

Elaboración de la Línea de base de carbono para proyecto REDD en Madre de Dios – Perú

Percy Recavarren Estares, Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, percyrecavarren@yahoo.es, Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral - AIDER

1. Introducción

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto REDD “Reducción de la deforestación y degradación en la Reserva Nacional Tambopata y en el Parque Nacional Bahuaja-Sonene del ámbito de la región Madre de Dios – Perú”, donde la línea base de carbono es el instrumento que mide la emisiones evitadas netas que se reducirán como consecuencia de la implementación del proyecto REDD.

La línea de base carbono de un proyecto REDD se construye principalmente de la elaboración de sub estudios, los mismos que son: La cuantificación del stock de carbono almacenado, la cuantificación de la deforestación histórica acumulada, la cuantificación de la tasa y modelación y la cuantificación de la degradación forestal del área de proyecto.

Con los cuatro sub estudios generados se pueden estimar y proyectar los demás insumos para la línea base, los cuales viene hacer, los cambios de stock de carbono (escenario post deforestación), fugas por desplazamiento de actividades productivas, fugas por efecto de mercado

La cuantificación de la línea de base de carbono del proyecto REDD, permite demostrar técnicamente las emisiones evitadas netas, ya que se basa en un flujo cuantificado a través de las emisiones evitadas y no evita en todo el periodo de vida del proyecto correspondiente a 20 años.

2. Materiales y métodos

El presente trabajo se encuentra ubicado políticamente en los distritos de Tambopata e Inambari, provincia de Tambopata, departamento y región de Madre de Dios. Ocupa el extremo suroriental del departamento, alcanzando el límite internacional con la República de Bolivia, como se puede apreciar figura 1.

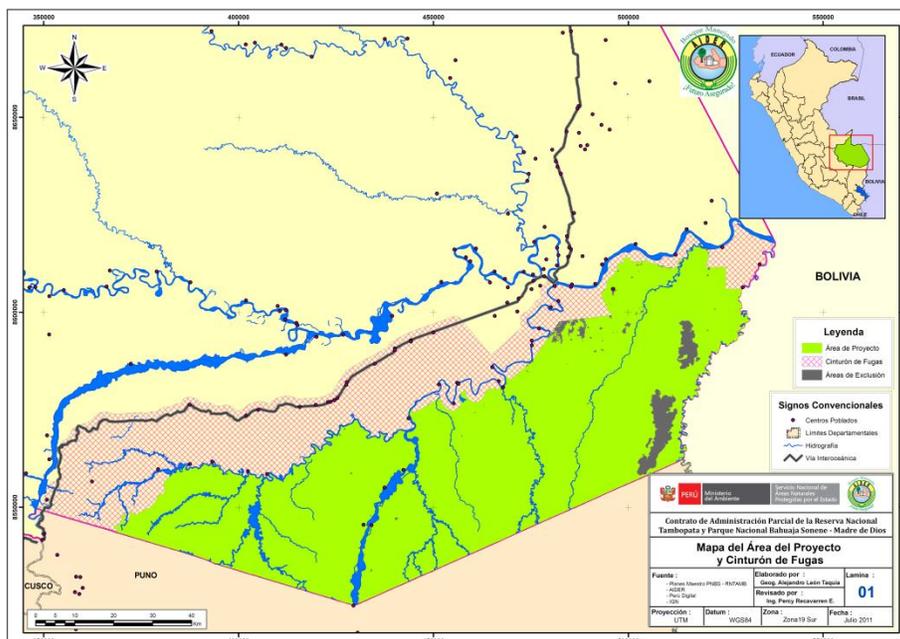


Figura 1. Área de proyecto

La elaboración del presente trabajo se detalla en las siguientes etapas:

