



Proyecto:

“Evaluación independiente de la exactitud de los datos de actividad para los pagos por resultados del programa REDD Early Movers (REM) Ecuador.”

Contratado por



Documento:

Informe independiente de exactitud del mapa de cambios de cobertura y uso de la tierra para el período 2017-2018 (metodología de nivel pago intermedio)

Fecha:

20 de noviembre de 2019

Evaluated by



Índice

1.	RESUMEN EJECUTIVO	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
3.	OBJETIVOS	3
3.1.	OBJETIVO GENERAL	3
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4.	DEFINICIONES	4
4.1.	EXACTITUD	4
4.2.	PRECISIÓN	4
4.3.	EXACTITUD TEMÁTICA	4
4.4.	EVALUACIÓN DE EXACTITUD Y/O CONFIABILIDAD TEMÁTICA	4
4.5.	MATRIZ DE CONFUSIÓN	4
4.6.	EXACTITUD GLOBAL	4
4.7.	EXACTITUD DEL USUARIO	5
4.8.	EXACTITUD DEL PRODUCTOR	5
4.9.	INTERVALO DE CONFIANZA	6
4.10.	LEYENDA TEMÁTICA	6
5.	METODOLOGÍA	7
5.1.	PRODUCTOS E INSUMOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN	7
5.2.	SOFTWARE EMPLEADO	8
5.3.	SOFTWARE DESARROLLADO	8
5.4.	DISEÑO DE MUESTREO	9
5.5.	TAMAÑO DE MUESTRA	10
5.6.	USO DE SENSORES	11
5.7.	DISEÑO DE RESPUESTA	11
5.8.	DIAGRAMA DEL PROCESO DE EVALUACIÓN	14
5.8.1.	UNIDAD ESPACIAL DE EVALUACIÓN	15
5.8.2.	HOMOLOGACIÓN DE CRITERIOS	15
5.8.3.	INTERPRETACIÓN DE PUNTOS	15
5.8.4.	CONTROL DE CALIDAD	16
6.	RESULTADOS	16
6.1.	MATRIZ DE CONFUSIÓN DE CONTEO DE MUESTRAS	16

6.2.	MATRIZ DE CONFUSIÓN CON PROPORCIONES DE ÁREA ($P_{ij}^{\wedge}$)	17
6.2.1.	ÁREAS AJUSTADAS.	17
6.2.2.	ERROR ESTÁNDAR DE LA ESTIMACIÓN DE ÁREA.	18
6.3.	EXACTITUD GLOBAL	19
6.4.	EXACTITUD DEL USUARIO	19
6.4.1.	ERROR DE COMISIÓN.	20
6.5.	EXACTITUD DEL PRODUCTOR	20
6.5.1.	ERROR DE OMISIÓN.	20
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	20
7.1.	EXACTITUD GLOBAL	20
7.2.	ERROR DE COMISIÓN.	21
7.3.	ERROR DE OMISIÓN	21
7.4.	POSIBLES FUENTES DE INCERTIDUMBRE	21
8.	CONCLUSIONES	22
9.	RECOMENDACIONES	22
10.	BIBLIOGRAFÍA	22
11.	ANEXOS	24

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Plataforma WEB desarrollada	9
Ilustración 2. Aplicación de búffer inverso para determinación de unidades representativas de muestreo	12
Ilustración 3. Puntos de muestreo por estratos a nivel nacional	13
Ilustración 4. Diagrama de procesos.	14
Ilustración 5. Unidades de interpretación	15

Índice de Tablas

Tabla 1. Leyenda de Uso de suelo	6
Tabla 2. Sensores y resoluciones que se usarán dentro de la evaluación de exactitud.	8
Tabla 3. Exactitud del usuario U_i para las diferentes clases (estratos)	10
Tabla 4. Distribución del tamaño de muestreo de acuerdo a los estratos	11
Tabla 5. Uso de sensores para análisis de exactitud.	11
Tabla 6. Matriz de confusión de conteo de muestras	16
Tabla 7. Matriz de confusión con proporciones de área	17
Tabla 8. Áreas ajustadas de cada clase del mapa de cambios	18
Tabla 9. Error estándar del área estimada por cada clase	18
Tabla 10. Áreas ajustadas con un intervalo de confianza al 95%	19
Tabla 11. Resultados de la exactitud del usuario	19
Tabla 12. Resultados de la exactitud del productor	20

Índice de Ecuaciones

[1] Ecuación para la exactitud Global	5
[2] Ecuación para la exactitud del usuario	5
[3] Ecuación para la exactitud del productor	6
[4] Ecuación de Neyman	10
[5] Desviación estándar por estrato	10
[6] Proporción de área	17
[7] Ecuación para determinar áreas ajustadas por clase	17
[8] Desviación estándar para estimación de área	18
[9] Desviación estándar para la proporción de área	18
[10] Ecuación para determinar áreas ajustadas al 95% de intervalo de confianza	18

1. Resumen Ejecutivo

EL Ministerio del Ambiente (MAE) con el apoyo técnico de FAO ha realizado desde el año 2013 la estimación de precisión de manera independiente, utilizando las recomendaciones del documento de buenas prácticas para evaluación de la precisión y estimación de áreas de cambio de cobertura de la tierra (Olofsson, M. Foodu, et al., 2013) (Olofsson, Foody, Stehman, & Woodcock, 2013), GOF-C-GOLD REDD Soucebook (2014), GFOI Methods and Guidance Documents, la misma que emplea un muestreo aleatorio estratificado, además permite calcular áreas de cambio con ajustes de error, cálculos de precisión total, usuario y productor, a través de matrices de confusión.

El Ministerio de Ambiente, con los fondos proporcionados a través de pagos basados en resultados por el Programa REM, facilitó la licitación de la evaluación de precisión independiente descrita anteriormente. Los servicios fueron contratados a través del Fondo de Inversión Ambiental Sostenible (FIAS) a la compañía AGP geospatial company.

Como objetivo general se planteó realizar la evaluación independientemente de la exactitud de los datos de actividad para los pagos por resultados del programa REDD Early Movers (REM) Ecuador.”

Uno de los objetivos específicos fue elaborar una evaluación de exactitud independiente enfocada en el cambio detectado entre las categorías principales de uso de la tierra IPCC seleccionadas que están relacionados con el bosque para el período de resultados de nivel de pago intermedio (2017-2018).

Para ejecutar la evaluación de exactitud, el MAE proporcionó acceso a los datos de referencia de alta resolución de la marca comercial Planet en forma de mapa base e Imágenes Landsat de los años 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018. Además, se utilizaron plataformas de acceso abierto como Google Earth y World Imagery de Esri, los sensores de estas y sus correspondientes resoluciones, han sido utilizados para la interpretación de los puntos de muestreo puesto que permiten conocer las fechas de captura.

Se ha empleado el diseño de muestra aleatorio estratificado, que consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (clases) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica. Cada clase de cada estrato funciona independientemente, pudiendo aplicarse dentro de ellos un muestreo aleatorio simple.

