

**Estimación del potencial de captura de dióxido de carbono en la
Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C Thomas Van Der
Hammen (RTVdH) mediante el uso de la herramienta Ex-Act,
como aporte a la mitigación del cambio climático**

Ordenamiento territorial

Presentado por:

Yenny Marcela Mosquera Fonseca
María Alejandra Rivera Beltrán

Directora

Nidia Elena Ortiz Penagos

Co directories

Gina María Piza Moreno - Representante legal
Sergio Ramiro Burgos Romero - Ing. Ambiental,
Mg. Ordenamiento Urbano Regional

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá
2021**

Tabla de contenido

1.	Resumen.....	7
2.	Abstract.....	8
3.	Introducción.....	9
4.	Objetivos.....	12
4.1.	Objetivo general.....	12
4.2.	Objetivos específicos.....	12
5.	Marco referencial.....	13
5.1.	Marco contextual.....	13
5.1.1.	Reserva Thomas Van der Hammen.....	13
5.1.2.	Sembradores Van der Hammen.....	15
5.2.	Marco teórico.....	16
5.2.1.	Cambio climático.....	16
5.2.1.1.	Adaptación al cambio climático.....	16
5.2.1.2.	Mitigación del cambio climático.....	17
5.2.1.3.	Restauración ecológica.....	17
5.2.1.4.	Captura de carbono.....	18
5.2.1.5.	Ex-Act: herramienta de balance de carbono.....	20
5.3.	Marco conceptual.....	22
5.4.	Marco legal.....	25
6.	Metodología.....	28
6.1.	Esquema metodológico.....	28
6.2.	Implementación de sistemas de información geográfica.....	29
6.3.	Construcción situación base.....	30
6.3.1.	Alcance de la zona de estudio.....	30
6.3.2.	Selección módulos.....	31
6.4.	Escenario con proyecto y sin proyecto.....	33
6.4.1.	Análisis componente forestal.....	33
6.4.2.	Análisis componente agrícola.....	33
6.4.3.	Análisis del componente pastizales y ganadero.....	33
6.4.4.	La Hacienda La Conejera frente a los dos escenarios.....	34
6.5.	Búsqueda del modelo social.....	34
7.	Resultados.....	35
7.1.	Clasificación supervisada de coberturas.....	35
7.1.1.	Combinación de bandas.....	35
7.1.2.	Clasificación supervisada mediante el complemento SPC.....	37
7.1.3.	Cálculo de las áreas de cada cobertura.....	39
7.1.4.	Proyecciones de cambio de uso del suelo.....	41
7.2.	Estimación de CO ₂ mediante Ex-Act.....	42
7.2.1.	Alimentación módulos de Ex-Act.....	43
7.2.1.1.	Modulo descripción.....	43
7.2.1.2.	Modulo cambio de uso de suelo.....	45
7.2.1.3.	Módulo de producción agrícola.....	47
7.2.1.4.	Módulo de pasto/ganadería.....	48
7.2.2.	Calculo balance neto de carbono y CO ₂ capturado.....	50
7.3.	Modelo social.....	55
8.	Conclusiones.....	58
9.	Recomendaciones.....	60
10.	Bibliografía.....	61

11. Anexos 66

Índice de figuras

Figura 1. Uso del suelo RTVdH	14
Figura 2. Zonificación ambiental RTVdH	15
Figura 3. Tabla de tipos de calculadoras.....	20
Figura 4. Esquema cálculo de balance carbono herramienta Ex-Act.	22
Figura 5. Metodología del desarrollo del proyecto	28
Figura 6. Hectáreas de restauración en la Hacienda La Conejera.....	30
Figura 7. Tabla de lista de comprobación de módulos de Ex-Act.....	31
Figura 8. Tabla de información de los módulos de Ex-Act	32
Figura 9. Complemento SPC de QGis	37
Figura 10. Tipo de vegetación según zona ecológica	46
Figura 11. Flujos en tCO ₂ eq por componente con y sin proyecto	52
Figura 12. Balance neto en tCO ₂ eq por submódulo.....	53
Figura 13. Balance neto en tCO ₂ eq de los escenarios con y sin proyecto	54
Figura 14. Balance neto para cada GEI	55

Índice de imágenes

Imagen 1. Zonas agrícolas en descanso de la Hacienda La Conejera.....	47
Imagen 2. Zonas agrícolas activas de la Hacienda La Conejera.....	48
Imagen 3. Zonas de pastizales de la Hacienda La Conejera	49
Imagen 4. Zonas de ganadería de la Hacienda La Conejera	49
Imagen 5. Resultados balance de carbono de la herramienta Ex-Act.....	50
Imagen 6. Socialización en el parque Quebrada la Salitrosa	56
Imagen 7. Socialización en el parque Quebrada la Salitrosa II	57

Índice de tablas

Tabla 1. Marco legal del estudio.....	27
Tabla 2. Combinación de bandas en QGis.....	36
Tabla 3. Área de las coberturas en la Hacienda la Conejera.....	39
Tabla 4. Área de las coberturas en la Hacienda la Conejera multiplicadas x 100	42
Tabla 5. Clasificación temperatura media anua	43
Tabla 6. Temperatura media anual estación Apto Guaymaral.....	44
Tabla 7. Precipitación anual estación Apto Guaymaral.....	44

Índice de mapas

Mapa 1. Clasificación de coberturas de la Hacienda La Conejera 2019	38
Mapa 2. Zonas a restaurar en la Hacienda La Conejera	40
Mapa 3. Clasificación de coberturas de la Hacienda La Conejera 2025	41

1. Resumen

La Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C "Thomas van der Hammen" (RTvdH) ubicada en el borde norte de la capital de Colombia, hace parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá y la Sabana, ofreciendo bondades ambientales como riqueza ecológica y paisajística, las cuales promueven la dinámica ecológica regional para fomentar la conservación y protección de los recursos naturales, permitiendo la conectividad ecológica entre los Cerros Orientales, los humedales, los relictos de bosque nativo, el cerro de La Conejera y el río Bogotá, convirtiéndola en un área potencial para consolidar el bosque urbano más grande de América Latina (Hurtado, J., Pulido, D., & Lizarazo, I., 2020), siendo además estratégica en la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y en la adaptación al cambio climático.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de calcular mediante la aplicación de la herramienta Ex-Act la cantidad de dióxido de carbono que la RTvdH lograría capturar, más específicamente en el sector denominado "Hacienda la Conejera" y de este modo visibilizar la importancia de la RTvdH en la mitigación del cambio climático si se culmina satisfactoriamente el proyecto de restauración ecológica que se está llevando a cabo en la zona.

Por ende, la metodología se realizó con base en información brindada por el plan de manejo ambiental (PMA) de la RTvdH, datos brindados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático), así como, de bases de datos y sistemas de información geográfica para completar los módulos que requería la herramienta dentro de su propia estructura; teniendo como resultado el balance total de carbono con un valor de $-772,307 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$ correspondiente al gas de efecto invernadero, objeto de trabajo, dióxido de carbono.

Palabras clave: Dióxido de carbono, RTvdH, Ex-Act, FAO, IPCC, estructura ecológica principal, mitigación.

2. Abstract

The Production Regional Forest Reserve of the North of Bogotá DC "Thomas Van der Hammen" (RTVdH) located on the northern edge of the capital of Colombia, is part of the Main Ecological Structure of Bogotá and the Sabana, offering environmental benefits such as ecological wealth and landscaping, which promote regional ecological dynamics to promote the conservation and protection of natural resources, allowing ecological connectivity between the Eastern Hills, the wetlands, the remnants of native forest, the Cerro de La Conejera and the Bogotá river, making it a potential area to consolidate the largest urban forest in Latin America (Hurtado, J., Pulido, D., & Lizarazo, I., 2020), being also strategic in the mitigation of Greenhouse Gases (GHG) and adaptation to climate change.

For this reason, the present work was carried out to calculate through the application of the Ex-Act tool the amount of carbon dioxide that the RTVdH would be able to capture, more specifically in the sector called "Hacienda la Conejera" and thus make visible the importance of the RTVdH in mitigating climate change if the ecological restoration project that is being carried out in the area is completed.

Therefore, the methodology was carried out based on information provided by the RTVdH's environmental management plan (EMP), data provided by the FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) and the IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change), as well as databases and geographic information systems to complete the modules required by the tool within its structure; resulting in the carbon total balance with a value of -772,307 tCO₂ eq corresponding to the greenhouse gas, object of work, carbon dioxide.

Keywords: Carbon dioxide, RTVdH, Ex-Act, FAO, IPCC, main ecological structure, mitigation.

3. Introducción

Las actividades humanas han sido la principal causa de la generación de gases de efecto invernadero (GEI), lo que conlleva al calentamiento, cambio climático global (Ho, S., Chen, C., Lee, D., & Chang, J., 2011), extinciones biológicas (Pedraza, M. C., & Prada, M. C., 2018) y alteración de las condiciones de los hábitats. Actualmente, Colombia cuenta con 91 ecosistemas generales, de los cuales 70 son naturales y 21 transformados o alterados (MINAMBIENTE, 2017), entre estos últimos se encuentran los bosques altos-andinos como consecuencia de la fragmentación, deforestación, la contaminación del aire, y la contaminación del suelo (Alban & Granda, 2013). Según Velásquez, (2015), la tasa de deforestación en Colombia entre el período de 2011-2012 ha sido de 147.946 Ha en total, por lo que se estima que su crecimiento ha aumentado velozmente desde entonces, relacionándose de este modo con la degradación atmosférica, lo que conlleva al incremento en la contaminación del aire generando gran preocupación debido a los efectos negativos que ha causado en la salud de las personas y el medio ambiente (Hurtado et al., 2012). Esta problemática se ha visto reflejada en la calidad de aire de Bogotá, ya que se considera como una de las principales ciudades con alta contaminación atmosférica en Colombia (Medioambiente, 2018). Cabe resaltar que el Distrito Capital se caracteriza por poseer riqueza en biodiversidad y altos niveles de fragilidad, en donde se encuentran bosques altoandinos, humedales y páramos, estando muchos de ellos intervenidos y en proceso de transformación. En consecuencia, se han declarado áreas protegidas dentro de la ciudad para su debido cuidado en pro del bienestar común, dentro de los cuales se encuentran los Parques Nacionales Naturales Chingaza y Sumapaz, ecosistemas como páramos y humedales, además de Reservas Forestales como el Bosque Oriental de Bogotá y la RTVdH (Quimbayo, 2016).

Es así como la RTVdH se vería amenazada si se llega a aprobar un POT (Plan de Ordenamiento Territorial) carente de lineamientos ambientales tendientes a salvaguardar la estructura ecológica principal de la ciudad y de la región que pongan en peligro la integridad de la RTVdH, debido a la fragmentación del ecosistema a causa de ampliación de vías, cambio del uso del suelo rural, entre otras variables. Lo anterior, generaría un incremento en la sobreexplotación de los recursos naturales, pérdida de la identidad rural y de la posible conectividad ecosistémica (CAR, 2017a); por lo que su cuidado y conservación es de gran importancia. Así mismo, la preservación de la RTVdH contribuye a la oferta de servicios ecosistémicos como apoyo tanto al desarrollo económico y cultural del país como para la

biodiversidad (CAR, 2017b). Es importante mencionar que la RTVdH hace parte de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá, en concordancia con el Acuerdo CAR 021 del 2014 (plan de manejo ambiental) (Cruz et al., 2019), permitiendo de esta manera reducir el CO₂ generado dentro de la ciudad.

Con el fin de llevar a feliz término los retos que supone la consolidación de la RTVdH, se formuló un plan de manejo ambiental para restaurar y preservar los valores ecológicos y culturales de la RTVdH, específicamente en la “Hacienda La Conejera”, la cual será el área de interés del trabajo, contando con un predio de 140 ha aproximadamente, en donde varias de sus parcelas son arrendadas (Burgos, 2018).

Debido a esto, se proponen acciones a implementar como lo es la restauración ecológica, puesto que a pesar que la RTVdH es un ecosistema fragmentado y deteriorado, su restauración podría generar un aumento en la fijación y absorción del carbono atmosférico debido a su innata capacidad, llegando a ser considerado como sumidero de carbono y a convertirse en un pulmón verde debido a su extensión y ubicación en la que se encuentra tanto para Bogotá como a nivel regional. (Alexandra et al., 2019), puesto que los bosques se consideran con la capacidad de capturar carbono mediante procesos fotosintéticos, para luego convertirlo en biomasa (Mota et al., s.f.) contribuyendo de esta manera con la mitigación al cambio climático y con la calidad de aire de Bogotá y sobre todo complementará la Estructura Ecológica Principal (EEP) ya que se lograría fortalecer la conexión de los Cerros Orientales con los humedales, quebradas, los relictos de bosques, el cerro de La Conejera y el río Bogotá.

La creciente problemática ambiental conlleva a la creación de programas y a la implementación de estrategias que ayuden a la mitigación del cambio climático, como lo son los programas de cuantificación del carbono, para así saber cuál es la captura del ecosistema frente a los gases de efecto invernadero, principalmente el dióxido de carbono (Martínez, 2019). Es por esto, que la presente investigación tuvo como objetivo estimar el potencial de captura de carbono en la RTVdH específicamente en la “Hacienda de la conejera”, planteando dos escenarios. Uno con proyecto, en donde se tendrá en cuenta el programa de restauración ecológica de la RTVdH; y otros sin proyecto, es decir, sin tener en cuenta el programa de restauración de la RTVdH. Este trabajo se llevará a cabo por medio de la herramienta Ex-Act, para estimar el balance de carbono neto de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en la zona; así mismo la herramienta viene representada como un Excel de libre acceso y fácil manejo, que permite

tener resultados de alta confiabilidad y que se ajusta a los requerimientos del proyecto a desarrollar. Este trabajo busca apoyar la toma de decisiones y a la implementación de futuras políticas que beneficien a la población y contribuyan al desarrollo sostenible del país.

4. Objetivos

4.1. General

Estimar el potencial de captura de dióxido de carbono de la zona de protección al paisaje “Hacienda La Conejera” de la RTVdH al finalizar el proyecto de restauración ecológica en el periodo 2011-2025.

4.2. Específicos

- Caracterizar las condiciones ambientales, físicas (suelos), forestales, agrícolas y agropecuarias actuales del área de estudio a partir de la herramienta ArcGIS.
- Desarrollar escenarios prospectivos de captura de dióxido de carbono para el año 2025, con y sin restauración ecológica, mediante el uso de la herramienta Ex-Act.
- Calcular el potencial de captura de dióxido de carbono en la “Hacienda la Conejera” según los escenarios planteados.
- Construir un modelo final de socialización a la comunidad para expresar los hallazgos en términos no técnicos.

5. Marco referencial

5.1. Marco contextual

5.1.1. Reserva Thomas Van der Hammen

La Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá “Thomas Van der Hammen” es un área declarada de potencial restauración ecológica de carácter privado según el Acuerdo 11 del 19 de julio de 2011, ubicada en el borde norte de Bogotá dentro de las localidades de Suba y Usaquéen sobre la Cordillera Oriental, parte de la zona sur del Altiplano Cundiboyacense entre los 2550 y 2560 msnm (Gómez, 2016). Cuenta con una extensión de 1400 hectáreas aproximadamente siendo parte fundamental del sistema ecológico entre los cerros orientales y el río Bogotá donde se encuentran diferentes ecosistemas que conforman las dinámicas de la Estructura Ecológica Principal (González, 2016).

La ubicación de la RTVdH propicia que el clima este determinado por la franja Ecuatorial y la interacción de los sistemas generales de circulación de la atmósfera, es decir, los vientos alisios y la Zona de Confluencia Intertropical con los Cerros Orientales hacia el Este, el Cerro de Majui hacia el Occidente y hacia el sur La Conejera. Por ende, la clasificación climática según Köppen se encuentra dentro de la categoría Csb (templado húmedo de verano seco), hacia el borde norte, sh (frío semihúmedo) hacia los Cerros Orientales y Fsa (frío semiárido) hacia el sector de Guaymaral (CAR, 2014; Gómez, 2016). Así mismo, los suelos se clasifican en tipo I, II y III predominantes en la agricultura colombiana llegando a conformar el 70% de la RTVDH y categorizándola como productora (Burgos, 2018; Quintero, 2017).

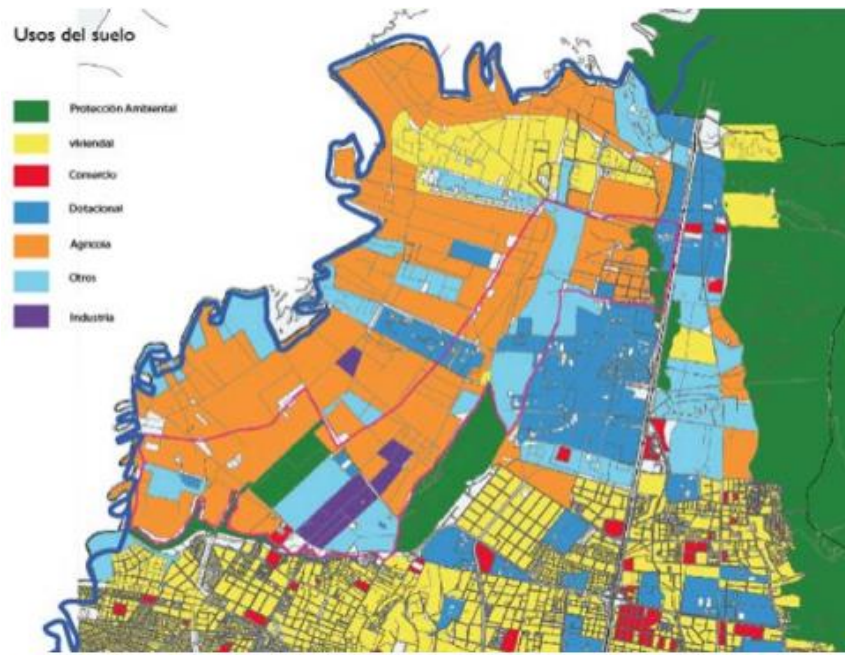


Figura 1. Usos del suelo RTVdH

Fuente: (Quintero, 2017)

Gran parte de la RTVdH cuenta con ecosistemas transformados como lo muestra la figura 1, debido a que el 66,45% del área presenta agroecosistemas de cultivos mixtos y el 19,01% presenta agrosistemas ganaderos tradicionales y tecnificados. Los porcentajes restantes constituyen las zonas con ecosistemas naturales teniendo en un 3,34% Bosque Medio Denso Húmedo y un 1,97% crestón de montaña. Por ello, según Quintero, (2017) la RTVdH cuenta con una zonificación ambiental de cuatro clasificaciones (figura 2); zona de preservación, área de restauración, zona de usos sostenibles y área de protección al paisaje, objeto de estudio del presente documento la cual cuenta con un 9,91% de la extensión total de la RTVdH y corresponde a la “Hacienda La Conejera” ubicada en la localidad de Suba con una extensión de 138,28 hectáreas.