2.1. Estimación de los stock de carbono almacenados

Para la cuantificación del stock de carbono almacenado en la biomasa de los bosques la metodología consistió en estratificar el área de estudio por fisiografía y tipo de bosque, a través de la interpretación de imágenes de satélite Landsat. Luego se diseñó un sistema de muestreo al azar sistemático, de afijación óptima, que se basa en determinar el número de muestras en relación con la varianza y tamaño de cada estrato. Para la ubicación de las parcelas se estableció una grilla de 500 x 500 metros, seleccionándose al azar, para cada estrato, las parcelas a evaluar. Se usaron parcelas circulares anidadas, donde se evaluó todo tipo de vegetación (árboles, palmeras, lianas y paca), a partir de 5 cm de diámetros a la altura de pecho. Para la cuantificación de la biomasa y/o carbono se emplearon fórmulas alométricas disponibles en la bibliografía consultada. Sin embargo, para la paca (*Guadua* sp.) no se encontró ninguna fórmula desarrollada, por lo que fue necesario realizar un estudio de muestreo destructivo, el cual se construyó una ecuación alométrica.

2.2. Cuantificación de la deforestación acumulada histórica

La cuantificación de la deforestación acumulada se determinó con base en la interpretación de imágenes de satélite Landsat, utilizando el programa ENVI 4.7 empleando un procesamiento supervisado, siendo validado y editado con el apoyo del programa Arc Gis 9.3 – Arc View, en contraste con los mosaicos de imágenes de satélite para cada año correspondiente, este trabajo se realizó para los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2008, 2001 y 2010.

2.3. Modelación de la deforestación proyectada

La metodología empleada para calcular la modelación de la deforestación proyectada al 2030, consistió en calcular la tasa de deforestación, reconstruyendo y cuantificando las variables de deforestación acumulada entre 1993 y 2007, y la población existente para los años correspondientes. Con estas dos variables se hizo una correlación y se desarrolló una ecuación, donde la deforestación depende del crecimiento poblacional, que permitió proyectar la deforestación futura del 2008 al 2030. Una vez obtenida la superficie proyectada de deforestación del año 2008 al 2030, se modeló la ubicación de esta deforestación, empleando el software Dinamica EGO y el patrón de deforestación histórica ocurrida entre 1995 y 2008. La modelación de la deforestación se elaboró en seis pasos: (i) Calibración, reconstruyendo la transición de “Bosque” a “No bosque” para el período 2000 – 2008, en función de los conectores o driver de deforestación existentes y su interacción con la deforestación ocurrida; (ii) Simulación, una vez desarrollado el patrón de deforestación con la calibración, se simuló una deforestación del 2000 al 2008, donde se crearon mapas de deforestación simulada al 2008; (iii) Validación, que consistió en contrastar el mapa de la deforestación simulada con la real ocurrida, cuantificando la coincidencia entre ambos mapas y determinando el porcentaje de acierto entre lo simulado y lo real; (iv) Modelación de prueba de la deforestación, para observar y verificar el comportamiento del patrón de deforestación construido; (v) Validación de la modelación de prueba, con la finalidad de saber que tan acertado es el modelo de deforestación elaborado; (vi) Modelación, con el patrón de deforestación construido y validado, se hizo la modelación de la deforestación del 2010 al 2030 en función de la tasa anual proyectada, este modelo de puede apreciar en el flujo metodológico en la siguiente figura.

