




Geógrafa del Instituto Meteorológico Nacional - IMN (mcalvo@imn.go.cr)

La evaluación visual multi-temporal: innovación para el monitoreo de la cobertura y uso de la tierra

..... || **Marilyn Calvo Méndez
Randy Hamilton** ||



Asesor técnico de monitoreo forestal del Programa SilvaCarbon, Servicio Forestal de Estados Unidos – USFS (rhamilton.usfs@gmail.com)

 El Sistema Nacional de Monitoreo de la Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE) es un sistema que consta de varios componentes de monitoreo coordinados e integrados, cuyo objetivo es proporcionar información periódica de alta calidad sobre el estado de los recursos del ambiente. Uno de los componentes clave del SIMOCUTE corresponde a la evaluación visual multitemporal (EVM), denominado Sistema de Monitoreo por Puntos (SMPP). Este componente pretende proporcionar información consistente y periódica acerca de la composición de la cobertura o uso de la tierra, tanto a nivel nacional como regional y local, así como los cambios ocurridos en ambas propiedades del paisaje, entre intervalos determinados de tiempo.

La metodología de EVM se presenta como un complemento o alternativa viable a la forma tradicional de realizar el cálculo de las áreas de cobertura y uso de la tierra y cambios en ellas, que usualmente conlleva la elaboración de mapas por medio de algoritmos de clasificación complejos aplicados sobre imágenes de sensores remotos. En este sentido, es una metodología innovadora, cuyo diseño ha estado

a cargo de un grupo de personas expertas de diferentes instituciones de gobierno y de la academia, con la guía del Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS) y el programa SilvaCarbon, los cuales requieren este tipo de información para cumplir con sus compromisos nacionales e internacionales.

Algunos de los datos que podrían obtenerse del SMPP incluyen, por ejemplo, el área actual de tierras forestales, porcentajes de cobertura de árboles en áreas de pasto o cultivos, tasas de deforestación, y tasas de incremento en áreas cultivadas, entre otros muchos.

Para entender el SMPP, puede ser útil contrastarlo con el enfoque tradicional basado en mapas de uso de la tierra para calcular las áreas y entender los cambios. Por ejemplo, si se observa un mapa del año 2000 y se compara con uno actualizado para el año 2020, se puede ver la distribución de los diferentes usos y concluir que ha habido cambios en el paisaje, lo que le confiere a la herramienta un carácter más intuitivo. No obstante, calcular su incertidumbre requiere un paso adicional y se debe tomar en cuenta que los errores tienden a ser acumulativos. Esto significa que el resultado final debe considerar la suma de las incertidumbres de todos los mapas.

No obstante, hay muchas iniciativas nacionales e internacionales, tales como el Programa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (REDD+) y el Inventario de Gases de Efecto Invernadero del sector

agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés), que requieren información con un nivel de precisión conocido y que permita reducir la incertidumbre. Esto puede lograrse más fácilmente a través de Evaluación Visual Multitemporal, puesto que, el resultado es una base de datos con valores estimados del área de las diferentes categorías de cobertura y uso, junto con la incertidumbre asociada (p.ej., 1 523 ha \pm 450 ha de deforestación).

En el caso de los mapas, para obtener dicha información, se hace necesario usar sistemas de información geográfica (SIG), los cuales permiten realizar clasificaciones sobre imágenes de sensores remotos de media o baja resolución. Este proceso depende de los insumos y las herramientas utilizadas, que por sus limitaciones suelen generar error en el mapa, que en este caso puede ser difícil de medir.

Ahora bien, es posible cuantificar la exactitud y desarrollar límites de confianza para las áreas estimadas, pero requiere la extracción de una muestra de cada categoría para realizar un análisis de exactitud. Una manera de hacerlo es distribuyendo un conjunto de puntos aleatorios o sistemáticos dentro de todas las clases. Posteriormente, se visitan las parcelas en el campo o bien, se interpreta cada una sobre una imagen de alta resolución, usando una metodología que aporte información más precisa (Espejo, Green, Herold, Sanz-Sanchez, Jonckheere, Lindquist, McRoberts, Naesset, Olofsson, y Sannier, 2018; GFOI, 2016).