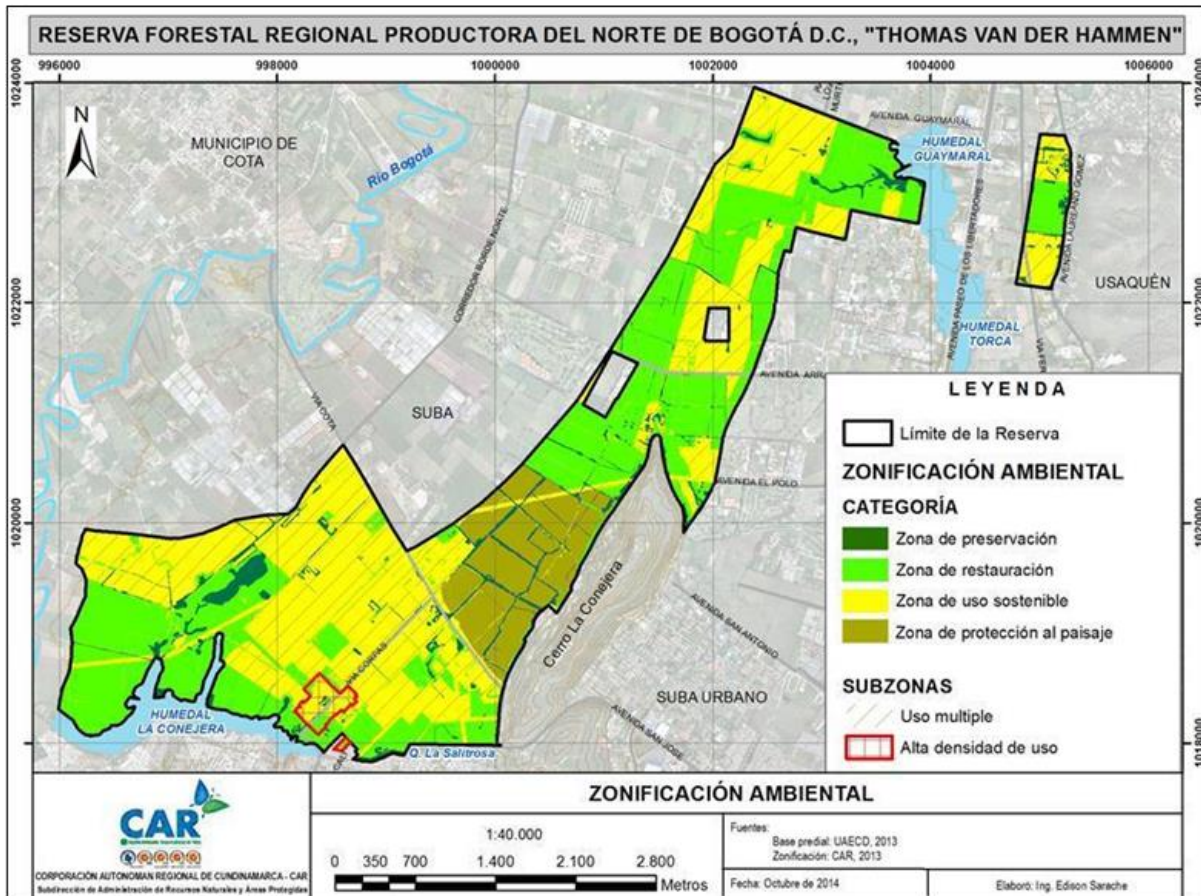


Figura 2. Zonificación ambiental RTVdH

Fuente: Corporación Autónoma de Cundinamarca - CAR (2014).

Plan de manejo ambiental de la RTVdH

5.1.2. Sembradores Van Der Hammen

El colectivo ciudadano “Sembradores Van Der Hammen” es una entidad sin ánimo de lucro que se encarga de promover las actividades de siembra nativas dentro de la RTVdH, específicamente en la Hacienda La Conejera, así como en la ronda de la quebrada La Salitrosa, de esta manera se encarga de dar cumplimiento a lo establecido en el PMA (plan de manejo ambiental) de la RTVdH para las áreas de restauración ecológica, por lo que también promueve la defensa de territorio por medio de actividades de movilización ciudadana, voluntariados donde la ciudadanía hace partícipe de la restauración, charlas pedagógicas orientadas a comunidades y a colegios, entre otros. Por lo que su labor ha generado interés en la comunidad por el conocimiento sobre esta área protegida, así como la importancia y el impacto que tiene tanto para la ciudad de Bogotá como a nivel regional (Burgos, 2018).

5.2. Marco teórico

5.2.1. Cambio climático

El cambio climático es una alteración a la composición global de la atmósfera y al mismo tiempo, al estado medio del clima natural o en las propiedades del mismo que logran ser identificables (Velásquez, 2019; Ministerio de Ambiente, 2010) en un periodo comparable de tiempo. Este cambio se debe a procesos naturales o a actividades humanas de forma directa o indirecta (Palomino, 2007). El primero es considerado de menor incidencia y el segundo, el más preocupante, es considerado de mayor incidencia puesto que es el responsable de la emisión desenfrenada de los GEI (gases de efecto invernadero) llevando a la tierra a un incremento en su temperatura y, de ahí, provocando cambios físicos y biológicos, casi irreversibles, del planeta (Alban & Granda, 2013), así como, en los ciclos biogeoquímicos.

En consecuencia, los cambios más drásticos que se han presentado a lo largo de los años debido al cambio climático se resumen en el aumento en los niveles del mar, la intensificación y frecuencia de las lluvias, la contaminación de las aguas superficiales afectando a flora, fauna y el hombre que viven de estas, pérdida en la calidad del suelo y sobre todo el constante aumento de la región desértica debido a las temperaturas tan altas que trae consigo el cambio climático (Alban & Granda, 2013).

Con el crecimiento de esta problemática ambiental han surgido autores que sustentan dos formas de respuesta por parte de los ecosistemas a la crisis. En primer lugar, está la adaptación y en segunda instancia la mitigación generando en esta última una mayor viabilidad económica y social (Beltrán & Erazo, 2017).

5.2.1.1. Adaptación al cambio climático

Esta acción se encuentra encaminada a adecuar un espacio de forma sostenible y permanente con la finalidad de lograr su supervivencia a los cambios ambientales llegando a generar oportunidades beneficiosas a los problemas climáticos (Ministerio de Ambiente, 2010).

En la adaptación existen varios tipos como lo son las acciones preventivas y reactivas, las privadas y públicas y aquellas que son autónomas y planificadas. Por ende, todo el término de la adaptación al cambio climático de un ecosistema llegando hasta todo un sistema se resume

en la modificación de los comportamientos, las leyes, las políticas, la infraestructura, la manera de vivir, las instituciones, entre otras muchas cosas más (Ministerio de Ambiente, 2010).

5.2.1.2. Mitigación del cambio climático

Esta acción se encamina a reducir en lo posible el uso de los recursos y la generación de las emisiones por unidad de producción. En este punto en particular, se hace énfasis en la importancia de destinar las políticas nacionales e internacionales a reducir los GEI y, por, sobre todo, a aumentar los sumideros de carbono (Ministerio de Ambiente, 2010).

En esta respuesta al cambio climático se tienen bastantes alternativas a implementar en las distintas prácticas llegando a reconocer el potencial de los bosques como mitigadores debido a su innata capacidad para absorber y fijar el carbono estancado en la atmósfera (Beltrán & Erazo, 2017). Así mismo, los sistemas silvopastoriles son un gran apoyo en el secuestro de carbono puesto que al combinar un bosque con las pasturas se crea un gran sumidero de carbono (Beltrán & Erazo, 2017).

Por ello, es fundamental, como parte de una estrategia para mitigar las emisiones atmosféricas, restaurar y reforestar las áreas de bosques que fueron degradados en el pasado, zonas de pasturas abandonadas, entre otras más, puesto que su potencial de secuestro de carbono es enorme (Silver, Ostertag, & Lugo, 2000).

5.2.2. Restauración ecológica

Este proceso busca restablecer un ecosistema que ha sido degradado debido a una acción antropogénica a una condición lo más similar posible al que existía previamente tanto es su composición, funcionamiento y estructura. La restauración debe garantizar que el ecosistema pueda autosostenerse y conservar las especies como sus bienes y servicios (Philips et al., 2011). Por ende, es de vital importancia tener en cuenta esta actividad en los ecosistemas estratégicos, sobre todo porque Colombia al ser un país megadiverso debe procurar la restauración y conservación de sus ecosistemas. Sin embargo, es necesario que la zona a restaurar presente una gran extensión (Vargas, 2011) para que de este modo pueda contribuir con el aumento en la fijación de carbono, lo que se traduce en la mitigación del cambio climático (Osorio, 2016).

Por consiguiente, la capacidad que tiene un ecosistema para restaurar depende fundamentalmente de conocimientos previos del mismo, como el estado antes y después de la alteración, el grado hidrológico, geomorfológico y de suelos afectados, causas de la degradación, estructura, comportamiento, funcionamiento y composición del ecosistema, información cultural e histórica, entre muchos otros más (Vargas, 2011).

La restauración ecológica requiere de manejo de paisajes y costos presupuestales. No obstante, este abarca no solo criterios ecológicos sino también económicos, sociales, culturales, entre otros (Vargas, 2008), puesto que es un proceso conjunto, pero, sobre todo, como lo dice el autor van Diggelen et al. (2001) citado por Vargas (2008), la restauración es una actividad tan cultural como cualquier otra empresa humana. La clave de una buena restauración se encuentra en tener en presente la percepción de la naturaleza por parte de las personas involucradas y las circunstancias socio-económicas (Vargas, 2008).

5.2.3. Captura de carbono

El dióxido de carbono es un GEI (gas de efecto invernadero) reconocido mundialmente debido a su manera silenciosa de actuar, ya que al no ser tóxico para las personas se pasa desapercibido llegando a convertirse en un gran problema y no por la alta capacidad de retención de calor que posee sino por su cantidad alarmantemente grande en la atmósfera. Este gas proviene de un proceso natural donde es expulsado por el ser humano y absorbido por los bosques para crear oxígeno, sin embargo, el exceso de este debido a las actividades antropogénicas, en compañía de otros siete gases que se generan, está provocando un desequilibrio y aumento del efecto invernadero (Velásquez, 2019). Hoy en día, su concentración se encuentra por encima de los 400 ppmv (partes por millón de volumen) aumentado cada año.

En consecuencia, se han propuesto estrategias para disminuir las concentraciones de este gas de efecto invernadero, entre ellas, se tienen la captura y secuestro de carbono. Estos procesos son similares, pero se manejan de formas distintas. Mientras el primero es un proceso de extracción o almacenamiento del carbono presente en la atmósfera en los sumideros biológicos de carbón como lo son los océanos y los bosques, el segundo se describe como un proceso de fijación de carbono por parte de tierras que están siendo restauradas debido a que han sido degradadas o están en un proceso de degradación por ello muchas propuestas han sido contempladas como lo es el disparo de torpedos a base de hielo seco en las profundidades de

los océanos, así como, la construcción de autos que funcionen a partir de carbono o levantar granjas flotantes con algas y crear plantas genéticamente modificadas que puedan ser enterradas en los fondos marinos (Palomino, 2007) .

La captura de carbono, tiene un gran valor, puesto que ha sido un tema de interés desde los logros obtenidos en el Protocolo de Kioto (Beltrán & Erazo, 2017) y sobre todo porque la temperatura podría aumentar en algunas zonas del planeta trayendo consigo una serie de problemas ambientales que pueden ser prevenidos con la creación de sistemas que capturan el carbono. El sistema más ejemplar para realizar esta acción son los ecosistemas boscosos (Philips et al., 2011), ya que además de ofrecer una serie de bienes, lleva consigo servicios que logran enfrentarse al cambio climático. Por ende, la reforestación de las coberturas vegetales forestales son estrategias alentadoras para la mitigación de los gases de efecto invernadero (Philips et al., 2011).

Según Borrero (2012) citado por Martínez (2019), la estimación de la captura de carbono se puede realizar mediante la biomasa (hojas, ramas, frutos, tallos y raíces) puesto que las plantas logran capturar el carbono por medio de la fotosíntesis y en este proceso el CO₂ es asimilado y convertido en carbono por procesos enzimáticos con el fin de hacer parte de la composición de materias primas como lo es la glucosa, la cual ayuda en la formación de la planta. Por ende, la biomasa permite la determinación de la captura mediante cálculos donde se relacionan el diámetro de las especies, altura y densidad, en algunos casos.

En la estimación es necesario tener en cuenta modelos alométricos de biomasa según las zonas de vida en la que se encuentra el ecosistema, así como, el default de fracción de carbono de 0,47 (IPCC, 2006; Andrade, H., Ramírez, E., & Segura, M. A., 2020) o el factor de conversión del 0,5 para posteriormente transformar la biomasa a carbono para finalmente, multiplicar el valor de toneladas de biomasa por 3,67 (factor resultante de la división del peso atómico de una molécula de CO₂ por el peso específico del carbono) (IPCC, 2006; Philips et al., 2011).

De igual manera, otra forma de calcular la captura de carbono es mediante el uso de calculadoras que permiten cuantificar el balance de GEI (Gases de efecto invernadero) de distintas actividades como la agricultura, la ganadería y la restauración (Arteaga & Hosttos, 2017). Colomb & Cols, (2012) citado por Arteaga & Hosttos, (2017) mencionan que se han desarrollado calculadoras, guías, modelos, protocolos, entre otros; siendo las calculadoras las

más empleadas puesto que su uso se realiza a través de cálculos online en MS Excel, entre otros formatos digitales.

En la actualidad, existen dieciocho calculadoras cuyo enfoque y objetivo son diferentes, puesto que, cada una tiene un área geográfica de aplicación como se observa en la figura 1 y tienen en cuenta las principales fuentes de GEI. Todas las calculadoras expresan sus resultados en toneladas de CO₂ (Ton- CO₂eq), no obstante, entre ellas no es posible realizar una comparación debido a que cada calculadora maneja una metodología y variables distintas (figura 3).

País de uso (preferentemente)	Principales calculadoras identificadas*	Numero total de calculadoras identificadas
Australia	FullCam; Farmgas; Farming Enterprise GHG Calculator; numerosas calculadoras orientadas a productos concretos	>10
Canadá	Holos	1
Chile	Todas las calculadoras están orientadas a productos específicos	3
Francia	Climagri [®] , Dia'terre [®]	3
Nueva Zelanda	Carbon Calculator for New Zealand Agriculture and Horticulture; Carbon Farming calculator	2
Sudáfrica	Calculadora orientada en la producción de vino	1
Reino Unido	CALM; Cplan; CFF Carbon Calculator	4
Estados Unidos	IFSC, el resto de calculadoras están orientadas a actividades específicas (agricultura, ganadería, bosques,...)	>10
A nivel mundial	EX-ACT; Cool Farm tool; Calculateur AFD; CBP simple assessment; ALU	5
Países en vías de desarrollo	USAID FCC	1

Figura 3. Tabla tipos de calculadoras

Fuente: (Arteaga & Hosttos, 2017)

5.2.4. Ex-Act: herramienta de balance de carbono

Ex-Act (Ex-ante Carbon Balance Tool) es una herramienta creada por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) la cual permite mostrar si un

proyecto es capaz de suministrar servicios ambientales en forma de captura de carbono mediante estimaciones ex-ante sobre el impacto de mitigación de proyectos agrícolas o forestales como una restauración ecológica (Pardo, 2014), contribuyendo de esta forma a la mitigación del cambio climático. Así mismo, se puede considerar como un sistema de contabilidad que mide el impacto del uso de la tierra en las existencias de carbono, cambios por unidad de tierra y emisiones de gases de efecto invernadero (N_2O , CH_4) por hectárea de CO_2 equivalente a tCO_2 -eq (Srinivasarao et al., 2016).

