

Madre de Dios Capital de la Biodiversidad  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO  
AMBIENTE**



**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:**

Dr. Gabriel Alarcón Aguirre

**CO-INVESTIGADOR(ES):**

Abgo. Jorge Luis Díaz Revoredo

**Asistente(es):**

Ing. Víctor Álvaro Manuel Barriga Paredes

**Madre de Dios - Perú**

**2020**

## **Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana**

### **Forest loss dynamics in the southeast of the Peruvian Amazon**

#### **RESUMEN**

La Amazonia occidental, puntualmente la región de Madre de Dios, es la capital de la biodiversidad del Perú y uno de los lugares de mayor biodiversidad del mundo, sin embargo, viene aquejando un serio problema de pérdida de bosque, siendo la causa principal la falta de planificación del territorio, que ocasionan el acaparamiento de tierras, expansión de la frontera agrícola, ganadería, la minería, y la explotación económica descontrolada. Para ello, la investigación plantea analizar la dinámica de la pérdida de bosques y los cambios de uso de suelo entre los años 1999-2018. Para la cuantificación de la pérdida de bosque se utilizaron técnicas de sensoramiento remoto, imágenes Landsat 5 Thematic Mapper (TM) y 8 Operational Land Imagery (OLI) fueron procesados utilizando una clasificación supervisada denominada Neural Net. La metodología incluyó procedimientos de validación por medio de puntos de verificación de trabajos de campo e imágenes de mediana y alta resolución (SPOT-5, PlanetScope, WorldView y Drone)

Los resultados de la investigación reportan; una pérdida de bosque para los años 1999-2018 de 169 863,40 ha, que representa una tasa anual de  $-0,21\%$  y una pérdida anual promedio de 5 928,36 ha/año. Los cambios producidos en el área de estudio, muestran la sistemática conversión de bosque a otros usos para el año 2014-2018 con 84 141,08 ha, siendo la agricultura la mayor responsable del avance de la deforestación (72,90%), mientras que la minería de oro presenta una mayor incidencia en sectores focalizados.

**PALABRAS CLAVES:** cambio de cobertura, tasa anual de cambio, Neural Net, agricultura, minería de oro.

## **ABSTRACT**

The western Amazon, specifically the Madre de Dios region, is the biodiversity capital of Peru and one of the most biodiverse places in the world, however, it has been afflicting a serious problem of forest loss, the main cause being the lack planning, which cause land grabbing, expansion of the agricultural frontier, livestock, mining, and uncontrolled economic exploitation. To do this, the research aims to analyze the dynamics of forest loss and changes in land use between the years 1999-2018. Remote sensing techniques were used to quantify forest loss. Landsat 5 Thematic Mapper (TM) and 8 Operational Land Imagery (OLI) images were processed using a supervised classification called Neural Net. The methodology included validation procedures using fieldwork verification points and medium and high-resolution images (SPOT-5, PlanetScope, WorldView and Drone)

The results of the investigation report; a forest loss for the years 1999-2018 of 169 863,40 ha, which represents an annual rate of -0,21% and an average annual loss of 5 928,36 ha/year. The changes produced in the study area show the systematic conversion of forest to other uses for the year 2014-2018 with 84 141,08 ha, with agriculture being the most responsible for the advance of deforestation (72,90%), while gold mining has a higher incidence in targeted sectors.

**KEY WORDS:** coverage change, annual exchange rate, Neural Net, agriculture, gold mining.

## **INTRODUCCION**

La región amazónica de Madre de Dios, es la capital de la biodiversidad del Perú y uno de los puntos de mayor biodiversidad del mundo (Alarcón *et al.*, 2016; Perz *et al.*, 2016; Recanati y Guariso, 2018; Zinngrebe, 2016). Sin embargo, múltiples factores han impulsado el aumento de la pérdida de bosques, por agricultura, la tala ilegal, y en las últimas dos décadas en mayor proporción por la minería de oro informal e ilegal. Se suma a ello, la recesión mundial de 2008

que aumento el precio del oro en los mercados internacionales (Swenson *et al.*, 2011). Otro factor determinante, fue la pavimentación de la Carretera Interoceánica que atraviesa a Madre de Dios (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017; Dourojeanni, 2014a; Dourojeanni *et al.*, 2009), y desde el 2006 es una de las principales causas de la pérdida de bosques, esta vía ha permitido el incremento de la inmigración a la región de otras áreas del Perú, y de haber contribuido al incremento de la actividad minera, de la agricultura, la explotación forestal y los impactos socioambientales indirectos que derivan de ello; riesgo a la salud pública por contaminación con mercurio (agua, suelo y aire), movimientos migratorios desordenados, conflictos sociales, aculturación, inseguridad alimentaria, explotación y trata de personas, drogadicción, delincuencia, entre otros aspectos (Alarcón *et al.*, 2016; Chávez *et al.*, 2013; Giudice *et al.*, 2012; Goodman *et al.*, 2019; Moody *et al.*, 2020; Perz *et al.*, 2016; Swenson *et al.*, 2011; Velásquez Ramírez *et al.*, 2020).

Por tanto, el proceso de transformación por la pérdida acelerada de los bosques para otros usos está asociada al ocaso de una variada biodiversidad y problemas socio-ambientales que derivan de ello (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017). Este cambio cada vez más se va incrementando debido a la pérdida progresiva de cobertura vegetal por la actividad extractiva y productiva, que en algunos casos ha causado un cambio drástico de uso del suelo; causa de esto, el crecimiento demográfico desordenado, la debilidad de sectores alternativos productivos y la falta de vigilancia y control por parte de autoridades competentes (Perz *et al.*, 2016; Postigo y Young, 2016; Tubbeh, 2019) .

Actualmente, investigaciones recientes confirman que la principal causa de pérdida de bosque focalizada es por la actividad minera de oro. Esta acción se da en el corredor minero y los sectores denominados La Pampa y Guacamayo. Sin embargo, esta actividad se ha trasladado a la zona de amortiguamiento y la Reserva Nacional Tambopata (Alarcón *et al.*, 2016; Asner *et*

*al.*, 2014; Asner y Tupayachi, 2017; Bax y Francesconi, 2018; Cortés-McPherson, 2019; Dourojeanni, 2014b; Recanati *et al.*, 2015; Scullion *et al.*, 2014; Tubbeh, 2019). Zonas que albergan bosques y poblaciones únicas de flora y fauna en el mundo, así como fuente de agua dulce para las comunidades rurales de la región y países vecinos (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017; Dourojeanni, 2014b; Perz *et al.*, 2016).

Conocer la dinámica de la pérdida de bosques y los cambios de uso del suelo en una de regiones más impactadas por el hombre, es una importante herramientas de gestión del territorio, especialmente en la amazonia peruana, donde aún quedan muchos espacios no tocados por la mano del hombre y representan un inmenso valor paisajístico (Dourojeanni, 2006, 2014a, 2014b; Perz *et al.*, 2016; Postigo y Young, 2016; Tubbeh, 2019).

Para la determinación del área estudio, se adopto el criterio de impacto indirecto en función a áreas de influencia. Esta área de influencia para la amazonia es estimada aproximadamente en 50 km a ambos lado de la carretera en un plazo de 10 años (Alarcón *et al.*, 2016; Dourojeanni, 2006), y comprende áreas agrícolas, títulos habilitantes (concesiones forestales maderables, castaña, ecoturismo, conservación, reforestación), concesiones mineras, áreas de prospección de petróleo y gas, tierras indígenas, zona de amortiguamiento y Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Dourojeanni, 2019).

Para el procesamiento y análisis se utilizaron imágenes Landsat 5 TM (1999, 2004, 2009) y 8 LDCM (2014 y 2018), mediante la clasificación multiespectral supervisada en base al método Neural Net cuyo aplicativo se encuentra en el software ENVI 5,3® y ArcGis 10,5® del Centro de Teledetección para el estudio y gestión de los recursos naturales (CETEGERN) de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD).