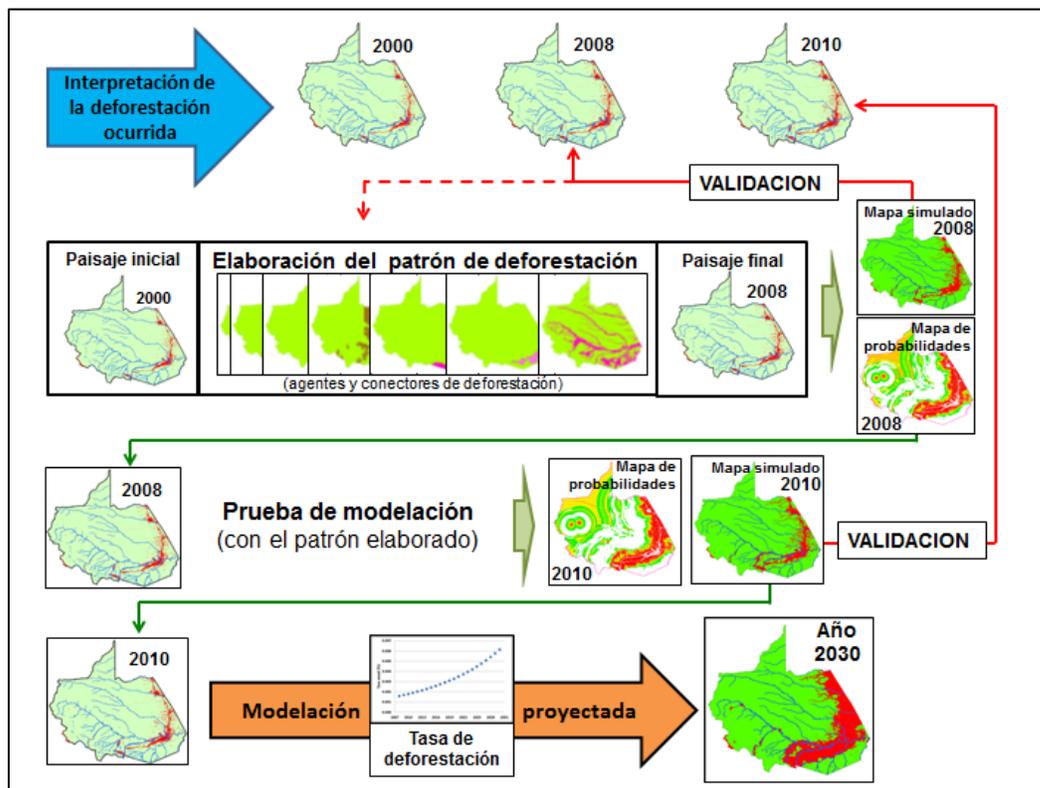


Figura 2. Secuencia metodológica de la construcción y modelación de la deforestación a futuro

2.4. Estimación de la degradación forestal

La estimación de la degradación forestal, ampliamente discutida pero poco desarrollada, es materia del presente estudio. La metodología empleada consistió en la ortorrectificación de imágenes Landsat de los años 2006, 2007 y 2008, mediante el uso de los softwares ENVI 4.7 y Arc Gis 9.3 – arc View. Luego se utilizó el software CLASlite v.2, para determinar la variación de la cobertura fraccional entre una imagen Landsat inicial y otra final, determinando así la perturbación del bosque para el período comprendido entre imágenes. Se analizaron las causas que provocaron dicha perturbación, determinando que ésta tenía causas antrópicas y naturales, por lo que se dividió el área de estudio en tres zonas: zona de aprovechamiento de productos no maderables, zona de difícil acceso y zona de tala ilegal. Se determinó que sólo en la zona de tala ilegal existe una actividad significativa con remoción de carbono, es decir, degradación forestal; se procesó información de campo de esta zona para estimar la remoción de carbono en el área de estudio. Este trabajo se realizó para los periodos 2006 – 2007 y 2007 – 2008.

2.5. Elaboración del escenario post deforestación

En un escenario post deforestación se calculó que por efectos de dinámica natural de regeneración natural (remoción de carbono) y actividades antrópicas, las cuales no son atribuibles al proyecto REDD, estos cálculos se basaron teniendo en cuenta que sucedería con las áreas deforestadas a futuro en relación a las actividades antrópicas recurrentes en el área del proyecto, la misma que se podrían transformar otras áreas con diferente stock de carbono almacenado, como son:

- Área de cultivos agrícolas
- Área con infraestructura
- Área de pastoreo
- Zonas urbanas
- Bosques secundarios
- Minería

2.6. Cuantificación de las fugas por desplazamiento de actividades productivas

El presente trabajo busca cuantificar las fugas del proyecto REDD a través del módulo VCS VMD0010 “Estimación de las emisiones del desplazamiento de actividades por evitar deforestación no planificada” (LK-ASU), donde el objetivo fue estimar las fugas por desplazamiento de actividades en el proyecto REDD en la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja-Sonene – Ámbito de la Región Madre de Dios.