La herramienta de cálculo de balance de carbono más destacada es Ex-Act puesto que permite estimar el balance de carbono neto de los usos del suelo y sus cambios, así como de actividades llevadas a cabo en la zona, escenarios políticos, proyectos de inversión, entre otros. La herramienta se basa en la contabilización, donde se miden las existencias de C (carbono), los cambios en unidad de terreno existentes (FAO, 2010) y las emisiones de CH_4 , N_2O y CO_2 expresadas en ton CO_2 eq por hectárea y por año. Ex-Act no calcula el balance neto de carbono según el tipo de especie forestal específica que se encuentre en el lugar, sino que permite realizar una diferenciación de 4 zonas diferentes: tropical, subtropical, templado y boreal y con los datos de las condiciones del proyecto permite tener en cuenta los usos del suelo con y sin proyecto para ser incorporados en la herramienta (Arteaga & Hosttos, 2017). El resultado del balance es un insumo que lograría analizar factores económicos para tomar decisiones correctas en proyectos de inversión, diseños y planificaciones dentro del sector agrícola y forestal.

Es por ello, que la herramienta permite dentro de sus muchas funciones: evaluar proyectos que no estén encaminados a compensar el medio ambiente pero que necesitan contrarrestar penalizaciones ambientales, así mismo, permite contemplar actividades como cultivos templados, tropicales, producción lechera, agroforestación, horticultura, entre otros y, por otro lado, permite tener un análisis amplio del alcance de los gases de efecto invernadero en un lugar específico, así como, el manejo en los cambios de los usos de las tierras por actividades agrícolas y, es muy útil en los proyectos que requieren análisis financieros y económicos (Arteaga & Hosttos, 2017).

Para su uso es necesario conocer su estructura. La herramienta es un conjunto de 19 hojas de Microsoft Excel conectadas entre sí, las cuales permiten ingresar información acerca de los usos de la tierra de la zona a analizar y las prácticas que son llevadas a cabo. Luego de este insumo principal, la herramienta realiza una comparación de un escenario con proyecto

(restauración ecológica) y uno sin proyecto para finalmente, mediante los módulos y submódulos de enfoque logre arrojar el balance final de carbono para las emisiones de GEI después del proyecto como sin proyecto (Bernoux & Bockel, s.f) y con ese valor se logra extraer el valor del balance neto para el CO₂ en toneladas. Por ende, la herramienta establece dos periodos temporales diferentes, implementación y capitalización del proyecto; el primero se entiende como la fase activa, es decir, el momento de inversión y financiación del proyecto y el segundo como los beneficios que aún se encuentran presentes debido a las actividades que fueron llevadas a cabo en la fase de implementación como se observa en la figura 4.

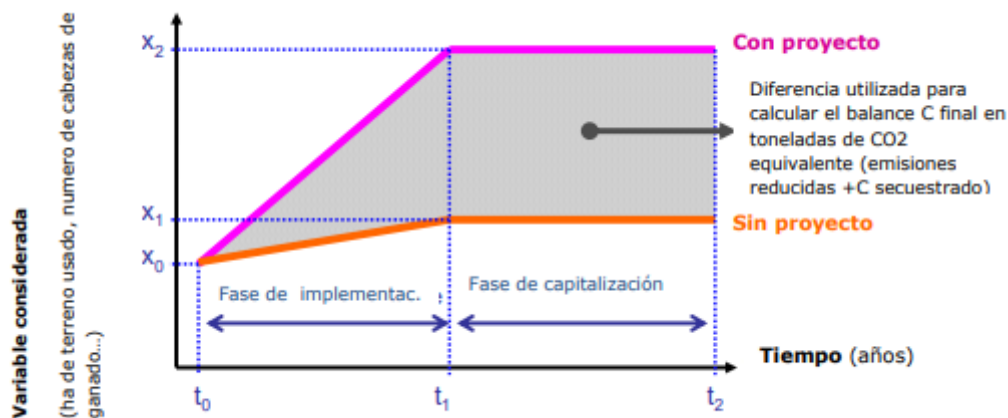


Figura 4. Esquema cálculo de balance carbono herramienta Ex-Act.

Fuente: Ex-Act guía técnica

5.3. Marco conceptual

Aplicación de estiércol: esta es una práctica de manejo de cultivos la cual permite una mejora en los nutrientes (Bernoux, M., & Bockel, L., s.f).

Biomasa aérea: hace referencia a toda la biomasa viva que se encuentra por encima del suelo como el tronco, la corteza, las ramas, el tocón, las hojas, tallos y el tronco (Escobar, R., & Carvajal, J., 2016). Así mismo, la biomasa aérea total hace referencia al peso seco del material del árbol con DAP (diámetro a la altura del pecho) de 10 cm (Beltrán, D, & Erazo, A., 2017).

Biomasa subterránea: se compone de toda la biomasa de raíces vivas por debajo del suelo a excepción de las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro debido a su dificultad de

separación y a que no se logran distinguir empíricamente de la materia orgánica del suelo (Alban, E., & Granda, A., 2013).

Clasificación supervisada: es un método de clasificación del uso o cobertura del suelo donde se manejan procedimientos para identificar áreas espectralmente similares dentro de una imagen, por lo que, el usuario preliminarmente puede reconocer las regiones de interés conocidas en las áreas de tierra y el algoritmo elegido realiza una extrapolación de las características espectrales para otras regiones de la imagen (Willington, E., Nolasco, M., & Bocco, M., 2013).

Cobertura manejada: en esta clase de cobertura se encuentran las unidades de pastizal arbolado, pastizal vivo y cerca viva. El primero hace referencia a la cobertura herbácea con árboles o arbustos dispersos, el segundo es la cobertura herbácea continua desprovista de árboles o arbustos y el tercero es la hilera de árboles o arbustos plantados con una matriz de pastos (CAR., 2017a).

Cobertura artificial: esta clase de cobertura hace referencia al suelo desnudo, es decir, al suelo desprovisto de vegetación o en el que se ha removido mecánicamente su horizonte más superficial (CAR., 2017a).

Gestión de los nutrientes: consiste en mejorar la eficiencia del cultivo mediante un ajuste de la tasa de aplicación de fertilizante o estiércol o biosólidos, así como, en la aplicación de nutrientes en el momento más óptimo y en la identificación de las zonas que necesitan fertilizantes. Además, permite disminuir las pérdidas potenciales de GEI (Bernoux, M., & Bockel, L., s.f).

Gestión hídrica: esta práctica consiste en mejorar las medidas de irrigación lo que permitiría un aumento en la productividad del cultivo (Bernoux, M., & Bockel, L., s.f).

Hojarasca: hace referencia a la materia orgánica muerta como lo son las hojas, ramas, cáscaras de frutos que se encuentran en distintos estados de descomposición en el suelo (Alban, E., & Granda, A., 2013).

No-laboreo y gestión de los residuos: esta práctica permite adoptar prácticas que manejen una menor intensidad de laboreo, desde el laboreo mínimo hasta el no laboreo con o sin mantenimiento de los residuos en campo (Bernoux, M., & Bockel, L., s.f).

Prácticas agronómicas mejoradas: hace referencia a todas las prácticas que permiten incrementar el rendimiento generando mayores cantidades de residuos. Algunos ejemplos de estas prácticas son la rotación de cultivos, utilizar variedades de cultivos, extender las rotaciones de cultivos, entre otros (Bernoux, M., & Bockel, L., s.f).

Sentinel 2: es un satélite nuevo creado por la ESA el cual está compuesto por dos satélites que brindan imágenes ópticas de alta resolución (Addabbo, P., Focareta, M., Marcuccio, S., Votto, C., & Ullo, S., 2016) y contiene 13 bandas generando una alta calidad radiométrica, facilitando trabajos que requieran clasificación mejorando así las misiones operativas de Landast o SPOT (Willington, E., Nolasco, M., & Bocco, M., 2013). Este satélite proporciona una cobertura global de la tierra cada 10 días con un satélite y cada 5 días con el segundo satélite (Addabbo, P., Focareta, M., Marcuccio, S., Votto, C., & Ullo, S., 2016).

Zona de preservación: fue establecida con el fin de cuidar y apoyar las coberturas nativas y otros ecosistemas en su desarrollo por medio de los procesos naturales de sucesión y de restauración ecológica para lograr mantener la diversidad biológica y las cualidades naturales. Así mismo, esta zona hace referencia a aquellas áreas que deben ser protegidas como lo son los humedales y los cerros. Por lo que, allí se intenta que la intervención humana y sus impactos sean lo más mínimo posible (Burgos, 2018).

Zona de restauración: es aquella que pretende reducir el daño físico en el área transformada para lograr retornar el medio físico al estado natural. Por lo que, se encuentra destinada únicamente para realizar actividades que permitan restaurar ecológicamente tanto las zonas de recarga de acuíferos como cauces de quebradas, la franja del borde oriental, suelo de protección por riesgo, rellenos antrópicos de corredores de conectividad ecológica y erradique y reemplace las coberturas exóticas e invasoras (Burgos, 2018).

Zona de uso sostenible: corresponde al uso de los recursos naturales de una forma sostenible, es decir, a una velocidad en donde sea posible que la tierra pueda renovarlo. Por ende, se

encuentran espacios donde es posible realizar actividades productivas como extractivas según los objetivos de conservación (Burgos, 2018).

5.4. Marco legal

Norma	Artículo	Descripción
Ley 2 de 1959	Todo	Estableció zonas forestales protectoras y bosques de interés general para el desarrollo de la economía forestal, la protección de los suelos y la vida silvestre.
Decreto 2811 de 1974	Parte VII, Título I, Título III; Capítulo I, II, III, IV, VI.	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Clasifica los bosques y los suelos forestales, que denominó como áreas forestales y que cubre tanto bosques naturales como plantaciones
Ley 26331	Artículo 12	Se establecen los presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos
Decreto 1791 de 1996	Capitulo II, Capitulo III	Estableció el régimen de aprovechamiento forestal y los diferentes tipos de aprovechamiento forestal y mantuvo la clasificación que ya había traído el Código de Recursos Naturales: plantaciones forestales de carácter industrial o comercial, plantaciones protectoras-productoras y plantaciones protectoras.
Ley 299 de 1996	Artículo 1	Protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones. Establece esta

		norma que la conservación, la protección, la propagación, la investigación, el conocimiento y el uso sostenible de los recursos de la flora colombiana son estratégicos para el país y constituyen prioridad dentro de la política ambiental.
CONPES- 2834 de 1996	Todo	Su objetivo principal es lograr el uso sostenible de los bosques, con el fin de conservarlos, consolidar la incorporación del sector forestal en la economía nacional y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población
Plan Nacional de Desarrollo Forestal - 2000	Todo	Estableció un subprograma de zonificación de áreas para plantaciones, dedicado a estimular el aumento del área forestal productora sobre la base de la zonificación y planificación de núcleos de desarrollo forestal
Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono-ECDBC de 2005	Todo	La ECDBC es un estudio que busca encontrar posibles acciones que permitan evitar el aumento de las emisiones de GEI a medida que los sectores crecen.
Ley 2803 de 2010	Artículo 5	Reglamenta el registro de cultivos forestales y sistemas agroforestales con fines comerciales, de plantaciones protectoras-productoras, la movilización de productos forestales de transformación primaria
CONPES 3700 de 2011	Todo	Constituye estrategias institucionales para articular políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia
Plan Nacional de	Todo	Fija los lineamientos para la adaptación al

Adaptación al Cambio Climático 2010		cambio climático y prioriza estrategias para abordar la problemática de forma integral
Plan Nacional de Desarrollo - Ley 1753 de 2015	Artículo 171, Artículo 172, Artículo 175	Encomendó al MADS la elaboración de una política nacional de lucha contra la deforestación en la que deberá vincularse a las cadenas productivas que aprovechan el bosque y sus derivados.
Decreto 1076 de 2015	Todo	Reglamento del sector ambiente y desarrollo sostenible

Tabla 1. Marco legal del estudio

Fuente: Elaboración propia

6. Metodología

6.1. Esquema metodológico

Para realizar la estimación de captura de dióxido de carbono del área la “Hacienda la Conejera” en la RTVdH mediante la implementación de la herramienta Ex-Act, se planteó la siguiente metodología (figura 5).

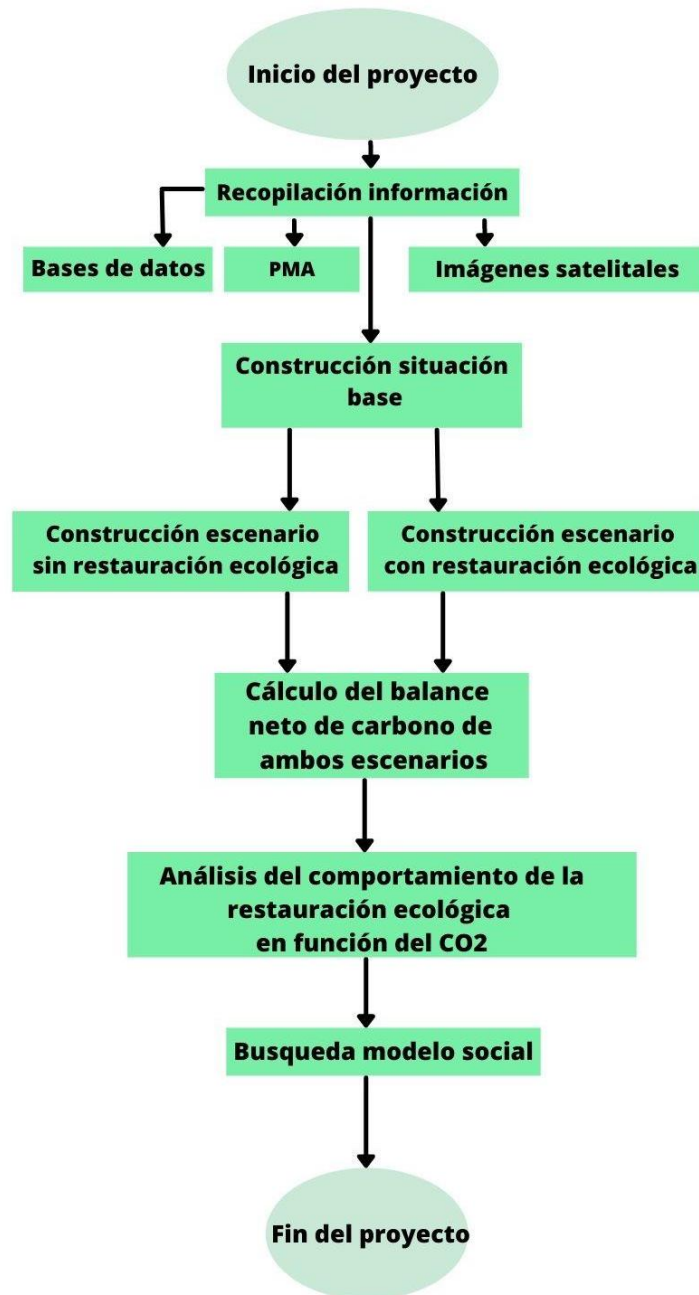


Figura 5. Metodología del desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

6.2. Implementación de sistemas de información geográfica

Para recopilar la información necesaria que fue usada como insumo para construir la situación base y los diferentes escenarios fue necesario, en primera instancia, la implementación de imágenes satelitales para acondicionar el contexto de la “Hacienda La Conejera” y sus características de uso del suelo y, de este modo, estimar el cambio de coberturas mediante la superposición de imágenes entre el año 2019 y 2015. Por ello, se usaron los softwares QGIS y ArcGIS para descargar y manejar las imágenes de la siguiente manera:

- a. Descarga imágenes satelitales:** para lograr visualizar la imagen de La Hacienda la Conejera del año 2019 con una resolución adecuada, un nivel mayor de detalle y un menor nivel de incertidumbre se escogieron las imágenes del satélite Sentinel 2 a través de la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Adicionalmente, las bandas se descargaron con un 5% de nubosidad.
- b. Corrección atmosférica:** la corrección se les realizó a las imágenes que no presentan correcciones previas según el satélite escogido, para ello, se utilizó el programa de Snap y Sen2cor, las cuales se descargan directamente de la página ESA. Una vez descargadas, se procedió a instalar Sen2cor por medio de la “herramienta ayuda” en Snap, para finalmente realizar la corrección atmosférica.
- c. Corrección geométrica:** debido a la resolución de la imagen que se utilizó no fue necesario aplicar la corrección geométrica.
- d. Proceso de clasificación de coberturas:** para clasificar las coberturas primero se llevó a cabo un proceso de selección mediante la distinción de las tonalidades de los píxeles que arrojaban las combinaciones de las bandas lo que permitió reconocer los distintos usos que se estaban llevando a cabo en la Hacienda en el año 2019. Por ende, se seleccionaron en colaboración con el PMA cuatro coberturas para la zona: natural/seminatural, cultivos, manejadas (pastizales) y artificiales (suelos desnudos). Una vez seleccionadas las coberturas, se realizó la clasificación supervisada en Qgis mediante el uso del complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) para posteriormente obtener el área correspondiente de cada cobertura mediante el uso de ArcGIS.

- e. **Proyecciones de cambio de uso del suelo:** la proyección se hizo según las hectáreas a restaurar en la Hacienda La Conejera, las cuales suman un total de 19,24 ha. Para ello, se usó el programa ArcGIS y la división de las zonas a restaurar según la figura 5.

6.3. Construcción situación de base

La situación base se creó mediante el desarrollo los pasos descritos a continuación:

6.3.1. Alcance de la zona de estudio

La Hacienda La Conejera abarca un total de 138,38 hectáreas las cuales están conformadas por zonas de bosque, pastizales, cultivos, suelos desnudos y urbanización. El proyecto de restauración ecológica llevado a cabo en la zona cuenta con un total de 19,24 ha las cuales se dividen según la figura 6.



Figura 6. Hectáreas de restauración en la Hacienda La Conejera

Fuente: Secretaría de Ambiente

6.3.2. Selección módulos

Para realizar la identificación de los cambios en el uso del suelo y las tecnologías que se encuentran en la Hacienda La Conejera se implementó la lista de comprobación del programa obteniendo los módulos deforestación, forestación/reforestación, cultivos anuales/perennes, pastizales y ganado (Srinivasarao et al., 2016) siendo estos escogidos para la zona de estudio (figura 7).