## **OBJETIVOS**

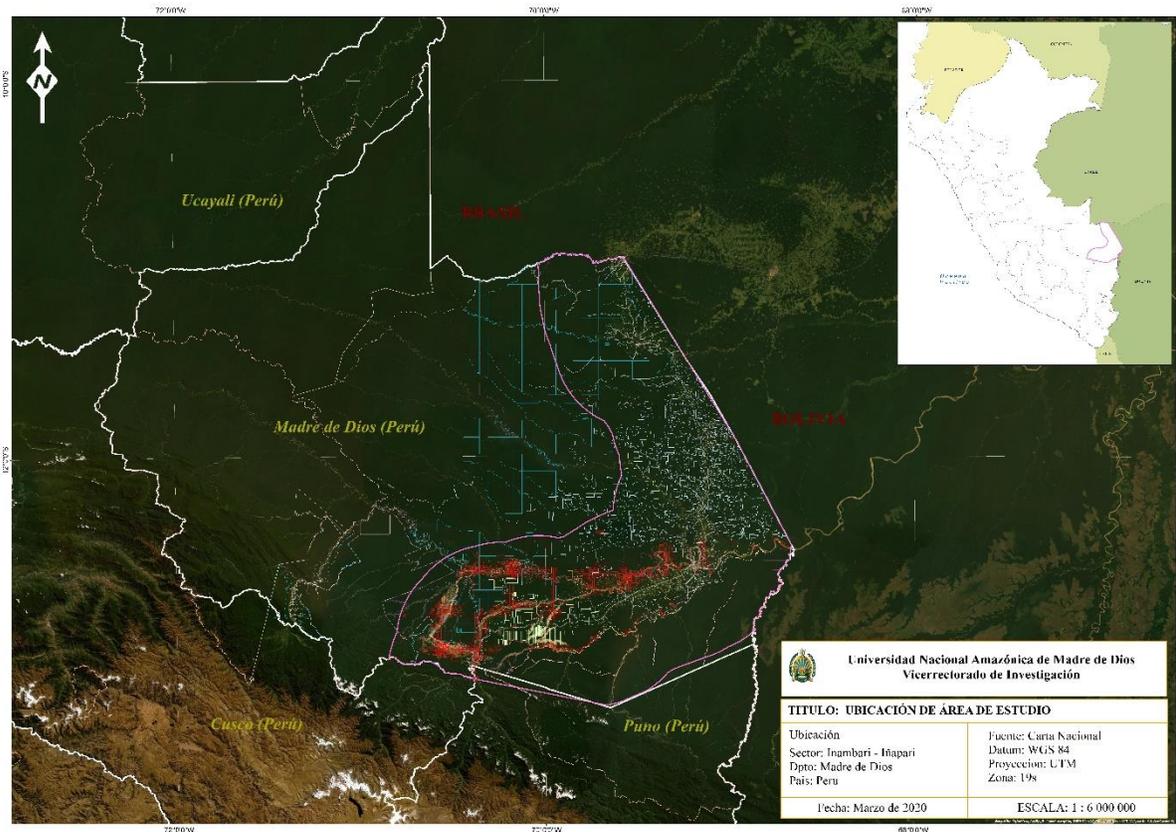
La investigación planteó como objetivo analizar la dinámica de la pérdida de bosques y los cambios de uso de suelo en el sureste de la Amazonia peruana; caso regional de Madre de Dios, entre los años 1999 – 2018, en base a los siguientes objetivos concretos: a) cuantificar la pérdida de bosque por tipo de actividad de los años 1999, 2004, 2009, 2014 y 2018, c) determinar la tasa anual de pérdida de bosque, y d) cuantificar los cambios de uso de suelo entre los años 1999-2004, 2004-2009, 2009-2014, 2014-2018, y 1999-2018.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Región de estudio**

El estudio se realizó en la región de Madre de Dios, Perú, en un área de influencia de 50 km a ambos lados del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur, con una superficie aproximada de 29911,47 km<sup>2</sup> (2991146,83 ha), y comprende áreas agrícolas, títulos habilitantes (concesiones forestales maderables, castaña, ecoturismo, conservación, reforestación), concesiones mineras, áreas de prospección de petróleo y gas, tierras indígenas, zona de amortiguamiento y Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Fig. 1) (Dourojeanni, 2019). Está situada entre los paralelos 10° 51' 55" y 13° 17' 27" de latitud Sur y los meridianos 68° 49' 10" y 70° 53' 59" de longitud Oeste; altitud entre 200 m y 550 msnm (Fig. 1) (Alarcón *et al.*, 2016; Asner, Mascaró, *et al.*, 2013; Chávez *et al.*, 2013; Perz *et al.*, 2016; Perz *et al.*, 2013).

Madre de Dios se ubica en el sur este de la Amazonia del Perú, limita con el departamento de Puno al sur, Cusco al oeste y Ucayali al norte, internacionalmente con los países Bolivia y Brasil (Fig. 1).



**Leyenda**

Limites de departamentos	Áreas Naturales Protegidas	Concesiones mineras de oro	Concesiones de Castaña	Concesiones de Reforestación
Área de estudio	Red vial	Comunidades Indígenas	Concesiones de Ecoturismo	
Zona de amortiguamiento	Áreas agrícolas	Concesiones Forestales Maderables	Concesiones de Conservación	

FIGURA 1. Ubicación del área de estudio, sureste de la Amazonia peruana, Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari) - Madre de Dios.

Según la Zonificación Ecológica Económica – ZEE (GOREMAD y IIAP, 2009) , comprende una superficie aproximada de 85 183,96 km<sup>2</sup> (8 518396 ha) (6,64 % del territorio nacional), donde habitan cerca de 141 070 personas (INEI, 2017). Tomando como referencia a Puerto Maldonado, el clima es caluroso y lluvioso, con precipitaciones que alcanzan los 300 mm mensuales y una temperatura promedio es de 26, 5° C.

## Monitoreo satelital

Para la evaluación se utilizó imágenes Landsat 5 Thematic Mapper (TM) correspondientes a los años 1999, 2004 y 2009, y Landsat 8 Operational Land Imagery (OLI) para los periodos 2014 y 2018, con datum del Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84. Las imágenes fueron seleccionadas en base a libre nubosidad o porcentajes menores a 10, para ello se consideró la estación seca de junio a septiembre (Tabla 1).

TABLA 1. Información de adquisición de imágenes Landsat.

<b>Sensor</b>	<b>Path Row</b>	<b>Fecha de Imagen</b>
Landsat 5 TM	002 68	10 de agosto de 1999
Landsat 5 TM	002 69	10 de agosto de 1999
Landsat 5 TM	003 68	2 de septiembre de 1999
Landsat 5 TM	003 69	2 de septiembre de 1999
Landsat 5 TM	002 68	22 de julio de 2004
Landsat 5 TM	002 69	22 de julio de 2004
Landsat 5 TM	003 68	15 de agosto de 2004
Landsat 5 TM	003 69	14 de agosto de 2004
Landsat 5 TM	002 68	6 de septiembre de 2009
Landsat 5 TM	002 69	6 de septiembre de 2009
Landsat 5 TM	003 68	13 de septiembre de 2009
Landsat 5 TM	003 69	28 de agosto de 2009
Landsat 8 OLI	002 68	19 de agosto de 2014
Landsat 8 OLI	002 69	19 de agosto de 2014

---

Landsat 8 OLI	003 68	13 de octubre de 2014
Landsat 8 OLI	003 69	10 de agosto de 2014
Landsat 8 OLI	002 68	30 de agosto de 2018
Landsat 8 OLI	002 69	30 de agosto de 2018
Landsat 8 OLI	003 68	6 de septiembre de 2018
Landsat 8 OLI	003 69	6 de septiembre de 2018

---

La investigación presenta un diseño no experimental longitudinal de tipo correlacional (Hernández *et al.*, 2010). El proceso se basa en un algoritmo de clasificación supervisada denominada Neural Net (NN), aplicado para las imágenes Landsat de los años 1999, 2004, 2009, 2014 y 2018. El método de clasificación también llamado Red Neuronal feed-forward en capas, “usa una retro propagación estándar para el aprendizaje supervisado, el aprendizaje se produce al ajustar los pesos en el nodo para minimizar la diferencia entre la activación del nodo de salida y la salida” (Richards y Richards, 1999; Rumelhart *et al.*, 1987; Weinstein *et al.*, 2019). Eso significa, que el error se reduce a través de la red y la ponderación del peso presenta un método recursivo, por lo que el método de clasificación se ajusta a un modelo no lineal (Richards y Richards, 1999; Rumelhart *et al.*, 1987; Weinstein *et al.*, 2019).