La exactitud global o total, es obtenida a partir del sumatorio de las coincidencias de las proporciones de área, obteniendo el mapa de cobertura y uso de la tierra 2018 una exactitud de **75,27%**, el cual es un resultado satisfactorio acorde a la orientación jurisdiccional internacional de REDD+ (es decir, VCS-JNR) que requiere una exactitud forestal / no forestal de al menos 75%.

Cabe recalcar, que el Marco de Varsovia para REDD+, que forma parte del Acuerdo de Paris de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) no establece umbrales para la exactitud temática.

Las clases de regeneración y deforestación muestran valores de exactitud del usuario bajos, circunstancia que posiblemente reflejen errores de comisión (atribución de un área a una clase a la cual no pertenece). En cuanto al error de omisión (no-atribución de un área a una clase a la cual pertenece), que se refiere al productor, las clases de regeneración, deforestación y bosque estable muestran valores de exactitud medianos.

Si bien es cierto, los resultados permiten una cuantificación de los errores de comisión y omisión y un ajuste de las áreas estimadas, este análisis no revela específicamente las fuentes de los posibles errores.

2. Introducción

Desde el año 2009 el Ministerio del Ambiente (MAE), hasta la actualidad ha venido desarrollando una serie de políticas y prácticas para la implementación de acciones para “Reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de sus bosques, la conservación, la gestión sostenible de los mismos y el aumento de las reservas de carbono”, las mismas que han concluido su fase de preparación mediante la publicación del Plan de Acción REDD+ en 2016, presentación del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación (NREF) a la CMNUCC, desarrollo del Sistema Nacional de Monitoreo forestal y, el informe de salvaguardas de REDD+.

Bajo el amparo de acuerdos entre el MAE y la Cooperación Financiera Alemana (KfW), se ha dado paso al programa REDD Early Movers (REM), con el propósito de recibir pagos por resultados para las reducciones de emisiones logradas después de 2014, basado en la deforestación del periodo 2001-2014. Los requisitos para acceder al pago son: a) verificación de reducción de emisiones para 2017 y 2018 en función del pago intermedio, b) evaluación de la exactitud independiente de la cobertura y del cambio de cobertura, c) verificación independiente de la reducción de emisiones para 2015, 2016, 2017 y 2018 basadas en el segundo nivel de referencia de emisiones.

En octubre y noviembre de 2018, el Ministerio del Ambiente de Ecuador pasó por el proceso de verificación independiente del nivel de pago interino y las correspondientes reducciones de emisiones durante el período 2015-2016, en el marco del Programa REDD Early Movers (REM). Este proceso incluyó la verificación de las emisiones reducidas en base del nivel de pago interino específicamente desarrollado por Ecuador para el programa REM, y se enfocó en la deforestación bruta del período 2001-2014, el análisis y la notificación de datos de actividad (incluyendo las fuentes, es decir imágenes satelitales, tratamiento, la detección de cambios, clases de cobertura, clases de cambio y la evaluación de la exactitud), el cálculo de los factores de emisión, y los métodos y modelos utilizados para estimar las emisiones.

El equipo de verificación opinó que los resultados proporcionados en el informe de Ecuador sobre reducciones de emisiones para 2015 y 2016 en comparación con el nivel de pago interino "se han obtenido aplicando metodologías de acuerdo con las buenas prácticas aceptadas internacionalmente y definidas por los criterios de verificación pertinentes; están libres de más omisiones y tergiversaciones que puedan conducir a errores y / o discrepancias considerables, y pueden considerarse lo más precisos posible dentro del alcance de esta verificación; son consistentes con la metodología establecida por Ecuador en el desarrollo de su Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (FREL) y puede reconstruirse mediante un proceso paso a paso, transparente y consistente".

El 29 de marzo de 2019, el Ministerio del Ambiente y KfW acordaron las condiciones para el segundo pago, que incluyera

- i. La verificación independiente de las reducciones de emisiones para 2017 y 2018 en función del nivel de pago intermedio establecido.
- ii. La evaluación de exactitud independiente que se centra en la exactitud del cambio de cobertura / uso de la tierra detectado (A) para los resultados del nivel de pago intermedio (2017/2018) y (B) para el segundo nivel de emisión de referencia 2001 - 2014 y su período de resultados 2015 -2018.
- iii. La Verificación independiente de las reducciones de emisiones para 2015, 2016, 2017 y 2018 basada en el segundo nivel de emisiones de referencia.

El programa REM de Alemania por el Ministerio de Cooperación en Desarrollo (BMZ por sus sigla en alemán) es una iniciativa conjunta entre KfW y GIZ, donde KfW es responsable de la cooperación financiera facilitando la financiación de actividades de REDD+ en base de resultados y GIZ para ofrecer asistencia técnica específica, REM trabaja con los países seleccionados para proporcionar financiamiento puente gratificando actividades reduciendo la deforestación a través de pagos por emisiones reducidas verificadas.

En el caso específico de REM en Ecuador, Alemania se ha asociado con el Gobierno de Noriega para canalizar fondos a través de REM, BMZ ha comprometido hasta 11 millones de Euros de financiamiento basado en los resultados, mientras que Noruega ha comprometido hasta 300 millones de NOKS.

El Ministerio de Ambiente, con los fondos proporcionados a través de pagos basados en resultados por el Programa REM, facilita la licitación de la evaluación de exactitud independiente descrita anteriormente. Los servicios fueron contratados través del Fondo de Inversión Ambienta Sostenible (FIAS) a la compañía consultora AGP.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Elaborar una evaluación de exactitud independiente enfocada en el cambio detectado entre las categorías principales de uso de la tierra IPCC seleccionadas que están relacionados con el bosque para el período de resultados de nivel de pago intermedio (2017-2018).

3.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un informe de evaluación de exactitud del mapa de cambios de cobertura y uso de la tierra para el período 2017-2018 en función de las categorías de cambio: deforestación, regeneración, bosques estables y no estables (resultados de la metodología de nivel de pago intermedio).
- Proveer el nivel de exactitud temática del mapa, en términos de exactitud del usuario, exactitud del productor, exactitud global, de área proporcional, expresados a través de matrices de confusión con proporciones de área y áreas ajustadas.

4. Definiciones

Las siguientes definiciones han sido obtenidas de (Verna, Del Puerto, Castellano, & Kindgard, 2016).

4.1. Exactitud

Es el nivel de concordancia entre el valor real y el resultado de las observaciones o estimaciones de una característica.

4.2. Precisión

Es el nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica. Se representa como una estrecha agrupación de resultados de los puntos de muestreo o parcelas.

4.3. Exactitud Temática

Describe el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos en la base de datos con respecto a su verdadera característica representadas en el mundo real y la clasificación correcta de los objetos y sus relaciones de acuerdo con las especificaciones del producto.

