	0,011	0,725	8,333	0,709	0,160	0,532
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,001	0,076	8,333	0,709	0,027	0,271
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,085	5,382	50,000	4,255	15,596	8,411
<i>Schinus molle</i>	0,343	21,756	100,000	8,511	8,818	13,028
<i>Inga insignis</i>	0,008	0,534	8,333	0,709	0,108	0,450
<i>Albiza toaphanta</i>	0,013	0,802	33,333	2,837	0,169	1,269
<i>Tecoma stans</i>	0,092	5,840	75,000	6,383	1,536	4,586
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0,029	1,870	41,667	3,546	0,816	2,077
<i>Podocarpus sprucei</i>	0,029	1,832	16,667	1,418	0,366	1,205
<i>Juglans neotropica</i>	0,002	0,115	16,667	1,418	0,064	0,532
<i>Pinus sylvestris</i>	0,005	0,344	33,333	2,837	0,759	1,313
<i>Araucaria araucana</i>	0,001	0,038	8,333	0,709	0,006	0,251
<i>Grevilea robusta</i>	0,078	4,924	50,000	4,255	9,068	6,082
<i>Salix humboldtiana</i>	0,252	15,992	100,000	8,511	33,099	19,201
<i>Sambucus mexicana</i>	0,003	0,191	16,667	1,418	0,131	0,580
<i>Yucca elephantipes</i>	0,011	0,725	16,667	1,418	0,154	0,766

Fuente: Autores (2022).

En base al IVI, se puede observar que las especies más dominantes son *Salix humboldtiana* con un valor de 19,201%, *Schinus molle* con un valor de 13,028% y *Acacia dealbata* con un valor de 12,949%, representando estas tres especies un 45,178% del total del IVI respecto a todas las especies. Diez especies presentaron un valor de IVI inferior

al 1%, presentando una tendencia baja de frecuencia y abundancia, por lo tanto, poca abundancia en las riberas del río Burgay.

5.2.5 Inventario forestal de especies encontradas

5.2.5.1 Árboles nativos

Ilustración 1. Especie nativa *Alnus Acuminata*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Aliso Común</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Alnus acuminata</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Fagales</p>
<p>Familia</p>	<p>Betulaceae</p>

Es una especie nativa de amplia distribución en América Central y América del Sur, en el Ecuador crece en la región andina entre 2000 y 3500 m de altitud, por lo que tiende a adaptarse a una gran variedad de suelos, pero prefiere los suelos arenosos y bien drenados, en el bosque de ribera de los ríos Yanuncay y Tomebamba, es quizá la especie arbórea más abundante. Es un árbol de hasta 15 m de altura y 30 cm de DAP; copa abierta, tronco cilíndrico recto con ramificación opuesta, corteza con lenticelas dispersas, sus hojas simples alternas, dispuestas alrededor de las ramitas, lámina de forma elíptica a ovada y margen irregularmente aserrado, sus flores son unisexuales, flores masculinas dispuestas en amentos péndulos de 10 a 20 cm de largo, flores femeninas en amentos leñosos,

mientras que sus frutos se les puede observar en forma de conos leñosos que contienen pequeñas semillas de color marrón (Minga & Verdugo, 2016).

Ilustración 2. Especie nativa *Myrcianthes rhopaloides*

	
Nombre Común	Arrayán
Nombre Científico	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae

Es un árbol que crece hasta los 15 m de altura, tronco cilíndrico, tortuosa corteza externa exfoliable de color rojizo, ramificación abundante y copa irregular, sus hojas son simples con láminas de forma ovalada a elíptica de 2 a 6 cm de largo por 1,5 a 3,5 cm de ancho, margen entero, ápice agudo y base redondeada, haz verde lustroso, así como también verde amarillento, tienen puntos con aceites esenciales, sus flores son reunidas en dicasios de 2,5 a 3,5 cm de largo, dispuestos en las ramitas y axilas de las hojas, estas son bisexuales, regulares. Esta especie se la puede encontrar en la región andina del Ecuador entre 1500 y 3800 m de altitud, constituye una especie abundante en la vegetación ribereña del río Mazán, lugar en el que los árboles adquieren un crecimiento horizontal con fuertes raíces que protegen los taludes, en las riberas del río Yanuncay también su presencia es importante en taludes bien conservados, notándose su crecimiento inclinado

hacia el río, por lo que sus frutos son importantes para muchas especies de aves (Minga & Verdugo, 2016).

Ilustración 3. Especie nativa *Prunus serotina*

	
Nombre Común	Capulí
Nombre Científico	<i>Prunus serotina</i>
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae

Es un árbol de 8 a 15 m de altura y 30 a 50 cm de DAP, ligeramente tortuoso, corteza externa fisurada, ramificación alterna y copa globosa. Sus hojas son simples, alternas, lámina de lanceolada a oblongo-ovada, margen aserrado, ápice acuminado y base de cuneada a obtusa, haz verde oscuro seríceo, envés verde opaco glauco. Sus flores permanecen reunidas en racimos axilares o terminales de 5 a 20 cm de largo, que contienen entre 10 y 40 flores, sus frutos son de 12 a 20 mm de diámetro y color negro cuando madura, además cuenta con semillas esféricas, rodeadas por un endocarpio hueso leñoso. Esta planta es nativa de México, pero ha sido introducida en Sudamérica por sus frutos comestibles, sin embargo, no se sabe con exactitud la época de su introducción, pero se presume que fue con la llegada de los españoles. En la región andina ha sido ampliamente cultivado y naturalizado entre 2500 y 3500 m de altitud por lo que esta especie se adapta a una gran variedad de suelos, pero se establece mejor en suelos

profundos y bien drenados, presenta una buena capacidad de rebrote y una buena capacidad de regeneración (Minga & Verdugo, 2016).

Ilustración 4. Especie nativa *Cedrela montana*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Cedro Clavel</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Cedrela montana</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Sapindales</p>
<p>Familia</p>	<p>Meliaceae</p>

Es un árbol monopódico de hasta 40 m de alto y 1 m de DAP, este posee un tronco recto y una corteza externa fisurada de color gris, con fuerte olor a ajo cuando se realizan cortes; madera de color rosado. Sus hojas están dispuestas en espiral alrededor de las ramas, de 20 a 80 cm de largo y conformadas por 7 a 14 pares de folíolos con forma oblongo-lanceolada generalmente 8 a 11 cm de largo por 2,5 a 3,5 cm de ancho, glabros en el haz y pubescentes en el envés, sus frutos son como cápsulas leñosas con forma elipsoide, péndula de 3 a 5 cm de diámetro, que contiene semillas aladas. Esta especie es nativa, con una amplia distribución desde Venezuela hasta Perú, pueden crecer en regiones montañosas y bosques nublados entre 1300 y 3000 m de altitud, en nuestro país es frecuente encontrarla en valles secos interandinos, en estos lugares los individuos poseen hojas con folíolos glabros con forma lanceolada y sus flores poseen pétalos blancos,

mientras que los individuos que crecen en bosques nublados húmedos, poseen hojas con folíolos más grandes y pubescentes, y sus flores tienen pétalos rosados (Minga & Verdugo, 2016).

Ilustración 5. Especie nativa *Inga insignis*

	
Nombre Común	Guaba
Nombre Científico	<i>Inga insignis</i>
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae

Es un árbol de 4 a 8 m de alto, con ramificación variada desde cerca de la base, copa ancha, follaje verde brillante a veces rojizo en los brotes y ramas tiernas, sus hojas son variadas, compuestas imparipinnadas, raquis alado y nectarios foliares; 4 a 6 pares de folíolos elípticos, de 10 a 14 cm de largo por 4 a 6 cm de ancho, estas tienen unas flores reunidas en racimos axilares de 6 a 10 cm de largo, sus frutos son como una legumbre cuadrangular pubescente con márgenes surcados de 12 a 14 cm de largo por 2 a 3 cm de ancho, de color marrón. Esta es una especie nativa distribuida en los Andes de Colombia, Perú y Ecuador, que se puede encontrar entre 1000 y 3000 m de altitud. En nuestro país crece a lo largo del callejón interandino en las provincias de Azuay, Cañar, Chimborazo, El Oro, Loja, Napo, Pichincha y Tungurahua, en donde es muy cultivada en huertos, jardines y zonas agrícolas, en la ribera del río Yanuncay se han registrado 8 individuos

en el área urbana de Cuenca, pero en general es una especie común en todo el valle de Cuenca-Azogues (Minga & Verdugo, 2016).

Ilustración 6. Especie nativa *Podocarpus sprucei*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Guabisay</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Podocarpus sprucei</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Pinales</p>
<p>Familia</p>	<p>Podocarpaceae</p>

Es una especie nativa de los andes, siendo común en las montañas del norte del Perú y del sur del Ecuador, se desarrolla entre los 2000 y 3000 m de altura y se adapta con facilidad a una gran variedad de suelos, siendo también moderadamente resistente a periodos de sequía, mide entre 10 a 15 m de altura y presenta un DAP promedio entre 20 a 40 cm, con una ramificación densa, presenta hojas simples y duras que miden entre 1,8 a 3,5 cm de largo por 0,2 a 0,4 cm de ancho (Minga & Verdugo, 2016).

Entre sus usos más comunes, sus hojas son usadas en infusiones como baños de asiento y para el alivio de resfriados, su madera también es de muy buena calidad y se utiliza para construcciones como vigas y pilares y también como materia prima para la elaboración de muebles, se utiliza también tradicionalmente para adornar altares en épocas de navidad y semana santa ya que se cree tradicionalmente que es protector contra los espíritus, junto

a otras especies que comparten esta creencia como el ciprés y el sauce (León-Yáñez et al., 2011).

Ilustración 7. Especie nativa *Juglans neotropica*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Nogal</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Juglans neotropica</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Fagales</p>
<p>Familia</p>	<p>Juglandaceae</p>

Árbol de 25 m de altura y 80 cm de diámetro con un tronco recto, copa globosa, corteza externa gris agrietada, sus hojas son caducifolias, con 5 a 9 pares de folíolos de forma ovalado-lanceolada, de colores verde oscuro y aromáticas al frotarlas. Sus flores son Unisexuales, las masculinas agrupadas en amentos pendulares de hasta 20 cm de largo, provistas de numerosos estambres, con anteras dehiscentes longitudinalmente. Sus frutos son como una drupa redonda de 4 a 6 cm de diámetro con una semilla de embrión ovoide y cotiledones corrugados. Esta planta está ampliamente distribuida en bosques montanos y premontanos de Centro y Sur América entre 1000 y 3500 m de altitud En nuestro país se encuentra a lo largo de la región andina entre 1000 y 3500, se los puede encontrar también en los valles interandinos esta especie se cultiva cerca de viviendas y zonas

agrícolas. Es una especie frecuente en los márgenes de los ríos de Cuenca y en general en todo el valle de Cuenca-Azogues (Minga & Verdugo, 2016).

Ilustración 8. Especie nativa *Salix humboldtiana*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Sauce</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Salix humboldtiana</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Malpighiales</p>
<p>Familia</p>	<p>Salicaceae</p>

Árbol de 5 a 12 m de altura con DAP promedio de 50 cm, tronco tortuoso con corteza externa agrietada, copa amplia irregular con ramificación alterna; presenta hojas simples angostas de bordes aserrados que conforman un follaje verde claro característicos. Presenta flores reunidas en inflorescencias terminales o en brotes laterales. Es una especie ampliamente distribuida el México, en Centroamérica y Sudamérica, en el Ecuador se encuentra de forma muy común en valles interandinos, en riberas de ríos, parques y jardines urbanos. Generalmente se considera como una especie dominante en varias riberas de los ríos por su amplia área basal (Minga & Verdugo, 2016).

Su madera es usada comúnmente para postes, estacas y en la fabricación artesanal de utensilios, también se realizan infusiones para tratar la caspa del cabello, además las hojas

maceradas detienen hemorragias. De amplio uso ambiental para proteger las riberas y quebradas (De la Torre et al., 2008).

5.2.5.2 Árboles introducidos

Ilustración 9. Especie introducida *Persea americana*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Aguacate</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Persea americana</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Laurales</p>
<p>Familia</p>	<p>Lauraceae</p>

El aguacate es una planta perteneciente a la familia de las lauráceas. Originaria de Guatemala, partes de Centroamérica y México, aunque también fue introducida en Sudamérica. Es una planta perenne de gran tamaño con un crecimiento vegetativo de unos 10-12 metros en su hábitat natural, con raíces superficiales que absorben agua y nutrientes principalmente desde la parte superior a través de los tejidos primarios; lo que ayuda a determinar la sensibilidad del árbol al exceso de humedad, que provoca hongos y podredumbre vascular, sus ramas también son abundantes, delgadas y delicadas, sensibles al sol y al frío, se rompen con facilidad por llevar muchos frutos o vientos, las flores son hermafroditas, simétricas, de color amarillo verdoso, sus hojas son simples y sanas, de

color rojizo y se vuelven lisas, coriáceas y de un verde intenso cuando maduran (Anacafé, 2004).

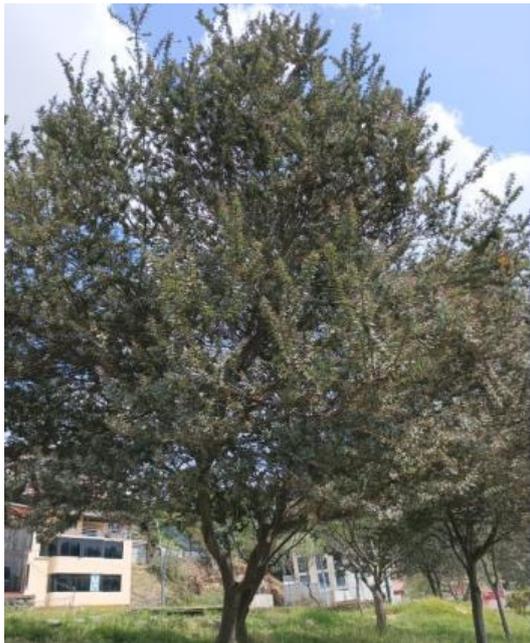
Ilustración 10. Especie introducida *Acacia dealbata*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Acacia Común</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Acacia dealbata</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Fabales</p>
<p>Familia</p>	<p>Fabaceae</p>

Es un árbol de hoja incesante de hasta 15 m de altura corteza lisa parda a gris que poseen hojas de color verde oscuro, compuestas, con numerosas pinnas y pínulas, tienen flores agrupadas en glomérulos globosos, que poseen entre 25-30 flores de color amarillo, esta es una especie forestal que se encuentran comúnmente en las riberas fluviales, sobre todo alteradas. Estas tienen una vida media de 50 años y producen una gran cantidad de semillas, que pueden permanecer en el suelo durante decenios y se desarrollan en terrenos soleados y genera sustancias tóxicas para otras plantas (Life Med Wet Rivers, 2013).