Impacto del balance de carbono		EX-ACT	Intervención del proyecto	
			SÍ	NO
Principal esfera de impacto		Módulo(s) que ha(n) de completarse		
POSITIVO (SUMIDERO)	A Menores emisiones de dióxido de carbono			
	A1 Reducción de la tasa de deforestación	Cambio del uso de la tierra		
	A2 Reducción de la degradación forestal	Degradación de la tierra		
	A3 Adopción de mejores técnicas de gestión de tierras de labranza	Producción de cultivos		
	A4 Introducción de fuentes de energía renovables y de tecnología para el ahorro de energía	Inversiones		
	B Menores emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O)			
	B1 Mejora de la producción animal	Ganado		
	B2 Mejor gestión de desechos del ganado	Ganado		
	B3 Gestión más eficiente del agua de riego para el arroz	Producción de cultivos		
	B4 Mejor gestión de nutrientes	Producción de cultivos, ganado		
	C Secuestro de carbono			
	C1 Prácticas agrícolas de conservación	Producción de cultivos	X	
	C2 Mejores prácticas de gestión forestal	Cambio del uso de la tierra	X	
	C3 Aforestación y reforestación	Cambio del uso de la tierra	X	
C4 Adopción de la agrosilvicultura	Producción de cultivos	X		
C5 Mejores prácticas de gestión de pastizales	Pastizales	✓		
C6 Restauración de tierras degradadas	Cambio del uso de la tierra	X		
NEGATIVO (FUENTE)	D Aumento de emisiones de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono			
	D1 Aumento de la producción ganadera	Ganado		
	D2 Aumento de la producción de arroz de riego	Producción de cultivos		
	D3 Aumento del uso de fertilizantes y sobrefertilización	Insumos		
	D4 Producción, transporte, almacenamiento y transferencia de productos agroquímicos	Insumos		
	D5 Aumento del consumo eléctrico	Inversiones		
	D6 Aumento del consumo de combustible	Inversiones		
	D7 Instalación de sistemas de riego	Inversiones		
	D8 Construcción de infraestructuras	Inversiones		
	E Disminución de reservas de carbono			
	E1 Aumento de la deforestación y la explotación maderera	Cambio del uso de la tierra		
	E2 Aumento de la degradación de la tierra (bosques, tierras de labranza, pastizales)	Degradación de la tierra, pastizales		
	E3 Expansión de tierras de labranza	Cambio del uso de la tierra		
	E4 Combustión de residuos, labranza profunda, ...	Producción de cultivos		

Figura 7. Tabla de lista de comprobación de módulos de Ex-Act

Fuente: Ex-Act guía técnica

Módulo de descripción		
Obligatorio	<ul style="list-style-type: none"> - Subcontinente - Tipo de clima - Régimen de humedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de suelo dominante en la región - Duración del proyecto
	Módulo de cambio del uso de la tierra	
Solo si relacionado con el proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Deforestación <ul style="list-style-type: none"> - Tipo y tamaño del bosque - Superficie deforestada • Aforestación y reforestación <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de uso actual de la tierra - Tipo de bosque futuro • Otro cambio del uso de la tierra <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de uso actual de la tierra - Tipo de uso futuro de la tierra 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso final de la tierra tras conversión - ¿Quema durante la conversión? - ¿Quema durante la conversión? - ¿Quema durante la conversión?
	Módulo de producción de cultivos	
	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas anuales <ul style="list-style-type: none"> - Superficie actual y futura de cultivo plantado (por tipo de cultivo) - Prácticas de gestión de cultivos • Sistemas perennes <ul style="list-style-type: none"> - Superficie actual y futura de cultivo plantado (por tipo de cultivo) • Arroz de riego <ul style="list-style-type: none"> - Especificaciones de prácticas de gestión del agua 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Prácticas de quema de residuos? - ¿Prácticas de quema de residuos?
	Módulo de pastizales y ganado	
	<ul style="list-style-type: none"> • Pastizales <ul style="list-style-type: none"> - Área de pastizal actual y futura por estado de degradación • Ganado <ul style="list-style-type: none"> - Tipo y cantidad de ganado 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Prácticas de quema de pastizales? - Prácticas de alimentación y cría
	Módulo de degradación de la tierra	
	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación forestal <ul style="list-style-type: none"> - Dinámica de degradación/rehabilitación forestal por tipo y tamaño de bosque • Degradación de suelos orgánicos (turberas) <ul style="list-style-type: none"> - Tipo y tamaño de vegetación afectada por drenaje de suelos orgánicos 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Frecuencia de incendios forestales? - Superficie afectada por extracción de turba
	Módulo de insumos e inversión	
	<ul style="list-style-type: none"> • Insumos agrícolas <ul style="list-style-type: none"> - Peso de insumos agrícolas por tipo • Consumo de energía <ul style="list-style-type: none"> - Cantidad consumida de electricidad, de combustible líquido y gaseoso y de madera • Construcción de infraestructuras <ul style="list-style-type: none"> - Porción de la superficie con infraestructuras de riego o construcciones recientes (por tipo) 	

Figura 8. Tabla de información de los módulos de Ex-Act

Fuente: Ex-Act guía técnica

De acuerdo con la herramienta, la situación base fue lo primero en definirse, puesto que fue fundamental tener un detalle exacto de las diferentes variables que requiere el programa de Ex-Act para su ejecución antes y después de la implementación del proyecto, entendiendo el proyecto como la “restauración ecológica” actualmente llevada a cabo en la Hacienda La Conejera. En concordancia a lo anterior y por conveniencia, el escenario sin proyecto se

etiquetó “sin restauración ecológica” y el escenario con proyecto “con restauración ecológica”. Finalmente, se ingresaron los datos requeridos en cada módulo para así generar el balance de carbono con y sin proyecto y de este modo obtener la cantidad de CO₂ a capturar en el futuro por la RTVdH y, posteriormente, crear el modelo de socialización.

6.4. Escenario con proyecto y sin proyecto

6.4.1. Análisis componente forestal

La Hacienda La Conejera cuenta con escasa zona de bosques las cuales fueron calculadas mediante el software ArcGIS y las imágenes satelitales obteniendo para el año 2019 un área total de 3,1 hectáreas de zonas naturales/ seminaturales en total debido a la gran extensión de actividades de uso agrícola y recreativo. El proyecto de restauración ecológica se enfoca exclusivamente en aumentar los bosques ya que tienen un interés especial para Bogotá. Por ende, si se lleva a cabo el proyecto se aumentarán 19,24 hectáreas, pero si no es llevado a cabo se mantendrán las mismas hectáreas ya que dentro de la zona no se permite deforestar.

6.4.2. Análisis componente agrícola

Las zonas de cultivos son las que cuentan con la mayor cantidad de hectáreas obteniendo según el software ArcGIS un área total de 73,9 hectáreas para el año 2019. En la Hacienda encontramos cultivos de maíz, papa, zanahoria y hortalizas (arveja, lechuga, espinaca, cilantro, coliflor, remolacha, apio y perejil) a los cuales se les realiza prácticas agronómicas mejoradas, no laboreo y retención de residuos, aplicación de estiércol y gestión de residuos, pero no se realiza gestión hídrica. Los cultivos se dividen según las zonas correspondientes y van cambiando el cultivo según el año.

6.4.3. Análisis del componente pastizales y ganadero

Los pastizales presentes en la zona cuentan con un área total de 54,9 hectáreas siendo usadas para fines recreativos las cuales son mejoradas mediante el manejo de insumos. Por otro lado, la Hacienda no cuenta con ganado de leche, pero cuentan en total con 25 novillos ubicados en los pastizales que forman la cerca viva.

6.4.4. La Hacienda La Conejera frente a los dos escenarios

Se realizaron supuestos en ambos casos. Situación sin proyecto = situación inicial y situación con proyecto = situación con reforestación. En donde, en el escenario sin proyecto se consideró que no se implementó ninguna medida de mitigación, es decir, que la situación no cambió, y se asume que sus cambios son constantes o que podría empeorar con el tiempo. Para el escenario con proyecto se tuvieron en cuenta los cambios generados en el suelo al llevar a cabo las actividades de restauración ecológica, teniendo en cuenta el tipo de vegetación que se encuentre dentro de la Hacienda La Conejera y aquella que se vaya regenerando durante las actividades, en donde se planteen hipótesis de mejora.

6.5. Búsqueda del modelo social

Se buscó un modelo lúdico que cumpliera con las condiciones establecidas por CorpAcedros (Corporación Ambiental Cedros), entidad encargada de la restauración ecológica en la “Hacienda La Conejera” siendo útil para informar a la comunidad local del área de influencia, en donde se encuentran varios residentes, varios hogares, entre otros, sobre la importancia de entender que pasaría con la sostenibilidad de la ciudad región si la RTVdH es restaurada o no, desde el componente ambiental y social.

7. Resultados


7.1. Clasificación supervisada de coberturas en la Hacienda La Conejera

Las coberturas fueron obtenidas, clasificadas y calculadas su correspondiente área según los pasos descritos a continuación:

7.1.1. Combinación de bandas

La combinación de bandas permitió analizar las diferentes cubiertas gracias a las bandas multispectrales que tiene el satélite Landsat 2.

Las bandas se dividen a través de tres canales: rojo, azul y verde. Según la respuesta de las bandas a la longitud de onda se obtuvieron distintas tonalidades en las imágenes. Para lograr diferenciar las coberturas según las seleccionadas para la Hacienda La Conejera se usaron las combinaciones que se muestran en la tabla 2:

Combinación	Función	Resultado
Infrarrojo	<p>Con esta combinación se logró visualizar mediante una tonalidad roja la vegetación verde sana o bien desarrollada. Así como, áreas vegetales menos densas o con vegetación menos desarrollada mediante la tonalidad rosa y zonas con escasa vegetación por medio de la tonalidad verde.</p> <p>Esta combinación se llevó a cabo con el uso de las bandas 8, 4, 3 para las imágenes satelitales de Sentinel 2.</p>	 <p>El mapa muestra una zona geográfica con una combinación de bandas infrarrojo. Se observan diferentes tonos de rojo, rosa y verde que representan distintas densidades de vegetación. El mapa incluye una brújula en la esquina superior izquierda y una escala en metros (0, 0.04, 0.08, 0.16, 0.24, 0.32) en la inferior derecha. El título del mapa es 'Combinación de bandas: Infrarrojo'.</p>

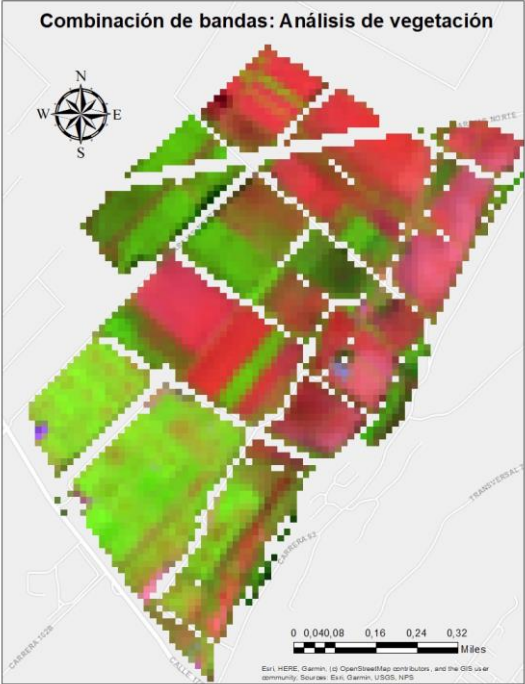
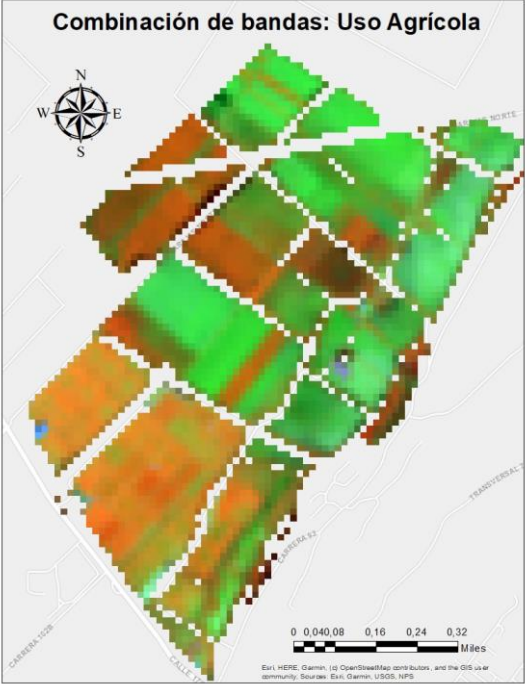
<p>Análisis de vegetación</p>	<p>Con esta combinación se logró analizar la vegetación de la zona mediante las diferentes tonalidades de verde.</p> <p>Esta combinación se llevó a cabo con el uso de las bandas 8A, 11 y 2 para las imágenes satelitales de Sentinel 2.</p>	
<p>Uso agrícola</p>	<p>Con esta combinación se logró visualizar las zonas agrícolas mediante la tonalidad verde brillante. Para este caso, se realizó una visita a campo para confirmar los cultivos presentes.</p> <p>Esta combinación se llevó a cabo con el uso de las bandas 11, 8A, y 2 para las imágenes satelitales de Sentinel 2.</p>	

Tabla 2. Combinación de bandas en QGis

Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Clasificación supervisada mediante el complemento SPC

La clasificación supervisada se realizó mediante el uso del software QGis y su complemento SPC (Semi-Automatic Classification Plugin) (figura 9), permitiendo definir las coberturas según las combinaciones de las bandas escogidas anteriormente. Para ello, se usaron todas las bandas descargadas por el satélite. Posteriormente, se realizó un preprocesamiento a las imágenes mediante un recorte múltiple en los ráster, para ello fue necesario primeramente cargar las bandas en el complemento y seguido a eso en los ajustes rápidos de longitud de onda seleccionar el satélite correspondiente a las bandas, siendo escogido Sentinel 2 con bandas del 1 al 12. Con el recorte múltiple de ráster fue posible seleccionar la zona que iba a ser clasificada para cortar y manejar solamente el área correspondiente a trabajar, la Hacienda La Conejera. Después de obtener las bandas con la zona requerida se realizó un último preprocesamiento el cual consistió en realizar una conversión a las bandas de números digitales a valores decimales de reflectancia. Luego, las bandas convertidas se cargaron en el complemento y de esta forma se definieron las coberturas a utilizar y se realizaron los polígonos correspondientes a cada cobertura. Finalmente, se realizó el procesamiento de bandas usando el algoritmo de mapeo del ángulo espectral donde se completó la clasificación obteniendo el mapa de coberturas de la Hacienda La Conejera para el año 2019 (mapa 1).