4.4. Evaluación de Exactitud y/o Confiabilidad Temática

La evaluación de la exactitud temática generalmente se basa en un muestreo de sitios de verificación, cuya clasificación se obtiene a partir de observaciones de campo o del análisis de imágenes de Satélite más detalladas, que aquellas utilizadas para generar el mapa (Peralta-Higuera et al., 2001)

El ideal es que las personas que evalúen el mapa no hayan formado parte del proceso de elaboración de este. No se recomienda utilizar para la evaluación las mismas áreas que se utilizaron para generar la clasificación, debido a que la fiabilidad estimada será más alta que la real (Chuvieco Salinero, 2008).

4.5. Matriz de Confusión

Es una tabla de doble entrada en el cual se colocan en las filas y columnas las distintas clases a ser evaluadas, la diagonal expresa el número de coincidencias que se produce entre las dos fuentes el mapa y la realidad. El resto supone errores de asignación (Chuvieco Salinero, 2008).

4.6. Exactitud Global

Es la medida más simple de generar, relacionando los elementos con aciertos con el total de los elementos; indica lo bien que el mapa identifica todos los tipos de cobertura terrestre, siendo la proporción de la superficie del mapa asignada correctamente, se refiere a la probabilidad de que una muestra seleccionada al azar en el mapa esté correctamente clasificada. Se calcula como la sumatoria de las coincidencias de las proporciones de área, en base a la siguiente ecuación [1] .

$$\hat{O} = \sum_{j=1}^q \hat{P}_{ij} \quad [1]$$

Donde:

O es la exactitud global,

$\hat{P}_{jj}$ = Número de coincidencias conseguidas en la matriz de proporción de área

q = Número total de coincidencias

4.7. Exactitud del Usuario

Indica el porcentaje de veces que un tipo de cobertura terrestre concreto del mapa es en realidad ese tipo de cobertura terrestre en el terreno. Expresa lo bien que una persona que utilice el mapa encontrará ese tipo de cobertura terrestre en el terreno.

Exactitud del Usuario = número de coincidencias/total. (filas).

Se relaciona con el error de comisión, este implica que en el mapa se cometió el error de asignar las muestras a una clase del mapa, ya que los datos de referencia no realizan esa clasificación. Al cometer errores de comisión disminuye la exactitud de usuario. Se calcula dividiendo los aciertos conseguidos entre el mapa de cobertura con respecto a los datos de referencia en una clase, para el total de muestras la clase de los datos del mapa se expresa a través de la siguiente ecuación [2] .

$$\hat{U}_{ij} = \frac{\hat{P}_{ij}}{\hat{P}_i} \quad [2]$$

Dónde:

$\hat{U}_i$ = Exactitud del Usuario

$\hat{P}_{ii}$ = Número de coincidencias entre mapa de cobertura y datos de referencia en una clase

$\hat{P}_i$ = Total de muestras de una clase

4.8. Exactitud del Productor

Indica el porcentaje de veces que un tipo de cobertura terrestre concreto del terreno se ha identificado en el mapa con ese tipo de cobertura terrestre. Expresa lo bien que el creador del mapa identificó un tipo de cobertura terrestre a partir de los datos de una imagen de satélite.

Exactitud del Productor = número de coincidencias/total. (columnas).

Se relaciona con el error de omisión, este implica que en el mapa se cometió el error de no asignar las muestras a una clase del mapa, ya que los datos de referencia si incluyen esta clasificación. Se obtiene dividiendo los aciertos conseguidos en la matriz de proporción de área, divididos por el total de proporción de área para la clase de los datos de referencia, se expresa mediante la ecuación [3] .

$$\hat{p}_j = \frac{\hat{P}_{jj}}{\hat{P}_j}$$

[3]

Dónde:

$\hat{P}_j$ = Exactitud del Productor

$\hat{P}_{jj}$ = Número de coincidencias conseguidas en la matriz de proporción de área

$\hat{P}_j$ = Total de proporción de área para la clase de los datos de referencia

4.9. Intervalo de Confianza

En el contexto de estimar un parámetro poblacional, un intervalo de confianza es un rango de valores (calculado en una muestra) en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

La probabilidad de que el verdadero valor del parámetro se encuentre en el intervalo construido se denomina nivel de confianza, y se denota 1-a. La probabilidad de equivocarnos se llama nivel de significancia y se simboliza a (α).

Generalmente se construyen intervalos de confianza 1-a=95% (o significancia a=5%).

4.10. Leyenda Temática

Corresponde a las clases de uso y cobertura del suelo definidas por el Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC), construidas de forma jerárquica con un primer nivel general, y niveles subsiguientes que representan clases de cobertura/uso más detalladas, que mantienen coherencia con las definiciones de la clase superior.

Para la evaluación se considera la leyenda de cambio de uso de la tierra proporcionada por el MAE la misma que corresponde a la siguiente tabla:

Tabla 1. Leyenda de Uso de suelo

Cod	Categoría
1	Bosque Estable
2	No Bosque Estable
3	Deforestación
4	Regeneración

Con el fin de tener mayor claridad, sobre cada una de las unidades de cambio de uso, se tienen las siguientes definiciones:

Deforestación

Es un proceso de conversión antrópica del bosque en otra cobertura y uso de la tierra; bajo los umbrales de altura, cobertura del dosel o área establecida en la definición de bosque en un periodo de tiempo, sin considerar áreas de regeneración durante el mismo periodo. El término excluye a las zonas de plantaciones forestales removidas como resultado de cosecha o tala y a las áreas en donde los árboles fueron extraídos a causa del aprovechamiento forestal, y en donde se espera que el bosque se regenere de manera natural o con la ayuda de técnicas silvícolas, a menos que el aprovechamiento vaya seguido de una tala de los árboles restantes para introducir usos de la tierra alternativos.

Regeneración

Es la recuperación del bosque nativo a través de procesos naturales o por actividades antrópicas. Como resultado de este proceso se presentan bosques secundarios en diferentes estados de desarrollo.

Bosque estable

Corresponde a las áreas que permanecen como bosque nativo en los dos años del periodo de análisis.

No Bosque estable

Corresponde a las áreas de: tierra agropecuaria, vegetación arbustiva y herbácea, cuerpo de agua, zona antrópica y otras tierras, que permanecen con la misma cobertura de la tierra durante el periodo de análisis. También se incluye en esta categoría a las áreas de transición dentro de estas categorías, que no estén relacionada con cambios a bosque nativo, como, por ejemplo: vegetación arbustiva a tierra agropecuaria o plantación forestal a tierra agropecuaria.

5. Metodología

La metodología para evaluación de exactitud del mapa de Cobertura y Uso de la Tierra, está basada en los documentos de “Buenas prácticas para estimar el área y evaluar la exactitud del cambio de tierra” y “Estimación de la exactitud, área y cuantificación de la incertidumbre mediante estimación estratificada“, propuestos por (Olofsson et al., 2014; Olofsson, Foody, et al., 2013), GOFC-GOLD REDD Soucebook (2014), GFOI Methods and Guidance Documents.