Este árbol se encuentra comúnmente en parques, calles, paseos, aunque el uso más extendido es la jardinería, por el color de sus flores y el número de ellas, ofreciendo conjuntos de gran belleza, además tiene vistosa floración en amarillo con flores olorosas que forman esferas agrupadas en racimos (Maslin & McDonald, 2004).

Ilustración 11. Especie introducida *Acacia baileyana*

	
Nombre Común	Acacia Morada
Nombre Científico	<i>Acacia baileyana</i>
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae

Esta planta es originaria de Australia y es una especie introducida en muchas partes de las Américas, por lo que tiende a volverse invasiva fuera de Australia en bosques abiertos. Son árboles de 4-7 m de altura, hojas de 4-7 cm de largo; tallos de 1 mm de largo, triangulares, pedicelos de 7 mm de largo; Pinnas 2-3 pares, 1,5-2,8 cm de largo; folíolos 20-26 pares por mazorca, 4-8 mm de largo, 1,0-1,5 mm de ancho, linear-oblongos, base oblicua, agudos, con nervios principales marginales, generalmente glabros. Cabezas de flores en racimos, de 3,5 a 12,5 cm de largo; vainas de 0,36-1,0 cm de largo, 1,0-1,5 cm de ancho, 3 mm de espesor, planas, rectas, partidas en ambas costuras, de color marrón claro, lisas, puntiagudas. Semillas de 6,7-7,0 mm de largo, 3 mm de ancho, 2,0-2,2 mm de espesor, de color marrón oscuro, sin arilos (Maslin & McDonald, 2004).

Ilustración 12. Especie introducida *Acacia melanoxylon*

	
Nombre Común	Acacia Negra
Nombre Científico	<i>Acacia melanoxylon</i>
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae

Es una especie nativa de Australia introducida en gran parte de América Central hasta Sudamérica, es un árbol que mide entre 3 hasta 30 metros de alto, presenta filoides entre 4 a 18 cm de largo por 6-25 mm de ancho, tiene vainas abiertamente enrolladas y a menudo retorcidas. Es considerado como un árbol invasivo y difícil de controlar, su madera sin embargo es empleada en ebanistería y para la fabricación de postes y leña. Sirve también para la recuperación de suelos erosionados y como árbol ornamental, comúnmente se lo observa plantado en parques, riberas y jardines (Mendez Pérez, 2017).

Ilustración 13. Especie introducida *Acacia retinodes*

	
Nombre Común	Acacia Plateada
Nombre Científico	<i>Acacia retinodes</i>
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae

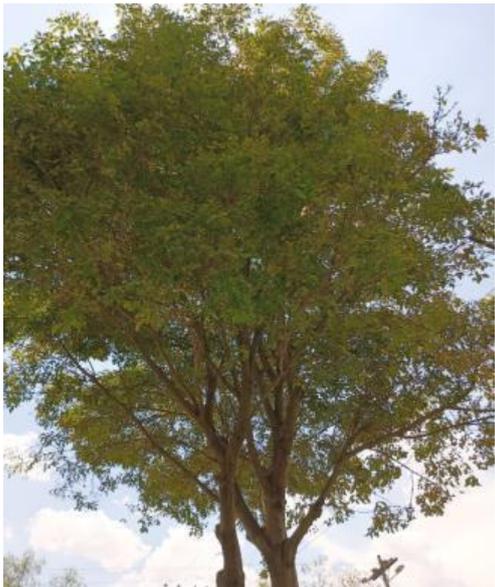
Es un pequeño árbol nativo de Australia que comúnmente se ha cultivado en regiones cálidas del mundo como árbol ornamental y para otros diversos propósitos por lo que también se le puede encontrar en diferentes continentes como son el África, Asia y América por lo que al no ser originaria de esos lugares es considerada como una especie introducida, es un árbol o arbusto de ramas ascendentes y copa densa; hojas simples, filodios que tienen una anchura de menos de 2.5 cm con una sola nervadura, sus usos son importantes para controlar la erosión de suelos desnudos y fijación de dunas; tiene potencial para su uso como especie melífera, mientras que la madera se utiliza para la fabricación de objetos ornamentales, durmientes y construcción de botes (Mendez Pérez, 2017).

Ilustración 14. Especie introducida *Populus alba*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Álamo Blanco</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Populus alba</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Malpighiales</p>
<p>Familia</p>	<p>Salicaceae</p>

El álamo blanco es un árbol de tamaño mediano que se encuentra comúnmente en los bosques costeros y de ribera del centro y Europa del sur por lo que su amplia gama abarca desde la región mediterránea hasta Asia Central, este es un árbol pionero de rápido crecimiento, que prospera en bordes y hábitats soleados en suelos aluviales arenosos y dunas, además su reproducción es principalmente por retoños de raíz, este árbol se utiliza como árbol ornamental apreciado por su atractivo follaje bicolor, como cortavientos y para la estabilización de dunas gracias a su tolerancia a los vientos salinos. El álamo blanco está libre de enfermedades amenazantes, mientras que se considera una especie invasora agresiva en América del Norte, Nueva Zelanda y Sudáfrica pues este árbol cumple un papel ecológico importante como componente de los bosques mixtos de llanura aluvial, que son ecosistemas con una biodiversidad muy alta y que se encuentran fuertemente amenazados por las actividades humanas (Azimova & Glushenkova, 2012).

Ilustración 15. Especie introducida *Populus tremula*

	
Nombre Común	Álamo Coreano
Nombre Científico	<i>Populus tremula</i>
Orden	Malpighiales
Familia	Salicaceae

Es un árbol de hoja ancha por lo que posee un crecimiento rápido que es nativo de las regiones templadas y frías, este se encuentra en regiones boreales de Europa y Asia que tiene una gama muy amplia, por lo que existen numerosas formas y subespecies. Estos son capaces de tolerar una amplia gama de condiciones de hábitat y normalmente coloniza áreas perturbadas, tiene más especies específicas de huésped que cualquier otro árbol boreal y su madera se utiliza principalmente para chapas y pulpa para papel por lo que su producción es abundante gracias a que es ligera y no especialmente vigorosa, aunque también tiene utilidad como cultivo de biomasa por su rápido crecimiento (Caudullo & de Rigo, 2016).

Ilustración 16. Especie introducida *Callistemon salignus*

	
Nombre Común	Cepillo Blanco
Nombre Científico	<i>Callistemon salignus</i>
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae

Árbol originario de la costa este de Australia, introducida al Ecuador con fines ornamentales. Actualmente es común encontrar en los parques lineales de los ríos de Cuenca por lo que sus vistosas flores son visitadas por abejas y colibríes (Minga & Verdugo, 2016).

Esta especie arbórea tiene entre 6-10 m de altura, posee una copa globosa, ramas arqueadas y follaje colgante, además su corteza es rugosa, oscura y fisurada lo que tiende a que su follaje conste de hojas simples, lineares o linear-lanceoladas, de ápice y base agudos, y con margen entero. Sus flores son espigas de color blanco con una forma singular de cepillo, con varios estambres unidos en la base y sus frutos de cepillo blanco es una cápsula leñosa con numerosas semillas de aproximadamente 1 mm de longitud. En sus requerimientos y hábitat son árboles adaptadas a clima frío y cálido por lo que requieren suelos fértiles y bien drenados, situándose en emplazamientos soleado (Quevedo Jaramillo, 2022).

Ilustración 17. Especie introducida *Callistemon citrinus*

	
Nombre Común	Cepillo Rojo
Nombre Científico	<i>Callistemon citrinus</i>
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae

Árbol originario de Australia, sin embargo, este fue introducido al Ecuador por sus características ornamentales. Localmente es un elemento importante del ornato de la ciudad por sus vistosas flores son visitadas por abejas y colibríes (Minga & Verdugo, 2016).

Este arbusto denso de hojas rígidas, ampliamente distribuido por la costa sudeste de Australia, fue uno de los primeros limpia tubos introducidos en cultivos, por lo que es una planta recia y vigorosa, crece bastante rápido hasta 3m, aunque después suele mantener durante década el mismo tamaño, con un tronco corto basal, sus espigas, erectas y de color 31 escarlata o rojo, miden 10 cm de largo y aparecen a finales de la primavera y en verano por lo que se desarrollan muy bien en climas templados, estos arbustos pueden tolerar heladas o bajas temperaturas, siempre y cuando no sean de larga duración por lo que se adaptan a los suelos pobres, llegan a tener su mejor desarrollo en los fértiles y bien drenados, con ligera tendencia ácida algo sensible a los suelos muy calizos (Almeida Huaraca & Lima Remache, 2020).

Ilustración 18. Especie introducida *Syzygium paniculatum*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Cereza Magenta</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Syzygium paniculatum</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Myrtales</p>
<p>Familia</p>	<p>Myrtaceae</p>

Árbol originario de Australia, pero fue introducido al Ecuador para programas de ornamentación y reforestación. En nuestra región son parte de las plantas ornamentales de parque y jardines por lo que sus flores son visitadas por abejas, y sus frutos son comestibles (Minga & Verdugo, 2016).

Es una planta que se comercializa como arbusto y puede llegar a medir hasta siete metros de altura en condiciones de clima ideales, exótico de climas subtropicales en Australia. Desde el punto de vista paisajístico, los árboles llaman la atención por sus coloridos frutos, los cuales son consumidos principalmente por aves. Este fruto es conocido como cereza cepillo australiana, Cereza magenta o Lilly Pilly. A pesar de que es comestible, hasta el momento solo se utiliza en Australia para decorar pasteles, mientras que en EE. UU. y Europa se emplea como planta ornamental, limitada a las zonas libres de heladas (Pérez & Mojica, 2018).

Ilustración 19. Especie introducida *Cupressus sempervirens*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Ciprés</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Cupressus sempervirens</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Pinales</p>
<p>Familia</p>	<p>Cupressaceae</p>

Es un árbol originario de la Bahía de Monterrey en California, Estados Unidos, es una especie introducida en América del Sur con fines de reforestación en las partes altas y frías, en el Ecuador se distribuye en las provincias de Pichincha, Azuay, Carchi, Chimborazo, Imbabura, pues se ha visto rodales de esta especie hasta los 3200 m de altitud, por lo general su tronco es maderable y por su follaje denso se utiliza en cortinas rompevientos. Localmente es común encontrar en la orilla de los ríos de la ciudad de Cuenca (Minga & Verdugo, 2016).

Es un árbol perenne, por lo que tiende a ser muy aromático con un aroma similar al limón, resinoso, este también posee hojas pequeñas color verde oscuro y grueso, con una corteza muy agrietada y de color pardo-grisáceo con una forma piramidal muy característica. Sus conos masculinos son terminales pequeños de 2-4mm y los conos femeninos son más grandes 2-3cm y también terminales (Merino, 2015).

Ilustración 20. Especie introducida *Eucalyptus globulus*

	
Nombre Común	Eucalipto
Nombre Científico	<i>Eucalyptus globulus</i>
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae

Es un árbol originario de Australia y Tasmania, este se introdujo en los países andinos hace más de 200 años entre las alturas de 2200 y 3200 m con fines maderables, desde entonces ha sido plantado en forma masiva por lo que representa una de las especies más comunes en nuestros paisajes en lo que concierne a las riberas de los ríos de Cuenca es una especie dominante e invasora, la misma que ha reemplazado la vegetación nativa (Minga & Verdugo, 2016).

Son árboles perennifolios que con normalidad alcanzan los 30 – 50 metros de altura. Son la mayoría rectos y están creciendo en plantaciones y helicoidal en árboles aislados. La corteza es de color gris, persistente en la base y se desprende en el resto del tronco en largas fajas longitudinales, además presenta dimorfismo foliar, sus hojas juveniles son glaucas, sésiles, opuestas y dispuestas en tallos cuadrangulares, mientras que hojas adultas son pecioladas, alternas, falcadas y acuminadas, con el nervio central marcado, semicoriáceas, de 10 a 20 cm de largo (Di Marco, 2015).

Ilustración 21. Especie introducida *Schinus molle*

	
Nombre Común	Falso Pimentero (Molle)
Nombre Científico	<i>Schinus molle</i>
Orden	Sapindales
Familia	Anacardiaceae

Árbol originario de Sudamérica, el primer espécimen registrado en el Ecuador fue en la provincia del Azuay en 1971, desde entonces se lo puede encontrar en varias provincias de los Andes desde los 0 hasta los 3000 m de altura. En nuestra región se utiliza como árbol ornamental en parterres de avenidas y en los parques lineales de la ciudad (Minga & Verdugo, 2016).

En el Ecuador, el molle es un árbol inicialmente de tipo ornamental, pero ancestralmente de uso medicinal a través de infusiones de hojas y corteza, así como sus frutos secos y molidos se han usado como pimienta y en general para leña, por presentar plasticidad edáfica y climática, rápido crecimiento, y se lo puede introducir en asociaciones para reforestación, control de erosión, protección de cuencas hidrográficas y riberas, se puede adaptar en terrenos pedregosos y de pendientes difíciles de manejar, así como para embellecer parques y jardines por su bello frondaje (Ayala, 2011).

Ilustración 22. Especie introducida *Albiza lophanta*

	
Nombre Común	Guaje
Nombre Científico	<i>Albiza lophanta</i>
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae

Esta es una especie originaria de Sudamérica, en Chile se la conoce con el nombre de Peorrilla o Peo alemán por el olor de sus semillas al abrirse. El nombre de la especie es lophantha, epíteto latino que significa flor con cresta, este es un árbol perenne, crece naturalmente en varios ambientes, localmente es común encontrarla en las riberas de los ríos de la Ciudad de Cuenca (Minga & Verdugo, 2016).

Estos árboles son semiperennifolios que miden entre 7 a 8 m de altura, troncos cortos, corteza castaño, hojas alternas, paribipinnadas y pecioladas que mide aproximadamente 25 cm de largo, con pinas de 7 a 14 pares, con flores pequeñas en cimas densas, cilíndricas, axilares y pedunculados, con numerosos estambres, de 1 a 2 cm de largo, de color amarillo claro, dispuestas en plumerillo, legumbres lineares, aplanados de 5 a 11 cm de largo por 1,5 a 2,4 cm de ancho, de color castaño rojizo con semillas negras y brillantes (Quispe, 2014).