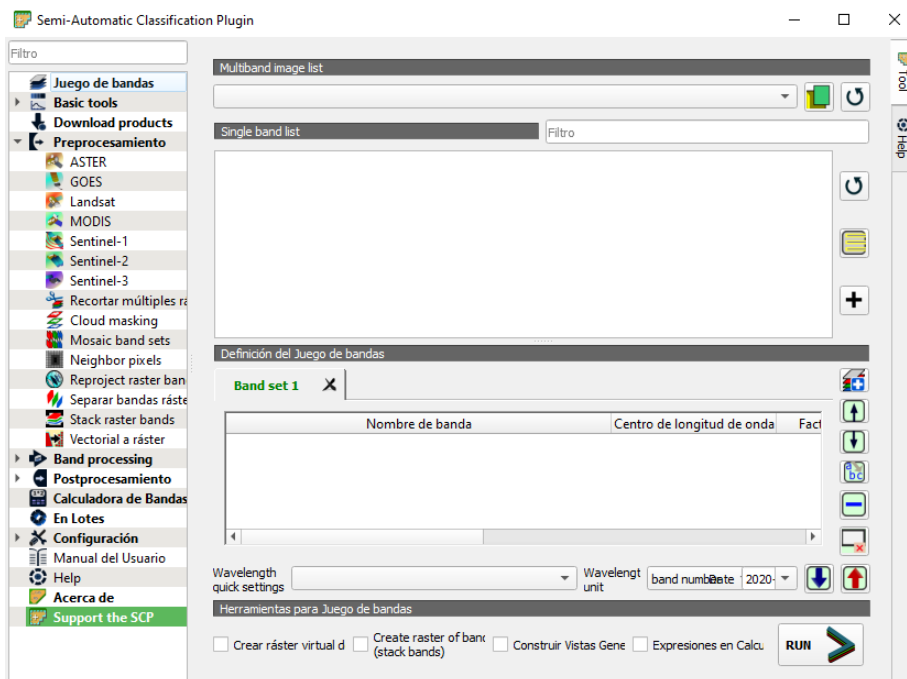
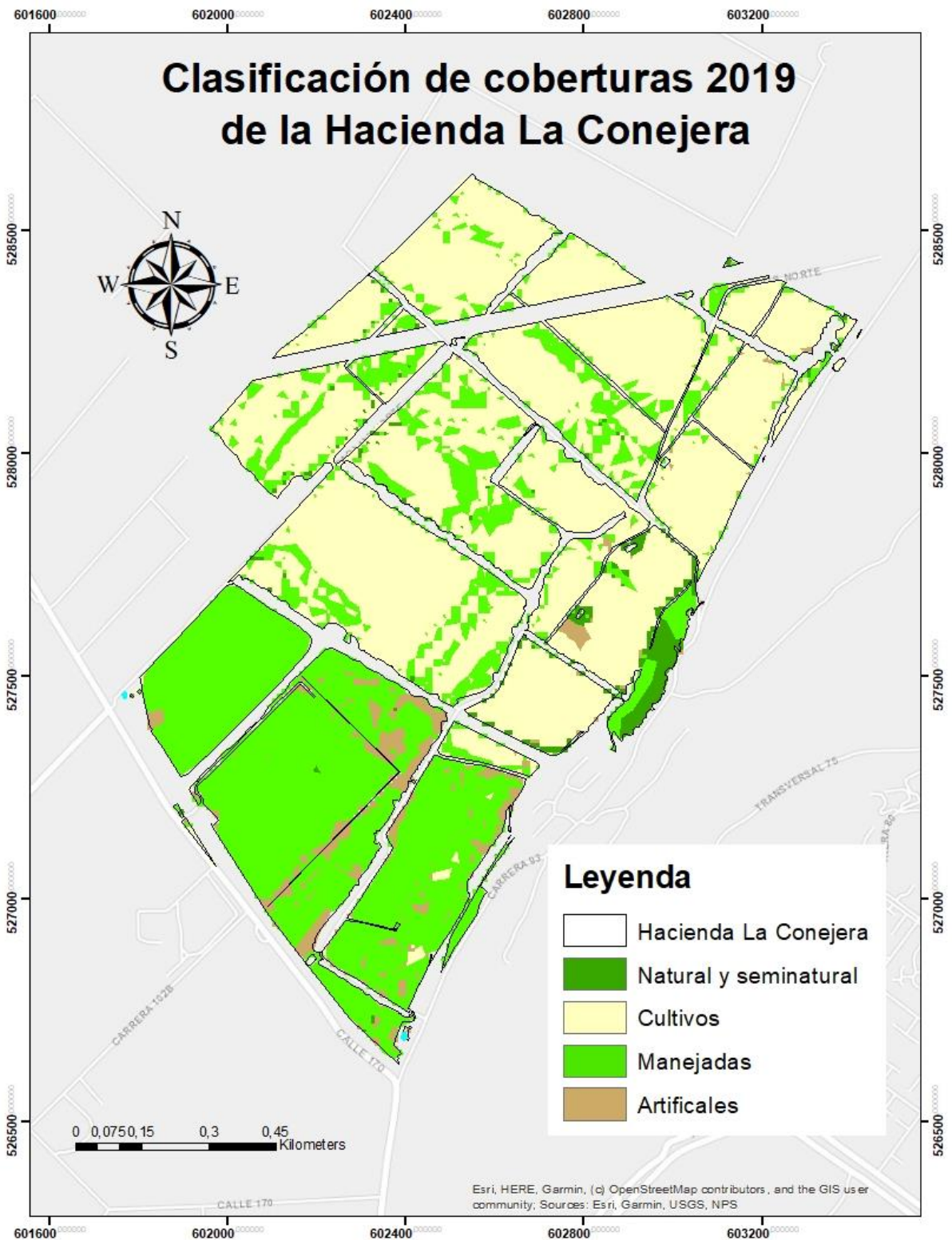


Figura 9. Complemento SPC de QGis

Fuente: QGis



Mapa 1. Clasificación de coberturas de la Hacienda La Conejera 2019

Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Cálculo de las áreas de cada cobertura

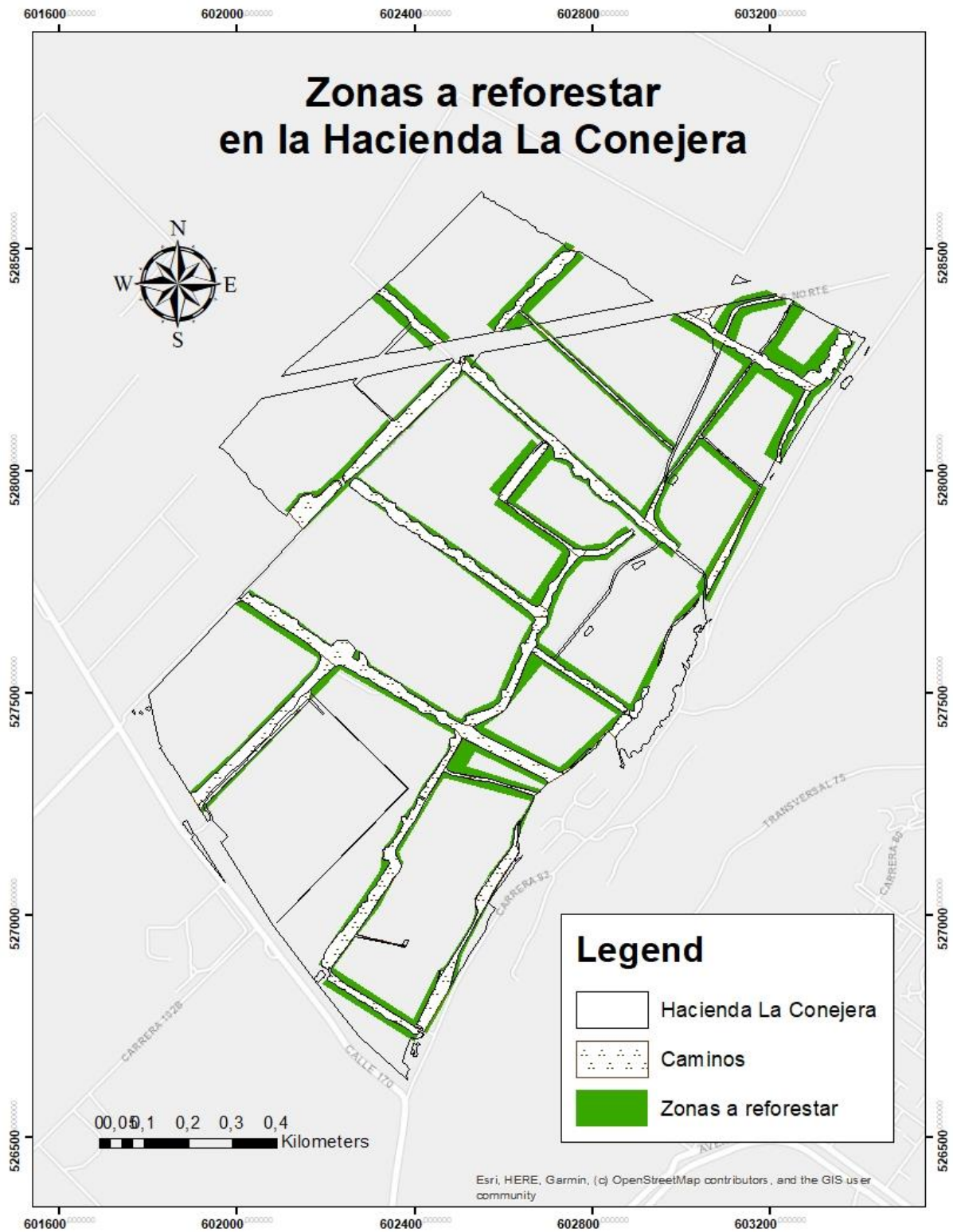
El área de cada cobertura para el año 2019 se calculó mediante el uso del software ArcGIS, así mismo, se obtuvieron las áreas correspondientes para el año 2025 según las 19,24 hectáreas a reforestar. Para este cálculo, se utilizó el mapa de coberturas del año 2019 donde se extrajo cada polígono individualmente, se le realizó el cálculo de cada cobertura y se sumaron los totales de cada polígono para obtener un sólo valor como se observa en la tabla 2. Para el caso del año 2025 se tuvo en cuenta la división de la reforestación presentada mediante la imagen que la alcaldía emitió con respecto a la Hacienda La Conejera.

Con esta se definió la cantidad de caminos presentes para luego dividirlos por el total de hectáreas a reforestar obteniendo así un valor de 0,6 hectáreas. Según la imagen, la reforestación se realizará en los caminos que recorren la hacienda, sin embargo, se entiende que esta se llevará a cabo no en los caminos exactamente sino a cada lado del mismo. Por lo que, teniendo en cuenta esta afirmación se dividió el valor a reforestar de cada camino por 2 para saber la cantidad total a reforestar a cada lado del mismo, obteniendo un valor de 0,3 hectáreas. Con este valor se dibujaron polígonos de 0,3 hectáreas a cada lado de cada camino (mapa 2) con los que fue posible reducir la cantidad original y así calcular las áreas finales (Tabla 3).

	AÑO 2019	AÑO 2025
CLASE	Área (ha)	Área (ha)
Naturales y seminaturales	3,1	22,4
Cultivos	73,9	60,4
Manejadas	54,9	49,8
Artificiales	5,3	4,7
Otros	1,0	1,0
Área total (ha)	138,2	138,2

Tabla 3. Área de las coberturas en la Hacienda la Conejera

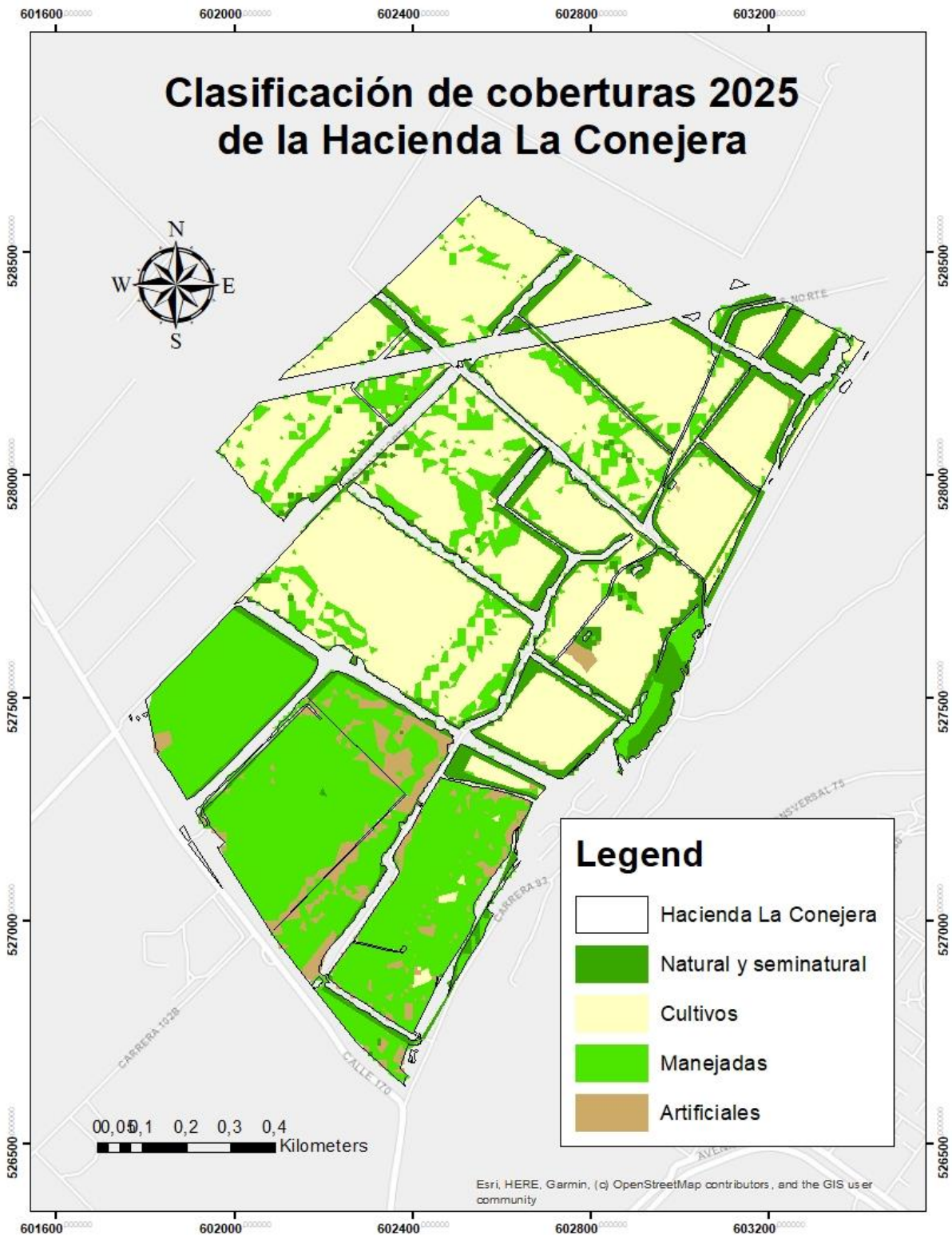
Fuente: Elaboración propia



Mapa 2. Zonas a restaurar en la Hacienda La Conejera

Fuente: Elaboración propia

7.1.4. Proyecciones de cambio de uso del suelo



Mapa 3. Clasificación de coberturas de la Hacienda La Conejera 2025

Fuente: Elaboración propia

La obtención del cambio en el uso del suelo para Hacienda La Conejera para el año 2025 se hizo mediante el uso del software ArcGIS. En donde fue necesario el dibujo de las zonas a restaurar en cada polígono. En este caso, fue necesario realizar un borrado de cada cobertura lo que permitió reducir las coberturas su comportamiento. El mapa de la hacienda cuenta con 36 polígonos individuales en donde cada uno presenta de uno a cuatro coberturas. Para realizar el borrado se usó la herramienta “Erase” la cual permitió eliminar zonas de una entidad al superponer un polígono encima del otro obteniendo el mapa 3.

7.2. Estimación de CO₂ mediante Ex-Act

La estimación de la cantidad de CO₂ que la “Hacienda La Conejera” de la RTVdH puede capturar con y sin restauración ecológica para el período propuesto mediante la implementación de la herramienta Ex-Act se realizó mediante la alimentación de los módulos escogidos anteriormente, adicionalmente, fue necesario aumentar el valor del área de cada cobertura debido a que la herramienta no funciona correctamente con valores menores a 100 hectáreas, por lo que se multiplicaron todos los valores de las áreas por 100 (tabla 4)

	AÑO 2019	AÑO 2025
CLASE	Área (ha)	Área (ha)
Naturales y seminaturales	311,2	2235,2
Cultivos	7385,9	6035,9
Manejadas	5487,2	4977,2
Artificiales	533,5	469,2
Otros	102,2	102,2
Área total (ha)	13820,0	13820,0

Tabla 4. Área de las coberturas en la Hacienda la Conejera multiplicadas x 100

Fuente: Elaboración propia

7.2.1. Alimentación de los módulos de Ex-Act

7.2.1.1. Módulo de descripción:

Para alimentar la herramienta Ex-Act se partió de una definición general de la zona especificando el área geográfica, el clima, las características del suelo, la duración del proyecto (Srinivasarao et al., 2016), entre otros, de la Hacienda La Conejera (anexo 1).

a. Continente: Sudamérica

b. Clima y régimen de humedad: para definir el clima correspondiente en la zona de protección al paisaje “Hacienda La Conejera” de la RTVdH se tuvo en cuenta el Ayudante Para Clima de Ex-Act en donde se establecieron los valores de temperatura y precipitación media anual para determinar la categoría climática y el régimen de humedad, respectivamente. Por ende, se ubicó la estación climática más cercana a la zona de estudio para obtener los valores correspondientes siendo el Apto Guaymaral la seleccionada y con esto definido se buscaron los valores de los parámetros en el Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. A partir de este, se obtuvo para la temperatura y precipitación un valor medio anual de 12,9 °C (tabla 6) y 777 mm (tabla 7), respectivamente. Según la tabla 5, se observa la categoría climática correspondiente según el valor de temperatura media anual, el cual es **templado cálido**. Por otro lado, el régimen de humedad se obtuvo según la siguiente relación: Húmedo si $PAM > ETP$ y Seco si $ETP > PAM$. Obteniendo un régimen de humedad **seco** puesto que $ETP: 950mm > PAM:777mm$.

TMA y Categoría Climática		TMA por defecto
TMA > 18	Tropical	25
10 > TMA > 18	Templado cálido	15
0 > TMA > 10	Templado fresco	5
TMA > 0	Boreal	0

Tabla 5. Clasificación temperatura media anual

Fuente: Herramienta Ex-Act

Tabla 2. PROMEDIOS MENSUAL Y ANUAL DE TEMPERATURA (°C)

ESTACIÓN	TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
APTO EL DORADO	MEDIA	13,1	13,5	13,8	14,0	14,0	13,8	13,3	13,3	13,3	13,4	13,5	13,2	13,5
	MÁXIMA ABS	24,9	24,8	24,9	23,2	23,5	23,1	22,4	23,6	23,3	23,6	24,0	23,8	24,9
	MÍNIMA ABS	-3,0	-6,4	-3,2	0,0	0,7	1,0	0,4	-1,5	-0,2	0,5	-3,0	-6,0	-6,4
	MÁXIMA MEDIA	19,9	20,0	19,8	19,5	19,2	18,6	18,2	18,5	18,9	19,1	19,3	19,5	19,2
	MÍNIMA MEDIA	5,6	6,6	7,7	8,7	8,8	8,4	7,8	7,4	7,2	7,8	8,0	6,6	7,5
APTO. GUAYMARAL	MEDIA	12,9	13,2	13,6	13,8	13,5	13,0	12,7	12,9	13,0	13,0	13,2	12,9	12,9
	MÁXIMA ABS	24,8	24,2	24,7	24,5	24,8	24,0	24,0	24,5	24,0	24,5	24,5	24,8	24,8
	MÍNIMA ABS	-2,9	-3,0	-2,0	0,0	1,0	0,1	-0,1	-1,0	-1,0	-3,0	-2,0	-3,2	-3,2
	MÁXIMA MEDIA	20,1	20,1	19,9	19,4	19,2	18,7	18,5	18,7	19,0	19,1	19,1	19,6	19,3
	MÍNIMA MEDIA	5,9	6,5	6,8	7,7	8,1	7,5	7,2	6,9	6,4	6,9	7,0	6,8	7,0
ESC. COL. DE INGENIERÍA	MEDIA	13,7	14,4	14,4	14,5	14,4	13,9	13,4	13,5	13,7	14,0	14,2	13,8	14,0
	MÁXIMA ABS	23,4	23,8	23,5	23,8	23,0	23,8	23,8	22,8	23,6	23,8	23,6	23,6	23,8
	MÍNIMA ABS	-0,4	-1,4	-2,8	1,0	3,4	1,0	1,6	1,0	1,0	1,0	2,0	-2,2	-2,8
	MÁXIMA MEDIA	20,1	20,1	19,9	19,4	19,2	18,7	18,5	18,7	19,0	19,1	19,1	19,6	19,3
	MÍNIMA MEDIA	5,9	6,5	6,8	7,7	8,1	7,5	7,2	6,9	6,4	6,9	7,0	6,8	7,0
GRANJA SAN JORGE	MEDIA	11,5	11,6	11,8	11,9	11,9	11,6	11,1	11,3	11,5	11,5	11,7	11,6	11,6
	MÁXIMA ABS	20,8	20,6	20,2	19,4	20,2	19,4	19,4	19,0	20,0	19,4	19,6	20,0	20,8
	MÍNIMA ABS	0,5	0,2	0,2	2,0	0,7	0,5	0,0	3,8	0,5	0,7	3,2	1,0	0,0

Tabla 6. Temperatura media anual estación Apto Guaymaral

Fuente: (Bernal, G., Rosero, M., Cadena, M., & Montealegre, J., 2007).