Para el procesamiento y análisis de las imágenes se utilizó el ENVI 5,3® y ArcMap 10,5® con licencia del Centro de Teledetección para el estudio y gestión de los recursos naturales de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (Perú). Todas las imágenes tienen una resolución espacial nominal (distancia de muestreo del suelo) de 30 m. Los datos se convirtieron a unidades radiancia de la parte superior de la atmósfera y a reflectancia aparente de la superficie utilizando el módulo FLAASH de ENVI (Felde *et al.*; Wang *et al.*, 2019)

Para determinar las categorías de clasificación y el cambio de cobertura de suelo, se utilizó la metodología propuesta por CORINE Land Cover (IDEAM, 2010), adaptada por la Mesa de Servicios Ambientales y Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques de Madre de Dios propuesta en el año 2013, en ella, se emplea una leyenda jerárquica con un criterio espacial y detalles temático (Tabla 2).

TABLA 2. Leyenda de clasificación de imágenes; nivel 0 y 1.

<b>Descripción Nivel 0</b>	<b>Código Nivel 0</b>	<b>Descripción Nivel 1</b>	<b>Código Nivel 1</b>
Deforestación	3	Áreas Urbanizadas	1
Deforestación	3	Área de Extracción Minera	2
Deforestación	3	Áreas Agrícolas	3
Deforestación	3	Agua de disposición Residual	11
Bosque	1	Bosque	4
Bosque	1	Sombra de montaña con vegetación	4,1
Bosque	1	Área con Vegetación Pacales y Arbustivos	5
Bosque	1	Áreas Húmedas	7
No Bosque	2	Áreas Sin vegetación (Playas)	6
No Bosque	2	Área sin vegetación – Montaña	6,1
No Bosque	2	Sabanas	12
No Bosque	2	cochas secas	12,1
No Bosque	2	Nieve	13

No Bosque	2	vegetación riberena	14
Cuerpos de Agua	2	Superficies de Agua	8
ND	0	Nubes	9
ND	0	Sombras de Nubes	10

Fuente: MSAR (2013); Tomado y adaptado de CORINE Land Cover (IDEAM, 2010).

El proceso de validación de la clasificación, se realizó a través de puntos de verificación por medio de salidas de campo e imágenes de mediana y alta resolución; imágenes SPOT-5 (2,5m x 2,5m), PlanetScope (3m x 3m), WorldView (0,38m x 0,38m), Drone (0,04m x 0,04m), contrastados con la información generada en gabinete a través de una Matriz de Confusión e Índice de Kappa, prueba que compara una clasificación resultante con información fehaciente de terreno y la concordancia inter-observador. Para el tamaño de muestra se utilizó el método de distribución binomial donde se calculó 384 muestras de entrenamiento que han sido distribuidos por categorías de clasificación del estudio (Chuvieco y Hantson, 2010; Jensen, 2004). Las muestras de entrenamiento fueron distribuidas con un nivel de detalle “1”: i. Bosque (Bosque y áreas con vegetación pacionales y arbustivos) 99, ii. Áreas agrícolas 95, iii. Áreas de extracción minera 95, iv. Aguas de disposición residual 95. Las muestras para el proceso de validación para los años 1999, 2004 y 2009 fueron de datos de campo históricos de otras investigaciones relacionados al tema y de imágenes de mediana resolución SPOT, para el caso de los años 2014 y 2018, los datos fueron colectados en campo por medio de equipos GPS e imágenes PlanetScope, WorldView, y de Drone, entre los meses de junio a septiembre. El formato de colección de muestras se basó de acuerdo al protocolo del Centro para el Estudio de Instituciones, Población y Cambios en el Medio Ambiente (CIPEC) de la Universidad de la Indiana Bloomington de los Estados Unidos de América. La precisión de la validación del

algoritmo de clasificación Neural Net de los años 1999, 2004, 2009, 2014 y 2018, muestran un 91,10%, 92,30%, 90,30%, 91,20%, y 93,55% de precisión global respectivamente, mientras que el coeficiente Kappa reporta 0,87, 0,88, 0,86, 0,87, y 0,89. Estos valores representan la fuerza de concordancia (casi perfecta), superando el mínimo valor requerido (0,81), y dando fiabilidad a los mapas de pérdida de bosque (deforestación) y cambios de uso de suelo.

La tasa de deforestación se calculó por medio de la matriz de cambio de cobertura, diferencias de áreas iniciales y finales, para un periodo establecido (R) (Ecuación 1) (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017; CA, 2007; INRENA *et al.*, 2006; Puyravaud, 2003).

$$R = (A1 - A2) / (t2 - t1) \quad (1)$$

Donde A2 y A1 son las áreas de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1), se calcula la tasa de cambio anual (q), que se obtiene comparando el área cubierta por bosque en la misma región en dos épocas diferentes. La fórmula empleada en el presente estudio (Ecuación 2) resulta en una tasa porcentual anual, usada frecuentemente para cálculos de esta índole (Alarcón *et al.*, 2016; Puyravaud, 2003).

$$q = (A2/A1)^{1/(t2-t1)} - 1 \quad (2)$$

Donde A1, A2, t1, t2 se definen en la Ecuación 1.

Para determinar el cambio de cobertura entre los años de 1999-2004, 2004-2009, 2009-2014, 2014-2018 y 1999-2018, se realizó una operación de diferencia entre las coberturas de cada época (Ecuación 3) (Alarcón *et al.*, 2016; CA, 2007; INRENA *et al.*, 2006; Puyravaud, 2003).

$$\text{Época 1999} * 10 + \text{Época 2004} \quad (3)$$

## **RESULTADOS**

### **Perdida de bosque**

El análisis y mapas de pérdida de bosque en el Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari) en Madre de Dios de los años 1999, 2004, 2009, 2014 y 2018 (Fig. 2, 3 y 4) muestran a la agricultura como el primer factor determinante en la pérdida de bosque (deforestación), pero con un crecimiento progresivo y destructivo en áreas focalizadas, a la minería aluvial de oro.

Los resultados de la dinámica en el área de estudio (Fig. 2, 3 y 4), muestran que la pérdida de bosque (deforestación) ha avanzado aceleradamente en periodos muy marcados por la agricultura, la minería aluvial de oro, y producto de esta actividad, agua de disposición residual. Los análisis basados en mapas condujeron a dos hallazgos. Primero, alrededor de 57 224,54 ha de bosque han sido deforestadas al inicio del monitoreo en el año 1999 (Fig. 2 y 4). De ello, la minería de oro se centró en el distrito de Huepetuhe, mientras que la agricultura con mayor incidencia en los distritos Tambopata e Iberia, llegando a un máximo de 169 863,40 ha para el año 2018, y con variaciones en la distribución espacial (Fig. 4). En segundo lugar, si bien las pérdidas relacionadas con la agricultura y la minería de oro sigue una tendencia creciente (Fig. 2), han variado en intensidad cada periodo evaluado. En el año 2009 se ve un incremento considerable de la pérdida de bosque por la minería de oro y producto de esta actividad, agua de disposición residual (15 401,28 ha), alcanzado para el año 2018, 40 177,90 ha. Asimismo, la actividad no solo se focaliza en el distrito de Huepetuhe, también se concentra en los distritos de Inambari y Madre de Dios, con mayor incidencia en los sectores denominados La Pampa y Guacamayo, que vienen afectando la reserva Nacional Tambopata (Bax y Francesconi, 2018). Estos cambios en gran medida están relacionadas a la crisis financiera mundial del año 2008, que genero un aumento considerable del oro en el mercado internacional (Asner *et al.*, 2013;

Swenson *et al.*, 2011). La tendencia del incremento de áreas de extracción minera de oro respecto a periodos anteriores, presenta la siguiente evolución; 12,10% para el periodo 1999-2004, 89,58% para 2004-2009, 20,86% para 2009-2014, y 104,99% para los años 2014-2018 (Fig. 2). En cuanto a áreas de agua de disposición residual producto de la actividad minera de oro, muestra: 45,17% para 2009-2014, y 125,68% para los años 2014-2018 (Fig. 2).