Ilustración 23. Especie introducida *Tecoma stans*

	
Nombre Común	Guarán Amarillo
Nombre Científico	<i>Tecoma stans</i>
Orden	Lamiales
Familia	Bignoniaceae

Árbol pequeño tipo arbusto, de copa irregular y dispersa, tiene su corteza es gris - marrón, muy agrietada, áspera, fibrosa y amarga, este presenta un follaje semicaducifolio, sus hojas son compuestas imparipinadas, opuestas, de 9 a 20 cm de largo y 3 a 13 cm de ancho, sus hojuelas son lanceoladas, borde aserrado, ápice acuminado, estas poseen forma de trompeta de hasta de 4 cm de largo y abren sucesivamente. Produce frutos secos tipo cápsula dehiscente, pendientes, delgados, largos, café oscuro al madurar, con numerosas semillas y de 10 a 25 cm de largo, las semillas poseen una estructura alada en los extremos, son finas, abundantes, redondeadas de ápice blanquecino y alargado, de 5 cm de largo y 3 de ancho (Rojas-Rodríguez & Torres Córdova, 2012).

Se distribuye desde Argentina hasta el sudeste de los Estados Unidos, sin embargo, en nuestro país se ha registrado en las provincias de Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua, pero no están en estado silvestre. (Minga & Verdugo, 2016).

Ilustración 24. Especie introducida *Jacaranda mimosifolia*

	
Nombre Común	Jacaranda
Nombre Científico	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
Orden	Lamiales
Familia	Bigoniaceae

Árbol originario de Sudamérica, se distribuye en Brasil, Bolivia, Paraguay y en el Noreste de Argentina, en el Ecuador ha sido registrada en las provincias de Azuay, Guayas, Chimborazo, Loja, Pichincha y Tungurahua, por lo que en esas zonas se emplea como ornamental, especialmente en los cementerios, parterres de las avenidas y en los parques y jardines de la ciudad (Minga & Verdugo, 2016).

Son árboles con copa redondeada y extendida que alcanzan alturas de 12 a 15 m, estos presentan grandes hojas compuestas, formadas por partes más pequeñas, llamadas foliolos, con una longitud de 30 a 50 cm; de color verde oscuro por la parte superior y que se desprenden del árbol en otoño, por lo que a estos árboles se les llama caducifolios. Su fruto tiene forma de castañuela, es leñoso y contiene en su interior las semillas, por lo que, en la primavera, las jacarandas producen racimos, o panículas, de flores con forma acampanada y de un atractivo color azul-violeta (Aparicio Fernández et al., 2022).

Ilustración 25. Especie introducida *Pinus sylvestris*

	
Nombre Común	Pino Común
Nombre Científico	<i>Pinus sylvestris</i>
Orden	Pinales
Familia	Pinaceae

Este es un árbol de alta montaña que tiene su origen en la Península Ibérica, su país de origen es Suecia, donde es el único pino que se desarrolla en la naturaleza. *Pinus sylvestris* recibe diversos nombres comunes, como pino albar, pino silvestre, pino rojal, pino royo o pino serrano, además es también un árbol de hasta 30-40 m de altura, su copa es de joven, y distintas formas cuando crece y dependiendo de las condiciones ecológicas del medio este se puede llegar a expandirse por muchos lugares más. En condiciones favorables, este árbol posee un tronco recto y grueso, que suele ramificarse en el tercio superior, quedando el resto del tronco limpio de ramas. A medida que el árbol crece, la corteza, al principio gris, se va descamando y toma un tono salmón o anaranjado en la parte superior del tronco y en las ramas. Las acículas aparecen en grupos de dos, miden de 3 a 10 cm y son ligeramente glaucas. Al igual que todos los pinos, el pino albar es una especie monoica. Las piñas femeninas miden unos 6 cm, son mates, y tienen el ombligo poco saliente (Ferriol Molina, 2017).

Ilustración 26. Especie introducida *Araucaria araucana*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Pino de Brazos</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Araucaria araucana</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Pinales</p>
<p>Familia</p>	<p>Araucariaceae</p>

La Araucaria se distribuye en la Cordillera de los Andes y ocupa normalmente las zonas más altas sobre los 800 m.s.n.m. y hasta los límites de la vegetación. Es un árbol de aspecto muy típico de fuste muy cilíndrico desprovisto de ramas, su copa es reducida en los árboles maduros con ramas insertas en verticilos regulares que les da un aspecto de paraguas de base circular. Alcanza alturas de 50 m y diámetros que pueden sobrepasar los 2 m. Su desarrollo es lento y puede alcanzar 1000 años o más por lo que su fuste está protegido por una corteza gruesa y de gran dureza. Exteriormente está agrietada formando placas poligonales rugosas denominadas "choros" y que por su gran poder calorífico son utilizados como combustible. Su madera es de textura fina sin olor ni sabor por lo que peso es moderado algo mayor a 0,5 g/cm³, de buena durabilidad natural y resistencias mecánicas (Díaz-Vaz, 1984).

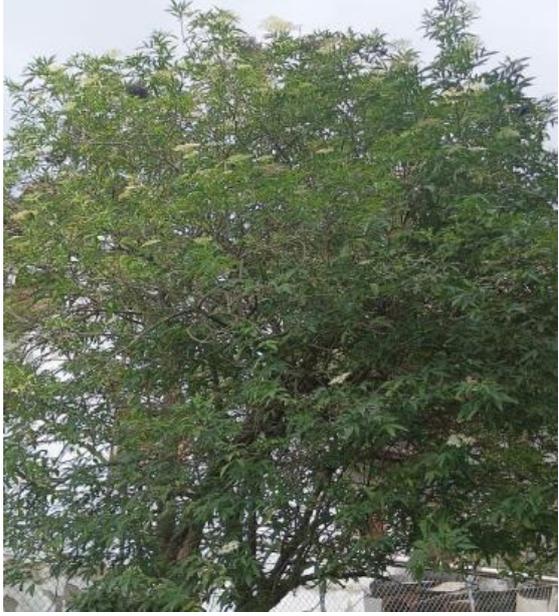
Ilustración 27. Especie introducida *Grevillea robusta*

	
<p>Nombre Común</p>	<p>Roble Australiano</p>
<p>Nombre Científico</p>	<p><i>Grevillea robusta</i></p>
<p>Orden</p>	<p>Proteales</p>
<p>Familia</p>	<p>Protaceae</p>

Árbol originario del este de Australia, pero introducido en muchos países de América del Sur con fines recreativos y de reforestación en el Ecuador se ha registrado en Imbabura, Pichincha y Azuay, este es el árbol más grande de este género por lo que presenta un rápido crecimiento que puede llegar a los 25 m de altura, además, es una especie intolerante a la sombra, ya que al estar bajo un follaje denso o sin luz, se produce una sustancia tóxica que inhibe el crecimiento de las plántulas y produce su muerte (Minga & Verdugo, 2016).

El árbol es mediano, caducifolio, de copa irregular con ramas en tendencia horizontal, ancha, alargadas, abierta, normalmente estratificada. Su fuste por lo general es recto, cilíndrico, sin ramificaciones múltiples, ligeramente acanalado en la base, su corteza es usada como astringente, sus hojas son simples, opuestas, están al final de las ramillas, ovaladas, elípticas, de 15 a 40 cm de largo (Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba, 2019).

Ilustración 28. Especie introducida *Sambucus mexicana*

	
Nombre Común	Tilo Blanco
Nombre Científico	<i>Sambucus mexicana</i>
Orden	Malvales
Familia	Adoxaceae

Este es un arbusto originario de México y Centro América, sin embargo, en el Ecuador es ampliamente distribuido y cultivado por su fácil propagación y el rápido crecimiento, razón por la cual es común encontrar en los viveros regionales. Localmente forma parte de la vegetación de ribera de nuestros ríos (Minga & Verdugo, 2016).

Esta es una planta útil para la población, se le atribuyen propiedades curativas, antiinflamatorias, laxante, expectorante, sudorífica, depurativa, y diurética. Los antepasados han hecho uso de las plantas medicinales, hacen uso de esta planta como medicinal, obteniendo grandes resultados con las propiedades curativas de dicha planta. El uso tradicional (*Sambucus mexicana*) como planta medicinal, ha decaído debido al crecimiento en el consumo de medicamentos químicos, lo que ha provocado que los conocimientos adquiridos de los ancestros sobre su uso, se ha reducido en pocas personas (Pérez Cedillo, 2015).

Ilustración 29. Especie introducida *Yuca elephantipes*

	
Nombre Común	Yuca Pie de Elefante
Nombre Científico	<i>Yucca elephantipes</i>
Orden	Asparagales
Familia	Asparagaceae

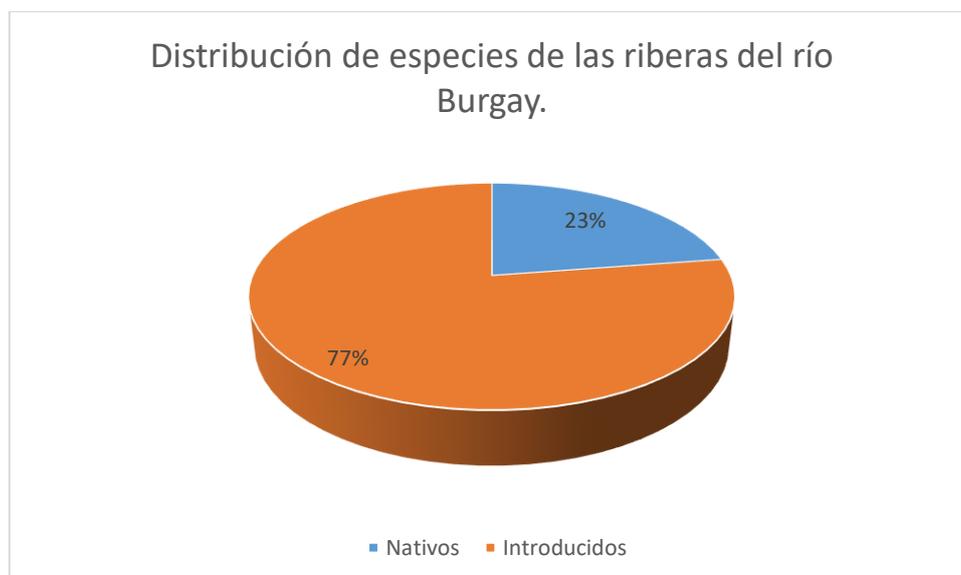
Conocido también como Ramo de Novia, es un árbol originario de Centroamérica, se distribuye ampliamente en México, Guatemala y El Salvador, en donde se lo considera como flor nacional. Introducida en el Ecuador, se le ha registrado en las provincias de Azuay, Cañar, Guayas y Los Ríos empleado para usos ornamentales (Minga & Verdugo, 2016)

Generalmente presenta varios troncos que nacen de una base ensanchada, puede llegar a medir hasta 10 m de altura, sus hojas son puntiagudas y rígidas, estas llegan a medir hasta 100 cm de longitud por 5-7 cm de ancho, presenta una flor blanca de tipo globosa que por lo general florece en la parte superior del árbol en medio de las hojas, crecen en laderas de pendiente suave, con altitudes de hasta 1500 m (Guillot Ortiz & Van der Meer, 2009).

5.2.6 Distribución de especies en las riberas del río Burgay

En la Figura 16 se muestra el porcentaje de especies nativas e introducidas presentes en las riberas del río Burgay, donde se puede observar una mayor presencia de especies introducidas, con 2028 individuos, representando un 77% del total, mientras que se han registrado 592 individuos pertenecientes a especies nativas, representando un 23% del total.

Figura 16. Distribución de especies nativas e introducidas de las riberas del río Burgay.



Fuente: Autores (2022).

5.3 Segunda etapa: Estimación del carbono capturado

En la presente sección se presentan las estimaciones de captura de carbono por especie y por ribera.

5.3.1 Histograma de alturas de las especies encontradas

La altura junto con el DAP son las dos variables clave para la determinación de la captura de carbono mediante la metodología aplicada en el presente proyecto, por lo tanto, se realizó un histograma de frecuencias para realizar una clasificación de individuos en

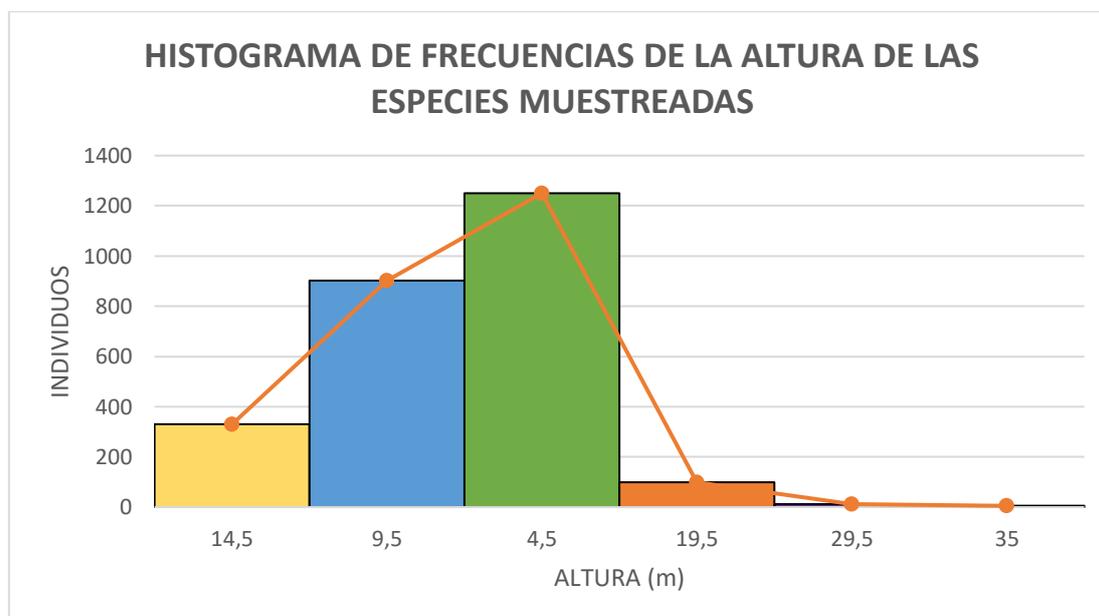
función a sus características altimétricas. Considerando el total de individuos (2620), la altura promedio es de 8,56 m, presentando una desviación estándar de 4,79 m. En la Tabla 20, se muestra el número de individuos encontrados según sus características altimétricas y en la Figura 17 se muestra el histograma de frecuencia de la altura de los individuos identificados.

Tabla 20. Clasificación de individuos muestreados según su altura.

Intervalo (Alturas)		Frecuencia Absoluta	Marca Clase	Frecuencia Acumulada
2	7	1250	4,5	1250
7	12	902	9,5	2152
12	17	330	14,5	2482
17	22	99	19,5	2581
22	27	23	24,5	2604
27	32	11	29,5	2615
32	38	5	35	2620
Promedio	8,56			
Desviación Est.	4,79			

Fuente: Autores (2022).

Figura 17. Histograma de frecuencias de las alturas de las especies muestreadas.



Fuente: Autores (2022).