2.7. Cuantificación de las fugas por efecto de mercado

Para determinar las fugas por efecto de mercado en el proyecto REDD, se aplicó el módulo metodológico: Estimación de emisiones por efecto de mercado (LK-ME), donde el objetivo fue estimación de las fugas por efecto de mercado del proyecto de REDD en la Reserva Nacional Tambopata y Parque Nacional Bahuaja - Sonene – Ámbito de la Región Madre de Dios. Para efecto de nuestro proyecto este módulo solo aplica para el indicador de deforestación por extracción de madera para mercados comerciales.

2.8. Flujo neto de emisiones evitadas del proyecto

En el flujo neto de emisiones evitadas se contemplaron aportes y descuentos de emisiones, las mismas que fueron:

- **Emisiones evitadas por deforestación**, que son las superficies con proyecciones a deforestarse por años, las mismas que fueron cuantificadas por estratos y su contenido de carbono.
- **Emisiones evitadas por degradación forestal**, es la cuantificación de la emisiones por aprovechamiento maderable dentro del área del proyecto, cuantificado como índice de extracción de carbono anual.
- **Escenario post deforestación (cambios de stock)**, que son las superficies en las cuales se transformarían las proyecciones a deforestarse por años, las mismas que fueron cuantificadas por estratos y su contenido de carbono.
- **Fugas por desplazamiento de actividades productivas**, que es la cuantificación de las emisiones por el desplazamiento de las potenciales actividades que se darían en el área del proyecto durante la vida del proyecto.
- **Fugas por efecto de mercado**, que es la cuantificación de las emisiones por el desplazamiento de las potenciales actividades de aprovechamiento maderable en el área del proyecto.

3. Resultados y discusión

3.1. Stock de carbono

El resultado de la estimación del stock de carbono almacenado para el área de proyecto se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 1 Carbono calculado en el área de proyecto REDD

| Estratos | Superficie (ha) | Carbono (tn) | CO2-e (tn) |
|--------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Aguajal mixto | 29,407.57 | 2,211,228.56 | 8,107,838.06 |
| Aluvial inundable | 150,533.61 | 16,862,588.72 | 61,829,491.98 |
| Colina alta fuerte | 24,792.88 | 3,662,739.51 | 13,430,044.88 |
| Colina alta suave | 17,146.44 | 2,219,528.60 | 8,138,271.52 |
| Colina baja fuerte | 7,302.52 | 1,241,990.02 | 4,553,963.41 |
| Colina baja suave | 6,707.01 | 1,469,937.54 | 5,389,770.97 |
| Terraza alta | 45,128.23 | 5,845,292.03 | 21,432,737.45 |
| Terraza baja | 125,209.34 | 18,169,412.10 | 66,621,177.70 |
| Terraza disectada fuerte | 24,125.90 | 3,514,487.57 | 12,886,454.43 |
| Terraza disectada suave | 111,724.88 | 12,916,818.31 | 47,361,667.15 |
| Total | 542,078.37 | 68,114,022.97 | 249,751,417.55 |

3.2. Deforestación acumulada histórica

El resultado de la cuantificación de la deforestación acumulada histórica se calculó para todo el departamento de Madre de Dios el mismo que fue el escenario de referencia para proyectar la deforestación a futuro. Los resultados se pueden visualizar en la figura 3 y cuadro 2.