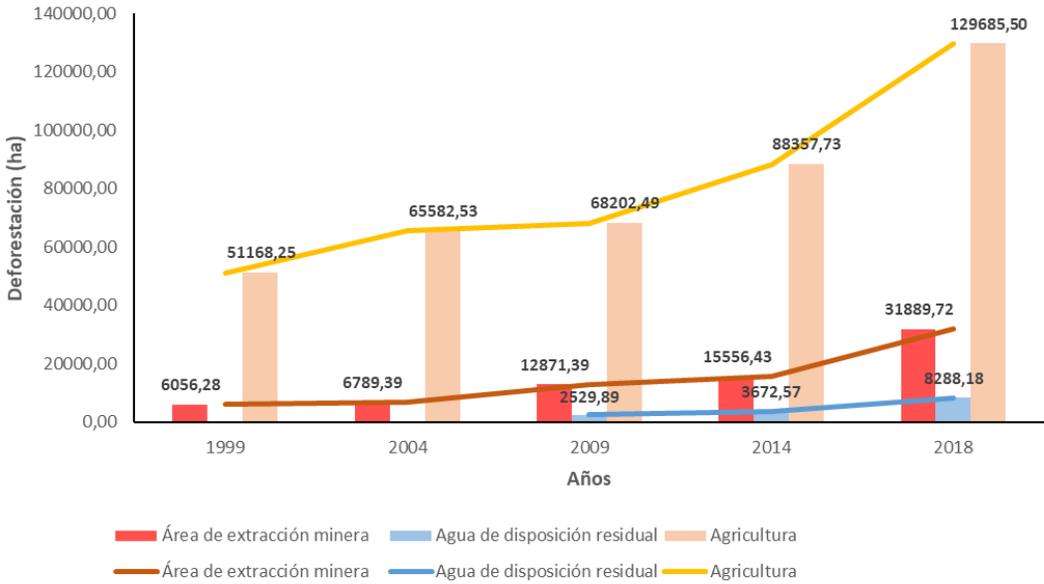


FIGURA 2. Cuantificación de la clasificación supervisada Neural Net por tipo de deforestación en el Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari), años 1999, 2004, 2009, 2014 y 2018. Madre de Dios - Perú.

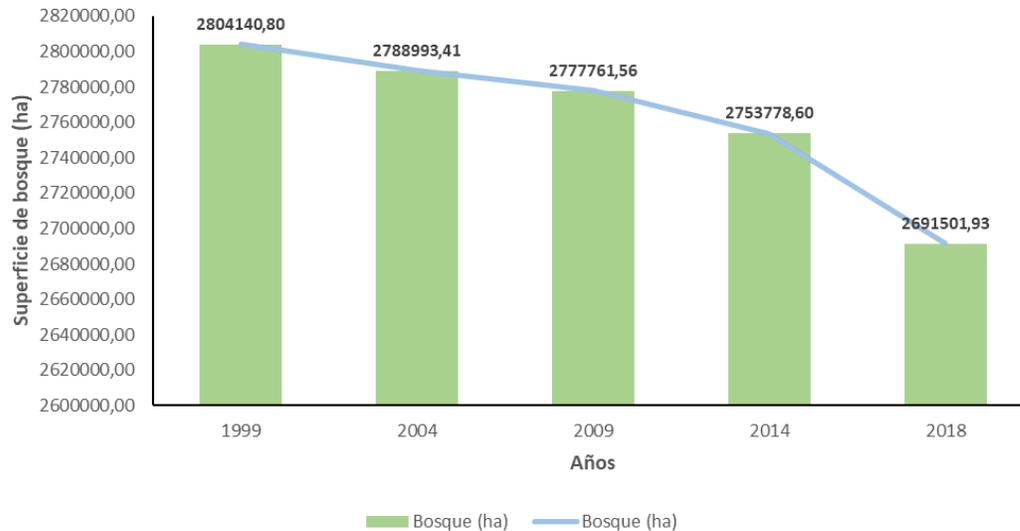


FIGURA 3. Cuantificación de la clasificación supervisada Neural Net de la pérdida de bosque en el Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari), años 1999, 2004, 2009, 2014 y 2018. Madre de Dios - Perú.

Por otro lado, la pérdida de bosque por agricultura, representa una mayor cuantificación, sin embargo, se distribuye en mayor proporción en ambos lados de la margen del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Fig. 4), alcanzado para el 2018, 129 685,50 ha. Siendo el incremento de la deforestación por esta actividad de; 28,17% para el periodo 1999-2004, 3,99% para 2004-2009, 29,55% para 2009-2014, y 46,77% para los años 2014-2018 (Fig. 2).

En un contexto general, la cobertura boscosa presenta una tendencia decreciente en el área de estudio, de 2 804 140,80 ha en 1999 a 2 691 501,93 ha en el 2018. Por periodos de análisis, presenta; -0,54% para 1999-2004, -0,40% para 2004-2009, -0,87% para 2009-2014, y -2,31 para los años 2014-2018. La pérdida de bosque por la agricultura y minería de oro desde 1999 a 2018 represento un 14,08% y 3,06% respectivamente (Fig. 3).

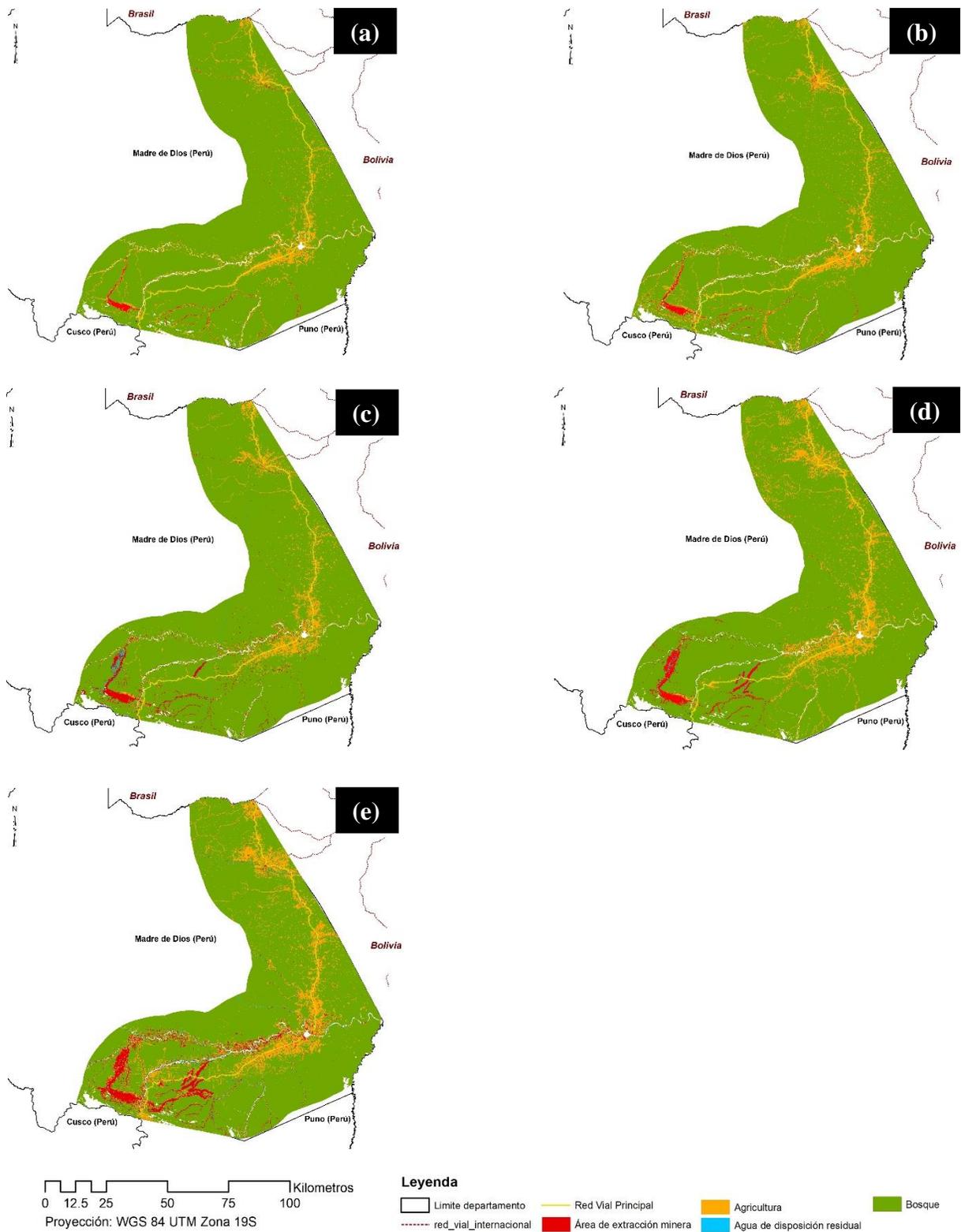


FIGURA 4. Clasificación supervisada Neural Net de las imágenes Landsat de los años 1999 (a), 2004 (b), 2009(c), 2014 (d), y 2018 (e) del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari). Madre de Dios - Perú.