Esta metodología brinda los resultados de exactitud que permiten validar una adecuada interpretación de resultados, proporcionando la exactitud del usuario y productor, una exactitud total y el cálculo de las áreas de cambio con ajuste de error, es relevante indicar que la metodología ha sido presentada en varias revistas científicas y citada en diversos artículos, calificando como un método apropiado para la evaluación de exactitud.

5.1. Productos e Insumos Considerados en la Evaluación



Para ejecutar la evaluación de exactitud, el MAE proporcionó acceso a los datos de referencia de alta resolución de la marca comercial Planet en forma de mapa base e Imágenes Landsat del año 2018.

Además, se utilizaron plataformas de acceso abierto como Google Earth y World Imagery de Esri. Los sensores y sus correspondientes resoluciones, que han sido utilizados para la interpretación de los puntos de muestreo se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Sensores y resoluciones que se usarán dentro de la evaluación de exactitud.

Cod	Sensor	Resolución (m)
1	Pleiades	0.50
2	PlanetScope	3.0
3	Landsat	30.0
4	Landsat - Pan	15.0
5	Aster	15.0
6	RapidEye	5.0
7	Spot 6 y 7-Pan	1.50
8	Spot 6 y 7	6.0
9	WorldView-1	0.50
10	WorldView-2	0.50
11	GeoEye-1	0.50
12	QuickBird	0.60
13	Ikonos	0.80
14	Sentinel - 2	10.0
15	Skysat	0.8
16	Maxar ¹	0.50

Se debe indicar que se dio prioridad al BaseMap o Mapa Base de Planet, proporcionado por el Ministerio del Ambiente.

5.2. Software Empleado

Para la utilización y visualización de los mapas base e imágenes satelitales proporcionadas por el MAE se utilizó la plataforma QGIS Desktop 3.8.3

5.3. Software Desarrollado

Como complemento de la metodología aplicada, se ha desarrollado una plataforma WEB (Véase

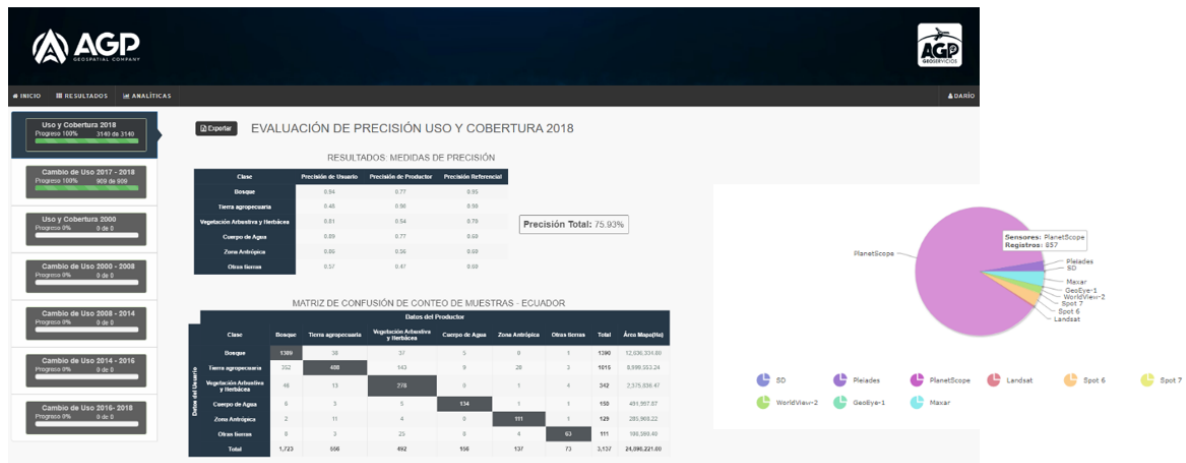
Ilustración 1 y Anexo 1) la que permite realizar los procesos de evaluación de exactitud de manera más eficientemente y de forma automatizada, con tecnología propia, en la cual se encuentran algoritmos, cálculos e insumos propuestos en la metodología descrita por (Olofsson et al., 2014)

¹ En la plataforma de Google Earth ya no existe una especificación del sensor con que se tomó la imagen presentada, en cambio se muestra tan solo la leyenda MAXAR Technologies y la fecha de la imagen.

GOFC-GOLD REDD Soucebook (2014), GFOI Methods and Guidance Documents, que servirán para la generación de resultados globales y por operadores en tiempo real así como un mejor control de calidad de las interpretaciones.

Dicha plataforma permite centralizar la información proporcionada de los operadores en una base de datos espacial, posee niveles de acceso para cliente , supervisión y técnicos, mejorando el tiempo de respuesta al contar con una data parametrizada, facilitando considerablemente los procesos de control de calidad y la publicación de resultados, la descripción a detalle se encuentra descrito en el manual de operador desarrollado para la aplicación, así como el seguimiento y control de la metodología aplicada (Véase Anexo 1).

Ilustración 1. Plataforma WEB desarrollada



5.4. Diseño de Muestreo

Es el proceso por el cual se define el número de muestras y/o la distribución de estas teniendo en cuenta la superficie de análisis total o el área de referencia según sea el caso, asimismo los estratos temáticos y grado de confianza con el que se quiere evaluar. Existen diferentes tipos de muestreo Uno de los pilares fundamentales al momento de presentar una evaluación de exactitud, es el diseño de la muestra, por lo que es vital para los resultados y el alcance requerido realizar una correcta elección del diseño de la muestra.

Para la presente evaluación de exactitud se ha empleado el diseño de muestreo aleatorio estratificado, que consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (clases) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica. Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurar de que todas las clases de interés estén representadas adecuadamente en la muestra. Cada clase de cada estrato funciona independientemente, pudiendo aplicarse dentro de ellos un muestreo aleatorio simple.

Con la finalidad de evaluar la exactitud de cada clase del mapa de cobertura y uso de la tierra, para este objetivo se ha utilizado la ecuación de Neyman [4] propuesta por (Cochran & Wiley, 1977).

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{\left[S(\delta)^2 \right] + \left(\frac{1}{N} \right) \sum W_i S_i^2} \approx \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\delta)} \right)^2 \quad [4]$$

Donde:

n = número de unidades evaluación en la región de interés (ROI).

$S(\delta)$ = Error estándar esperado de la exactitud esperada (para este caso se empleó un error estándar igual a 0,005)

W_i = Proporción de área cartografiada de la clase.

S_i = Desviación estándar de la clase o estrato i , definida en la ecuación [5].

$$s_i = \sqrt{U_i (1 - U_i)} \quad [5]$$

Donde:

U_i = exactitud del usuario (basado en las buenas prácticas se utiliza 0,6 – 0,7 para las clases con menor superficie y 0,9 – 0,95 para las clases con mayor área).

Observaciones:

Para que la muestra sea representativa, se debe medir el total de la población.