Con esta información es posible calcular la exactitud del mapa y estimar tanto las áreas, como el error asociado a cada clase (Olofsson, Foody, Herold, Stehman, Woodcock, y Wulder, 2014; Stehman, 2013). Es importante señalar que los datos obtenidos a partir de la muestra serán diferentes a los del mapa, con la ventaja de que, las áreas derivadas de la muestra sí tienen intervalos de confianza, por lo que el error puede ser conocido.

En contraste, el Sistema de Monitoreo por Puntos (SMPP) consiste en un muestreo directo de todas las tierras a través de interpretación visual de imágenes de alta resolución, para cuantificar las áreas de cada cobertura y uso de la tierra, los cambios y el nivel de incertidumbre asociado, sin el esfuerzo requerido para elaborar un mapa (Webb, Brewer, Daniels, Maderia, Hamilton, Finco, Megown, y Lister, 2012). Comparado con el análisis por medio de mapas, un enfoque basado en muestreo es más fácil de implementar y requiere menos experiencia, capacitación y tiempo que el procesamiento de imágenes para hacer el mapa; además, proporciona una forma más sencilla de estimar las áreas y sus incertidumbres. Por ejemplo, un pequeño equipo de especialistas con un alto nivel de entrenamiento podría tomar un año entero para crear un mapa de uso de la tierra razonablemente bueno para Costa Rica, en tanto que, el SMPP podría ser implementado por un equipo de tamaño similar con entrenamiento mínimo, en solo unos meses. Por otro lado, la interpretación humana se

desempeña mejor que los algoritmos automatizados de clasificación, por lo tanto, se esperarían estimaciones de mayor calidad (Obando, Calvo, Hernández, Quirós, Méndez, y Gómez, 2019).

El SMPP atiende a múltiples necesidades de diferentes instituciones que requieren información de la cobertura y uso de la tierra, así como sus respectivos cambios. Esta información puede servir como insumo para los reportes solicitados por diferentes iniciativas, tales como el Programa REDD+, las Comunicaciones Nacionales e Informes Bienales de Actualización requeridos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés), así como el Inventario Nacional Forestal, cuentas ambientales, la academia, entre otros.

El marco de muestro utilizado para realizar la Evaluación Visual Multitemporal del Sistema de Monitoreo por Puntos (SMPP), es una malla hexagonal sistemática de 10 600 parcelas, con una distancia entre los puntos centrales de aproximadamente 2.4 km (**Figura 1**). La malla definida es una actualización de la construida para el Inventario Forestal Nacional (INF) 2012-2015 (SINAC, 2015); por tal razón, el subconjunto de parcelas visitado en el campo, como parte del INF, está co-localizado con las parcelas de este sistema. El tamaño definido de las parcelas es de 2 ha (141.4 x 141.4



Figura 1. La malla base (nivel 1) de 10 600 parcelas de Costa Rica.

m) (otros tamaños pueden ser usados, dependiendo de los requerimientos).

La metodología consiste en diseñar una grilla de 5 x 5 puntos (o más dependiendo de la necesidad) sobre cada parcela, visualizándolas sobre una imagen de alta resolución (**Figura 2**). Un analista con experiencia en el campo revisa los puntos de la grilla e interpreta la cobertura o el uso de la tierra de cada uno. Un software tal como *Collect Earth Online* (<https://collect.earth/>) u *OpenFORIS Collect Earth* (<http://www.openforis.org/tools/collect-earth.html>), ambos de fuente libre, facilita la interpretación y el registro de las clases.