### **Tasa de pérdida de bosque (deforestación)**

La pérdida de bosque relacionada con la agricultura y minería (minería aurífera y agua de disposición residual) han variado en intensidad cada periodo, desde un mínimo de aproximadamente 2 246,37 ha/año en 1999–2004 a un máximo de 15 569,17 ha/año en 2014–2018 (Tabla 3).

Los datos indican una tasa anual de cambio (q) (Ecuación 1 y 2) de -0,11% para el período 1999-2004 con 3 029,48 ha/año, -0,08% para el periodo 2004-2009 con 2 246,37 ha/año, -0,17% para el periodo 2009-2014 con 4 796,59 ha/año, y de -0,57% para el período 2014-2018 con 15 569,17 ha/año (Tabla 3).

TABLA 3. Tasa y pérdida de bosque (deforestación) anual promedio en el área de estudio.

<b>Años</b>	<b>Tasa anual de deforestación</b>	<b>Deforestación total anual</b>
<b>calculados</b>	<b>(%) (q)</b>	<b>promedio (ha) (r)</b>
1999-2004	-0,11	3 029,48
2004-2009	-0,08	2 246,37
2009-2014	-0,17	4 796,59
2014-2018	-0,57	15 569,17
1999-2018	-0,21	5 928,36

Sin embargo, el análisis multitemporal de los periodos 1999-2018 muestra una tasa anual de deforestación de -0,21% con 5 928,36 ha/año, promedio superior a los periodos 1999-2004, 2004-2009, y 2009-2014. Las mayores tasas se registraron en el periodo 2009-2014 y 2014-2018, esto debido a la fuerte presión al bosque (incluidas las ANP) por la agricultura, la minería aluvial de oro, y producto de esta actividad, agua de disposición residual.

## **Cambio de uso de suelo**

Los cambios de uso de suelo a través del monitoreo satelital de imágenes Landsat 5 TM y 8 OLI (Tabla 4 y Fig. 5), destacan la pérdida de bosque para uso de la agricultura y la minería (minería aurífera y agua de disposición residual) con un cambio gradual, la frecuencia de tiempo es de 5 años para el periodo 1999-2014 (tres periodos) y de 4 años para el 2014-2018. Mostrando un menor cambio en el periodo 2004-2009 con 28 617,28 ha y una máxima de 84 141,08 ha para el 2014-2018. La actividad que más contribuye en el cambio de uso del bosque es la agricultura con 95,31%, 75,00%, 85,63%, y 72,90%, mientras que la minería (minería aurífera y agua de disposición residual) con 4,69%, 25,00%, 14,37%, y 27,10% para los periodos 1999-2004, 2004-2009, 2009-2014, y 2014-2018 respectivamente (Tabla 4).

A nivel general, el cambio de bosque a otros usos es 128 877,67 ha (1999-2018), la agricultura es responsable del 74,47% (95 980,46 ha), en cuanto la minería (minería aurífera y agua de disposición residual) con el 25,53% (32 897,20 ha), a ello debe agregarse la persistencia de las áreas deforestadas en el periodo de análisis de cambio, que corresponde en promedio a 40 984,16 ha. La cartografía de la pérdida de bosque producidos, así como los cambios producidos confirman una tendencia creciente considerable en el área de estudio (Fig. 5). Esta dinámica, permitió que las áreas deforestadas se haya casi triplicado desde 1999 hasta 2018 (Fig. 2). Sin embargo, existe una pequeña fracción de un tipo de cobertura con vegetación inicial, arbustiva y arbórea con diferentes periodos de abandono de la actividad minera y agrícola que viene recuperándose, que representa aproximadamente el 12,60% de la conversión de bosque a deforestación (1999-2018), pero, están expuestas a reingresos (Tabla 4 y Fig. 5).

TABLA 4. Cambio de uso de suelo del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari), Madre de Dios - Perú.

Cambio de uso de suelo													
Años	PB (ha)	PD (ha)				BAD (ha)				DAV* (ha)			
		AEM	ADR	A	Total	AEM	ADR	A	Total	DAEM	DADR	DA	Total
1999-2004	2 772 400,10	6 920,49		33 707,25	<b>40 627,74</b>	1 489,92		30 252,53	<b>31 742,45</b>	269,46		16 325,57	<b>16 595,03</b>
2004-2009	2 760 378,19	5 389,20		35 596,32	<b>40 985,52</b>	5 063,99	2 089,05	21 464,24	<b>28 617,28</b>	737,86		30 646,49	<b>31 384,35</b>
2009-2014	2 738 193,77	9 766,40	2 148,77	42 101,56	<b>54 016,73</b>	6 028,68	1 666,59	45 873,27	<b>53 568,54</b>	3 104,86	381,10	12 100,33	<b>15 586,29</b>
2014-2018	2 669 638,68	14 744,21	3 290,67	67 685,73	<b>85 720,60</b>	16 732,41	6 072,23	61 336,44	<b>84 141,08</b>	812,18	381,90	20 670,88	<b>21 864,97</b>
1999-2018	2 675 265,32	5 321,45		35 662,71	<b>40 984,16</b>	25 080,55	7 816,66	95 980,46	<b>128 877,67</b>	734,00		15 504,17	<b>16 238,18</b>

Leyenda: PB=Persistencia de bosque, PD=Persistencia de deforestación, BAD=Bosque a deforestación, DAV=Deforestación a vegetación, AEM=Área de extracción minera, ADR=Agua de disposición residual, A=Agricultura, DAEM= De área de extracción minera, DADR=De agua de disposición residual, DA=De agricultura.

\*Tipo de cobertura con vegetación inicial, arbustiva y arbórea con diferentes periodos de abandono, producto de la actividad minera y agrícola.



FIGURA 5. Cambio de cobertura de uso del suelo de los años 1999-2004 (a), 2004-2009 (b), 2009-2014 (c), 2014-2018 (d), y 1999-2018 (e) del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari). Madre de Dios - Perú.

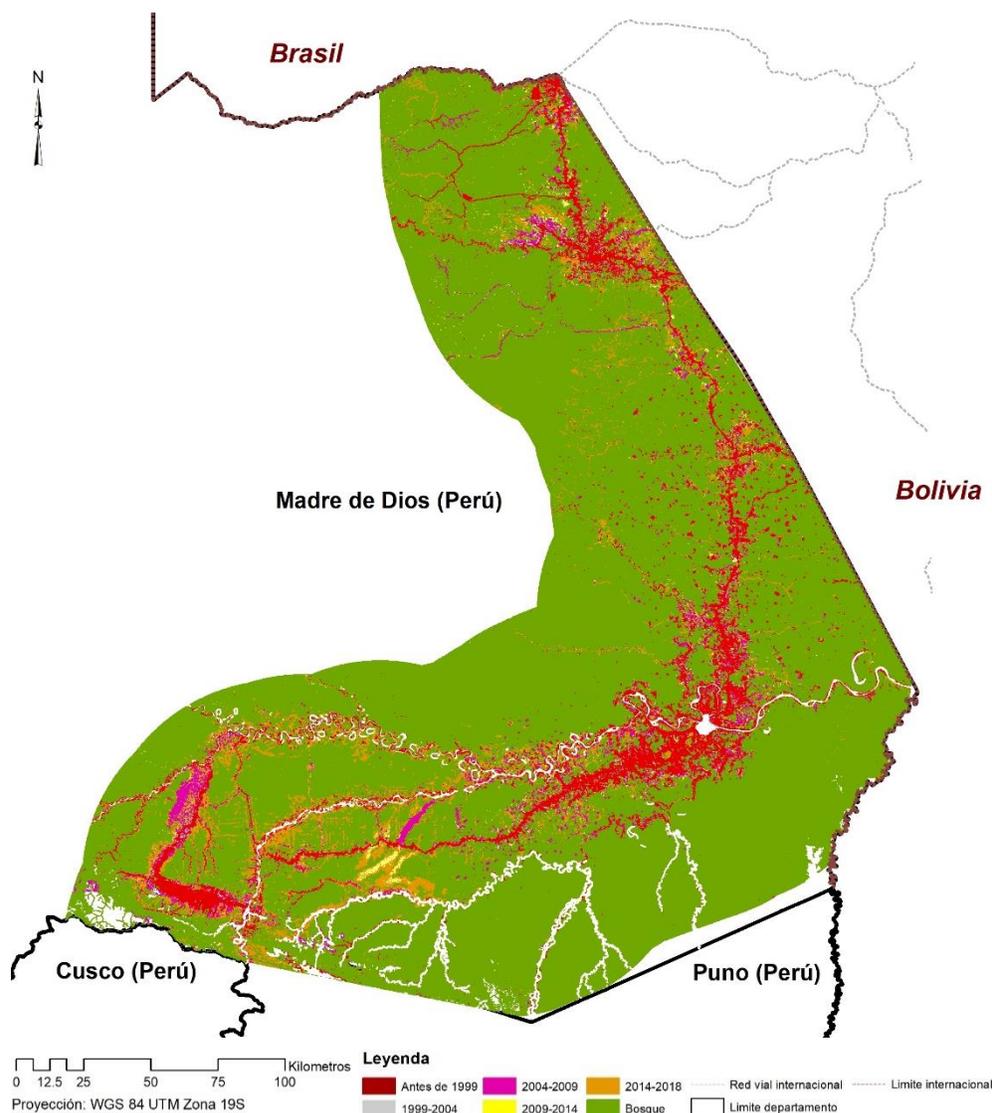


FIGURA 6. Perdida de bosque en el sureste de la Amazonia peruana entre los años 1999 al 2018, Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari). Madre de Dios.