Se recomienda utilizar un mínimo de 100 muestras por clase en cada estrato de acuerdo a lo recomendado por (Congalton, 1988).

Para la exactitud del usuario (U_i) se utiliza los siguientes valores para cada una de las 6 clases interpretadas de acuerdo con las unidades de la leyenda de Cobertura y Uso de la tierra descritos en la siguiente tabla, con el fin de mantener la consistencia de los estudios realizados por MAE, para los años anteriores:

Tabla 3. Exactitud del usuario U_i para las diferentes clases (estratos)

Clase	Exactitud Referencial
Bosque Estable	0.9
No Bosque Estable	0.9
Deforestación	0.7
Regeneración	0.6

5.5. Tamaño de Muestra

A partir de las siguientes ecuaciones [4], [5], la proporción mapeada del área de la clase, la desviación estándar por clases, el error estándar de la exactitud total y los valores recomendados de exactitud del usuario, empleando además como insumo la superficie obtenida de los mapas de cambio para el periodo 2017-2018 para las 4 clases de cambio: deforestación, regeneración, bosque estable y no bosque estable.

De acuerdo a (Stehman, 2012), se identifica cuatro diferentes aproximaciones de asignación de la muestra: proporcional, igual o equitativa, óptima y asignación de potencia, en la presente metodología se realiza una aproximación simplificada de asignación del tamaño de muestra en proporción de 50 a 100 para cada estrato, usando el estimador de varianza para la exactitud del usuario, permitiendo la toma de decisión en el caso que el tamaño de la muestra tenga cierto error estándar para asumir la exactitud del usuario por clases, es decir que el tamaño de la muestra de cada clase de cambio será afectado por el tamaño de la muestra disponible para cada asignación (Stehman, 2012), basado en usar un 1/2 o un 1/3 como compromiso entre la asignación óptima y una asignación que produce una exactitud casi constante para las estimaciones específicas del estrato (Sârndal, Swensson, & Wretman, 1992), se debe considerar la importancia del objetivo al planificar un diseño de muestreo, la decisión sobre cómo asignar la muestra a los estratos depende de los objetivos de estimación, si el diseño de muestreo es con el propósito de estimar la exactitud del mapa y se emplea una asignación igual o equitativa la muestra resultante puede no proporcionar estimaciones precisas en relación de la proporción del área, mientras que las asignaciones de potencia u óptima pueden ser preferibles para el objetivo de estimación del área (Stehman, 2012), para el proceso se ha empleado un tamaño de 100 para las clases de cambio y en las clases estables se ha asignado el número de puntos de forma proporcional, tal como se indica en la Tabla 4

Tabla 4. Distribución del tamaño de muestreo de acuerdo a los estratos

Clase	ÁREA (Ha)	Wi	Ui	Si	n
Bosque Estable	12,466,140.39	0.501	0.9	0.300	358
No Bosque Estable	12,218,824.17	0.491	0.9	0.300	351
Deforestación	165,057.30	0.007	0.7	0.458	100
Regeneración	48,199.14	0.002	0.6	0.490	100
Total	24,898,221.00	1			909

5.6. Uso de sensores

A continuación, se muestra la información de los sensores más usados por los intérpretes para el análisis de exactitud del mapa de Cambio de Uso de Suelo.

Tabla 5. Uso de sensores para análisis de exactitud.

Año 2017		Año 2018	
Sensor	Muestreos	Sensor	Muestreos
PlanetScope	674	PlanetScope	902
Landsat	208	RapidEye	2
RapidEye	20	Maxar	2
Maxar	4	Pleiades	1
Pleiades	2	Landsat	1
WorldView-2	1	GeoEye-1	1
Total		909	

5.7. Diseño de Respuesta

Previamente a la distribución de muestras, y considerando que estas pueden ubicarse en zonas de borde o zonas poco representativas dentro de cada uno de los estratos, lo que posiblemente en algunos

casos podrían afectar la interpretación de los operadores al utilizar sensores de mejor resolución en casi la totalidad de los casos, se ha decidido generar un Buffer interno de 30 metros, (correspondiente a un pixel del sensor Landsat), de tal manera que se minimiza el efecto que los puntos no estén sobre los bordes de cada estrato o clase tal como se describe en la siguiente ilustración.

Ilustración 2. Aplicación de búffer inverso para determinación de unidades representativas de muestreo



Posteriormente se distribuye las muestras para las 4 clases de forma aleatoria de acuerdo con el diseño de muestreo, empleando puntos randómicos (

Ilustración 3); continuando con la asignación de estos puntos a las clases a evaluarse por un intérprete independiente, que no ha formado parte del equipo técnico que generó el mapa de cobertura y uso de la tierra.

El diseño de respuesta incluye escoger una unidad espacial de evaluación de la exactitud de la muestra (píxeles, bloques o segmentos), así como el uso de sensores de referencia de mayor exactitud en relación con las imágenes utilizadas para la creación del mapa, salvo en aquellos casos donde no se cuente con información de mejor resolución espacial, en aquellos casos, se ha utilizado el mismo sensor inicial (Landsat).