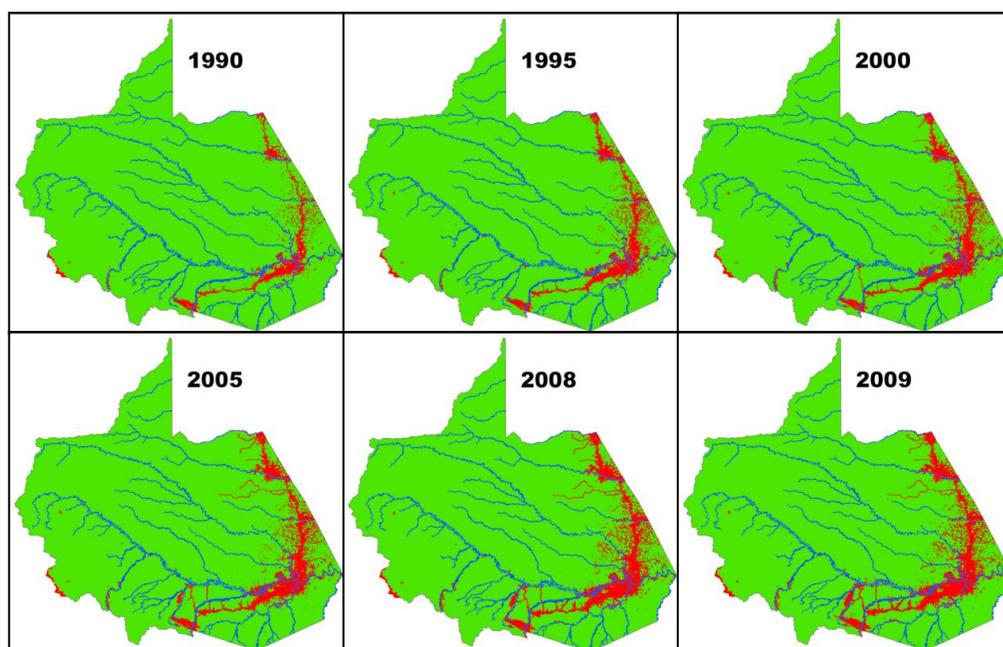


Figura 3. Deforestación histórica acumulada del departamento de Madre de Dios

Cuadro 2. Superficies deforestadas históricas acumuladas en Madre de Dios

| Año | Deforestación (Hectáreas) |
|-------------|--------------------------------------|
| 1990 | 110,324 |
| 1995 | 164,454 |
| 2000 | 195,308 |
| 2005 | 223,591 |
| 2008 | 255,089 |
| 2009 | 283,380 |
| 2010 | 302,154 |

3.3. Deforestación proyectada

El resultado de la deforestación proyectada se calculó para todo el departamento de Madre de Dios, los resultados se pueden visualizar en la figura 4.

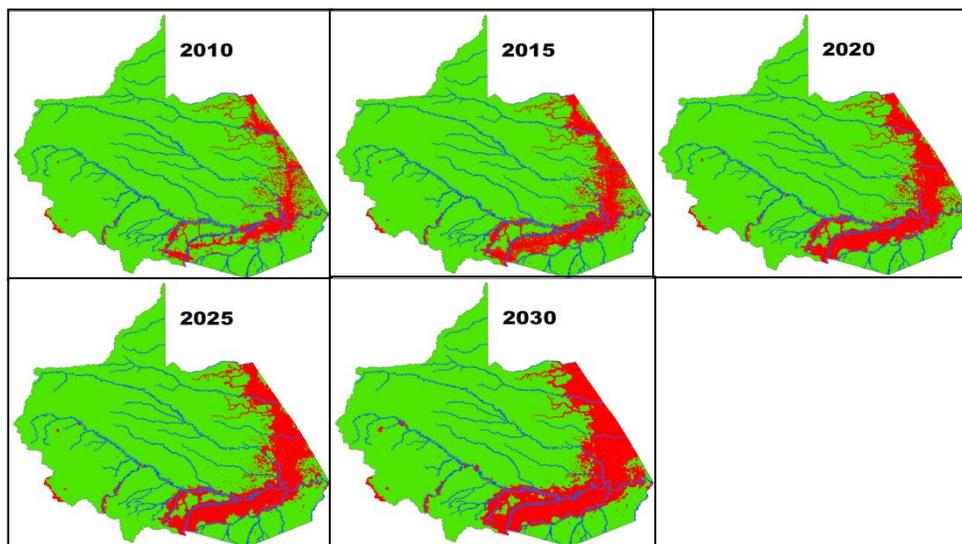


Figura 4. Deforestación proyectada del departamento de Madre de Dios

3.4. Degradación forestal

Como resultado de la recolección de información de un área aledaña al área de estudio, descrita en el punto E, se obtienen datos que se utilizan para calcular la degradación ocurrida en la zona de tala ilegal. A partir de esta información se consideró, con criterio conservador, que en el área de estudio contempla un índice de aprovechamiento de 2 árboles por hectárea¹, con un DAP² igual a 100 cm y una altura comercial de 12 m, ubicados en manchales³ de árboles comerciales; lo cual significa una emisión de 29.74 tCO₂-e por árbol, como se aprecia en el cuadro 3.