5.3.2 Histograma de DAP de las especies muestreadas

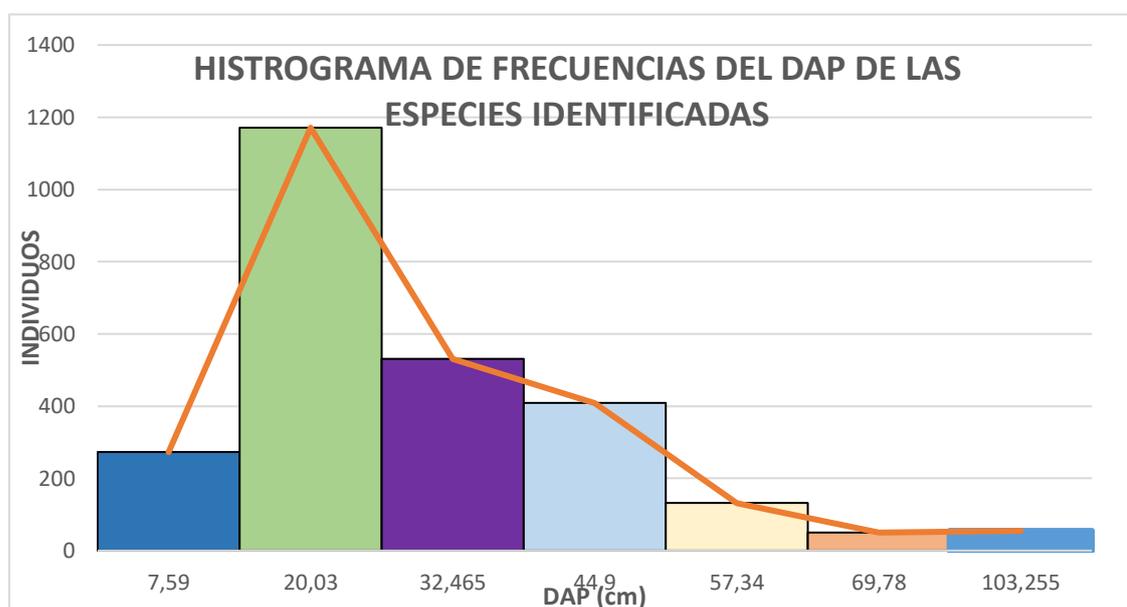
Es importante al momento de estimar la capacidad de captura de carbono en una zona la variable DAP (Diámetro a la Altura del Pecho), por el cual es importante clasificar los rangos en los cuales se encuentran los individuos medidos, considerando el total de individuos (2620), el DAP promedio es de 28,71 cm, presentando una desviación estándar de 15,75 cm. En la Tabla 21 se muestra el número de individuos encontrados según sus características diamétricas y en la Figura 18 se muestra el histograma de frecuencia del DAP de los individuos identificados.

Tabla 21. Clasificación de individuos muestreados según el DAP.

Intervalo (DAP)	Frecuencia Absoluta	Marca Clase	Frecuencia Acumulada
1,37	13,81	273	7,59
13,81	26,25	1171	20,03
26,25	38,68	531	32,465
38,68	51,12	409	44,9
51,12	63,56	132	57,34
63,56	76	50	69,78
76	130,51	54	103,255
Promedio DAP	28,71		
Desviación Est.	15,75		

Fuente: Autores (2022).

Figura 18. Histograma de frecuencias del DAP de las especies muestreadas.



Fuente: Autores (2022).

5.3.3 Volumen de árboles en pie

El volumen de árboles en pie es una variable importante para analizar debido a que esta permite conocer el volumen de madera en m³ que alberga un área verde, los individuos de la zona de estudio constan de un total de 2178,64 m³ de volumen, siendo en esta variable las especies más representativas *Salix humboldtiana*, representando con el total de sus individuos un volumen de 808,18 m³ siendo esto un 37,10% del total, seguida de *Eucalyptus globulus* (26,56%), *Acacia dealbata* (12,76%) y *Grevillea robusta* (8,77%), representando estas tres especies un 48,09% del volumen total ocupado por todas las especies.

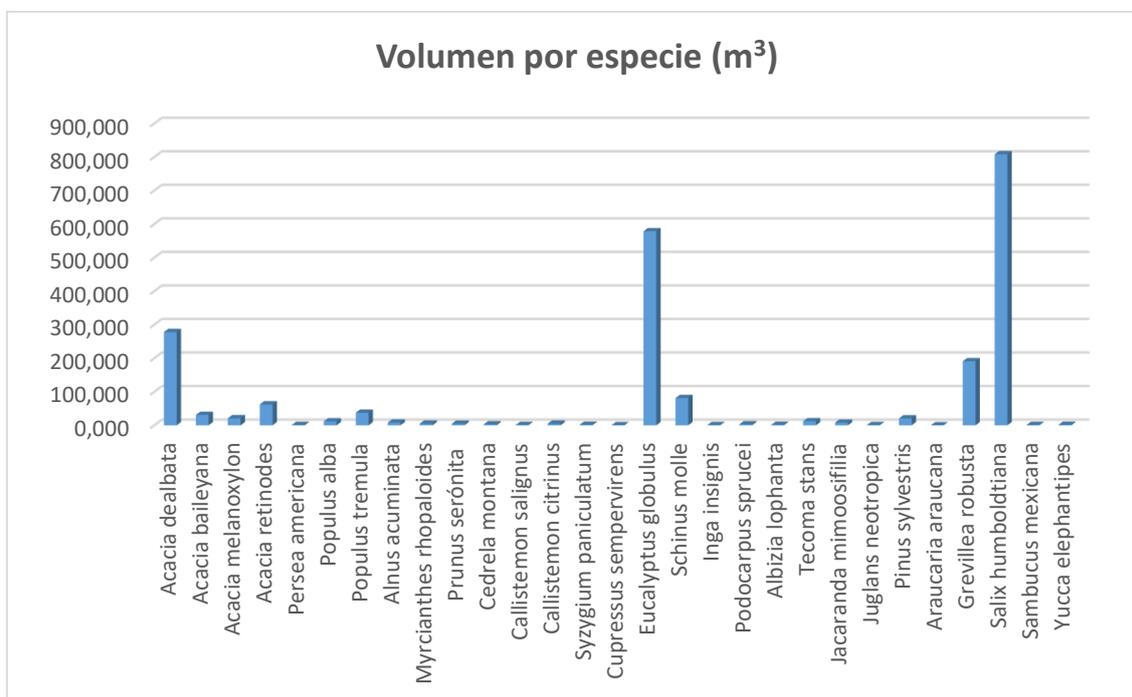
Tabla 22. Volúmen de árboles en pie por especie.

Especie	Volumen por especie (m3)	%volumen por especie
<i>Acacia dealbata</i>	277,964	12,76
<i>Acacia baileyana</i>	31,056	1,43
<i>Acacia melanoxylon</i>	21,002	0,96
<i>Acacia retinodes</i>	62,253	2,86
<i>Persea americana</i>	0,952	0,04
<i>Populus alba</i>	11,892	0,55
<i>Populus tremula</i>	37,482	1,72
<i>Alnus acuminata</i>	8,291	0,38
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	4,834	0,22
<i>Prunus serónita</i>	4,647	0,21
<i>Cedrela montana</i>	2,708	0,12
<i>Callistemon salignus</i>	1,135	0,05
<i>Callistemon citrinus</i>	4,849	0,22
<i>Syzygium paniculatum</i>	1,535	0,07
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,274	0,01
<i>Eucalyptus globulus</i>	578,683	26,56
<i>Schinus molle</i>	81,310	3,73
<i>Inga insignis</i>	0,806	0,04
<i>Podocarpus sprucei</i>	2,715	0,12
<i>Albizia lophanta</i>	1,257	0,06
<i>Tecoma stans</i>	12,280	0,56
<i>Jacaranda mimosifilia</i>	7,888	0,36
<i>Juglans neotropica</i>	0,745	0,03
<i>Pinus sylvestris</i>	20,533	0,94
<i>Araucaria araucana</i>	0,055	0,00
<i>Grevillea robusta</i>	191,034	8,77

<i>Salix humboldtiana</i>	808,181	37,10
<i>Sambucus mexicana</i>	0,954	0,04
<i>Yucca elephantipes</i>	1,319	0,06
Total	2178,64	100

Fuente: Autores (2022).

Figura 19. Distribución del volumen de árboles en pie por especie.



Fuente: Autores (2022).

5.3.4 Estimación de la captura de carbono C y CO₂ por ribera

La estimación de la captura de kg de carbono y toneladas de CO₂ equivalente por ribera se presenta a continuación en la Tabla 23.

Tabla 23. Estimaciones de Kg de C y Ton de CO₂ por ribera.

Kg de C y Ton de CO₂ Equivalente por Ribera	
C Total Ribera Izquierda	372058,7434 Kg
CO₂ Total Ribera Izquierda	1364,079 Ton
C Total Ribera Derecha	216576,6893 Kg
CO₂ Total Derecha	866,63726 Ton
C TOTAL	608437,9977 Kg
CO₂ TOTAL	2230,716 Ton

Fuente: Autores (2022).

Se presenta una mayor cantidad de captura de carbono total y, por ende, mayor cantidad de toneladas de CO₂ equivalente en la ribera izquierda, debido esto a la presencia de especies con mayores dimensiones diamétricas y altimétricas. La cantidad total de toneladas de CO₂ equivalente capturadas en el año 2022 por la vegetación presente en las riberas del río Burgay fue de 2230,716 Ton, siendo un equivalente a 2230716 Kg de CO₂, considerando que el área de estudio tiene una extensión de 16,63 Ha, la captura promedio por m² por año es de 13,41 kg/m²/año.

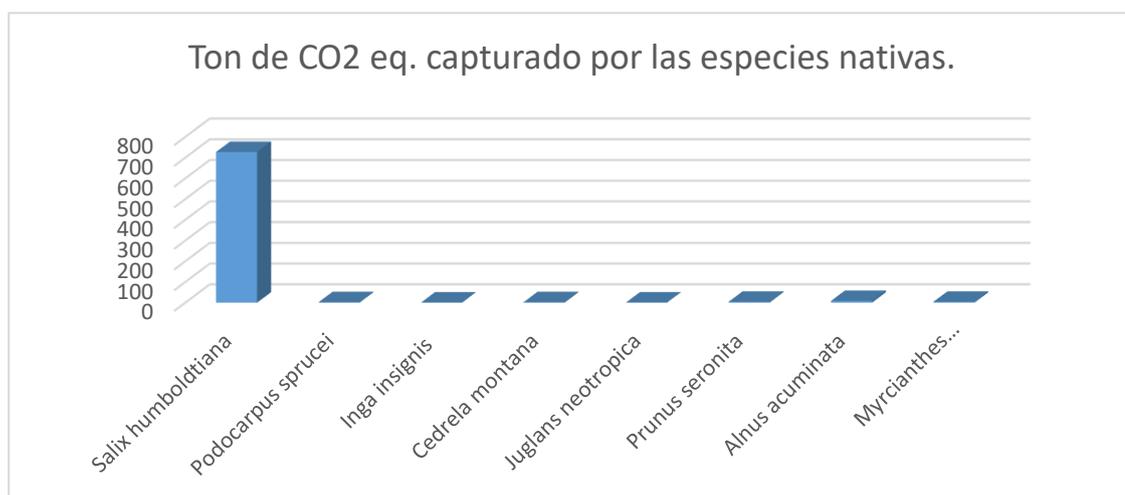
5.3.3 Estimación de la captura de carbono de las especies nativas

Tabla 24. Estimaciones de CT y CO₂ capturado por especies nativas.

Especie	CT (Kg)	Ton de CO ₂ eq.
<i>Salix humboldtiana</i>	198302,607	727,04
<i>Podocarpus sprucei</i>	529,493251	1,941
<i>Inga insignis</i>	153,170138	0,562
<i>Cedrela montana</i>	552,073434	2,024
<i>Juglans neotropica</i>	155,292056	0,569
<i>Prunus serotina</i>	1008,02921	3,696
<i>Alnus acuminata</i>	2201,14082	8,07
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	1141,50147	4,185
Total	204043,307	748,1

Fuente: Autores (2022).

Figura 20. Toneladas de CO₂ equivalente capturado por las especies nativas.



Fuente: Autores (2022).

Las especies nativas capturan un 33,53% del carbono total (CT) y del CO₂ equivalente, siendo *Salix humboldtiana* la especie que presentó una mayor captura, representando un 97,18% de la captura de CT y CO₂ equivalente de las especies nativas.

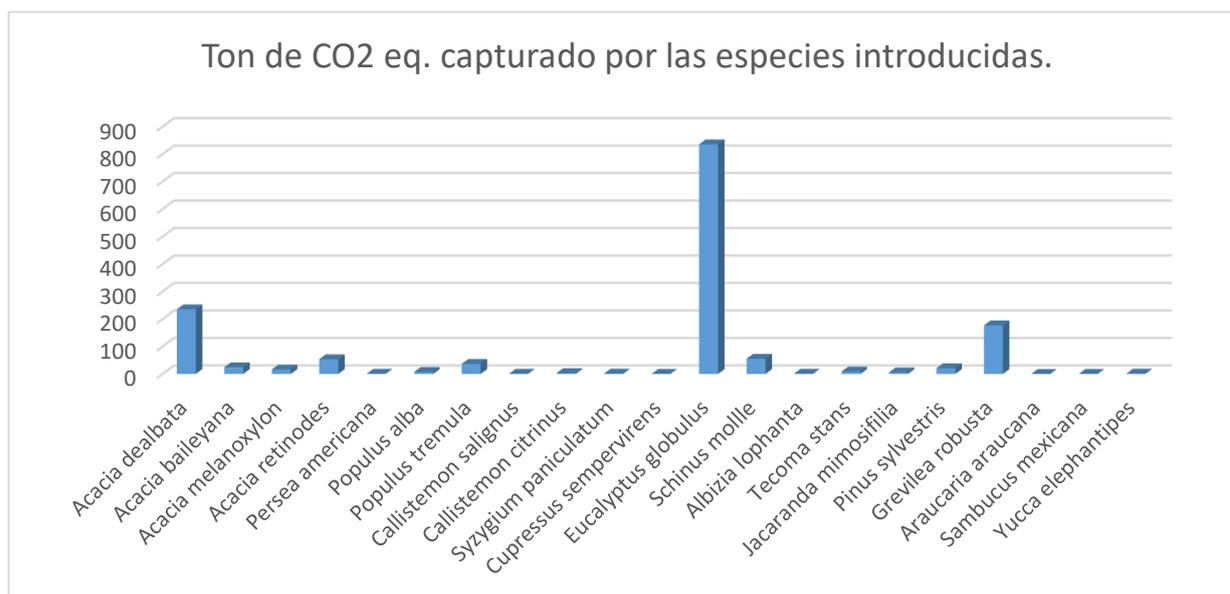
5.3.4 Estimación de la captura de carbono de las especies introducidas

Tabla 25. Estimaciones de CT y CO₂ capturado por especies introducidas.