Ilustración 3. Puntos de muestreo por estratos a nivel nacional

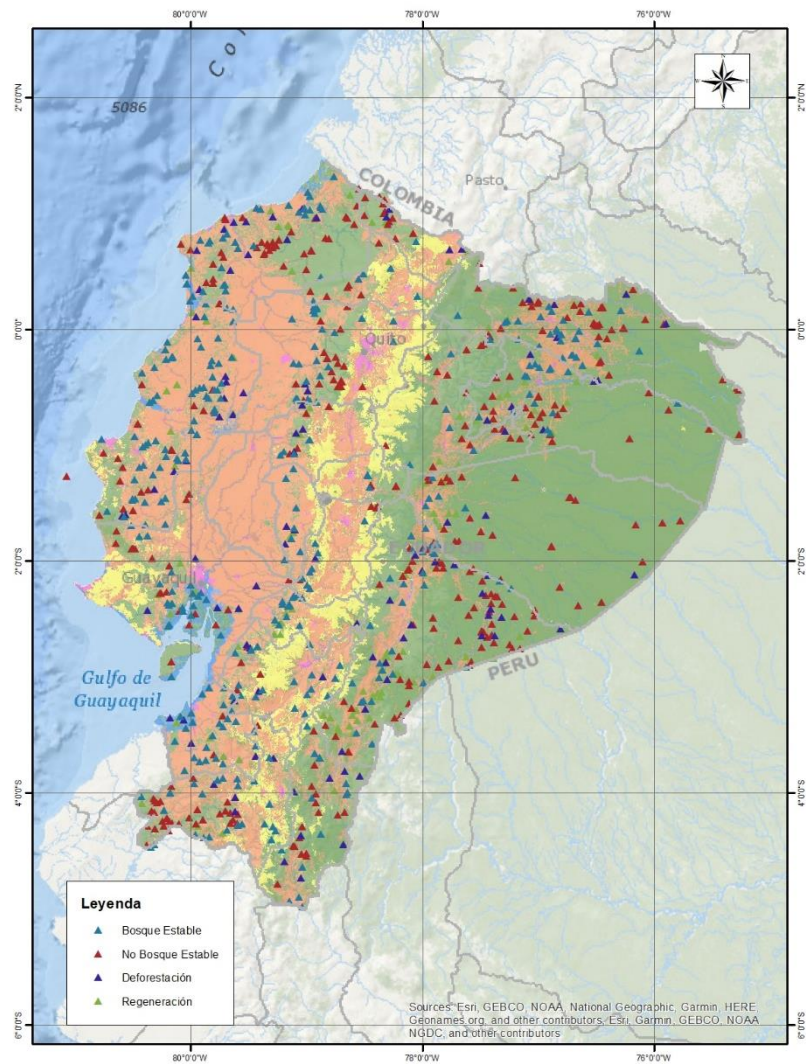


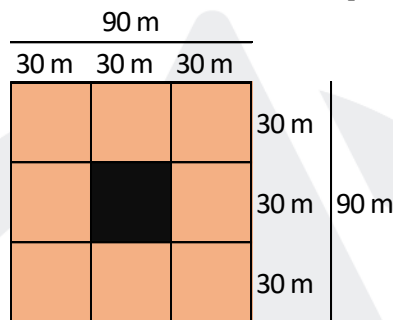
Ilustración 4. Diagrama de procesos.

5.8.1. UNIDAD ESPACIAL DE EVALUACIÓN

Al no existir un consenso en la comunidad científica sobre la asignación de la unidad espacial de evaluación (Stehman, 2012) y teniendo en cuenta que el analista es quien define el nivel de abstracción de acuerdo a la metodología y objetivo final del trabajo (Thomas & J.Jay, 2001), se ha definido la unidad espacial de evaluación al píxel, unidad comúnmente utilizada para realizar la evaluación de exactitud particularmente por la homogeneidad interna de esta unidad.

Tomando en consideración el documento de buenas prácticas (Olofsson, M.Foodu, et al., 2013), a la unidad de píxel se la agrupa con sus vecinos más cercanos, formando un clúster de 3x3, y considerando la resolución espacial de los insumos iniciales (imágenes Landsat), nos queda un clúster de 90 x 90 metros, dándonos una superficie aproximada de 1 hectárea tal como se observa en la Ilustración 5:

Ilustración 5. Unidades de interpretación



El clúster de 3x3 píxeles es la unidad de muestreo para interpretación.

5.8.2. HOMOLOGACIÓN DE CRITERIOS

Previo la interpretación de puntos se realizó una homologación de criterios de interpretación para mediante talleres en conjunto con todo el equipo técnico participante, en el caso de coberturas complejas se utiliza información secundaria de apoyo como:

- Mapa de Ecosistemas del Ecuador Continental - MAE
- Curvas de nivel del Instituto Geográfico Militar (1:50.000)
- Modelo Digital del Terreno del Instituto Geográfico Militar

Esto, con la finalidad de mejorar el criterio la interpretación. En caso de zonas sin información de imágenes de alta resolución proporcionadas por el MAE u otras imágenes de alta resolución, se procederá a la interpretación directa en imágenes Landsat proporcionada por el MAE (Véase Anexo 1).

5.8.3. INTERPRETACIÓN DE PUNTOS

Una vez distribuidos los puntos por estrato, cada operador procede a la interpretación de estos, estableciendo una cuota de producción por día y por semana permitiendo la determinación de la productividad de cada técnico (Véase Anexo 1).



5.8.4. CONTROL DE CALIDAD

A partir de los puntos interpretados por cada operador, cada día se selecciona un grupo de puntos de manera aleatoria, por parte de un segundo intérprete (pudiendo ser externo o parte del equipo, pero en ningún caso el mismo intérprete se evalúa), en relación con el 10% de puntos interpretados, sobre esta muestra se validará la información interpretada, pudiendo esta ser “APROBADA” o sujeta a revisión “REVISAR”.

Adicionalmente, se evalúa con una confianza del 95% en las muestras analizadas. Es decir que, si existe más del 10% de errores en el muestreo seleccionado, el operador evaluado revisa la totalidad de la interpretación generada en el día.

Un segundo control de calidad fue realizado por un supervisor al avance del 30%, 60% y 100%, dependiendo de los resultados individuales de exactitud por estrato de cada operador, de igual manera se automatizó este procedimiento en la plataforma web.

6. Resultados

El análisis de resultados se evalúa a través de una matriz de confusión, que determina la confiabilidad del mapa, mediante el porcentaje de la exactitud del usuario, del productor, global, proporción de área, y áreas ajustadas; dicho análisis se basa en la interpretación visual realizada con las imágenes de referencia (Landsat), en donde se contrasta los resultados de la fotointerpretación visual con los datos de los mapas de cobertura y uso de la tierra para los períodos de estudio.

6.1. Matriz de Confusión de Conteo de Muestras

La matriz de confusión es una tabla de doble entrada en la cual se colocan en las filas y columnas las distintas clases a ser evaluadas, la diagonal expresa el número de coincidencias que se produce entre las dos fuentes el mapa y la realidad (Véase 4.5), de tal manera que tenemos en las filas el conteo de muestras por clases y en las columnas el conteo de muestras por clases de referencia.

En la siguiente Tabla 6 se visualiza la matriz resultado con el conteo de muestras para todas las clases analizadas.

Tabla 6. Matriz de confusión de conteo de muestras

Clase	Bosque Estable	No Bosque Estable	Deforestación	Regeneración	Wi	Área Total (Ha)	Área Ajustada
Bosque Estable	0.4377	0.0448	0.0154	0.0028	0.501	12,466,140.39	14,563,667
No Bosque Estable	0.144	0.3118	0.0336	0.0014	0.491	12,218,824.17	8,926,298
Deforestación	0.002	0.0015	0.003	0.0001	0.007	165,057.30	1,298,295
Regeneración	0.0012	0.0004	0.0002	0.0002	0.002	48,199.14	109,961
Total	0.5849	0.3585	0.0521	0.0044	1	24,898,221.00	24,898,221

6.2. Matriz de Confusión con Proporciones de Área ($P_{ij}^{\wedge}$)

La matriz de confusión con proporciones de área se obtiene al calcular la proporción de área para cada uno de los conteos de muestra por clase a través de la ecuación [6]

$$P_{ij}^{\wedge} = W_i \frac{n_{ij}}{n_i} \quad [6]$$

Donde:

W_i = Proporción de área cartografiada de la clase.

n_{ij} = conteo de muestras de la clasificación de los datos de referencia y la clase correspondiente del mapa.

n_i = conteo total de muestras para los datos del mapa en una clase determinada.