Tabla 7. PROMEDIOS MENSUAL Y ANUAL DE PRECIPITACIÓN (mm)

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
APTO EL DORADO	32	42	66	113	92	55	41	48	73	116	88	52	819
APTO GUAYMARAL	31	52	70	91	87	57	46	46	65	100	85	46	777
BOCA GRANDE SAL.	32	57	86	135	183	178	214	169	121	114	103	53	1441
BOSA-BARRENO	20	30	48	69	69	51	33	44	51	78	70	29	591
CERRO DE SUBA	41	66	85	109	100	48	39	47	71	116	106	61	889
CONTADOR	68	82	101	116	98	44	40	38	54	122	114	82	958
EL BOSQUE	37	55	75	117	147	157	173	136	101	111	120	62	1290
EL DELIRIO	59	70	97	97	119	127	168	118	76	107	104	69	1212
EL GRANIZO	71	76	90	114	122	82	78	74	68	119	135	84	1113
EL HATO	19	37	51	82	108	85	80	73	64	79	66	34	778
EL VERJÓN	51	56	89	98	124	132	155	119	81	113	111	67	1195
GRANJA SAN JORGE	26	38	54	90	96	64	55	55	56	90	89	42	754
JARDÍN BOTÁNICO	43	62	90	119	120	57	45	51	79	112	117	64	950
LA REGADERA	21	38	55	96	136	128	123	108	81	98	76	38	999
S. FRANC. SALITRE	76	71	93	114	128	91	118	90	74	117	116	82	1169
SAN DIEGO	60	74	90	120	105	61	63	58	59	121	128	78	1016
SAN LUIS	74	74	96	118	107	62	60	55	60	118	130	79	1033
SANTA LUCIA	27	40	58	82	84	48	37	43	52	82	73	41	667
TORCA	64	80	113	142	123	84	78	65	101	125	135	86	1197
UNIV. NACIONAL	57	70	93	117	118	53	39	48	74	126	129	76	940
USAQUÉN S. ANA	73	71	103	119	96	51	45	44	55	111	121	80	969
VENADO DE ORO	65	69	98	126	113	71	74	68	68	119	140	83	1093
VITELMA	59	71	100	112	105	72	89	75	66	111	123	81	1064

Tabla 7. Precipitación anual estación Apto Guaymaral

Fuente: (Bernal, G., Rosero, M., Cadena, M., & Montealegre, J., 2007).

- a. Descripción características del uso del suelo:** el tipo de suelo dominante dentro de la RTVdH se identificó con el programa SoilGrids (<https://soilgrids.org/>) en donde, por medio de la ubicación geográfica se pudo determinar que el tipo de suelo de la RTVdH es volcánico, para poder tener información más confiable, se decidió de igual manera consultar con uno de los geólogos que se encuentran dentro de la RTVdH y así poder rectificar que dicho suelo es volcánico.
- b. Duración del proyecto:** la duración del proyecto se divide en la fase de implementación definida como parte del periodo de tiempo activo del proyecto, tomando en cuenta tanto la inversión como la financiación la cual corresponde a 8 años desde el 2011 hasta el 2019 y la fase de capitalización definida como la parte del periodo de tiempo en el cual todavía se pueden visualizar los beneficios atribuidos por la aceptación del proyecto la cual corresponde a 6 años desde el año 2019 hasta el 2025. Se considera en total una duración de 14 años donde en la primera fase no hubo ningún cambio en el uso del suelo

7.2.1.2. Módulo de cambio de uso de suelo:

Para completar el módulo fue necesario escoger el tipo de vegetación (bosque natural o plantación) correspondiente a la “Hacienda La Conejera” de la RTVdH. Por ende, se utilizó la figura 10 extraída de la Guía de Ex-Act como una herramienta de ayuda. En esta, se pueden distinguir diferentes zonas ecológicas relacionadas a cada tipo de vegetación.

La categoría “plantación” hace referencia a los bosques que son gestionados intensivamente y “bosque” son los bosques gestionados extensivamente, es decir, su crecimiento es natural y la intervención humana es mínima. La diferencia entre las dos categorías se encuentra en las características principales ya que estas dependen mayormente del régimen de gestión (GUIA EX-ACT).

Según la figura 10 y la categoría climática hallada en la sección 7.2.1.1 (templado cálido) se definen 4 tipos diferentes de vegetación; bosque subtropical húmedo, bosque tropical seco, estepa subtropical y sistema montañoso. Obteniendo bosque subtropical seco como la zona respectiva a la Hacienda La Conejera, por lo que, el grupo principal de vegetación es Bosque 2 o Plantación 2.

Nombre del tipo de vegetación	Zona Ecológica (válida para todos los continentes)				
	Tropical	Templado Cálido	Templado Fresco	Boreal	Tropical Montañoso
Bosque1 o Plantación1	Bosque tropical lluvioso	Bosque subtropical húmedo	Bosque oceánico templado	Bosque boreal conífero	Sistemas montañosos tropicales
Bosque2 o Plantación2	Bosque tropical húmedo deciduo	Bosque subtropical seco	Bosque templado continental	Bosques de tundra boreal	
Bosque3 o Plantación3	Bosque tropical seco	Estepa subtropical	Sistemas montañosos templados	Sistemas montañosos boreales	
Bosque4 o Plantación4	Arbustos tropicales	Sistema montañoso subtropical			

Figura 10. Tipo de vegetación según zona ecológica

Fuente: Ex-Act guía técnica

La obtención del grupo principal de vegetación sirvió como insumo para alimentar las secciones del módulo que eran pertinentes para la zona de estudio, siendo la deforestación y la aforestación/reforestación (anexo 2 y 3). Para la sección deforestación se contempló que en ninguno de los escenarios con o sin proyecto era posible seguir deforestando las zonas que aún conservan vegetación forestal, no obstante, en el programa se seleccionó que el tipo de vegetación que sería deforestada sería el Bosque 2 y que el uso final después de la deforestación serían pastizales, esto último, siendo corroborado mediante visitas a la zona e información brindada por el personal de la Hacienda. Así mismo, el programa se alimentó con el área boscosa inicial la cual corresponde a las 311,2 hectáreas y para el escenario con y sin proyecto no se ingresó ningún dato ya que no habría deforestación.

En la sección de aforestación/reforestación se asignó para el tipo de vegetación que sería plantada la opción Plantación 2, así mismo, se tuvieron en cuenta tres tipos de usos de la tierra que serían reemplazados por vegetación forestal; pastizales, cultivos anuales y suelos degradados. Para los tres usos se manejó que en el escenario sin proyecto no habría ningún cambio, sin embargo, en el escenario con proyecto se consideró que a los pastizales se les reducirán 1350 hectáreas, a los cultivos anuales 510 hectáreas y los suelos desnudos 639,5 hectáreas.

7.2.1.3. Módulo de producción agrícola:

Para este módulo se usaron los datos provistos por el personal y el PMA de la RTVdH en el apartado de la Hacienda La Conejera, los cuales identifican la zona con diferentes tipos de cultivos, no obstante, en la alimentación del programa Ex-Act se tuvo en cuenta solamente la categoría de “Tubérculo” y un rendimiento de 17,9 t/ha/año obtenido mediante el Ayudante para Rendimiento de Ex-Act (anexo 4). En la zona de estudio sólo se encuentran cultivos anuales, por lo que, en el programa se utilizó la sección de sistemas anuales provenientes de otros usos de la tierra o convertidos en otro uso de la tierra ya que los cultivos que se manejan en la Hacienda cambian su ubicación según la decisión de los propietarios (ya que son predios privados), además, de permitir que las zonas agrícolas descansen (Imagen 1). El módulo se completó con la información de las opciones de manejo que presentan los cultivos, además, los valores de del área que corresponde al escenario con y sin proyecto son asignados automáticamente.



Imagen 1. Zonas agrícolas en descanso de la Hacienda La Conejera

Fuente. Archivo propio



Imagen 2. Zonas agrícolas activas de la Hacienda La Conejera

Fuente. Archivo propio

7.2.1.4. Módulo de pasto/ganadería:

Los pastizales seleccionados hacen parte de la sección Pastizales provenientes de otro CUT (cambio en el uso de la tierra) o convertidos en otro CUT, por ende, se completó la información mediante información brindada por el personal de la hacienda lo cual permitió definir que el estado inicial de los pastizales según el programa hace referencia a pastizales moderadamente degradados los cuales en el escenario sin proyecto serán mejorados sin el uso de insumos, por otro lado, en el escenario con proyecto serán mejorados con el uso de insumos (anexo 5).

Adicionalmente, en la Hacienda La Conejera no se encontraron zonas de ganadería en particular, no obstante, dentro de ella se observaron zonas de pastizales que dividen los predios y en estas se pueden diferenciar nodillos completando un total de 25 nodillos en toda el área de la hacienda (Imagen 4), así mismo, estos nodillos son para carne y para ganado de leche se pueden contemplar 4 vacas (anexo 6). En el escenario sin proyecto estos nodillos mantendrán su mismo número, no obstante, en el escenario con proyecto ya no se encontrarán nodillos ya que las zonas donde estos pastan serán reforestadas.



Imagen 3. Zonas de pastizales de la Hacienda La Conejera

Fuente. Archivo propio



Imagen 4. Zonas de ganadería de la Hacienda La Conejera

Fuente. Archivo propio

7.2.2. Cálculo balance neto de carbono y CO₂ capturado

Para los cálculos de balance de carbono se utilizó la herramienta Ex-Act, la cual fue alimentada con la respectiva información de la Hacienda La Conejera, en donde se tuvieron en cuenta los módulos de: cambios en el uso de la tierra, agricultura, pastizales y ganado, siendo estos los que aplican netamente para el proyecto. Con la herramienta se obtuvieron los flujos brutos de cada actividad con y sin proyecto, permitiendo cuantificar los GEI en toneladas de CO₂eq, así como también el balance total generado en la hacienda, siendo este la diferencia entre los dos escenarios durante el tiempo estipulado del proyecto de restauración.

Nombre del proyecto	Reserva Thomas Van Der Hamr	Clima	Templado cálido (Seco)	Duración del proyecto (años)	14
Continente	Sudamérica po de suelo regional dominante	Suelos volcánicos		Área total (ha)	2235,1
Componentes del proyecto	Flujos brutos		Balance		
	Sin	Con			
	Todos los GEI en tCO ₂ eq				
	Positivo = fuente / negativo = sumidero				
Cambios en el uso de la tierra					
Deforestación	168.614	168.614	0		
Aforestación	0	-802.468	-802.468		
Otros	0	0	0		
Agricultura					
Cultivos anuales	-9.051	-2.586	6.465		
Cultivos perennes	0	0	0		
Arroz	0	0	0		
Pastizales y Ganado					
Pastizales	-46.085	-21.857	24.227		
Ganado	744	213	-531		
Degradación y manejo Coastal wetlands	0	0	0		
Insumos e inversiones Fishery & Aquaculture	0	0	0		
Total	114.223	-658.084	-772.307		
Por hectárea	41	-234	-275		
Por hectárea por año	2,9	-16,7	-19,6		

Imagen 5. Resultados balance de carbono de la herramienta Ex - Act

Fuente: Herramienta Ex- Act

Según la Imagen 5 se muestran los resultados generados en cada módulo durante el proyecto, donde aquellos datos acompañados de un signo negativo indican que el componente crea un sumidero de GEI, es decir, es un depósito natural de carbono el cual permite absorber el carbono de la atmósfera y reducir el CO₂ en el aire. Por el contrario, aquellos que presentan un signo positivo son fuentes de GEI.

En el módulo de cambios de uso de la tierra se obtuvo como resultado en términos de deforestación 0 “cero” en el balance debido a que en la RTVdH no se practican actividades

relacionadas con la tala, siendo considerada una actividad que no puede ser llevada a cabo dentro de la RTVdH. Es por esto, que el valor se mantuvo constante para el escenario sin proyecto y con proyecto. Cabe resaltar que, aunque no hay presencia de dicha actividad, Ex-Act sí tuvo en cuenta el submódulo de deforestación puesto que el programa necesita de esta información para generar datos más confiables y completos. Por otra parte, para el submódulo de aforestación y reforestación se obtuvo como resultado $-802,468 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$, lo que quiere decir que la implementación del escenario con proyecto resulta beneficiosa para la captura de CO_2 . Sin embargo, al ser un resultado supuesto se estima que este valor es lo que corresponde a la posible captura de CO_2 en un futuro por parte de la Hacienda La Conejera con la implementación y finalización del proyecto de restauración ecológica si se restaurarán las 19,2 ha de bosque, generando un impacto positivo tanto para la capital como a nivel regional.

Para el módulo de agricultura se tuvo en cuenta que dentro del área de interés se encuentran predios en arriendo destinados a cultivos de papa, maíz, zanahoria y hortalizas. a las cuales se les realiza manejo de nutrientes, laboreo, gestión hídrica, aplicación de estiércol y buen manejo de residuos. A los cultivos se les realiza una rotación dentro de la hacienda, en donde se cultivan más o menos 30 ha/año de maíz, 50 ha/año de papa, 20 ha/año de zanahoria y 25 ha/año de hortalizas. Sin embargo, dentro de Ex-Act en el submódulo de cultivos anuales no fue posible especificar los cultivos que se encuentran presentes dentro de la hacienda, puesto que la herramienta no permitió el ingreso de varias variables en el submódulo, por lo que se optó por elegir la categoría de “tubérculos” ya que está permitía agrupar la mayoría de los cultivos presentes. El resultado del balance neto para este módulo fue de $6,465 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$ considerándose un impacto negativo para la captura de CO_2 ; se interpretó que dicho valor es causado por el uso de pesticidas para el control de plagas en los cultivos, así como también por la presencia continua de estas prácticas en la Hacienda La Conejera.

Para el módulo de pastizales se tuvo en cuenta que no se practican actividades de quema dentro de la hacienda siendo zonas destinadas a actividades recreativas. Los pastizales son áreas que se preservarán dentro de la hacienda a largo plazo. Los resultados de este módulo arrojaron un valor de $24.227 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$, lo que indica que los pastizales son áreas que aportan a la generación de GEI debido a que tienen grandes variaciones con respecto al clima, el tipo de suelo, entre otros. Tennigkeit & Wilkes, (2008) demostraron en una investigación realizada en China que los pastizales pueden responder de manera tanto positiva como negativa al secuestro de carbono dependiendo de la zona donde se ubiquen, por lo que, es importante diseñar estrategias para la

gestión del carbono del suelo de los pastizales que sean acorde a las características de cada sitio.

Con respecto al submódulo de ganado se obtuvo un valor de $-531\text{tCO}_2\text{ eq}$ para el balance bruto indicando un impacto positivo con la implementación del proyecto de restauración, puesto que dentro de la hacienda actualmente se cuenta con 4 cabezas de ganado para consumo de leche y 25 cabezas de ganado para venta de carne siendo alimentadas con pasto, agua y sal, el ganado se encuentra ubicado dentro de las zonas destinadas a la restauración ecológica por lo que se estima que en un futuro el ganado desaparezca en su totalidad.