Cuadro 3. Cálculo de carbono por árbol

| Biomasa aérea por árbol (tn) | Biomasa subterránea por árbol (tn) | Biomasa total por árbol (tn) | CPA CO ₂ -e promedio por árbol (tn) |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--|
| 12.90 | 3.32 | 16.22 | 29.74 |

¹ Extracción en manchales de especies comerciales

² DAP - Diámetro del árbol a la altura del pecho

³ Manchales - Grupo de árboles de la misma especie

Asimismo, el resultado del cálculo del rendimiento de madera aserrada comercial con corte de cadena longitudinal, calculado con la altura comercial, es 50% del volumen comercial rollizo⁴, siendo 4.14 tCO₂-e por árbol y 8.29 tCO₂-e por hectárea.

Cuadro 4. Cálculo del volumen de madera aserrada por corte longitudinal de cadena en tCO₂-e, por árbol.

| Descripción | DAP (cm) | Altura Comercial (m) | Volumen comercial (m ³) | VMALCC Volumen de madera aserrada con corte longitudinal de cadena (tCO ₂ -e) |
|-------------|----------|----------------------|-------------------------------------|---|
| Árbol | 100 | 12 | 6.60 | 3.63 |

Por otro lado, el resultado de la exactitud obtenida en la evaluación de confiabilidad del mapa (**CM**) es de 80%, indicando es altamente confiable, siendo los errores más frecuentemente encontrados los relacionados a aquellas áreas que reportan ser perturbadas por acciones antrópicas, pero que en el momento del muestreo en campo ya tenían vegetación, evidenciando la rápida recuperación del bosque.

De los resultados previos, se plantea la siguiente ecuación para determinar la degradación del área:

$$DA = APPCA * ((CPA * IAAPH) - (VMALCC * IAAPH)) * CM$$

Donde:

- DA: Degradación anual
- APPCA: Área perturbada por causas antrópicas (ha) = (1/3 de la perturbación neta)
- CPA: CO₂-e promedio por árbol (t)
- IAAPH: Índice de aprovechamiento de árbol por hectárea
- VMALCC: Volumen de madera aserrada con corte longitudinal por cadena (tCO₂-e)
- CM: Confiabilidad del mapa (%)

Dando el siguiente resultado:

$$DA = 124.04 * ((29.74 * 2) - (3.63 * 2)) * 80\% = 5,181.19 \text{ tCO}_2\text{-e}$$

⁴ Arce, 2008

3.5. Fugas por desplazamiento de actividades productivas

Los resultados de las fugas por el desplazamiento de actividades productivas potenciales a ocurrir en el área del proyecto para los años de vida del mismo se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Fugas totales causada por la deforestación no planificada

| N° | Años | Emisiones netas por deforestación desplazada fuera del cinturón de fugas (t CO ₂ -e) | Emisiones netas por deforestación desplazada del área del proyecto hacia el cinturón fugas (t CO ₂ -e) | Emisiones Netas (t CO ₂ -e) |
|----|-----------|---|---|--|
| 1 | 2009-2010 | 20.37 | 17,483.99 | 17,504 |
| 2 | 2010-2011 | 24.42 | 20,961.88 | 20,986 |
| 3 | 2011-2012 | 32.91 | 28,248.04 | 28,281 |
| 4 | 2012-2013 | 46.12 | 39,580.42 | 39,627 |
| 5 | 2013-2014 | 52.64 | 45,180.26 | 45,233 |
| 6 | 2014-2015 | 61.78 | 53,026.26 | 53,088 |
| 7 | 2015-2015 | 80.38 | 68,988.23 | 69,069 |
| 8 | 2016-2016 | 85.06 | 72,998.51 | 73,084 |
| 9 | 2017-2018 | 85.62 | 73,485.59 | 73,571 |
| 10 | 2018-2019 | 107.13 | 91,946.48 | 92,054 |