Tabla 7. Matriz de confusión con proporciones de área

Clase	Bosque Estable	No Bosque Estable	Deforestación	Regeneración	Wi	Área Total (Ha)
Bosque Estable	0.4377	0.0448	0.0154	0.0028	0.501	12,466,140.39
No Bosque Estable	0.144	0.3118	0.0336	0.0014	0.491	12,218,824.17
Deforestación	0.002	0.0015	0.003	0.0001	0.007	165,057.30
Regeneración	0.0012	0.0004	0.0002	0.0002	0.002	48,199.14
Total	0.5849	0.3585	0.0521	0.0044	1	24,898,221.00

6.2.1. ÁREAS AJUSTADAS.

Las áreas pueden ser ajustadas tal como se describe en la Tabla 8, de cada una de las clases a partir de la matriz de confusión de proporciones de área, empleando la siguiente ecuación [7]

$$\hat{A}_j = A_{tot} \sum W_i \frac{n_{ij}}{n_i} \quad [7]$$

Dónde:

$\hat{A}_j$ = área ajustada de cada clase

A_{tot} = área total del mapa

$W_i \frac{n_{ij}}{n_i}$ = ecuación [6]

Tabla 8. Áreas ajustadas de cada clase del mapa de cambios

Clase	Pij	Área Ajustada
Bosque Estable	0.4377488	14,563,667
No Bosque Estable	0.1440095	8,926,298
Deforestación	0.0019888	1,298,295
Regeneración	0.0011809	109,961
Total	0.5577558	24,898,221

6.2.2. ERROR ESTÁNDAR DE LA ESTIMACIÓN DE ÁREA.

Es posible obtener el error estándar del área estimada, con la siguiente ecuación [8]:

$$S(\hat{A}_g) = A_{tot} \times S_{\hat{p}} \quad [8]$$

Donde:

A_{tot} = es el área total del mapa (hectáreas)

$S_{\hat{p}}$ = error estándar de la proporción de área

Siendo:

$$S_{\hat{p}} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 W_i^2 \frac{\frac{n_{ij}}{n_i} (1 - \frac{n_{ij}}{n_i})}{n_i - 1}} \quad [9]$$

Tabla 9. Error estándar del área estimada por cada clase

Clase	Error Estándar
Bosque Estable	0.014830416
No Bosque Estable	0.014719564
Deforestación	0.008053494
Regeneración	0.002421359

Calculando un 95% de intervalo de confianza, para cada clase aplicando la ecuación [10], tenemos las áreas ajustadas en la

Tabla 10

$$\hat{A}_g \pm 2 \times S(\hat{A}_g)$$

[10]

Tabla 10. Áreas ajustadas con un intervalo de confianza al 95%

Clase	Áreas ajustadas	Error estándar	Error estándar al 95%
Bosque Estable	14,563,667	369,251	± 738,502
No Bosque Estable	8,926,298	366,491	± 732,982
Deforestación	1,298,295	200,518	± 401,035
Regeneración	109,961	60,288	± 120,575
Total de Área	24,898,221		

Clase	Error-	Error+	Área original del mapa
Bosque Estable	13,825,165	15,302,169	12,466,140.39
No Bosque Estable	8,193,316	9,659,279	12,218,824.17
Deforestación	897,260	1,699,331	165,057.30
Regeneración	-10,614	230,536	48,199.14
Total de Área			24,898,221.00

6.3. Exactitud Global

La exactitud global o total, es obtenida a partir de las proporciones de área mediante la ecuación [1] ha sido calculada con el sumatorio de las coincidencias de las proporciones de área obteniendo una exactitud de **75,27%**.

6.4. Exactitud del Usuario

La exactitud del usuario relaciona los aciertos conseguidos del mapa de cobertura y uso de la tierra con respecto a los datos de referencia en una clase, con el total de asignados a esa clase por el mapa de cobertura, en porcentaje %, de acuerdo a la ecuación [2] en la siguiente Tabla 11, se observa el resultado de la exactitud del usuario en relación a la exactitud de referencia para U_i .

Tabla 11. Resultados de la exactitud del usuario

	PRECISION DE USUARIO	EXACTITUD REFERENCIAL	ERROR DE COMISIÓN
BOSQUE ESTABLE	0.87	0.90	0.13
NO BOSQUE ESTABLE	0.64	0.90	0.36
DEFORESTACION	0.46	0.70	0.54
REGENERACION	0.08	0.60	0.92

6.4.1. ERROR DE COMISIÓN.

El error de comisión implica que en el mapa se cometió el error de asignar las muestras a esa clase, ya que los datos de referencia no realizan esa clasificación.

La exactitud de usuario se relaciona inversamente con los errores de comisión, ya que al cometer errores de comisión se disminuye la exactitud de usuario.

6.5. Exactitud del Productor

La exactitud del productor representa los aciertos en una clase respecto al total de asignados a esa clase por los datos de referencia, en porcentaje %, en la siguiente, se observa el resultado de la exactitud del productor en relación a la exactitud de referencia para U_i .

Tabla 12. Resultados de la exactitud del productor

	PRECISION DE PRODUCTOR	EXACTITUD REFERENCIAL	ERROR DE OMISIÓN
BOSQUE ESTABLE	0.62	0.90	0.38
NO BOSQUE ESTABLE	0.74	0.90	0.26
DEFORESTACION	0.52	0.70	0.48
REGENERACION	0.67	0.60	0.33

Los datos se obtienen dividiendo la proporción de área para una clase del mapa y una clase de los datos de referencia, dividido por el total de proporción de área para una columna o clase de los datos de referencia tal como se describe en la ecuación [3].

6.5.1. ERROR DE OMISIÓN.

Los errores de omisión implican que se le ha asignado una clase a la muestra en los datos de referencia, pero en el mapa no coincide la clase, el mapa ha omitido ciertas muestras que están en los datos de referencia asignadas a esa clase.

Estos errores se relacionan inversamente con la exactitud del productor, ya que la presencia de estos errores disminuye la exactitud del productor.

7. Análisis de Resultados

7.1. Exactitud Global

La evaluación de exactitud elaborada de manera independiente ha determinado una exactitud global de 75,27%, el cual es un resultado satisfactorio al considerarse como un valor aceptable de exactitud en relación a los insumos utilizados y que está acorde a la orientación jurisdiccional internacional de REDD+ (es decir, VCS-JNR) que requiere una exactitud forestal / no forestal de al menos 75%.

Cabe recalcar, que el Marco de Varsovia para REDD+, que forma parte del Acuerdo de París de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) no establece umbrales para la exactitud temática.

7.2. Error de comisión.

De los resultados obtenidos las clases de regeneración y deforestación los valores de exactitud son bajos, especialmente para la clase de regeneración, circunstancia que posiblemente reflejen errores de comisión. Según estos resultados, existe una probabilidad de 54% que se clasificó un área como deforestada que no está deforestado. Este error indica que exista una tendencia de sobreestimar la deforestación y las emisiones correspondientes. Por otra parte, existe también una tendencia de subestimarla (ver el error de omisión en la siguiente sección).