A nivel histórico, la variación espacial de la perdida de bosque está relacionada al nivel de acceso; vía principal, carreteras, ríos y quebradas, así como la tenencia de la tierra y títulos habilitantes (concesiones forestales, maderables, de reforestación, agricultura, minería aurífera aluvial, tierras indígenas, y ANP). Hasta 1999, la perdida de bosque se concentraba en el eje del

Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur (Iñapari – Inambari), y en sectores específicos donde se desarrolla la minería de oro (distritos de Huepetuhe y Madre de Dios). A partir de los periodos 2009-2014 y 2014-2018, se incrementa la agricultura y la minería de oro aluvial, esta última con mucha expansión en los sectores de Delta, Boca Colorado, Inambari, Rio Malinowski, Guacamayo y La Pampa. Respecto al sector La Pampa, esta viene afectando a la Reserva Nacional Tambopata (Fig. 6).

## **DISCUSIONES**

Los países de América Latina vienen aquejando un serio problema de pérdida de bosque, en especial los que conforman el Amazonas, la principal causa se atribuye a la falta de planificación del territorio, que ocasionan el acaparamiento de tierras, expansión de la frontera agrícola, ganadería, la minería, y la explotación económica descontrolada (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017; Carvalho *et al.*, 2019; Perz *et al.*, 2016; RAISG, 2015, 2020). De los nueve países que conforman el Amazonas; Guayana (98%), Guayana Francesa (96,5%), Surinam (90,1%), Perú (61%) y Venezuela (51%), son las que mayor área ocupa en su territorio, mientras en proporción al Amazonas (+700 000 000 ha) son; Brasil (60,3%), Perú (11,3%), Bolivia (6,87%) y Venezuela (6,73%), es aquí, donde se presenta el problema, el ímpetu y la necesidad de desarrollar actividades económicas que se contraponen con la conservación del Amazonas. La Amazonia se deforesta aproximadamente a un ritmo promedio de 7 000 ha al día, siendo Brasil el país que mayor aporta. En cuanto a la Amazonia peruana, se perdido alrededor de 2 284 888 ha al año 2018 (MINAM, 2020; RAISG, 2020).

La amenaza de la deforestación en la Amazonia es la explotación de su inmensa riqueza, principalmente los recursos forestales, donde la conversión es frecuente para usos agrícolas o zonas de pastoreo, infraestructura vial, extracción de madera y la minería, sean legales o ilegales

(Perz *et al.*, 2016; Postigo y Young, 2016). Por otro lado, el motor que impulsa la deforestación en la Amazonia occidental del Perú es similar, pero con mayor incidencia la conversión de bosque para usos agrícolas y la minería de oro, esta última con una explosión de actividades focalizadas en la parte sur oeste de la región de Madre de Dios (Alarcón *et al.*, 2016; Asner *et al.*, 2014; Asner, Llactayo, *et al.*, 2013; Asner y Tupayachi, 2017; Perz *et al.*, 2016). Nuestros resultados muestran la pérdida de bosque en términos de área afectada al año 2018, la tasa de deforestación y los cambios de usos de suelo en el tiempo evaluado. Las 169 863,40 ha deforestadas entre 1999 y 2018 se aproximan a las estimaciones e informes del gobierno y otras instituciones que operan en la región. Por el ejemplo, el MINAM (2020) estima 209 733 ha en total para el 2018, sin embargo, corresponde a toda la región de Madre de Dios, mientras que los datos mostrados hacen referencia a un área menor que corresponde a la influencia de los impactos indirectos del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico Sur, 50 km a ambos márgenes. Por otro lado, Alarcón *et al.* (2016) determinaron 77 684,75 ha (para uso agrícola, pastoreo, extracción de madera y minería de oro) para el año 2013, con la diferencia que las estimaciones corresponde a una parte del área de estudio; una de las zonas más impactadas de Madre de Dios. A nivel de investigaciones más específicas, Asner y Tupayachi (2017) mostraron 68 228 ha de bosque deforestados por la minería de oro, en esa misma línea, Swenson *et al.* (2011) cuantifican aproximadamente 15 500 ha en total para el 2009, si bien los valores difieren, ello es debido a la escala de trabajo y motores que causan la deforestación.

Con el monitoreo satelital, observamos un promedio de 5 928,36 ha/año con una tasa anual de cambio de -0,21 de pérdida de bosque por la agricultura y la minería de oro en los periodos 1999 - 2018. De la cuantificación, la pérdida de bosque por la agricultura supera a todas las formas de pérdida de bosque (legal o ilegal) (Bax y Francesconi, 2018; Bennett *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019). Sin embargo, a nivel de sectores focalizados como los distritos de Huepetuhe,

Madre de Dios, Inambari, Guacamayo y La Pampa, los resultados son más impactantes (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017; Duff y Downs, 2019; Kahhat *et al.*, 2019; Moody *et al.*, 2020; Velásquez Ramírez *et al.*, 2020). Si bien esta información es de conocimiento público, el gobierno no desarrolla políticas estrictas para combatir la agricultura migratoria y la minería de oro ilegal e insostenible en la región (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017; Bax y Francesconi, 2018; Cortés-McPherson, 2019; Giudice *et al.*, 2012; Goodman *et al.*, 2019; Moody *et al.*, 2020; Recanati *et al.*, 2015; Scullion *et al.*, 2014; Velásquez Ramírez *et al.*, 2020). A pesar de la pérdida de 169 863,40 ha de bosque en 19 años (Fig. 2) parecen pequeñas en comparación a otras regiones amazónicas del país y de la cuenca amazónica (Bax y Francesconi, 2018; Bennett *et al.*, 2018; Cabral *et al.*, 2018; Glinskis y Gutiérrez-Vélez, 2019; López *et al.*, 2020; Murad y Pearse, 2018; RAISG, 2020), la agricultura contribuye con el 76,35% de la pérdida de bosque, mientras la minería de oro con el 23,65%. Madre de Dios es la Capital de la Biodiversidad del Perú, conocida mundialmente por su alta diversidad biológica y la presencia de ANP como la Reversa Nacional Tambopata y el Parque Nacional del Manu (Asner y Tupayachi, 2017; Dourojeanni, 2014b, 2019; Postigo y Young, 2016), a pesar de ello, la agricultura y la minería de oro presenta un impacto directo sobre el bosque (Duff y Downs, 2019; Ofosu *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2019; Salo *et al.*, 2016). El aumento de la tasa de deforestación está asociada a la agricultura como los cultivos de *Carica papaya* (papaya), *Theobroma cacao* (cacao), *Glycine max* (soya) y *Oriza sativa* arroz), entre las más importantes (Bax y Francesconi, 2018; Bennett *et al.*, 2018; Ofosu *et al.*, 2020; Recanati *et al.*, 2015), mientras que la minería con la fiebre del oro peruano, iniciada con la crisis financiera mundial del año 2008, generó un aumento considerable del oro en el mercado internacional (Alarcón *et al.*, 2016; Asner *et al.*, 2013; Duff y Downs, 2019; Perz *et al.*, 2016; Salo *et al.*, 2016; Swenson *et al.*, 2011).