Especie	CT (Kg)	Ton de CO₂ eq.
<i>Acacia dealbata</i>	64178,900	235,299
<i>Acacia baileyana</i>	6620,793	24,274
<i>Acacia melanoxylon</i>	4397,763	16,124
<i>Acacia retinodes</i>	14515,065	53,217
<i>Persea americana</i>	164,000	0,601
<i>Populus alba</i>	1981,456	7,265
<i>Populus tremula</i>	9934,989	36,425
<i>Callistemon salignus</i>	205,458	0,753
<i>Callistemon citrinus</i>	841,482	3,085
<i>Syzygium paniculatum</i>	347,711	1,275
<i>Cupressus sempervirens</i>	59,568	0,218
<i>Eucalyptus globulus</i>	227864,203	835,419
<i>Schinus molle</i>	15017,010	55,057
<i>Albizia lophanta</i>	236,754	0,868
<i>Tecoma stans</i>	2304,214	8,448
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1478,631	5,421
<i>Pinus sylvestris</i>	5638,995	20,674
<i>Grevilea robusta</i>	48183,950	176,657
<i>Araucaria araucana</i>	12,110	0,044
<i>Sambucus mexicana</i>	133,238	0,488
<i>Yucca elephantipes</i>	278,402	1,021
Total	404394,691	1482,632

Fuente: Autores (2022).

Figura 21. Toneladas de CO₂ equivalentes capturado por las especies introducidas.



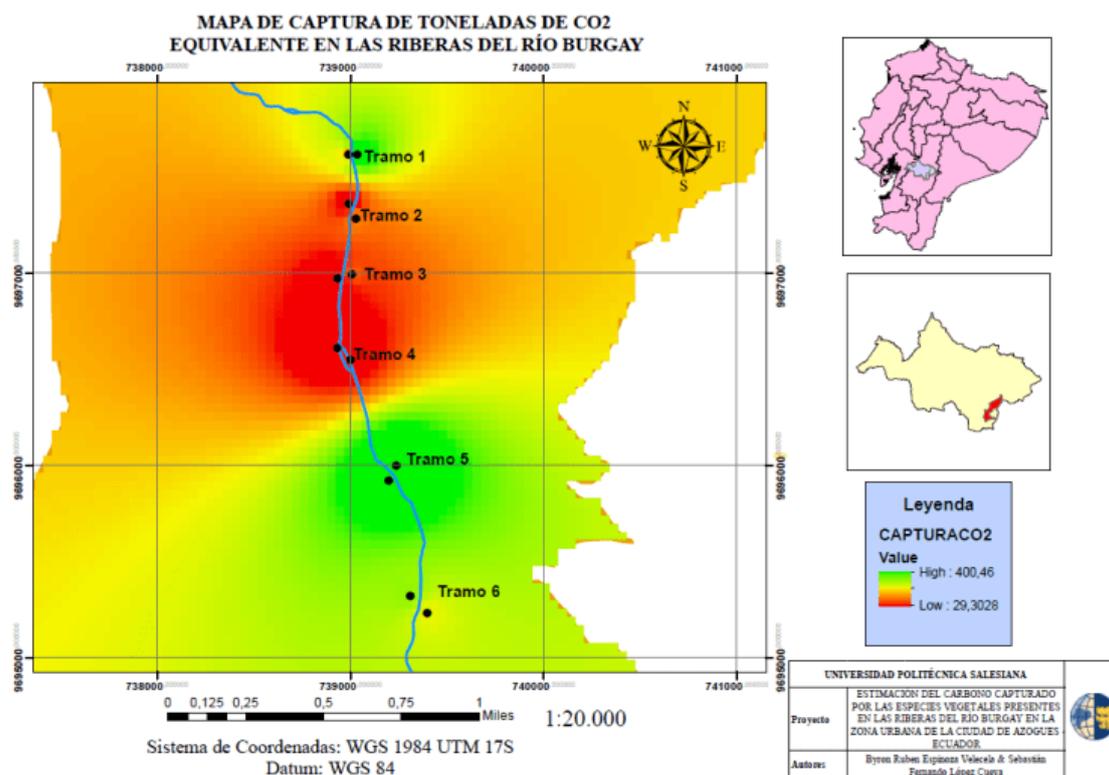
Fuente: Autores (2022).

Las especies introducidas capturan un 66,47% del carbono total (CT) y del CO₂ equivalente, siendo *Eucalyptus globulus* la especie que presentó una mayor captura, representando un 56,34% de la captura de CT y CO₂ equivalente de las especies introducidas, seguido de *Acacia dealbata* y *Grevilea robusta*, ambos representando un 27,78% de la captura de CT y CO₂ equivalente de las especies introducidas.

5.3.5 Mapa de Captura de CO₂ equivalente de las riberas del río Burgay

Mediante el software ArcGIS, con la herramienta de interpolación IDW, tomando los puntos medios de cada tramo de la zona de estudio se realizó un mapa de captura de carbono que permite realizar un contraste con los resultados obtenidos de la captura de carbono en cada tramo, esto permitió identificar las zonas en donde existe una presencia de especies que capturan mayor carbono y aquellas zonas en donde existe una baja captura de carbono debido a que existe un menor número de especies respecto a otras, o sus características diamétricas y altimétricas no permiten una mayor captura de CO₂.

Figura 22. Mapa de captura de CO₂ en las riberas del río Burgay.



Fuente: Autores (2022).

Con lo anterior expuesto, en la Tabla 26 se presenta un resumen de las especies encontradas por cada tramo y el valor de la captura de CO₂ total de cada tramo.

Tabla 26. Especies encontradas y Ton de CO₂ equivalente capturado por tramo

Tramo	Especies Encontradas	Número de Individuos totales del tramo	Captura CO ₂ Ribera Derecha	Captura CO ₂ Ribera Izquierda
1	<i>Acacia dealbata</i>	13		
	<i>Populus alba</i>	6		
	<i>Callistemon citrinus</i>	8		
	<i>Schinus molle</i>	33		
	<i>Pinus sylvestris</i>	1		
	<i>Grevillea robusta</i>	30	150,28	382,84
	<i>Alnus acuminata</i>	4		
	<i>Prunus serotina</i>	11		
	<i>Cedrela montana</i>	4		
	<i>Salix humboldtiana</i>	25		
	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	3		
<i>Syzygium paniculatum</i>	19			

	<i>Tecoma stans</i>	5		
	<i>Podocarpus sprucei</i>	47		
	<i>Persea americana</i>	1		
	<i>Eucalyptus globulus</i>	73		
	<i>Acacia dealbata</i>	11		
	<i>Populus tremula</i>	1		
	<i>Populus alba</i>	19		
	<i>Schinus molle</i>	147		
	<i>Grevillea robusta</i>	1		
	<i>Salix humboldtiana</i>	63		
2	<i>Acacia baileyana</i>	23	72,60	147,28
	<i>Acacia melanoxyton</i>	2		
	<i>Persea americana</i>	1		
	<i>Callistemon citrinus</i>	1		
	<i>Eucalyptus globulus</i>	20		
	<i>Prunus serotina</i>	1		
	<i>Tecoma stans</i>	8		
	<i>Podocarpus sprucei</i>	1		
	<i>Acacia dealbata</i>	34		
	<i>Acacia melanoxyton</i>	2		
	<i>Acacia baileyana</i>	23		
	<i>Acacia retinodes</i>	17		
	<i>Populus alba</i>	9		
	<i>Populus tremula</i>	15		
	<i>Callistemon salignus</i>	20		
	<i>Schinus molle</i>	54		
3	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	12	53,84	133,58
	<i>Araucaria araucana</i>	1		
	<i>Grevillea robusta</i>	6		
	<i>Prunus serotina</i>	10		
	<i>Albizia lophanta</i>	14		
	<i>Tecoma stans</i>	44		
	<i>Salix humboldtiana</i>	12		
	<i>Persea americana</i>	1		
	<i>Eucalyptus globulus</i>	7		
	<i>Acacia dealbata</i>	12		
	<i>Acacia retinodes</i>	7		
	<i>Populus alba</i>	58		
	<i>Populus tremula</i>	1		
	<i>Callistemon citrinus</i>	1		
4	<i>Eucalyptus globulus</i>	1	26,641	95,362
	<i>Schinus molle</i>	33		
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	15		
	<i>Pinus sylvestris</i>	1		
	<i>Sambucus mexicana</i>	3		
	<i>Alnus acuminata</i>	14		

	<i>Cedrela montana</i>	4		
	<i>Tecoma stans</i>	15		
	<i>Salix humboldtiana</i>	45		
	<i>Acacia dealbata</i>	169		
	<i>Acacia baileyana</i>	47		
	<i>Acacia melanoxylon</i>	4		
	<i>Acacia retinodes</i>	87		
	<i>Populus tremula</i>	5		
	<i>Callistemon salignus</i>	3		
	<i>Callistemon citrinus</i>	50		
	<i>Cupressus sempervirens</i>	2		
	<i>Schinus molle</i>	219		
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	6		
5	<i>Pinus sylvestris</i>	2	319,54	407,74
	<i>Grevillea robusta</i>	72		
	<i>Yucca elephantipes</i>	5		
	<i>Alnus acuminata</i>	7		
	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	16		
	<i>Prunus serotina</i>	3		
	<i>Cedrela montana</i>	2		
	<i>Inga insignis</i>	14		
	<i>Tecoma stans</i>	51		
	<i>Juglans neotropica</i>	1		
	<i>Salix Humboldtiana</i>	178		
	<i>Albizia lophanta</i>	2		
	<i>Acacia dealbata</i>	167		
	<i>Acacia baileyana</i>	11		
	<i>Acacia melanoxylon</i>	29		
	<i>Acacia retinodes</i>	1		
	<i>Populus tremula</i>	16		
	<i>Callistemon citrinus</i>	35		
	<i>Eucalyptus globulus</i>	40		
	<i>Schinus molle</i>	84		
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	16		
6	<i>Pinus sylvestris</i>	5	243,74	197,29
	<i>Grevillea robusta</i>	20		
	<i>Sambucus mexicana</i>	2		
	<i>Yucca elephantipes</i>	14		
	<i>Alnus acuminata</i>	10		
	<i>Prunus serotina</i>	19		
	<i>Albizia lophanta</i>	5		
	<i>Tecoma stans</i>	30		
	<i>Juglans neotropica</i>	2		
	<i>Salix humboldtiana</i>	96		
	TOTAL	2620	2230,72	

Fuente: Autores (2022).

5.4 Tercera Etapa: Valoración económica de las toneladas de CO₂ equivalentes capturadas por la vegetación.

5.4.1 Valoración económica del CO₂ capturado por las especies identificadas

Para la realización de la valoración económica de las especies identificadas en los escenarios escogidos se tiene como resultado el precio en dólares de las toneladas de CO₂ equivalentes captadas por las especies vegetales de las riberas del río Burgay según el precio del mercado escogido para el cálculo.

Tabla 27. Valoración económica del CO₂ capturado por las especies vegetales presentes en las riberas del río Burgay.

Escenario	Entidad	Ton de CO ₂ capturado por las especies nativas	Ton de CO ₂ capturado por las especies introducidas	Precio actual del mercado (USD)	Valor total (USD) especies nativas	Valor total (USD) especies introducidas	Valor total (USD)
Mercado no Kioto o voluntario	Carbonfund			32	23939,20	47444,16	71383,36
Mercado Kioto o de cumplimiento regulado	SENDECO2	748,1	1482,63	85,61	64044,84	126927,95	190972,80
	Alberta SGER			50	37405,00	74131,50	111536,50

Fuente: Autores (2022).

Se debe tomar en cuenta tal como mencionan Muñoz & Vásquez (2019) que los precios de las entidades pueden variar en el tiempo, por lo que en caso de establecerse una negociación se deberá realizarse con los precios acordados al momento de esta.

5.4.2 Análisis Costo–Beneficio

En la presente sección se desarrolla el análisis costo-beneficio aplicando la metodología propuesta.

5.4.2.1 Resumen de egresos

En la Tabla 28 se presenta el resumen de egresos anuales por parte del GAD Municipal de Azogues para el mantenimiento de las riberas del río Burgay en el periodo 2018-2022.

Tabla 28. Resumen de gastos anuales para el mantenimiento de las riberas del río Burgay en el periodo 2018-2022.

Detalle	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022
Gastos de Personal	\$23.858,27	\$26.536,80	\$25.965,54	\$26.037,74	\$31.941,08
Gastos de Mantenimiento	\$3.158,38	\$2.823,13	\$2.470,24	\$3.599,49	\$3.158,38
TOTAL	\$27.016,65	\$29.359,93	\$28.435,78	\$29.637,23	\$35.099,45

Fuente: GAD Municipal de Azogues (2022).

5.4.2.2 Proyección de egresos

Se realizó una proyección de egresos a 10 años en base a la distribución que presentan los egresos solicitados, para ello se utilizó un pronóstico lineal en base a los mismos, obteniendo los siguientes resultados.

Figura 23. Representación gráfica del pronóstico lineal para los egresos en base al periodo 2018-2022.



Fuente: Autores (2022).

Como se puede observar en la Figura 23, la distribución de los gastos se ajusta a un comportamiento lineal aceptable presentando un valor de R^2 de 0,7143, por lo que para realizar una proyección de egresos para 10 años, es decir desde el año 2023 al año 2033, se realizó un pronóstico lineal, en la Tabla 28 se muestran los resultados de dicha proyección.

Tabla 28. Proyección de egresos a diez años.

Año	Egreso
2023	\$36.023,41
2024	\$37.889,61
2025	\$39.755,81
2026	\$41.622,01
2027	\$43.488,21
2028	\$45.354,41
2029	\$47.220,61
2030	\$49.086,82
2031	\$50.953,02
2032	\$52.819,22
2033	\$54.685,42

Fuente: Autores (2022).

5.4.2.3 Determinación de VAN, TIR y B/C para los escenarios planteados

En la Tabla 29 se presenta la determinación de las variables necesarias para el análisis costo-beneficio de los escenarios planteados y sus consideraciones iniciales, obteniendo los valores del VAN, TIR y B/C en cada caso utilizando las funciones del software Excel tomando como base el flujo de efectivo de cada escenario, siendo esto la diferencia entre ingresos y egresos para cada año.

Tabla 29. Determinación del análisis costo-beneficio para los escenarios planteados.