Una vez interpretadas todas las parcelas, se calculan las proporciones promedio de cada clase de uso/cobertura. Además, con datos de dos periodos, se pueden obtener las áreas promedio de cada clase de cambio (p.ej., paisajes que pasan de

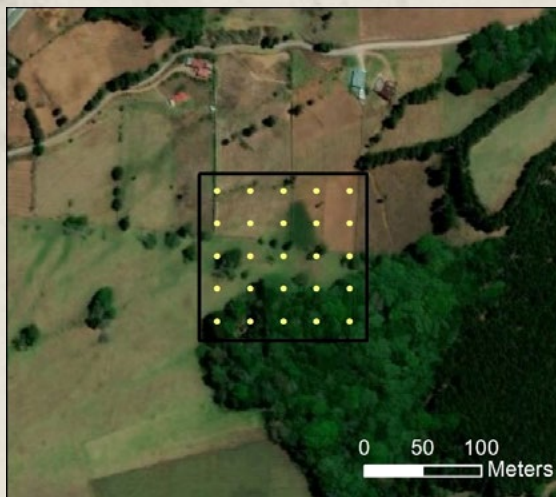


Figura 2. Una parcela de 2 ha con una grilla de 5 x 5 puntos.

bosque secundario a cultivos anuales), de las clases sin cambio (p.ej., pastos que permanecen como pastos) y de las varianzas asociadas. Al multiplicar dichas proporciones por el área total de estudio se obtienen estimaciones para cada categoría; en tanto que, la varianza permite calcular el error en las estimaciones (**Cuadro 1**). Interpretar tanto cobertura como uso de la tierra, permite disponer de datos más completos sobre la composición del paisaje, tal como el área o cantidad de árboles dentro de pastos o cultivos (**Cuadro 2**).

Por otro lado, si bien la malla provee una muestra lo suficientemente grande para realizar estimaciones precisas a nivel nacional, 10 600 puntos pueden ser insuficientes para estimar algunas áreas de interés sub-nacional o sectorial, así como aquellos cambios que representan áreas más pequeñas. Por lo tanto, para interpretar la cobertura y el uso de la tierra

Cuadro 1. Resultados preliminares de un análisis basado en el monitoreo por puntos que compara las áreas de los usos entre 2005 y 2019 y el error en las estimaciones.

Uso 2005	Uso 2019 (ha)						
	Pasturas Puras	Bosques	Pasturas	Pasturas Silvícolas	Pasturas Cultivo-Silvícola	Pasturas-Cultivos	Usos Mixtos
Pasturas Puras	673 ± 433	61 ± 61	1,531 ± 588	-	-	-	61 ± 61
Bosques	31 ± 31	11,386 ± 1,965	612 ± 294	428 ± 178	-	-	337 ± 149
Pasturas	-	-	1,775 ± 516	490 ± 255	-	-	245 ± 120
Pasturas Silvícolas	-	123 ± 123	918 ± 418	551 ± 261	61 ± 61	-	428 ± 178
Pasturas Cultivo-Silvícola	-	-	-	-	-	-	-
Pasturas-Cultivos	-	-	61 ± 61	-	-	61 ± 61	184 ± 184
Usos Mixtos	-	123 ± 86	306 ± 201	245 ± 120	61 ± 61	-	980 ± 363

con precisión, se propusieron dos mallas hexagonales equidistantes adicionales, que resultan de la densificación de la malla original, es decir, están diseñadas de manera que queden anidadas en ella. De esta manera, cuando el análisis requiera información de todo el país o más general, se puede usar la malla inicial, denominada Malla Nivel 1. En tanto que, para un análisis a escala subnacional o sectorial, o específicamente sobre las áreas de

cambio, se puede utilizar tanto la Malla Nivel 2 (provincias, áreas de conservación, etc.), como la Malla Nivel 3 (cantones, distritos, etc.) según corresponda. Asimismo, los tres niveles de mallas se pueden complementar entre ellos para obtener mejores resultados (Obando *et al.*, 2019).

Cuadro 2. Resultados preliminares de un análisis basado en el monitoreo por puntos mostrando la composición de las coberturas en los usos en 2019 en la cuenca Madre de Dios (Vega-Araya *et al.*, 2019).