7.3. Error de Omisión

De los resultados obtenidos las clases de regeneración, deforestación y bosque estable, los valores de exactitud son medianos, especialmente para la clase de deforestación, circunstancia que posiblemente reflejen errores de omisión. En el caso de la deforestación, existe una probabilidad de 48% que se clasificó un área como no-deforestada (bosque estable, no bosque estable, regeneración) aunque ha sido deforestado. Este error indica que al mismo tiempo existe una tendencia de subestimar la deforestación.

Los resultados confirman la tendencia que las exactitudes de las clases de uso estable son generalmente más altas que las de las clases de cambio (FAO, 2016). En el caso de la deforestación, los errores de comisión y omisión llegan a niveles similares.

7.4. Posibles fuentes de incertidumbre

Si bien, los resultados permiten una cuantificación de los errores de comisión y omisión y un ajuste de las áreas estimadas, este análisis no revela las fuentes de incertidumbre de las interpretaciones que afectan directamente los resultados obtenidos, entre los cuales figuran:

- Una estratificación poco eficiente;
- Una calibración de la detección de cambios sub-óptima (pre-procesamiento, clasificación);
- Desplazamientos entre datos multitemporales para la generación de los mapas;
- Desplazamientos entre los resultados a evaluar y los datos de referencia;
- Insumos o datos poco adecuados (resolución espacial, radiométrica, geométrica, temporal);
- Métodos de detección o clasificación poco adecuados; o
- Factores externos, por ejemplo, efectos de estacionalidad.

Eventualmente, una mejora de los resultados requerirá ajustes respecto a los insumos, métodos, y modificaciones del esquema de muestreo que deberían evaluarse en un proceso iterativo de pruebas y ajustes.

Uno de los factores más trascendentales en la incertidumbre de los resultados es el uso de insumos satelitales de mayor resolución los cuales pueden ser interpretados con mayor exactitud espacial y espectral, y en algunos casos con temporalidad distinta de evaluación frente a los insumos utilizados en la generación de mapa de cambio de cobertura y uso, en los cuales existen estratos con una dinámica cambiante de ocupación del suelo en un mismo periodo de análisis.

8. Conclusiones

Se elaboró una evaluación de exactitud independiente del mapa de cambio de cobertura y uso de la tierra 2017-2018 (metodología de nivel de pago intermedio), en el cual se pudo determinar a través de varios parámetros estadísticos la exactitud total y exactitud (usuario y productor) que tiene cada clase dentro del mapa.

Se puede concluir también que el uso de herramientas o plataformas web permiten obtener mayor eficiencia y control del proceso de evaluación, así como también facilitan un seguimiento en el avance o rendimiento de los trabajos a nivel global y por operador, permiten publicar resultados en tiempo real y analíticas que permiten entender por ejemplo cual fue el sensor y resolución más utilizado por operador por mapa por día, semana o mes, permite analizar los resultados de las matrices de confusión por operador lo que conlleva a dar seguimiento diario a la exactitudes de cada técnico y saber cuál no tiene criterios homogéneos, así como ejecutar controles de calidad automatizados, asignación aleatoria de muestras, visualización en cualquier equipo o móvil con acceso a internet y más. El coordinador tiene un total y permanente control de las interpretaciones de su equipo, brindando un complemento interesante al momento de analizar resultados y mejorar la calidad de evaluación de los mapas.

De igual manera el Manual de Operador (anexo 1) constituye una eficiente herramienta de trabajo que permite homologar los criterios y procesos utilizados por los operadores a cargo de la evaluación de los mapas de uso y cobertura de la tierra.

9. Recomendaciones

Los resultados de la evaluación global son aceptables, sin embargo, se recomienda buscar un factor numérico que compense el valor de exactitud del mapa de cambio de cobertura y uso de la tierra que ha generado el Ministerio de Ambiente considerando la materia prima utilizada.

Se recomienda implementar un sistema informático que estandarice y automatice el proceso de evaluación de exactitud, lo que permitirá optimizar recursos, homologar criterios y mejorar los índices de control de calidad de los mapas.

Se recomienda elaborar un manual de operador que permita la homologación de criterios y procesos utilizados por los operadores a cargo de la evaluación de los mapas de uso y cobertura de la tierra.

10. Bibliografía

- Chuvieco Salinero, E. (2008). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*.
- Cochran, W. G., & Wiley, J. (1977). *Sampling Techniques third edition*. (J. W. & Sons, Ed.) (third edit). New York, N.Y.
- Congalton, R. G. (1988). Using spatial autocorrelation analysis to explore the errors in maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (USA)*.
- FAO. (2016). *Map Accuracy Assessment and Area Estimation: A Practical Guide*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5601e.pdf>
- GOFC-GOLD (2014 Sourcebook, COP-19 version 2, Wageningen: GOFC-GOLD Land Cover Project Office, <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>
- GFOI 2016, Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en los bosques: Métodos y Orientación de la Iniciativa Mundial de Observación de los Bosques, Edición 2.0, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. https://www.reddcompass.org/documents/184/0/MGD2.0_Spanish/8c8e51d6-d6ba-4b86-baf8-81b577a3ae50
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data Published by: International Biometric Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2529310>. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V, Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V, & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies : Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Olofsson, P., M.Foody, G., Martin, H., Stephen, V. S., Curtis, E. W., & Wuldwe, M. A. (2013). *Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change*. *Remote Sensing of Environment* (Vol. 148).
- Peralta-Higuera, A., Palacio, J. L., Mas, G. B. J. F., Velázquez, A., Victoria, A., Bermúdez, R., ... Prado, J. (2001). Nationwide Sampling of Mexico with Airborne Digital Cameras: an Image Database to Validate the Interpretation of Satellite Data. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. In *18th Biennial Workshop on Color Photography & Videography in Resource Assessment*. Amherst, Massachusetts (pp. 1–9).
- Särndal, C.-E., Swensson, B., & Wretman, J. (1992). *Model assisted survey sampling*. Stockholm: Springer.
- Stehman, S. V. (2012). Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change. *Remote Sensing Letters*, 3(2), 111–120. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.541950>
- Thomas, B., & Jay, G. (2001). Object-oriented image analysis and scale-space: theory and methods for modeling and evaluating multiscale landscape structure. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34, 22–29.

- Verna, G. G. C., Del Puerto, A. L. A., Castellano, T. H. M., & Kindgard, A. (2016). INFORME FINAL DE EVALUACIÓN DE EXACTITUD TEMÁTICA DEL MAPA DE COBERTURA FORESTAL Y CAMBIO DE USO DE LA TIERRA PARA LOS AÑOS 2000, 2005 Y 2011. *ONU REDD+*.

11. Anexos

Anexo 1

Manual de Operador. Evaluación independiente de la exactitud de los datos de actividad para los pagos por resultados del programa REDD Early Movers (REM) Ecuador.