Año	Egreso	Ingresos Escenario 1 (SENDECO2)	Ingresos Escenario 2 (Alberta SGER)	Ingresos Escenario 3 (Carbonfund)	Flujo Efectivo Escenario 1	Flujo Efectivo Escenario 2	Flujo Efectivo Escenario 3
2023	\$34.476,88	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$156.495,92	\$77.059,62	\$36.906,48
2024	\$36.377,80	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$154.595,00	\$75.158,70	\$35.005,56
2025	\$39.099,36	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$151.873,43	\$72.437,14	\$32.284,00
2026	\$41.160,24	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$149.812,56	\$70.376,26	\$30.223,12
2027	\$42.413,36	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$148.559,43	\$69.123,14	\$28.970,00
2028	\$44.902,15	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$146.070,65	\$66.634,35	\$26.481,21
2029	\$46.899,39	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$144.073,40	\$64.637,11	\$24.483,97
2030	\$48.697,49	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$142.275,30	\$62.839,01	\$22.685,87
2031	\$50.682,69	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$140.290,11	\$60.853,81	\$20.700,67
2032	\$52.819,22	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$138.153,58	\$58.717,28	\$18.564,14
2033	\$54.685,42	\$190.972,80	\$111.536,50	\$71.383,36	\$136.287,38	\$56.851,08	\$16.697,94
Inversión Inicial			\$92.420,00	VAN Escenario 1		\$789.045,56	
				VAN Escenario 2		\$317.376,74	
Tasa de Descuento			12,00%	VAN Escenario 3		\$78.959,48	
						TIR Escenario 1	100%
						TIR Escenario 2	80,47%
						TIR Escenario 3	32,67%
						B/C Escenario 1	3,29
						B/C Escenario 1	1,92
						B/C Escenario 1	1,23

Fuente: Autores (2022).

5.4.2.4 Escenario 1: Mercado Kioto o de cumplimiento (SENDECO₂)

Se presentan los resultados obtenidos del análisis costo beneficio de la valoración económica de la captura de carbono captado por las especies vegetales presentes en las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues según el precio establecido por la entidad SENDECO₂, entidad perteneciente al mercado Kioto o de cumplimiento, se obtuvo lo siguiente:

- VAN: \$789.045,56
- TIR: 100%
- B/C: 3,29

Siendo estos los resultados del análisis costo-beneficio, se ha determinado que una negociación con la entidad SENDECO₂ resultaría rentable.

5.4.2.5 Escenario 2: Mercado Kioto o de cumplimiento (Alberta SGER)

Se presentan los resultados obtenidos del análisis costo beneficio de la valoración económica de la captura de carbono captado por las especies vegetales presentes en las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues según el precio establecido por la entidad Alberta SGER, entidad perteneciente al mercado Kioto o de cumplimiento, se obtuvo lo siguiente:

- VAN: \$317.376,74
- TIR: 80,47%
- B/C: 1,92

Siendo estos los resultados del análisis costo-beneficio, se ha determinado que una negociación con la entidad Alberta SGER resultaría rentable.

5.4.2.6 Escenario 3: Mercado no Kioto o voluntario (Carbonfund)

Se presentan los resultados obtenidos del análisis costo beneficio de la valoración económica de la captura de carbono captado por las especies vegetales presentes en las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues según el precio establecido por la entidad Carbonfund, entidad perteneciente al mercado no Kioto voluntario, donde se obtuvo lo siguiente:

- VAN: \$78.959,48
- TIR: 32,67%
- B/C: 1,23

Siendo estos los resultados del análisis costo-beneficio, se ha determinado que una negociación con la entidad Carbonfund resultaría rentable.

5.5 Cuarta Etapa: Propuesta de manejo ambiental para las riberas del río Burgay

Durante la elaboración del presente trabajo titulación se identificaron una serie de problemas que se presentan a lo largo del área de estudio, razón por la cual se presentó como una cuarta etapa la elaboración de una propuesta de manejo ambiental para un mejor manejo de las riberas del río Bugay, la propuesta consta de cuatro ítems a tomar en cuenta por parte del GAD Municipal.

5.5.1 Problemas identificados

- Gran número de especies introducidas: Como se observó en el inventario forestal, de los 2620 individuos muestreados, solo un 23% (591 individuos) corresponden a especies nativas (Ver Figura 16).
- Árboles que ya cumplieron su vida útil: Se observó una gran presencia de árboles en malas condiciones debido a su tiempo de vida útil (Ver Anexo 1).
- Identificación de zonas erosionadas a causa de construcciones y crecidas del río Burgay: Se identificaron dentro de la zona de estudio zonas erosionadas por falta de vegetación (Ver Anexo 1).

5.5.2 Reemplazo progresivo de especies introducidas que ya cumplieron su tiempo de prestación de servicios ambientales por especies nativas de la zona.

Los bosques y la vegetación de ribera constituyen un hábitat muy importante para la conservación de la biodiversidad y sobre todo para la protección de los taludes de nuestros ríos. Sin embargo, han sido ecosistemas poco estudiados, a pesar de su importancia y funciones ecológicas como: protección de márgenes y taludes (las raíces se fijan al sustrato y evitan la erosión), refugios de fauna, corredores biológicos y filtros de

contaminación orgánica e inorgánica. Los bosques de ribera son fundamentales para la regulación y mantenimiento de nuestros ríos y quebradas; por lo cual es prioritario buscar alternativas para su manejo adecuado, conservación y restauración ecológica (Minga & Verdugo, 2016).

Al sembrar especies nativas se da un paso adelante para mejorar las condiciones ambientales en la región, y si se hace de una forma planeada, analizando detenidamente los diferentes aspectos al realizar estas siembras, los resultados que se obtendrán en cuanto a la mejora de los servicios ecosistémicos, conectividad biológica, conservación de la biodiversidad y, en general, serán mejores, en cuanto al éxito de las acciones (Espinosa & López, 2019).

En la Tabla 30 se presentan alternativas de reemplazo de diferentes especies introducidas que se identificaron como las menos beneficiosas para las riberas del río Burgay y para otras zonas fuera de la zona de estudio donde se puedan encontrar.

Tabla 30. Alternativas de especies nativas para el reemplazo de especies introducidas.

Especies introducidas a ser reemplazadas	Especies Nativas para Reemplazar
Ciprés	Nogal Capulí
Eucalipto	Sauce Aliso Común
Falso Pimentero (Molle)	Arrayan Guabisay
Pino Común	Guaba Cedro Clavel

Fuente: Autores (2022).

Tabla 31. Reemplazo progresivo de especies introducidas que ya cumplieron su tiempo de prestación de servicios ambientales por especies nativas de la zona.

Objetivo	Responsables	Medios de Verificación	Costo Aproximado	Plazo de Implementación
			1500,00	Anual

Reemplazar progresivamente las especies introducidas que ya cumplieron su tiempo de prestación de servicios ambientales por especies nativas de la zona.	Gad Municipal de Azogues. Departamento de Gestión Ambiental Tesisistas UPS	Registro de especies reemplazadas. Facturas de pago al personal necesario. Registro fotográfico.
--	--	--

Fuentes: Autores (2022).

5.5.3 Implementación de programas de reforestación con especies nativas en las zonas erosionadas por construcciones y crecidas del río Burgay

La reforestación es un conjunto de actividades que comprende la planeación, la operación, el control y la supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles. Por lo que es una práctica ecológica-ambiental donde se lleva a cabo las múltiples actividades planificadas en aras de sembrar cualquier variedad de plantas, con el fin de poblar espacios de terreno que le ha sido arrebatada la capa boscosa por las causas que haya sido, haciendo del espacio el lugar propicio para el resguardo de especies de fauna de las zonas cercanas, y a su vez contribuir positivamente con la conservación de las fuentes hídricas del territorio (Comisión Nacional Forestal, 2010).

Para que la reforestación se logre se deben realizar los estudios de campo necesarios, que permitan conocer las condiciones del sitio a reforestar y definir las especies a establecer, el vivero de procedencia, el medio de transporte, las herramientas a utilizar, la preparación del suelo, el diseño, los métodos, los puntos críticos de supervisión durante las actividades de campo (Molina Pereira, 2019).

Prioridad Ambiental

- Restauración de los suelos erosionados o que se encuentren en un proceso de desertificación, con poca presencia de cobertura vegetal.

- Proteger las fuentes de agua, cuencas hidrográficas o suelos en peligro de erosión.
- Utilizar especies nativas del lugar para evitar inestabilidad ambiental.
- Evitar la sustitución de bosque de especies nativas por especies introducidas.

Prioridad Social

- Aliviar la pobreza urbana mediante actividades que aumenten el empleo y la capacitación laboral.
- Mejorar las condiciones de vida de los pequeños y medianos propietarios para evitar la emigración, asegurando ingresos económicos en el tiempo.
- Mejorar las condiciones de vida de familias que viven cerca de las riberas.

Prioridad Económica

- Establecer plantaciones de especies con valor económico para respaldar ingresos económicos de mediano y largo plazo.
- Elevar el valor económico de las pequeñas y medianas propiedades mediante las plantaciones. Asegurar ingresos anuales o periódicos por venta de Reducciones Certificadas de Emisiones y por la captura de CO₂.
- Aprovechar la institucionalidad pública y privada existente, especialmente la experiencia y estructura de las empresas forestales para reducir costos de organización, ejecución y administración de los proyectos.

Adaptado de: Segunda Parte de Proyectos de Forestación/Reforestación, Mecanismos de Desarrollo Limpio, Chile. (Instituto Forestal de Chile, 2018).

Tabla 32. Implementación de programas de reforestación con especies nativas en las zonas erosionadas por construcciones y crecidas del río Burgay.

Objetivo	Responsables	Medios de Verificación	Costo Aproximado	Plazo de Implementación
Fomentar programas de Reforestación y Recuperación de suelos dentro de las riberas para la captura natural de Carbono.	Gad Municipal de Azogues. Departamento de Gestión Ambiental Tesistas UPS	Registros fotográficos. Facturas de adquisición del material necesario. Informes y Registros.	1000,00	6 meses

Fuente: Autores (2022).

5.5.4 Programas de concientización ambiental sobre la importancia y cuidado de las especies vegetales

Torres, et al. (2020) afirman que el poder constituir, consolidar y mantener una red de espacios públicos, áreas de conservación, áreas de protección ecológica, áreas de agricultura urbana, áreas de protección de ríos y quebradas, es como tal un reto colectivo que como ciudad se debe asumir, esto con un enfoque a desarrollar políticas para una mayor sustentabilidad en las ciudades, por tanto, es imperativo que la sociedad desarrolle una consciencia ambiental colectiva de cuidado al medioambiente y que conozca los beneficios que traen consigo las áreas verdes urbanas.

La presencia de los espacios verdes en la vida urbana permite que los procesos se desarrollen en un equilibrio ambiental mismo que se encamina hacia la sostenibilidad mediante corredores o franjas ecológicas que genere biodiversidad y soporte las demandas de energía, suelo y agua que las ciudades requieren. Estos espacios verdes se clasifican según su distribución espacial y la relación con el funcionamiento urbano, lo que lleva a identificar la red principal que enlaza el centro urbano con la periferia a través de un continuo paisaje natural que integra elementos biológicamente más representativos; y la red secundaria que agrupa espacios menores en relación directa con el entorno

construido de uso residencial y los equipamientos menores en mayor cercanía con la vida urbana cotidiana (Torres et al., 2020).

Beneficios

Los beneficios sociales y ecológicos que tienen para ofrecer las áreas verdes dentro de las ciudades se vuelven aún más relevantes e importantes en contextos de alta incertidumbre como los planteados, por ejemplo, por cambios económicos, sociales y ambientales de carácter global. Dentro de estos últimos destaca como uno de los más importantes el cambio climático, que desafía a las ciudades como principal hábitat de la humanidad a ser activas agentes en la mitigación de la intensidad y velocidad con que se presenta el cambio climático, así como a adaptarse a los impactos adversos derivados del calentamiento global (Vásquez, 2016).

Tabla 33. Programas de concientización ambiental sobre la importancia y cuidado de las especies vegetales.

Objetivo	Responsables	Medios de Verificación	Costo Aproximado	Plazo de Implementación
Fomentar la importancia de las áreas verdes dentro de las ciudades mediante programas de concientización ambiental sobre el cuidado de las especies vegetales presentes en la zona.	Gad Municipal de Azogues. Departamento de Gestión Ambiental Tesisistas UPS	Campañas de concientización realizadas. Registros de capacitaciones a colegios, escuelas y moradores de la zona. Registros fotográficos.	600,00	12 meses

Fuente: Autores (2022).

5.5.5 Reutilización de madera y follaje obtenida de las especies reemplazadas

Toda madera que sea descartada como desecho de basura por más pequeña que esta sea tiene un gran valor por que proviene de los principales pulmones que generan aire en la tierra y no es menester desperdiciar tan preciado material natural. Ya que existen leyes y

reglamentos dictados por el ministerio del medio ambiente que controlan el mejoramiento de los sistemas de aprovechamiento y transformación de la madera en grandes industrias. Pero se ha dejado a un lado a los pequeños empresarios denominados carpinteros, quienes no cuentan con un sistema de recolección de desechos que permita aprovechar al máximo la madera para transformarla (Tello Arellano, 2014).

Esta propuesta se basa en poder reutilizar la madera y follaje obtenidos de la tala de los árboles que ya cumplieron con la prestación de servicios ambientales, para poder para la elaborar compost, bancas, caminaderas, barandas decorativas, juegos infantiles y estructuras decorativas, mismas que servirán para el uso de la ciudadanía, así como también para poder generar puestos de empleo para artesanos y trabajadores de la zona y para dar una buena imagen a la ciudad. Referencias de lo antes mencionado se pueden observar en el Anexo 1.

Prioridad ambiental

- Proteger las fuentes de agua, así como las riberas de los ríos y suelos que están siendo erosionados.
- Reutilización de la madera obtenida por parte de los árboles reemplazados en la ribera.
- Mejorar el entorno entre, las personas y la naturaleza.

Prioridad Social

- Reducir la pobreza urbana mediante actividades que están destinadas a generar más empleo y oportunidades laborales.
- Mejorar la imagen de la ciudad y de las riberas del río Burgay, mediante la implementación de bancas y barandas decorativas.

- Mejorar la calidad de vida de las personas que viven en las zonas aledañas, para evitar la migración tanto dentro como fuera del país.
- Prevenir riesgos de caídas de los árboles que se encuentran en mal estado.

Prioridad Económica

- Crear fuentes de trabajo y oportunidades laborales para la población.
- Minimizar costos de adquisición de materiales para la elaboración de bancas y barandas para los parques y riberas.
- Apoyar al crecimiento de pequeñas empresas y artesanos.