Usos de la Tierra	Coberturas de la Tierra (ha)							
	Árboles	Agua	Arbustos	Herbáceas	Nubes y Sombra	Otra vegetación	Palmas	Sin vegetación
Bosques	11 876	0	123	0	0	0	0	61
Cultivos Puros	0	0	61	123	0	6 366	61	0
Cultivos-Pastos	0	0	0	123	0	123	0	0
Cultivos Silvo-Pasturas	0	0	0	0	0	61	0	0
Cultivos-Silvícolas	0	0	0	0	0	61	0	0
Cultivos	0	0	0	245	123	6 611	61	0
Infraestructura	0	0	0	0	0	0	0	61
Pasturas Cultivo-Silvícola	61	0	123	61	0	0	0	61
Pasturas-Cultivos	61	0	123	245	0	61	61	0
Pasturas Puras	0	0	0	857	0	0	0	0
Pasturas Silvícolas	918	0	428	1 041	0	0	0	123
Pasturas	428	0	490	4 897	0	61	61	245
Silvo Cultivo-Pasturas	123	0	61	0	0	0	0	0
Silvo Cultivos	61	0	0	0	0	0	0	0
Silvo Pasturas	1 102	0	612	428	0	0	0	61
Usos Mixtos	1 224	61	367	735	123	490	0	428

Finalmente, una de las grandes ventajas del SIMOCUTE es el alto nivel de coordinación e integración de sus diferentes componentes, por tal razón, la información generada en cada uno será comparable, compatible y sinérgica. El Sistema de Monitoreo por Puntos, por ejemplo, está vinculado con el Inventario Nacional Forestal (IFN) y es complementario al mapeo. La malla de parcelas proporciona un marco común de muestreo para la recolecta de todo tipo de datos relacionados con la cobertura de la tierra, el uso de la tierra o los ecosistemas terrestres. Usar la malla de referencia del IFN como base para este componente vincula cada parcela del inventario de campo con una de las parcelas usada para la EVM. Esto permite el uso de técnicas de muestreo sinérgicas que agregan valor a ambos procesos. Esta metodología también puede generar datos de entrenamiento y validación para el proceso de mapeo cuando sea necesario construir un mapa. La integración entre los componentes del SIMOCUTE produce información robusta y compatible que agrega valor al sistema entero.

Referencias

- Espejo, A., Green, C., Herold, M., Sanz-Sanchez, M.J., Jonckheere, I., Lindquist, E., McRoberts, R., Naesset, E., Olofsson, P., y Sannier, C. (2018). Summary of Country experiences and critical issues related to estimation of activity data. Global Forest Observations Initiative. Rome. 34 p. Disponible en: https://www.reddcompass.org/documents/184/0/ActivityData_Inference_FAQ.pdf/8e93e100-c46b-4ff9-946b-6d0972fd50da.
- 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. 254 p.
- Obando, G., Calvo Méndez, M., Hernández Sánchez, G., Quirós Ramírez, G., Méndez Chinchilla, R., Gómez, A. (Eds.) (2019). Metodología de Interpretación visual de puntos para la estimación de las áreas de cambio de uso y cobertura de la tierra en Costa Rica. Manuscrito inédito. 36 p.
- Olofsson, P., Foody, G.M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E., y 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>
- Stehman, S. V. (2013). Estimating area from an accuracy assessment error matrix. *Remote Sensing of Environment*, 132, 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.01.016>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) – Programa REDD-CCAD-GIZ. (2015). Cartografía base para el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica 2013-2014. Preparado por Ortiz, E. et al., como consultor para el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica, dentro del marco del Programa REDD/CCAD/GIZ. San José, Costa Rica. 52 p.
- Vega-Araya, M., Patterson, P., Frescino, T., Hamilton, R. (2019) Inventario basado en interpretación de puntos de muestreo para dos tiempos y su programación en R. Manuscrito inédito. 145pp.
- Webb, J., Brewer, C.K., Daniels, N., Maderia, C., Hamilton, R., Finco, M., Megown, K.A., Lister, A.J. (2012). Image-based change estimation for land cover and land use monitoring. In Morin, R.S. and Liknes, G.C. (Eds.), Moving from Status to Trends: Forest Inventory and Analysis Symposium 2012, Baltimore, MD. General Technical Report NRS-P-105. USDA Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA. pp. 46-53. Disponible en: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/42307>