En cuanto al cambio total de bosque a otros usos en 19 años (1999-2018), alcanza de 128 877,67 ha, la agricultura es responsable del 74,47% (95 980,46 ha), mientras que la minería de oro con el 25,53% (32 897,20 ha). A nivel de periodos, el cambio de cobertura boscosa a agricultura es la más determinante, con el 95,31%, 75,00%, 85,63% y 72,90% para los periodos 1999-2004, 2004-2009, 2009-2014 y 2014-2018 (Alarcón *et al.*, 2016; Postigo y Young, 2016; Recanati *et al.*, 2015). Si embargo, la minería de oro inicia un repunte a partir del 2004-2009, responsable con el 25,00% de cambio de cobertura, de igual manera para los años 2009-2014 y 2014-2018 con 14,37% y 27,10% (Tabla 4 y Fig. 4 y 5) (Alarcón *et al.*, 2016; Perz *et al.*, 2013; Postigo y Young, 2016), los resultados se aproximan a los plateados por otros investigadores (Alarcón *et al.*, 2016; Asner y Tupayachi, 2017), donde a nivel de sectores focalizados, las áreas afectadas por la minería de oro es mayor.

Nuestros resultados destacan la importancia del monitoreo por medios de sensores remotos la pérdida de bosque en la Amazonia, la precisión dependerá de la escala de trabajo y el uso de plataformas de mediana o alta resolución. En ese sentido, la serie original de satélites de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) diseñada específicamente para el monitoreo del cambio de la cubierta terrestre (Landsat), proporciona el mejor método disponible para monitorear la deforestación y degradación de los bosques a escala global. A ello debemos sumar el aporte del Instituto Nacional de Investigación Espacial (INPE) del Gobierno Federal de Brasil a través de los sensores CBERS y de la Agencia Espacial Europea (ESA) con los sensores Sentinel, todos disponibles de manera gratuita.

## **CONCLUSIONES**

La región Amazónica de Madre de Dios es conocida mundialmente por su alta diversidad biológica, y por consiguiente es y seguirá siendo una frontera atractiva para ser ocupada y

explotada durante muchos años. Evidenciamos que de 1999 a 2018, se perdieron 169 863,40 ha de bosque en 19 años, con una tasa anual de -0,21% (5 928,36 ha/año). La pérdida de bosque se da más intensamente en el periodo 2014-2018 con una tasa anual de -0,57% (15 569,16 ha/año), más del doble del periodo total. En cuanto al cambio de bosque a otros usos muestra 128 877,67 ha en 19 años (199-2018), la agricultura es responsable del 74,47% (95 980,46 ha), mientras que la minería de oro aporta con el 25,53% (32 897,20 ha), de los datos se deduce que la agricultura es el primer impulsor seguido de la minería de oro. Sin embargo, en sectores focalizados como Huepetuhe, Madre de Dios, Inambari, Guacamayo y La Pampa, la pérdida de bosque es mayor y más impactante por la minería de oro (extracción de oro y agua de disposición residual).

El gobierno peruano viene tratando de controlar el crecimiento de la deforestación a través de la implementación ejes prioritarios como; institucionalidad y gobernanza, gestión integral del territorio, producción sostenible y lucha contra las actividades económicas ilegales. Sin embargo, en la práctica han demostrado ser ineficientes. La zonificación ecológica económica y el ordenamiento territorial se contraponen con instrumentos de gestión territorial sectoriales, y la lucha contra la minería ilegal es un fracaso, las interdicciones realizadas por el gobierno han demostrado un mayor avance de la minería de oro, afectando incluso la zona de amortiguamiento y la Reserva Nacional Tambopata. A pesar de ello, creemos que una correcta aplicación de las normas, monitoreo ambiental de la Amazonia a través de sensores remotos y una voluntad política del gobierno se puede disminuir la pérdida de bosque en la región.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA**

Alarcón, G., Díaz, J., Vela, M., García, M., & Gutiérrez, J. (2016). Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999-2013; caso Regional de Madre de Dios

(Puerto Maldonado–Inambari). *Journal of High Andean Research*, 18(3), 319-330.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2016.221>

Asner, G. P., Knapp, D. E., Martin, R. E., Tupayachi, R., Anderson, C. B., Mascaro, J., Sinca, F., Chadwick, K. D., Higgins, M., & Farfan, W. (2014). Targeted carbon conservation at national scales with high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(47), E5016-E5022.

Asner, G. P., Llactayo, W., Tupayachi, R., & Luna, E. R. (2013). Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(46), 18454-18459.

Asner, G. P., Mascaro, J., Anderson, C., Knapp, D. E., Martin, R. E., Kennedy-Bowdoin, T., van Breugel, M., Davies, S., Hall, J. S., & Muller-Landau, H. C. (2013). High-fidelity national carbon mapping for resource management and REDD+. *Carbon balance and management*, 8(1), 1-14.

Asner, G. P., & Tupayachi, R. (2017). Accelerated losses of protected forests from gold mining in the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*, 12(9), 094004.

Asner, G. P., & Tupayachi, R. (2017). Accelerated losses of protected forests from gold mining in the Peruvian Amazon [Article]. *Environmental Research Letters*, 12(9), Article 094004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7dab>

Bax, V., & Francesconi, W. (2018, 2018/02/01/). Environmental predictors of forest change: An analysis of natural predisposition to deforestation in the tropical Andes region, Peru. *Applied Geography*, 91, 99-110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.002>

Bennett, A., Ravikumar, A., & Paltán, H. (2018, 2018/09/01/). The Political Ecology of Oil Palm Company-Community partnerships in the Peruvian Amazon: Deforestation consequences of the privatization of rural development. *World Development*, 109, 29-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.04.001>

Comunidad Andina (CA) (2007). ¿ Y POR DÓNDE COMENZAMOS? *Prioridades de la Comunidad Andina ante el Cambio Climático*. Lima, Peru: Secretaría General de la Comunidad Andina.

Cabral, A. I. R., Saito, C., Pereira, H., & Laques, A. E. (2018, 2018/11/01/). Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data. *Applied Geography*, 100, 101-115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.003>

Carvalho, W. D., Mustin, K., Hilário, R. R., Vasconcelos, I. M., Eilers, V., & Fearnside, P. M. (2019, 2019/07/01/). Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(3), 122-130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.06.002>

Chávez, A., Huamani, L., Fernandez, R., Bejar, N., Valera, F., Perz, S., Brown, I., Domínguez, S., Pinedo, R., & Alarcón, G. (2013). Regional Deforestation Trends within Local Realities: Land-Cover Change in Southeastern Peru 1996–2011. *Land*, 2(2), 131. <http://www.mdpi.com/2073-445X/2/2/131>

Chuvieco, E., & Hantson, S. (2010). Plan Nacional de Teledetección de Media Resolución Procesamiento estándar de imágenes Landsat Documento técnico de algoritmos a aplicar Versión.

Cortés-McPherson, D. (2019, 2019/04/01/). Expansion of small-scale gold mining in Madre de Dios: ‘capital interests’ and the emergence of a new elite of entrepreneurs in the Peruvian Amazon. *The Extractive Industries and Society*, 6(2), 382-389. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.01.002>

Dourojeanni, M. (2006). *Estudio de caso sobre la carretera interoceánica en la Amazonía Sur del Perú*. Conservación Internacional Perú.

----- (2014a). Impactos socioambientales probables de la carretera transoceánica (Río Branco-Puerto Maldonado-Ilo) y la capacidad de respuesta del Perú. *Boletín CF+S*(19).

----- (2014b). Ocupación humana y áreas protegidas de la Amazonia del Perú. *Ecología Aplicada*, 13(2), 225-232.

----- (2019). Esbozo de una nueva política forestal peruana. *Revista Forestal del Perú*, 34(1), 4-20.

Dourojeanni, M. J., Gómez, A. B., & Dourojeanni Alvarez Dourojeanni, A. (2009). *Amazonía peruana en 2021: explotación de recursos naturales e infraestructura:¿ qué está pasando?¿ qué es lo que significa para el futuro?* Fundación Peruana para la Conservación de la Naturaleza.

Duff, P. M., & Downs, T. J. (2019, 2019/04/01/). Frontline narratives on sustainable development challenges/opportunities in the ‘illegal’ gold mining region of Madre de Dios, Peru: Informing an integrative collaborative response. *The Extractive Industries and Society*, 6(2), 552-561. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.01.005>

Felde, G. W., Anderson, G. P., Cooley, T. W., Matthew, M. W., Berk, A., & Lee, J. (2003). Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm.