Tabla 34. Reutilización de madera y follaje obtenida de las especies reemplazadas

Objetivo	Responsables	Medios de Verificación	Costo Aproximado	Plazo de Implementación
Reutilizar de madera y follaje obtenida de las especies reemplazadas para la elaboración de compost, bancas y barandas decorativas.	Gad Municipal de Azogues. Departamento de Gestión Ambiental Tesisistas UPS	Registros fotográficos. Facturas de adquisición del material necesario. Informes y Registros.	1800,00	Anual

Fuente: Autores (2022).

5.6 Discusión

Para los estudios de captura de carbono de la vegetación urbana se debe tener en cuenta que esta puede modificarse en función a varios parámetros, como es el tiempo, la metodología empleada para su cálculo y el grado de confianza de los datos recopilados, respecto a las metodologías indirectas o no destructivas que se basan en ecuaciones alométricas se necesitan como datos base el DAP y la altura del árbol (Morales & Vásquez, 2019; Muñoz & Vasquez, 2020; Pintado Corte & Astudillo Pacheco, 2021).

Durante los últimos años se han realizado varios estudios de la capacidad de captura de carbono en las áreas verdes urbanas en donde se aplican metodologías similares a la

aplicada en el presente trabajo, en el Ecuador se han realizado varios trabajos en los parques urbanos de la ciudad de Cuenca, en las riberas de los ríos Santa Bárbara y Santiago de Gualaceo, en el Bosque Protector Aguarongo (BPA) y en el Bosque Natural Tinajillas de Limón-Indanza.

Tabla 35. Comparación de la captura total de CO₂ frente a otros estudios.

Fuente	Localidad	Área de Estudio (ha)	Captura total de CO₂ equivalente (Ton)
Autores (2022)	Azogues	16,63	2230,716
Pintado & Astudillo (2021)	Gualaceo	12,25	2082,331
Muñoz & Vázquez (2020)	Cuenca	64,51	11418,88
Morales & Vázquez (2019)	BPA	2082	20264
Jumbo et al., (2018)	Limón-Indanza	14,4	4835

Fuente: Autores (2022).

Se puede observar cómo varían los resultados según la extensión del área de estudio, sin embargo, otro parámetro de gran importancia a tomar en cuenta para la captura total de CO₂ es la abundancia de especies que esa extensión dispone y además de que las características diamétricas y altimétricas de dichas especies pueden variar, dando como resultado un valor mayor o menor de captura de CO₂ total, mayor en el caso de altas características diamétricas y altimétricas y menor en el caso de que dichas características sean bajas.

Con lo anterior expuesto se procede a comparar el número de especies identificadas y los individuos totales identificados de los estudios mencionados, con la consideración de que

el estudio realizado por Morales & Vásquez (2019) cuenta con únicamente dos especies específicas seleccionadas, debido a la extensión tan amplia de su área de estudio.

Tabla 36. Comparación de variedad de especies y número de individuos con otros estudios.

Fuente	Localidad	Área de Estudio (ha)	Número de especies identificadas	Número de individuos identificados
Autores (2022)	Azogues	16,63	29	2620
Pintado & Astudillo (2021)	Gualaceo	12,25	53	2957
Muñoz & Vázquez (2020)	Cuenca	64,51	49	3953
Morales & Vásquez (2019)	BPA	2082	2	189462
Jumbo et al., (2018)	Limón-Indanza	14,4	27	925

Fuente: Autores (2022).

A pesar de que el índice de diversidad de Shannon-Wiener da como resultado una diversidad considerada como media o típica, en comparación con otros estudios realizados, se puede observar que las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues tienen una baja diversidad y un bajo número de individuos.

Claramente se puede observar en el estudio realizado en los parques y riberas de Gualaceo por Pintado & Astudillo (2021), donde la extensión del área de estudio fue inferior a la extensión del área del estudio actual, sin embargo, cuenta con un mayor número de especies e individuos, lo que da como resultado una captura de carbono que más se aproxima a la obtenida en el estudio actual. Cabe mencionar que con los trabajos citados pueden diferirse los resultados en cuanto al grado de precisión en la toma de datos y la extensión del área de estudio, como se puede observar claramente en el estudio realizado por Morales & Vásquez (2019), cuya extensión de área de estudio es sumamente extensa

en comparación al área de estudio actual y a la de los demás estudios citados, donde a pesar de analizar específicamente dos especies, el número de individuos al cubrir un área tan extensa es muy alto en comparación a todos los estudios citados, por lo cual la captura de CO₂ total es mayor. Con lo anterior expuesto se puede decir que, el valor de la captura de CO₂ en un área verde dependerá de la abundancia de individuos que tenga y sus características diamétricas y altimétricas más que de su extensión como tal.

Respecto a la valoración económica, de los tres escenarios la entidad en donde se obtienen mayores beneficios económicos es la entidad española SENDECO₂, correspondiente al mercado Kioto o de cumplimiento regulado, debido a que el precio del mercado es de \$85,61 por tonelada de CO₂, esta entidad ha sido seleccionada en estudios donde se ha realizado de la misma manera análisis costo-beneficio de la captura de carbono para un periodo de 10 años, siendo de la misma manera esta entidad como opción más rentable respecto a otras entidades, sin embargo los precios por tonelada de CO₂ han aumentado significativamente en el último año, esto gracias a la implementación de tratados internacionales para la mitigación del cambio climático, como se puede observar en la siguiente comparación en la Tabla 37.

Tabla 37. Comparación de los beneficios obtenidos por la entidad SENDECO₂ con otros estudios seleccionada como el escenario más rentable.

Fuente	Localidad	Precio por Ton de CO₂ de la entidad SENDECO₂	Beneficios obtenidos como entidad más rentable
Autores (2022)	Azogues	\$85,61	VAN: \$789.045,56 TIR: 100% B/C: 3,29
Muñoz & Vázquez (2020)	Cuenca	\$24,81	VAN: \$1.019.776,33 TIR: 99% B/C: 1,39

Morales & Vásquez (2019)	BPA	\$17,06	VAN: \$553.190.97 TIR: 81% B/C: 4,39
-----------------------------	-----	---------	---

Fuente: Autores (2022).

Se puede observar un aumento significativo del precio por tonelada de CO₂ en función del tiempo, razón por la cual en el presente estudio se obtuvieron valores favorables al realizar las proyecciones con los precios actuales del mercado internacional, por lo que a pesar de que en el presente estudio se determinó una captura de carbono significativamente menor a los estudios anteriores, el precio por tonelada de CO₂ actual hace que se obtenga un análisis costo-beneficio con resultados rentables y con beneficios comparables a los obtenidos en dichos estudios realizados anteriormente.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- De acuerdo con el inventario forestal por existencias realizado, las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues albergan un total de 2620 árboles que cumplieron con los criterios de selección planteados, registrándose 29 especies pertenecientes a 18 familias, de este número de individuos, 2028 pertenecen a especies introducidas, representando un 77% del total de individuos, mientras que 592 individuos que representan el 23% del total pertenecen a especies nativas.
- Las riberas del río Burgay presentan un valor típico de diversidad según el índice de Shannon-Wiener con un valor de 2,575, siendo las especies más dominantes según el IVI *Salix humboldtiana* (19,201%), *Schinus molle* (13,028%) y *Acacia dealbata* (12,949%).

- La captura total de CO₂ en las riberas del río Burgay fue de 2230,716 Ton durante el año 2022, con un promedio de captura de 13,31 kg/m²/año considerando la extensión total del área de estudio, las especies ocupan un volumen de árboles en pie de 2178,64 m³ y un área basal de 220,34 m². Las especies nativas capturaron un total 748,1 Ton, mientras que las especies introducidas capturaron un total de 1482,6 Ton, demostrando que las especies introducidas capturan el 66,47% del total.
- Las especies que capturan más CO₂ fueron *Eucalyptus globulus* (835,419 Ton), *Salix humboldtiana* (727,04 Ton), *Acacia dealbata* (235,299 Ton) y *Grevilea robusta* (176,657), representando estas especies cerca del 90% de la captura de CO₂ total de las riberas del río Burgay, considerando a la especie *Salix humboldtiana* como la única especie nativa que presenta un dato significativo de captura de CO₂.
- En cuanto a la valoración económica del carbono capturado, el análisis costo-beneficio para un periodo de 10 años en el mercado Kioto o de cumplimiento regulado, las entidades seleccionadas (SENDECO₂ y Alberta SGER) presentaron resultados rentables en su proyección, presentando SENDECO₂ un VAN de \$789.045,56, una tasa interna de retorno del 100% y una relación costo-beneficio de 3,29, mientras que Alberta SGER presenta un VAN de \$317.376,74, una tasa interna de retorno del 80,47% y una relación costo-beneficio de 1,92. Por otra parte, el mercado no Kioto o de cumplimiento voluntario, la entidad Carbonfund presentó un VAN de \$78.959,48, una tasa interna de retorno de 32,67% y una relación costo-beneficio de 1,23, siendo también un escenario de proyección rentable, sin embargo la opción más favorable es la entidad SENDECO₂.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda al GAD Municipal la ejecución de la propuesta de manejo ambiental planteada para tener una mejor gestión de las riberas del río Burgay y para aumentar el valor de los servicios ambientales que brinda la vegetación presente, sobre todo, se recomienda poner énfasis en el reemplazo de especies introducidas por especies nativas ya que como se pudo determinar, existe un bajo porcentaje de especies nativas.

7. Bibliografía

- Agencia Extremeña de la Energía. (2013). Características, recolección y aplicaciones de la biomasa forestal. *Agencia Extremeña de La Energía*, 36.
<https://www.agenex.net/images/stories/deptos/la-biomas-forestal.pdf>
- Aguirre, N., Erazo, A., & Granda, J. (2017). Posibilidades de comercialización de bonos de carbono del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 98–115.
- Almeida Huaraca, M. A., & Lima Remache, G. A. (2020). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito [Universidad Politécnica Salesiana]. In *Tesis*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18503%0Ahttp://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Anacafé. (2004). *Cultivo de Aguacate: Programa de Diversificación de Ingresos en la Empresa Cafetalera: Vol. I*.
- Aparicio Fernández, X., Bivián Castro, E. Y., & Martínez Cano, E. (2022). La flor de jacaranda: más allá de su uso ornamental. In *Revista Digital Universitaria* (Vol. 23, Issue 3). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.3.4>
- Azimova, S. S., & Glushenkova, A. I. (2012). *Populus alba L.* In *Lipids, Lipophilic Components and Essential Oils from Plant Sources*. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-323-7_2796
- Ayala, A. (2011). *Establecimiento de cultivo in vitro de Molle (Schinus molle L.) a partir de yemas auxiliares tomadas de plantas madre como una herramienta para la propagación de las especies en el distrito metropolitano de Quito*. Escuela Politécnica del Ejército.
- Bárcena, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. E. (2020). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. In *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Informe sobre el impacto económico en América Latina y el Caribe de la enfermedad por coronavirus (COVID-19): estudio elaborado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*
www.cepal.org/apps
- Burbano, J. (2005). *Presupuestos: Enfoque de Gestión, Planeación y Control de Recursos*. (3era Edici). Universidad del Valle.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 82–96.
- Cabudivo Coquinche, K. (2016). *Secuestro De Co2 Y Producción De Oxígeno En Árboles Urbanos De La Av. Abelardo Quiñones - Distrito San Juan Bautista, Loreto – Perú, 2016*. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4694>

- Cancino, J. (2012). *Dendrometría Básica* (U. de Concepción (ed.); 1era Edici). <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/407>
- Carvajal-Agudelo, B. N., & Andrade, H. J. (2020). Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso del suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia*, 24(1), 13–22. <https://doi.org/10.22579/20112629.587>
- Castillo, J. G., & Zhangallimbay, D. (2021). La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: Una aplicación para el Ecuador. *Cepal Review*, 134, 77–98. <https://doi.org/10.18356/16820908-2021-134-4>
- Caudullo, G., & de Rigo, D. (2016). Populus tremula in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree*, 138–139. https://www.researchgate.net/profile/Giovanni_Caudullo/publication/299471023_Populus_tremula_in_Europe_distribution_habitat_usage_and_threats/links/570b73f208aed09e91739aca/Populus-tremula-in-Europe-distribution-habitat-usage-and-threats.pdf
- Cerda, A. A., & García, L. Y. (2019). Valoración económica del ambiente. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 15(1), 1–1. <https://doi.org/10.4067/s0718-235x2019000100001>
- Chacho, J. (2019). Evaluación de la capacidad de captura de carbono de los sistemas hortícolas, parroquia San Joaquín, cantón Cuenca. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*.
- Comunidades Europeas. (2009). *Cambio climático: ¿el suelo puede cambiar las cosas?* <http://europa.eu>
- Cueva, K. (2015). *Metodología de Procesamiento y Análisis del Inventario Forestal Nacional (IFN)*. Paraguay: Programa ONU-REDD.
- de la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M., & Balslel, H. (2008). Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador. In *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*.
- Comisión Nacional Forestal. (2010). Prácticas de Reforestación. Manual Básico. In *Gobierno Federal México* (Vol. 1). SEMARNAT. https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/Practicas_de_reforestacion_manual_basico.pdf
- Di Marco, E. (2015). Eucalyptus globulus sp. globulus Labill (Eucalipto blanco) Familia Myrtaceae. In *Producción Forestal* (Vol. 14).
- Díaz Cordero, G. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia y Sociedad*, 38(2), 227–240. https://doi.org/10.1057/9780230358973_5
- Díaz-Vaz, J. E. (1984). Araucaria Araucana. Descripción Anatómica. *BOSQUE: Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Forestales*, 5, 117–118.