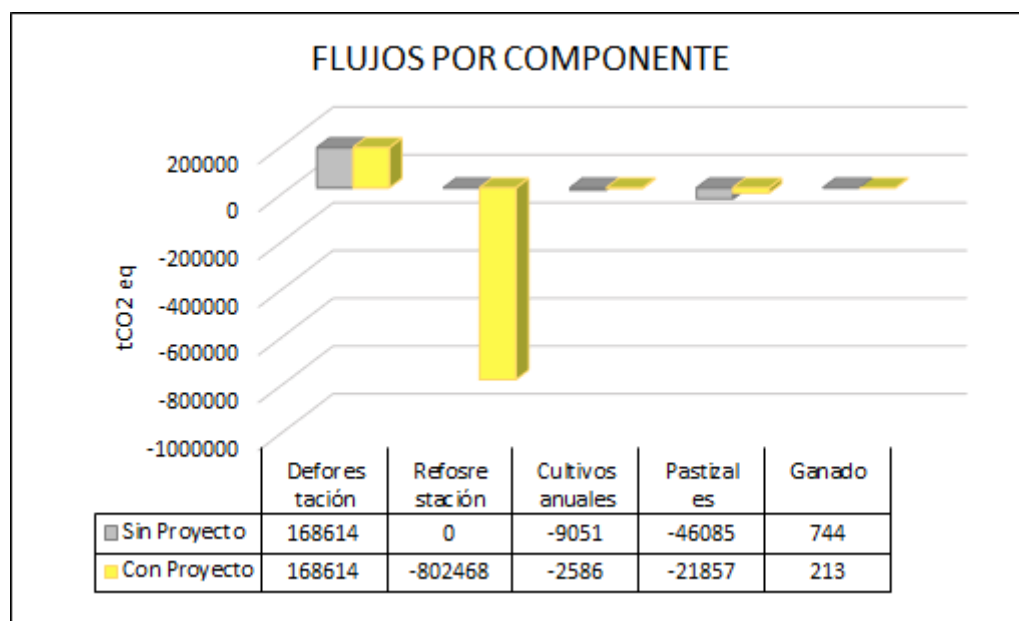


Figura 11. Flujos en $\text{tCO}_2\text{ eq}$ por componente con y sin proyecto en la Hacienda La Conejera.

Fuente. Elaboración propia.

En la figura 11 se presentan los flujos por componente representados en $\text{tCO}_2\text{ eq}$ para los escenarios con y sin proyecto, en la Hacienda La Conejera. Los resultados obtenidos en cada componente que tienen propensión a ser valores positivos son aquellas actividades que se comportan como fuentes de GEI, los cuales para el escenario sin y con proyecto serían los submódulos de ganadería y deforestación; y aquellos que tienen resultados negativos, son las actividades que servirían de sumidero de GEI. Por otro lado, los módulos que aplican para el escenario con y sin proyecto son los submódulos de reforestación, cultivos y pastizales.

Con respecto a lo mencionado anteriormente por cada uno de los flujos de los submódulos generados por la herramienta Ex-Act se deduce que las actividades tanto para el escenario con y sin proyecto tuvieron un resultado en el balance totalmente diferente, esto se debe a que en las actividades de ganadería y deforestación que obtuvieron un valor positivo, son actividades que responden a alguna de las siguientes afirmaciones: 1) ya no existen en la Hacienda La Conejera como ocurre con la deforestación con una estimación de 168,614 tCO₂ eq, 2) dejarán de existir con la implementación del proyecto como es el caso de la ganadería, por lo que, aunque su valor antes de la implementación del proyecto fue de 744 tCO₂ eq, con proyecto arrojó un dato de 213 tCO₂ eq disminuyendo de esta forma las emisiones gases de efecto invernadero. Para el submódulo de cultivos anuales con un resultado de -9,051 tCO₂ eq sin proyecto y un -2,586 tCO₂ eq con proyecto y para el submódulo de “pastizales” con un valor de -46,085 tCO₂ eq sin proyecto y un -21,857 tCO₂ eq con proyecto arrojando valores negativos en ambos casos, se deduce que esto es resultado de las áreas que ocupa cada uno de los submódulos inicialmente antes de la implementación del proyecto, ya que con la restauración ecológica estas áreas no dejarán de existir sino disminuirán su tamaño, por lo que, la herramienta entiende que la captura de CO₂ antes del proyecto era más significativa que con el escenario con proyecto, sin embargo, eso no significa que estas actividades precisamente sirvan como sumidero de carbono puesto que lo que capturan con respecto a los GEI es muy insignificante para lo que realmente generan, viéndose reflejado en el balance final del trabajo.

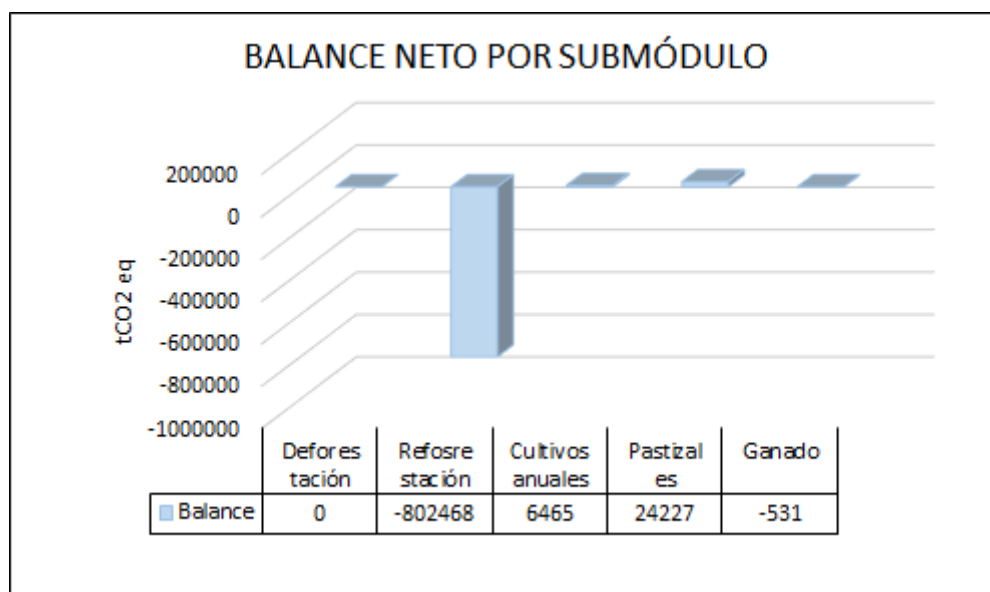


Figura 12. Balance neto en tCO₂ eq por submódulo en la Hacienda La Conejera.

Fuente. Elaboración propia

Conforme a las estimaciones negativas generadas por la herramienta y presentadas en la figura 12, se puede llegar a la estima que existe un potencial de captura de CO₂ únicamente en los submódulos de reforestación y ganado debido a que son actividades que tendrán un impacto positivo en la RTVdH si se llegase a implementar la restauración ecológica dentro de la RTVdH. Por otro lado, para los submódulos tanto de pastizales como de cultivos serán actividades que serán fuente de GEI debido a sus continuas prácticas, así como a algunas prácticas indebidas. Se debe tener en cuenta que no se pudo implementar información detallada en el submódulo de cultivos por la falta de campos dentro de la herramienta Ex-Act.

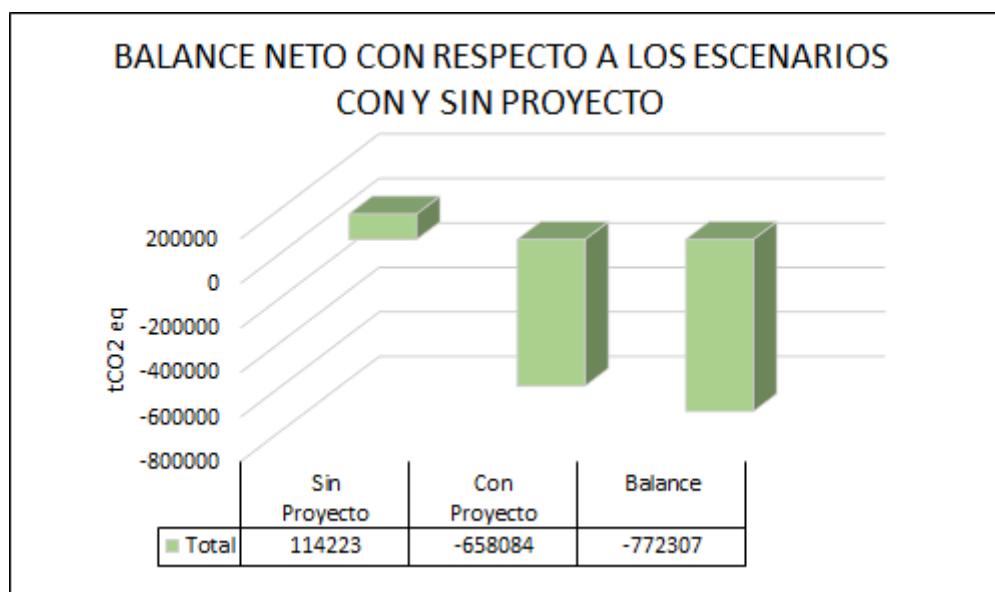


Figura 13. Balance neto en tCO₂ eq con respecto a los escenarios con y sin proyecto en la Hacienda La Conejera

Fuente. Elaboración propia

Sin embargo, de acuerdo con la figura 13 se puede inferir claramente que en concordancia a lo mencionado a todo lo anterior y con los escenarios presentados “sin proyecto” y “con proyecto”, efectivamente la Hacienda La Conejera lograría ser un sumidero de GEI si la restauración ecológica es llevada a cabo y finalizada correctamente. Esta afirmación se ve reflejada en el valor final de captura sin proyecto de 114,223 tCO₂ eq y con proyecto de -658,084 tCO₂ eq para finalmente tener un total de captura de -772,307 tCO₂ siendo un valor que tiene en cuenta el resultado final de ambos escenarios.

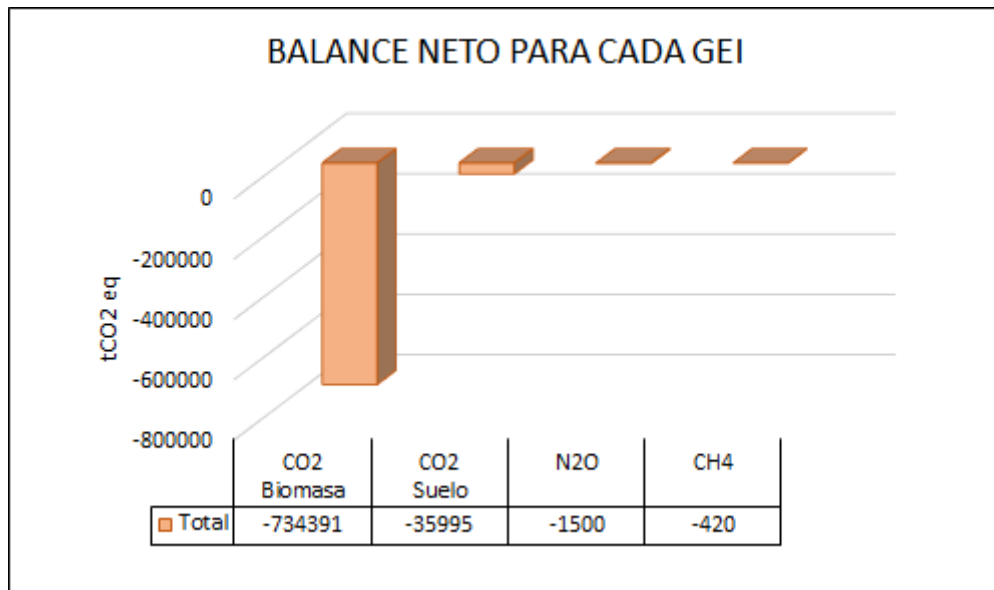


Figura 14. Balance neto para cada GEI en la Hacienda la Conejera

Fuente. Elaboración propia

En la figura 14 se muestra el balance neto obtenido para cada GEI (CO_2 , N_2O y CH_4) con la implementación del proyecto realizado en la Hacienda La Conejera, en donde para cada uno de los gases se puede volver a corroborar que el proyecto efectivamente permite que la hacienda funciona como sumidero no solamente de dióxido de carbono sino también para el óxido nitroso y el metano. El CO_2 representó un sumidero del 99,75% de captura total, en donde el 95,08% corresponde a la biomasa vegetal y tan solo el 4,67% al suelo. Aunque el proyecto se enfocó en la captura de CO_2 , la herramienta también permitió observar el comportamiento de los otros dos gases mencionados, arrojando un porcentaje de captura de 0,19% para el N_2O y un 0,05% para el CH_4 siendo expresados en términos de CO_2eq .

7.3. Modelo social

Como modelo social se optó por realizar charlas lúdicas con fines educativos a las comunidades aledañas de la “Hacienda La Conejera” que hacen parte del voluntariado en las actividades de la RTVdH, las cuales se llevaron a cabo de manera presencial en el parque Quebrada la Salitrosa ubicado en la localidad de Suba (Imagen 6). En estas charlas también se contó con la asistencia de los estudiantes de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás de tercer semestre de manera virtual, así mismo, se contó con la participación tanto de la representante legal Gina Pizza como del ingeniero ambiental Sergio Burgos de la Corporación Ambiental Cedros (CorpACedros), en ambos casos se establecieron temas

relacionados con el proyecto y la RTVdH, esto con el motivo de explicar y aclarar conceptos enlazados con el calentamiento global, la estructura principal de Bogotá, la importancia de la RTVdH frente al cambio climático, el proceso de desarrollo del proyecto y las herramientas que se usaron durante el trabajo, entre otros. Esto se realizó con el propósito de mostrar los resultados obtenidos del proyecto de captura de CO₂ de manera clara, concisa y sencilla con el fin de dar a conocer el campo laboral de un Ingeniero ambiental, así como la importancia de entender, cuidar y velar por los ecosistemas que tenemos en Colombia desde el componente ambiental y social.



Imagen 6. Socialización en el parque Quebrada la Salitrosa

Fuente. Archivo propio



Imagen 7. Socialización en el parque Quebrada la Salitrosa II

Fuente. Archivo propio

Por otro lado, bajo las condiciones establecidas por CorpAcredros (Corporación Ambiental Cedros), entidad encargada de la restauración ecológica en la “Hacienda La Conejera” se realizó como complemento a las charlas un blog que se llevó a cabo dentro de la página de la RTVdH, en donde se explican temas como el cambio climático, la importancia del bosque andino, la captura de CO₂, entre otros. explicados de manera corta y concisa. Esto con el fin de entender mejor las problemáticas, la historia y los proyectos que se encuentran actualmente en desarrollo dentro de la RTVdH. El blog se realizó de una manera que fuese fácil de entender a todo tipo de población y con la intención de que sea información confiable, actualizada y abierta al público.

“¿Sabías que la cantidad de gases de efecto invernadero, especialmente el CO₂ se produce por las distintas actividades que se realizan en el día a día? un ejemplo de esto es el consumo de energía, el uso de vehículos, entre otros.....”

Este modelo social se escogió con el motivo de poder llegarle a la gente de una forma que fuese más interactiva, entendible y que abarcara de manera completa la información con respecto a la RTVdH promoviendo de esta manera la pedagogía y la cultura ambiental en la ciudad.

8. Conclusiones

- La Hacienda La Conejera cuenta con unas características de suelo, bosque, cultivo, y ganado específico que permitieron construir el comportamiento de la misma frente a la restauración ecológica en el año 2019 y 2025 con el fin de ser insumo para obtener el balance de captura de carbono. Los resultados obtenidos muestran que el proyecto claramente ayuda en la mitigación de gases de efecto invernadero, mejorando de este modo la calidad de aire y así mismo de vida para la población de Bogotá.
- Según el balance de carbono se puede evidenciar el beneficio de la implementación del proyecto de restauración ecológica dentro de la RTVdH específicamente en la Hacienda La Conejera, ya que se obtuvo un total anual promedio de $-55,165 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$, con un ponderado total de $-772,307 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$ para un período de 14 años que abarca el proyecto de restauración ecológica. La hacienda se verá beneficiada durante este tiempo siempre y cuando se cumpla con el propósito y se lleve a cabalidad lo establecido dentro del PMA.
- Para los escenarios con y sin restauración ecológica se tuvo en cuenta que con la implementación del proyecto se generó un cambio en el uso del suelo dentro la hacienda ya que se aumentaron las zonas naturales y seminaturales y se redujeron las zonas de cultivos, suelos desnudos, pastizales y ganadería. Este comportamiento expresa que para la situación con proyecto se genera un total de $-658,084 \text{ eq}$ indicando que la Hacienda La Conejera lograría ser un sumidero de GEI sí la restauración ecológica es llevada a cabo y finalizada correctamente. Por otro lado, si el proyecto no se implementa se asume que la situación se mantendría sin cambios o cambios constantes generando un valor final de captura sin proyecto de $114,223 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$.
- Dentro del balance neto total que se obtuvo del proyecto $-772,307 \text{ tCO}_2 \text{ eq}$ con un 99,75% pertenece a la captura de CO_2 , en donde se tiene un 95,08% de biomasa vegetal y un 4,67% de suelo.
- Con la herramienta Ex-Act se pudo llegar a tener una estimación confiable del potencial de captura de GEI por la Hacienda La Conejera, siendo una herramienta de evaluación para proyectos que se enfoquen en la restauración o reforestación de una zona en específica, trabajando en pro de su conservación y preservación.
- Por medio del presente trabajo se muestra que es posible realizar proyectos que integren políticas de mitigación y a la vez que sirva como apoyo en la ejecución de otros proyectos o trabajos.

- La restauración ecológica es un proceso que busca regresar un ecosistema lo más similar posible a su condición previa a la degradación causada por la acción humana. Por ende, reconocer la importancia de esta actividad en la Hacienda La Conejera es esencial para las personas que se encuentran aledañas como para toda la ciudad. La RTVdH es una zona que requiere de mucha comprensión y conexión, puesto que, representa una gran parte de Bogotá tanto de su historia como su condición ambiental. Conocerla, protegerla y cuidarla es deber de cada ciudadano, por lo que, mediante la socialización llevada a cabo en la Quebrada La Salitrosa se dio un paso una inicial en la importancia de concientizar sobre el papel que juega la RTVdH frente al cambio climático y todas las consecuencias positivas como negativas que este traerá para la capital región según el manejo que se puede llegar a hacer.