Giudice, R., Soares-Filho, B. S., Merry, F., Rodrigues, H. O., & Bowman, M. (2012, 2012/05/01/). Timber concessions in Madre de Dios: Are they a good deal? *Ecological Economics*, 77, 158-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.02.024>

Glinskis, E. A., & Gutiérrez-Vélez, V. H. (2019, 2019/01/01/). Quantifying and understanding land cover changes by large and small oil palm expansion regimes in the Peruvian Amazon. *Land Use Policy*, 80, 95-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.032>

Goodman, R. C., Harman Aramburu, M., Gopalakrishna, T., Putz, F. E., Gutiérrez, N., Mena Alvarez, J. L., Aguilar-Amuchastegui, N., & Ellis, P. W. (2019, 2019/05/01/). Carbon emissions and potential emissions reductions from low-intensity selective logging in southwestern Amazonia. *Forest ecology and management*, 439, 18-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.037>

Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD), & Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP). (2009). Macro Zonificación Ecológica Económica de Madre de Dios. 208.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación (Quinta edición ed.)*.(J. Mares Chacón, Ed.) Mexico, México DF. McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA de CV.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2017). *Magnitud y Crecimiento Poblacional*. <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda>

Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Sociedad Zoológica de Francfort (SZF), & Centro de Datos para la Conservación (CDC-UNALM) (2006). Hacia un Sistema de Monitoreo Ambiental Remoto Estandarizado para el SINANPE. Piloto V: Parque Nacional Manu, Parque Nacional Alto Purús, Reserva Comunal Purús y Santuario Nacional Megantoni (2000-2005). Lima-Perú. 66.

Jensen, J. (2004). Digital change detection. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*, 467-494.

Kahhat, R., Parodi, E., Larrea-Gallegos, G., Mesta, C., & Vázquez-Rowe, I. (2019, 2019/04/20/). Environmental impacts of the life cycle of alluvial gold mining in the Peruvian Amazon rainforest. *Science of The Total Environment*, 662, 940-951. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.246>

López, S., López-Sandoval, M. F., Gerique, A., & Salazar, J. (2020, 2020/08/01/). Landscape change in Southern Ecuador: An indicator-based and multi-temporal evaluation of land use and land cover in a mixed-use protected area. *Ecological Indicators*, 115, 106357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106357>

Ministerio del Ambiente (MINAM) (2020). *Bosque y pérdida de bosque del Perú. Ministerio del Ambiente (MINAM)*.

Moody, K. H., Hasan, K. M., Aljic, S., Blakeman, V. M., Hicks, L. P., Loving, D. C., Moore, M. E., Hammett, B. S., Silva-González, M., Seney, C. S., & Kiefer, A. M. (2020, 2020/03/01/). Mercury emissions from Peruvian gold shops: Potential ramifications for Minamata compliance in artisanal and small-scale gold mining communities. *Environmental Research*, 182, 109042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109042>

Mesa de Servicios Ambientales y Red (MSAR) (2013). Implementación del mecanismo para Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación - REDD+ en Madre de Dios.

Murad, C. A., & Pearse, J. (2018, 2018/08/01/). Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and Putumayo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 161-171.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.07.003>

Ofosu, G., Dittmann, A., Sarpong, D., & Botchie, D. (2020, 2020/04/01/). Socio-economic and environmental implications of Artisanal and Small-scale Mining (ASM) on agriculture and livelihoods. *Environmental Science & Policy*, 106, 210-220.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.005>

Oliveira, A. S., Soares-Filho, B. S., Costa, M. A., Lima, L., Garcia, R. A., Rajão, R., & Carvalho-Ribeiro, S. M. (2019, 2019/08/01/). Bringing economic development for whom? An exploratory study of the impact of the Interoceanic Highway on the livelihood of smallholders in the Amazon. *Landscape and Urban Planning*, 188, 171-179.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.025>

Perz, S., Castro, W., Rojas, R., Castillo, J., Chávez, A., García, M., Guadalupe, Ó., Gutiérrez, T., Hurtado, A., Mamani, Z., Mayna, J., Mello, R., Passos, V., Reyes, J., Saavedra, M., de Wit, F., Acuña, N., Alarcón, G., & Rojas, D. (2016). La amazonia como un sistema socio-ecológico: Las dinámicas de cambios complejos humanos y ambientales en una frontera trinacional. In J. Postigo & K. Young (Eds.), *Naturaleza y sociedad:*

*Perspectivas socio-ecológicas sobre cambios globales en América Latina* (pp. 444).  
desco, IEP e INTE-PUCP.

Perz, S., Qiu, Y., Xia, Y., Southworth, J., Sun, J., Marsik, M., Rocha, K., Passos, V., Rojas, D., Alarcón, G., Barnes, G., & Baraloto, C. (2013). Trans-boundary infrastructure and land cover change: Highway paving and community-level deforestation in a tri-national frontier in the Amazon. *Land Use Policy*, 34, 27-41.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.01.009>

Postigo, J., & Young, K. (2016). En Naturaleza y sociedad. *Perspectivas socio-ecológicas sobre cambios globales en América Latina*. Lima: Desco, IEP e INTE-PUCP.

Puyravaud, J.-P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1), 593-596.

Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) (2015). *Deforestación en la Amazonía (1970-2013)*. [www.raisg.socioambiental.org](http://www.raisg.socioambiental.org)

----- (2020). *Destrucción del Amazonas: las principales amenazas para la mayor selva tropical del mundo en los 9 países que la comparten (2001-2018)*.  
[www.raisg.socioambiental.org](http://www.raisg.socioambiental.org)

Recanati, F., Allievi, F., Scaccabarozzi, G., Espinosa, T., Dotelli, G., & Saini, M. (2015, 2015/01/01/). Global Meat Consumption Trends and Local Deforestation in Madre de Dios: Assessing Land Use Changes and other Environmental Impacts. *Procedia Engineering*, 118, 630-638. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.496>

Recanati, F., & Guariso, G. (2018, 2018/07/01/). An optimization model for the planning of agroecosystems: Trading off socio-economic feasibility and biodiversity. *Ecological Engineering*, 117, 194-204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.03.010>

Richards, J. A., & Richards, J. (1999). *Remote sensing digital image analysis* (Vol. 3). Springer.

Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., & Group, P. R. (1987). *Parallel distributed processing* (Vol. 1). MIT press Cambridge, MA.

Salo, M., Hiedanpää, J., Karlsson, T., Cárcamo Ávila, L., Kotilainen, J., Jounela, P., & Rumrill García, R. (2016, 2016/11/01/). Local perspectives on the formalization of artisanal and small-scale mining in the Madre de Dios gold fields, Peru. *The Extractive Industries and Society*, 3(4), 1058-1066. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.exis.2016.10.001>

Scullion, J. J., Vogt, K. A., Sienkiewicz, A., Gmur, S. J., & Trujillo, C. (2014, 2014/03/01/).

Assessing the influence of land-cover change and conflicting land-use authorizations on ecosystem conversion on the forest frontier of Madre de Dios, Peru. *Biological conservation*, *171*, 247-258.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.036>

Swenson, J. J., Carter, C. E., Domec, J.-C., & Delgado, C. I. (2011). Gold mining in the Peruvian

Amazon: global prices, deforestation, and mercury imports. *PloS one*, *6*(4), e18875.

Tubbeh, R. (2019). Naturaleza y sociedad: perspectivas socio-ecológicas sobre cambios

globales en América Latina ed. by Julio C. Postigo y Kenneth R. Young. *Journal of Latin American Geography*, *18*(3), 224-226.

Velásquez Ramírez, M. G., Barrantes, J. A. G., Thomas, E., Gamarra Miranda, L. A., Pillaca,

M., Tello Peramas, L. D., & Bazán Tapia, L. R. (2020, 2020/06/01/). Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. *CATENA*, *189*, 104454.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104454>

Wang, D., Ma, R., Xue, K., & Loiselle, S. A. (2019). The assessment of Landsat-8 OLI

atmospheric correction algorithms for inland waters. *Remote Sensing*, *11*(2), 169.

Weinstein, B. G., Marconi, S., Bohlman, S., Zare, A., & White, E. (2019). Individual tree-crown detection in RGB imagery using semi-supervised deep learning neural networks. *Remote Sensing*, *11*(11), 1309.

Zinngrebe, Y. (2016, 2016/07/01/). Learning from local knowledge in Peru—Ideas for more effective biodiversity conservation. *Journal for Nature Conservation*, *32*, 10-21.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnc.2016.03.006>