- Earth, U., Guácimo, C. De, Apdo, L., José, S., & Rica, C. (2012). Impacto económico de los pagos por carbono y servicios ambientales en las inversiones forestales en la región Caribe de Costa Rica. *Ecosistemas*, 21(1–2), 21–35.
- Eguren C, L. (2004). El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas.
- Espinosa, R., & López, A. M. (2019). Árboles Nativos Importantes Para La Conservación De La Biodiversidad. In Cenicafé (Ed.). Editorial Blanecolor. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0004>
- FAO. (2000). *Volumen y Biomasa*. <https://www.fao.org/3/ae218s/AE218S06.htm>
- FAO. (2008). Plagas y enfermedades transfronterizas. In *Organización de las Naciones Unidas*.
- FAO. (2009). *Manual para la recolección integrada de datos de campo*. FAO. <https://www.fao.org/3/ap152s/ap152s.pdf>
- FAO. (2010). Carbon Finance Possibilities for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects in a. In *ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT WORKING PAPER*. <http://www.fao.org/docrep/012/i1632e/i1632e.pdf>
- FAO. (2017). Inventario Forestal. *Tropenbos International*. <https://www.fao.org//sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-inventory/basic-knowledge/es/?type=111>
- FAO. (2018). *Manual de Campo: Inventario Forestal Nacional de Colombia*. 4ta Edición. (MINAMBIENTE, G. DE COLOMBIA, & IDEAM) FAO.
- Ferriol Molina, M. (2017). *El pino albar (Pinus sylvestris L.)* (Vol. 1). [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144731/Ferriol - El pino albar %28Pinus sylvestris L.%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144731/Ferriol%20-%20El%20pino%20albar%20-%20Pinus%20sylvestris%20L.%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Grupo Gobernanza Forestal. (2014). Guía práctica para la cubicación de maderas. *Corporación para el desarrollo sostenible del Norte y el Oriente Amazónico*
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2020). *El océano y la criosfera en un clima cambiante 2020*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf
- Guerrero Candel, T. (2014). *Análisis Coste-Beneficio del Corredor del Mediterráneo* [Universidad de Sevilla]. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90035/fichero/memoriaPFG.pdf>
- Guido Aldana, P. A. (2017). *Cambio climático: Selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación*. (1era Ed). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1733>

- Guillot Ortiz, D., & Van der Meer, P. (2009). *El género Yucca L. en España*. Floramontiberica.
http://www.floramontiberica.org/bouteloua/monogbouteloua_02_yucca.pdf
- Gutiérrez Rodríguez, E., Moreno Orjuela., R. D., & Villota Echeverry., N. (2013). *Guía de cubicación de madera*.
- Herguedas, A., Taranco, C., Rodríguez, E., & Paniagua, prado. (2012). Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad. *Transbioma*, 13(2), 105–109.
- Higuchi, N., & Andrade de Carvalho, J. (1994). Fitomassa e Conteúdo de Carbono de Espécies Arbóreas da Amazônia. *Emissão x Seqüestro de CO2 - Uma Nova Oportunidade de Negócios Para o Brasil*, 125–154.
<https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/35086>
- Jumbo, A., Arévalo, D., & Ramírez, L. (2018). Medición De Carbono Del Estrato Arbóreo Del Bosque Natural Tinajillas - Limón Indanza , Ecuador. *La Granja*, 27(1), 51–63. <https://doi.org/http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04>
- Lif Med Wet Rivers. (2013). *Mimosa (Acacia dealbata)*.
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., & Navarrete, H. (2011). *Libro Rojo de las plantas endémicas del Ecuador: Vol. I* (2nd ed.). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- López Piñeros, M. (2013). *ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA Y VENTAJAS FINANCIERAS DE PROYECTOS CARACTERIZADOS COMO MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO*. Universidad del Valle.
- Maslin, R., & McDonald, M. (2004). Acacia search. In *of Acacia as a woody crop* (Issue 03). <https://rirdc.infoservices.com.au/downloads/03-017.pdf>
- MAE. (2015). Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador. *Ministerio Del Ambiente de Ecuador-MAE*, 174.
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- Marcillo, F. (2002). *Manejo De Costos Y Administración Financiera De Empresas Acuícolas*.
- Martínez, C. M. (2002). Evaluación Económica e Inversión sobre un Condominio Horizontal en la Delegación Álvaro Obregón. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 90.
<http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/MartinezSCM/cap4.pdfw>
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y Tasa de retorno: su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides Et Ratio: Instituto de Investigación En Ciencias Económicas y Financieras Universidad La Salle - Bolivia*, 7, 67–85.

- Méndez Pérez, R. (2017). *Antología del Género Acacia Mill. En México* [Universidad Autónoma de Chapingo].
http://dicifo.chapingo.mx/pdf/tesislic/2017/Méndez_Pérez_Rebeca.pdf
- Merino, M. (2015). *Evaluación de una técnica de propagación asexual con esquejes apicales del ciprés (Cupressus macrocarpa) Var. Gold crest (Tesis de grado)*. Universidad Técnica de Ambato.
- Ministerio de Agricultura de Perú. (2012). Manual base para la Planificación y Ejecución de Inventarios Forestales en Bosques de Producción Permanente. *Ministerio de Agricultura*.
https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/resolucionesministeriales/2012/mayo/manual_inv_forestales.pdf
- Morales, S. M. P., & Vásquez, V. M. (2019). Valoración Económica De La Captura De Carbono En Las Especies Podocarpus Sprucei Y Oreocallis Grandiflora En El Bosque Protector Aguarongo. [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. In *Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7986/1/UPS-CT004855.pdf>
- Munera Arenas, S. M. (2006). *Valoración Económica Y Ambiental De Los Bonos Ecológicos En Empresas De Transporte Público De La Ciudad De Bogotá* [Universidad de la Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1412&context=contaduria_publica
- Muñoz, M., & Vásquez, E. (2020). “Estimación del Potencial de Captura de Carbono en los Parques Urbanos y Emisiones de Co2 Vehicular en Cuenca, Ecuador.” *Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca*, 1–148.
https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18390/1/UPS-CT008694.pdf?fbclid=IwAR26ee_K_VKxflPp7tzNwFmX2FZc9WLekWfseVuPk4FEWEjmki7jGQ4_qIA
- Ministerio de Sanidad. (2013). Impactos del Cambio Climático en la Salud. *Servicios Sociales*, 1–30.
- Minga, D., & Verdugo, A. (2016). Árboles y Arbustos de los ríos de cuenca. En: *Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay*.
- Morales, S. M. P., & Vásquez, V. M. (2019). Valoración Económica De La Captura De Carbono En Las Especies Podocarpus Sprucei Y Oreocallis Grandiflora En El Bosque Protector Aguarongo. Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca, 150. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7986/1/UPS-CT004855.pdf>
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (1era Ed). Manuales y Tesis.
- Molina Pereira, Y. A. (2019). La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas. *Revista Científica*, 4(13), 182–199.
<https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2019.4.13.9.182-199>

- Iglesias, J. (2016). “EVALUACIÓN DEL CARBONO EN LA BIOMASA DE 3 ESPECIES FORESTALES NATIVAS (Shiripe - *Myrsine dependens*, Rañas - *Viburnum triphyllum*, Yugyug - *Miconia theaezans*) EN EL BOSQUE AGUARONGO.” In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 13, Issue 1). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11653/6/UPS-CT005573.pdf>
- IPCC. (2001). *2001: Informe de Síntesis*. 206. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf
- IPCC. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IGES.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: impacto, adaptación y vulnerabilidad. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>
- IPCC. (2019). Calentamiento global de 1,5 °C: Resumen para responsables de políticas. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- IPCC (Panel intergubernamental sobre el Cambio Climático). (2020). *El Informe Especial del IPCC sobre el océano y la criósfera en un clima cambiante ¿Qué significa para América Latina?*
- Ordoñez Díaz, J. B. (1999). *Captura de Carbono en un bosque templado*. (Issue February). SEMARNAT.
- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3–12.
- Orozco, L., & Brumér, C. (2002). *Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados en América Central*. CATIE.
- Ortega Aguaza, B. (2012). Análisis coste-beneficio. *EXtoikos*, 5, 147–149.
- Ovalle Molina, C. (2020). Una Nama Agrícola para Chile mediante el secuestro de carbono orgánico en el suelo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias & Centro de Investigación Regional La Cruz (Eds.), *Instituto De Investigaciones Agropecuarias*. Marketing & Comunicación.
- Parry, M., Canziani, O., & Palutikof, J. (2007). Cambio climático 2007: impacto, adaptación y vulnerabilidad.
- Pérez Cedillo, G. (2015). *Uso tradicional del saúco (*Sambucus mexicana*) como planta medicinal en el caserío La Libertad, aldea Salquil Grande, municipio de Nebaj, departamento de Quiché*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pérez, W., & Mojica, J. (2018). Análisis fitoquímico de frutos de *Syzygium paniculatum* en diferentes estados de maduración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 124–129.

- Pinelo, G. (2004). Manual de inventario forestal integrado para unidades de manejo. In *Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala* (Vol. 4).
- Pintado Corte, S. E., & Astudillo Pacheco, D. F. (2021). *Inventario forestal y estimación de la captura del carbono en los cuatro parques urbanos y en las riberas de los ríos Santa Bárbara y San Francisco en la zona turística del cantón Gualaceo* [Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21116>
- PNUD. (2007). *Informe Sobre Desarrollo Humano: Lucha contra el cambio climático*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
 papers2://publication/uuid/52E71EEC-4DBE-475B-AF48-23069ED0A773
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura Forestal: Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible* (1era Ed). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/15038>
- Pozo Proaño, D. F. (2016). *El cambio climático y su mitigación: Análisis de la eficiencia de los mercados de carbono en el período 2008 – 2012*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Quevedo Jaramillo, K. A. (2022). *USO DE Trichoderma spp. PARA EL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE TRES ESPECIES FORESTALES EN LA PARROQUIA JUAN MONTALVO DEL CANTÓN LATACUNGA* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/16122/1/33T00360.pdf>
- Quiceno-Urbina, N.-J., Tangarife-Marín, G.-M., & Álvarez-León, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Luna Azul*, 43(43), 171–202. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.9>
- Quispe, I. A. (2014). *Evaluación Del Efecto de tres tratamientos pregerminativos en tres tipos de sustratos en la germinación de Paraserianthes lophanta en el centro experimental de Cota Cota de la UMSA*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS.
- Restrepo-Santamaría, D., & Álvarez-león, R. (2013). Algunos Aspectos Sobre La Introducción De Especies, Y Estado Del Conocimiento Sobre Los Peces Introducidos En El Departamento De Caldas, Colombia. *Luna Azul*, 37, 268–281. <https://doi.org/10.17151/luaz.2013.37.15>
- REED+. (2016). *Conservar los bosques para combatir el cambio climático* (pp. 1–28).
- Rendón, R. (2010). Espacios Verdes Públicos Y Calidad De Vida. *Mexicali*, 1–14.

- Reyes, I., & Gutiérrez, J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: Retos y aportes para la sustentabilidad de la Ciudad de Toluca. *Quivera*, 12(1), 96–102.
- Rodríguez Llerena, M. V., & Cargua Catagña, F. E. (2013). *Elaboración de un Inventario Florístico multipropósito con énfasis en el contenido de Carbono de las diferentes clases de uso de Tierra, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo* [Universidad Politécnica del Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2794>
- Rojas-Rodríguez, F., & Torres Córdova, G. (2012). Árboles del Valle Central de Costa Rica. In *Revista forestal mesoamericana* (Vol. 9, Issue 506).
- Rojas-Rodríguez, F., & Torres-Córdoba, G. (2019). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción de gravilia (*Grevillea robusta* A. Cunn.). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(40), 58–60. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i40.4909>
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2008). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. *Consortio Iniciativa Amazónica (IA) y Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)*.
- Russo Ricardo. (2009). *Guía Práctica de Medición de Carbono en la Biomasa Forestal* (1era Ed). Universidad Earth. Unidad de Carbono Neutro.
- Samayoa, S. (2011). *Mercado del Carbono, oportunidades para proyectos de pequeña escala*. SNV. <http://www.icpcolombia.org/perspectiva/archivos/revista/No15/bent.pdf>
- Sanahuja Velasco, J. (2013). *Valoración medioambiental de los árboles en los espacios verdes urbanos*. 125. <https://wwwaie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/TESINA-Sanahuja-Jordi-red.pdf>
- Sari, S. Amelia. (2017). VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO. In *UNSA-CIENCIACTIVA-CONYTEC* (Vol. 549).
- Solé Madrigal, R. (2011). Técnicas de evaluación de flujos de inversión: mitos y realidades. *Revista de Ciencias Económicas*, 29(1), 423–441.
<https://doi.org/10.15517/rce.v29i1.7051>
- Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería En Las Américas*, 23(April), 72–74. <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A3377E/A3377E.PDF>
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. En: *División de Medio Ambiente del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo*.
<http://www.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2010/07148es.pdf>
- Sosa Castillo, J. O. (2016). Valoración económica del secuestro de CO2 en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay, Loreto-Perú-2014. 94.

http://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4477/Ida_Tesis_Titulo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-06.pdf

- Tello Arellano, A. A. (2014). Utilización de los desechos de la Madera en el Diseño de Accesorios del Vestuario Femenino [Universidad Técnica de Ambato]. In *Ambato, Ecuador*.
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- Trinidad, C., & Ortiz, E. (2019). *Precio Al Carbono En America Latina: Tendencias Y Oportunidades*.
- Toscano Morales, L. A. (2009). *Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa*. [ESPOL].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19134>
- Torres, M., Segarra, G., & Gonzáles, C. (2020). *Plan del Sistema Verde Urbano de Loja*. Municipio de Loja. [https://www.bivica.org/files/5790_Plan del Sistema Verde Urbano Loja.pdf](https://www.bivica.org/files/5790_Plan%20del%20Sistema%20Verde%20Urbano%20Loja.pdf)
- Useros, J. (2013). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817473>
- Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, 63–86.
- Vallejo, M., Galeano, G., López, R., Álvarez, E., Devia, W., & Londoño, A. C. (2005). *Establecimiento de Parcelas Permanentes de Bosques en Colombia. Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo* (1era Ed). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Velásquez-Tibatá, J. (2014). Cambio climático y biodiversidad. In *Biodiversidad 2014. Reporte de estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*.
<https://doi.org/10.21068/b001.2014.208>
- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, R., Donatti, C., Harvey, C., & Alpízar, F. (2017). Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación. Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE). *CATIE* (p. 49).
https://www.conservation.org/publications/Documents/cascade_Modulo-2-Impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-Centroamerica.pdf
- Yáñez, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*, 70, 5–18.
<http://redalyc.org/articulo.oa?id=53907001>

Zenia, S., & Paulo, H. (2008). *Guía para el diseño de proyectos MDL*. (S. Zenia & P. Hernández (eds.); Ree Sheck). Biblioteca Conmemorativa Orton.

8. Anexos

8.1 Anexo 1. Anexos fotográficos

Figura 24. Equipos utilizados para la toma de datos en campo: Hipsómetro Nikon

Forestry Pro, GPS y flexómetro.



Fuente: Autores (2022).

Figura 25. Toma de datos de campo: CAP (Circunferencia a la altura del pecho).



Fuente: Autores (2022).

Figura 26. Toma de datos de campo: Altura de los árboles.



Fuente: Autores (2022).

Figura 27. Toma de datos de campo: Coordenadas geográficas.



Fuente: Autores (2022).

Figura 29. Problema identificado: Zonas erosionadas de las riberas del río Burgay.



Fuente: Autores (2022).

Figura 30. Problema identificado: Individuos arbóreos en mal estado por su tiempo de vida útil.



Fuente: Autores (2022).

Figura 31. Fotografías de referencia de estructuras, juegos infantiles, bancas y caminaderas de madera para la reutilización de la madera producto del reemplazo progresivo de especies.



Fuente: Autores (2022). Fotografías tomadas en los parques “El Paraíso” y “Parque de la Madre” de la ciudad de Cuenca.