9. Recomendaciones

- Ex-Act es una herramienta útil para calcular el valor de CO₂ que un proyecto como una restauración ecológica puede generar en una zona específica, no obstante, es necesario definir mucho más específicamente las variables a utilizar ya que el programa tiene algunas limitaciones como lo son al momento de no permitir más tipos de cultivos dentro del submódulo sistemas anuales provenientes de otro uso de tierra o convertido en otro uso de tierra o no manejar distintos tipos de bosque y vegetación de ciertas zonas del globo.
- Es importante la utilización de datos precisos para el manejo de Ex-Act, ya que, al ser una herramienta que maneja valores por defecto es necesario entender lo que el programa requiere para saber si corresponden a las necesidades del proyecto y así, completar los módulos sin ningún problema.
- Al momento de revisar los módulos correspondientes a utilizar para el proyecto en una zona en particular se debe tener en cuenta que no es necesario que todos los módulos sean llenados sino se deben llenar solamente aquellos que la guía específica, pero sobre todo se deben llenar aquellos módulos que sean pertinentes al propósito del proyecto y de los cuales se tenga información clara y concisa para completarlos correctamente.
- Para lograr obtener un resultado total de la captura de CO₂ de toda la RTVdH mediante la herramienta Ex-act es necesario que el cálculo realizado en este proyecto se realice en las demás zonas definidas para la reserva; zona de uso sostenible, zona de restauración y zona de preservación.

10. Bibliografía

- Addabbo, P., Focareta, M., Marcuccio, S., Votto, C., & Ullo, S. (2016). *Contribution of Sentinel-2 data for applications in vegetation monitoring*. 5, 44–54.
- Alban, E., & Granda, A. (2013). *Determinación del contenido de carbono en la biomasa aérea del páramo de la reserva ecológica Vanacocha* Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6171>
- Andrade, H., Ramírez, E., & Segura, M. A. (2020). Diversidad florística y captura de carbono en robledales y pasturas con árboles en Santa Isabel, Tolima, Colombia. *Revista de biología tropical*, 68(2), 383. Retrieved from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-77442020000200383&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Arteaga, M., & Hosttos, K. (2017). *Estimación del nivel de captura para los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, óxido nitroso y metano) para el proyecto de reforestación activa, en la zona de reserva forestal de la cuenca del río Las Ceibas, municipio de Neiva*. Universidad de la Salle). Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/732/
- Beltrán, D., & Erazo, A. (2017). *Captura de carbono en raíces finas y estructurales en bosques alto-andinos y sistemas agroforestales en asocio con árboles dispersos y cultivos en santa Isabel, Tolima*. [Universidad del Tolima]. <https://library.co/document/4zpgwx0z-captura-estructurales-andinos-sistemas-agroforestales-arboles-dispersos-cultivos.html>
- Bernal, G., Rosero, M., Cadena, M., & Montealegre, J. (2007). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y la Cuenca Alta del Río Tunjuelo*.

http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18241&shelfbrowse_itemnumber=19239

Bernoux, M., & Bockel, L. (s.f). *Herramienta de cálculo del balance de carbono ex-ante (EX-ACT). Guía técnica para la versión*. Italia:

Borrero, J. Camilo. (2012). Biomasa aérea y contenido de carbono en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá.

Burgos. (2018). *Planificación biorregional del territorio: una aproximación al caso de la Gran Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C. Thomas Van Der Hammen*. Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=od_____3056::895b090622a55008695ada2e9cabf849

Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., & Martínez, M. C. *Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos*.

CAR. (2017a). *PMA capítulo 05 - síntesis ambiental*. Colombia: CAR.

CAR. (2017b). *PMA capítulo 04 - componente descriptivo*. Colombia: CAR.

Cruz, D., Cárdenas, F., Quevedo, G., León, F., Navajas, G., Pineda, M. J., . . . Torres, Y. (2019). *Política, ciencia y ciudadanía por la conservación de la reserva forestal Thomas Van Der Hammen*. Bogotá:

Escobar, R., & Carvajal, J. (2016). *Estimación de biomasa forestal de la sierra de San Miguelito por medio de imágenes de satélite*. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx//handle/11627/3013>

FAO. (2010). *Guía rápida de EX -ACT estimación y focalización sobre la mitigación de*

los gases de efecto invernadero en la agricultura

- Gómez, D. (2016). *Análisis de sustentabilidad ambiental por uso del suelo en la Reserva Forestal Productora, Thomas Van Der Hammen Bogotá D.C.* Retrieved from <https://sie.car.gov.co/handle/11349/4772>
- González, J. (2016). *Proyecto urbano estratégico para el diseño y la configuración de un nuevo modelo de ciudad en la zona norte de Bogotá y la Reserva Thomas Van Der Hammen* Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/20816>
- Ho, S., Chen, C., Lee, D., & Chang, J. (2011). Perspectives on microalgal CO₂-emission mitigation systems — A review. *Biotechnology Advances*, 29(2), 189-198. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.11.001>
- Hurtado, M., Blanco, L. C., Acuña, J., Jaimes, D., Duarte, H., Moreno, J., . . . Pinzón, C. (2012). *Diagnóstico de salud ambiental compilado.*
- Hurtado, J., Pulido, D., & Lizarazo, I. (2020). *Multi-temporal analysis of soil changes for the Thomas Van Der Hammen Forest Reserve - Bogotá.* *Revista Geográfica De Chile Terra Australis*, 56(1), 71-86. <https://doi.org/10.23854/07199562.2020561.Hurtado71>
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* H.S. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (Eds.). Tokyo, Japan: IGES
- Martínez, A. (2019). *Estimación de la captura de carbono y evaluación del riesgo del bosque urbano del tecnológico de Antioquia institución universitaria* Retrieved from <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tda/473?show=full>
- Ministerio de Ambiente. (2010). *Plan de acción de adaptación y mitigación frente al*

cambio climático. Lima, Perú

MINAMBIENTE. (2017). Ecosistemas colombianos. Retrieved from

http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Biodiversidad2/mapa_ecosistemas/estadoEcosistemasColombiano.xhtml

Medioambiente. (2018). Bogotá y Medellín siguen siendo las ciudades con peor calidad del aire. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/las-ciudades-mas-contaminadas-de-colombia-244542>

Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., Martínez, M. C., & Carvajal, M. (s.f.). *Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos*.

Osorio, L. F. (2016). *Guía práctica de restauración ecológica: Anejo05 - restauración ecológica y cambio climático* Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del c la flora de Los Humedales de Puerto Viejo*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Retrieved from <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2146>

Pardo, V. (2014). *Aplicación de la herramienta ex-act para el cálculo del balance de carbono en un proyecto de incremento de la superficie forestal en la provincia de Mendoza mediante el uso de cortinas forestales en los cultivos de vid* Retrieved from <https://bdigital.uncu.edu.ar/6049>

Pedraza, M. C., & Prada, M. C. (2018). Evaluación de la biofijación de CO₂ y producción de biomasa a partir de las microalgas bajo condiciones de fotobiorreactor a escala laboratorio Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6729>

- Quimbayo, G. (2016). *Gestión integral de la biodiversidad en el distrito capital: Aportes para una gobernanza urbana* Instituto Humboldt Colombia.
- Quintero, M. (2017). *Mixticidad de paisajes como solución al área de tratamiento de la Reserva Thomas Van Der Hammen* Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/35440>
- Silver, W. L., Ostertag, R., & Lugo, A. E. (2000). The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology*, 8(4), 394-407. doi:10.1046/j.1526-100x.2000.80054.x
- Tennigkeit, T., & Wilkes, A. (2008). Las Finanzas del Carbono de los Pastizales Una evaluación del potencial en los pastizales comunales. *UICN*.
- Vargas, O. (2008). *ESTRATEGIAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ALTOANDINO (el caso de la reserva forestal municipal de Cagua, Cundinamarca)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas, O. (2011). *Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación*. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2) Retrieved from <https://www.virtualpro.co/biblioteca/restauracion-ecologica-biodiversidad-y-conservacion>
- Velásquez, J. V. (2019). *Captura y almacenamiento de carbono relacionado con la Titora "Schoenoplectus Californicus" del área de conservación regional albufera de medio mundo - Végueta 2017* Retrieved from <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3622>
- Velásquez, J. (2015). *Protocolo de restauración ecológica para zonas de alta montaña en la región norte de los andes colombianos septiembre 2015 Córdoba-España*.

Córdoba, España: Universidad de Córdoba.

Willington, E., Nolasco, M., & Bocco, M. (2013). *Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina): Comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat.*

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/93581>

11. Anexos

Anexo 1: Modulo descripción

E
X
A
C
T

The EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)

Detailed Results

Start

Description

Land Use Change

Crop production

Grassland Livestock

Management Degradation

Coastal Wetlands

Inputs Investment

Fisheries Aquacultur

Traducción de los campos: "Inicio"; "Descripción"; "Cambio de Uso de Suelo"; "Producción agrícola"; "Pasto/Ganadería"; "Gestión y Degradación"; "Humedales costeros"; "Insumos e Inversiones"; "Pesca y Acuicultura"; "Resultados detallados"

Nombre del proyecto	Reserva Thomas Van Der Hammen			Traducción	
Continente	South America				Sudamérica
Clima	Warm Temperate	?	Clima ?		Templado cálido
Régimen de humedad	Dry				Seco
Tipo de suelo regional dominante	Volcanic Soils	?	Suelo ?		Suelos volcánicos
Duración del proyecto (años)	Fase de implementación	8			
	Fase de capitalización	6			
	Duración de la estimación	14			

Anexo 2: Modulo cambio del uso del suelo, submódulo deforestación

The EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)

Start Description **Land Use Change** Crop production Grassland Livestock Management Degradation Coastal Wetlands Inputs Investments Fisheries Aquaculture Detailed Results

Traducción de los campos: "Inicio", "Descripción", "Cambio de Uso de Suelo", "Producción agrícola", "Pasto/Ganadería", "Gestión y Degradación", "Humedales costeros", "Insumos e Inversiones", "Pesca y Acuicultura", "Resultados detallados"

2.1 Deforestación

Mapa ZAE Zona 1 = Bosque húmedo subtropical Zona 2 = Bosque seco subtropical Zona 3 = Estepa subtropical Zona 4 = Sistema monañoso subtropical

Tipo de vegetación que será deforestada	PMR# tMS/ha	Uso de incendio ? (si/no)	Uso final después de la deforestación	Área boscosa (ha)				Área deforestada (ha)		Emisiones totales (tCO2-eq)		Balance	
				Inicio	Sin	* Con	* Con	Sin	Con	Sin	Con		
Forest Zone 2	0	NO	Grassland	311,2	0	D	0	D	311	311	168.614	168.614	0
Select the vegetation	0	NO	Select Use after deforestation	0	0	D	0	D	0	0	0	0	0
Select the vegetation	0	NO	Select Use after deforestation	0	0	D	0	D	0	0	0	0	0
Select the vegetation	0	NO	Select Use after deforestation	0	0	D	0	D	0	0	0	0	0
Select the vegetation	0	NO	Select Use after deforestation	0	0	D	0	D	0	0	0	0	0
Select the vegetation	0	NO	Select Use after deforestation	0	0	D	0	D	0	0	0	0	0
Select the vegetation	0	NO	Select Use after deforestation	0	0	D	0	D	0	0	0	0	0
Select the vegetation	0	NO	Select Use after deforestation	0	0	D	0	D	0	0	0	0	0
#Productos de madera recolectada				* Nota respecto a las dinámicas de cambio: "D" corresponde a por defecto, "I" a inmediato y "E" a exponencial (por favor, consulte la guía)									
Tier 2				Deforestación total		168.614		168.614		0			

Anexo 3: Modulo cambio del uso del suelo, submódulo aforestación/reforestación

2.2. Aforestación y Reforestación										
?	Mapa ZAE		Zona 1 =Bosque húmedo subtropical		Zona 2 =Bosque seco subtropical		Zona 3 =Estepa subtropical		Zona 4 =Sistema monañoso subtropical	
Tipo de vegetación que será plantada	Uso de incendio ? (si/no)	Uso previo de la tierra	Area que será aforestada/reforestada				Emisiones totales (tCO2-eq)		Balance	
			Sin	*	Con	*	Sin	Con		
Plantation Zone 2	NO	Grassland	0	D	1350	D	0	-396.441	-396.441	
Plantation Zone 2	NO	Annual Crop	0	D	510	D	0	-158.868	-158.868	
Plantation Zone 2	NO	Degraded Land	0	D	639,5	D	0	-247.160	-247.160	
Select the vegetation	NO	Select previous use	0	D	0	D	0	0	0	
Select the vegetation	NO	Select previous use	0	D	0	D	0	0	0	
Select the vegetation	NO	Select previous use	0	D	0	D	0	0	0	
Select the vegetation	NO	Select previous use	0	D	0	D	0	0	0	
Select the vegetation	NO	Select previous use	0	D	0	D	0	0	0	
* Nota respecto a las dinámicas de cambio: "D" corresponde a por defecto, "I" a Inmediato y "E" a exponencial (por favor, consulte la guía)										
Tier 2						A/Re-forestación total		0	-802.468	-802.468

Anexo 4: Modulo cultivos anuales, submódulo sistemas anuales provenientes de otros usos de la tierra

E
X
A
C
T

The EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)

Start

Description

Land Use Change

Crop production

Grassland Livestock

Management Degradation

Coastal Wetlands

Inputs Investments

Fisheries Aquaculture

Traducción de los campos: "Inicio", "Descripción", "Cambio de Uso de Suelo", "Producción agrícola", "Pasto/Ganadería", "Gestión y Degradación", "Humedales costeros", "Insumos e Inversiones", "Pesca y Acuicultura"

3.1 Sistemas anuales (a ser utilizados también por sistemas pluri-anales como algodón o caña de azúcar)

3.1.1. Sistemas anuales provenientes de otro uso de la tierra o convertidos en otro uso de la tierra (Por favor rellene paso previo 2. CUT)

Descripción	Temporada agrícola principal	Opciones de manejo			Definiciones?		Gestión de residuos	Rendimiento (t/ha/año)	Área (ha)			
		Prácticas agronómicas mejoradas	Manejo de nutrientes	No laboreo y retención de residuos	Gestión hídrica	Aplicación de estiércol			Rendimiento ?	Rendimiento ?		
										Inicio	Sin	Con
Cultivo anual después de deforestación	Default	?	?	?	?	?	Please select	0	0	0		
Convertido en A/R	Tubers	Yes	Yes	Yes	No	Yes	17,9	510	510	0		
Cultivo anual después de UT no forestal	Default	?	?	?	?	?	Please select	0	0	0		
Convertido en OCUT	Default	?	?	?	?	?	Please select	0	0	0		

64

Anexo 5: Modulo pastizales, submódulo pastizal

E
X
A
C
T

The EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)

Detailed Results

Start

Description

Land Use Change

Crop production

Grassland Livestock

Management Degradation

Coastal Wetlands

Inputs Investments

Fisheries Aquaculture

Traducción de los campos: "Inicio", "Descripción", "Cambio de Uso de Suelo", "Producción agrícola", "Pasto/Ganadería", "Gestión y Degradación", "Humedales costeros", "Insumos e Inversiones", "Pesca y Acuicultura", "Resultados"

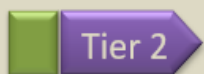
4.1 Pastizal

4.1.1 Pastizales provenientes de otro CUT o convertidos en otro CUT (por favor, rellene previamente el paso 2. CUT)

Descripción	Estado inicial	Estado final del pastizal		Uso de quema para el manejo				Rendimiento			Área (ha)		
		Sin proyecto		Con proyecto		Frecuencia (Sin)		Frecuencia (Con)		Inicio Sin Con			
						(sí/no)	(año)	(sí/no)	(año)	(t/ha/año)			
Pastizal después de la deforestación	Select state	Select state	Select state	NO	5	NO	5				0	311	311
Convertido en A/R	Moderately Degraded	Improved without inputs manager	Improved with inputs improvement	NO	5	NO	5				1.350	1.350	0
Pastizal después de UT no forestal	Select state	Select state	Select state	NO	5	NO	5				0	0	0
Convertido en OCUT	Select state	Select state	Select state	NO	5	NO	5				0	0	0

Anexo 6: Modulo pastizales, submódulo ganado

4.2. Ganado (y gestión del estiércol)																		
Categorías de ganado	Número de cabezas (promedio por ai)						Opción técnica de mitigación (%)									Producción (carne, leche, etc)		
	Inicio		Sin proyecto		Con proyecto		Prácticas de alimentación*			Agentes específicos*			Manejo en la cría*			en toneladas de producto por año		
							Inicio	Sin	Con	Inicio	Sin	Con	Inicio	Sin	Con	Inicio	Sin	Con
Vacuno lechero	4	4	D	0	D	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
Otro vacuno	25	25	D	0	D	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
Búfalo	0	0	D	0	D	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
Ovino	0	0	D	0	D	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
Porcino (Carne)	0	0	D	0	D	Prácticas de alimentación: p.ej. Más concentrados, añadido de ciertos aceites o semillas oleaginosas a la dieta, mejorar la calidad del pasto...			Agentes específicos: Agentes específicos y aditivos dietéticos para reducir las emisiones de CH4 (ionóferos, vacunas, bST)				Manejo en la cría: Aumentar la productividad a través de la cría y de mejores prácticas de manejo, como la reducción en el número de vaquillonas de reemplazo					
Porcino (Cría)	0	0	D	0	D													
Please select	0	0	D	0	D													
Horses	0	0	D	0	D													
Goats	0	0	D	0	D													



Traducción
 Please select = Por favor seleccione
 Horses = Equinos
 Goats = Caprinos

Total ganado