3.6. Fugas por efecto de mercado

Los resultados de las fugas por efecto de mercado a ocurrir en el área del proyecto para los años de vida del mismo se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6 Fugas por efectos de mercado

| Años proyectados | Fugas por efectos de mercado (tCO ₂ -e) |
|------------------|--|
| 2009-2010 | 46.37 |
| 2010-2011 | 47.11 |
| 2011-2012 | 47.87 |
| 2012-2013 | 48.63 |
| 2013-2014 | 49.41 |
| 2014-2015 | 50.20 |
| 2015-2016 | 51.00 |
| 2016-2017 | 51.82 |
| 2017-2018 | 52.65 |
| 2018-2019 | 53.49 |

3.7. Flujo neto de emisiones evitadas

Los resultados de las fugas por efecto de mercado a ocurrir en el área del proyecto para los años de vida del mismo se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Flujo neto de emisiones evitadas derivadas del proyecto

| Años proyectados | Emisiones evitadas por Degradación (t CO₂-e) | Emisiones evitadas por Deforestación (t CO₂-e) | Cambios de stock en la línea base (t CO₂-e) | Fugas por desplazamientos de actividades (tCO₂-e) | Fugas por efectos de mercado (tCO₂-e) |
|-------------------------|--|--|---|---|---|
| 2009-2010 | 5,181.19 | 174,839.90 | 19,936.00 | 17,504 | 46.37 |
| 2010-2011 | 5,264.09 | 209,618.80 | 23,723.30 | 20,986 | 47.11 |
| 2011-2012 | 5,348.31 | 282,480.40 | 31,328.10 | 28,281 | 47.87 |
| 2012-2013 | 5,433.89 | 395,804.20 | 44,248.30 | 39,627 | 48.63 |
| 2013-2014 | 5,520.83 | 451,802.60 | 50,046.60 | 45,233 | 49.41 |
| 2014-2015 | 5,609.16 | 530,262.60 | 59,617.80 | 53,088 | 50.2 |
| 2015-2016 | 5,698.91 | 689,882.30 | 77,670.90 | 69,069 | 51 |
| 2016-2017 | 5,790.09 | 729,985.10 | 81,432.70 | 73,084 | 51.82 |
| 2017-2018 | 5,882.73 | 734,855.90 | 82,050.50 | 73,571 | 52.65 |
| 2018-2019 | 5,976.86 | 919,464.80 | 103,141.00 | 92,054 | 53.49 |

4. Conclusiones y recomendaciones

Con base en los años 2000 y 2008, se logró construir un consistente patrón simulado de deforestación para este período, que incluye los agentes y drivers que explican la deforestación ocurrida, así como las causas que la producen.

De acuerdo a la modelación de la deforestación, la principal causa de deforestación en el departamento de Madre de Dios se da por el impacto de la construcción de la Carretera Interoceánica.

La degradación forestal de las áreas donde hubo extracción de madera que representa $59.47 \text{ tCO}_2^{-\text{e}} \text{ ha/año}$, con una degradación forestal en toda la zona de tala ilegal de $5,181.19 \text{ tCO}_2^{-\text{e}}/\text{año}$.

La cuantificación de la degradación forestal se encuentra aún en etapa de desarrollo. El presente estudio combina la estimación de la perturbación del bosque mediante software con supuestos derivados del conocimiento de la realidad local del departamento de Madre de Dios, especialmente aquellos referidos a la extracción ilegal de madera. La aplicación de este procedimiento es válida sólo para el área estudiada, por otro lado el uso del software Claslite V.2 es válido hasta el año 2008, por no disponer de la librería para correcciones atmosféricas para años posteriores.

En el flujo de emisiones netas se tiene $5,174,702.67 \text{ tCO}_2^{-\text{e}}$ emisiones reducidas por deforestación y degradación forestal, de los cuales el 20.99% son descontados por el cálculo de un escenario post deforestación, fugas por desplazamientos de actividades y fugas por efecto de mercados haciendo estos $1,086,190.75 \text{ tCO}_2^{-\text{e}}$