

OBSERVATORIO REGIONAL AMAZÓNICO

MEMORIA TECNICA

Caso de Estudio 1:

Alertas de Deforestación y Quemas, en la Cuenca Amazónica



2022



CONTENIDO

1. Resumen.....	3
2. Datos.....	3
3. Metodología....	5
4. Conclusiones	17
5. Bibliografía.....	17

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1 . Grillas o Tiles de Sentinel-2 en cuenca amazónica	4
Figura 2 Distribución espectral de bandas.	5
Figura 3 Resoluciones espectrales por resoluciones espaciales.....	5
Figura 4 Mosaicos por periodo.....	7
Figura 5 Mosaicos por periodo en zona de cicatriz de quema.....	8
Figura 6 NDVI's Calculados	9
Figura 7 WorldCover 10 m 2020 – Sud America	11
Figura 8 Caso de cicatriz de quema en Brasil	13
Figura 9 Caso de cicatriz de quema en Brasil	14
Figura 10 Deforestación en Bolivia	16

Caso de Estudio: Alertas de Deforestación y Quemas, en la Cuenca Amazónica

1. Resumen

El caso de estudio presenta una metodología para las alertas de deforestación e incendios en la cuenca amazónica. Se consideran como fuente de datos, imágenes satelitales del programa Sentinel-2, que constituyen en las imágenes de libre acceso con ventajosa resolución, espacial, temporal, espectral y radiométrica. La metodología cuenta con tres partes fundamentales, el pre-procesamiento de datos satelitales, el análisis de imágenes y finalmente la interpretación de los resultados obtenidos. Toda la metodología fue desarrollada en la plataforma de Google Earth Engine [1], permitiendo de esta manera dar el seguimiento del planteamiento metodológico. Respecto al pre-procesamiento de datos satelitales, inicialmente se ha previsto que todas las imágenes satelitales cuenten con correcciones geométricas y radiométricas, posteriormente se plantea la construyeron mosaicos de imágenes libre de perturbaciones por nubes. El análisis de imágenes, constituyo en el cálculo del Índice de Vegetación de diferencia normalizada en base a los mosaicos construidos, asimismo se realizó una normalización temporal de este índice para obtener un mejor realce en las imágenes de alertas de deforestación o quemas. Finalmente tras la interpretación de resultados, se establecieron umbrales que permiten estimar las zonas de alerta de deforestación o quemas.

2. Datos

Como fuente de datos para el presente caso de estudio se utilizaron Imágenes del Programa Sentinel-2 [2], estas imágenes tienen una cobertura global y se pueden obtener cada 5 días, asimismo a la fecha resultan las imágenes satelitales de libre acceso con mayor resolución, espacial, espectral, temporal y radiométrica.

Sentinel-2 comprende una constelación de dos satélites en órbita polar colocados en la misma órbita heliosíncrona, en fase de 180° entre sí. Su objetivo es monitorear la variabilidad en las condiciones de la superficie terrestre y su amplio ancho de franja (290 km) y tiempo de revisita alto (10 días en el ecuador con un satélite y 5 días con 2 satélites en condiciones sin nubes, lo que da como resultado 2-3 días en latitudes medias) apoyará el seguimiento de los cambios en la superficie de la Tierra.

Las imágenes de Sentinel-2 están distribuidas por Grillas o Tiles que son de tamaño fijo, junto con una sola órbita. Un gránulo es la mínima partición indivisible de un producto (que contiene

todas las bandas espectrales posibles). Estas grillas tienen una dimensión de 100 x 100 km² en un sistema de proyección UTM, con sistema de referencia WGS84.

A continuación, en la siguiente imagen se puede observar en polígonos blancos la distribución de las Grillas o *Tiles*, a lo largo de la cuenca amazónica (polígono en azul) y el área biogeográfica amazónica (polígono verde). Un total de 727 grillas cubren a la cuenca amazónica.

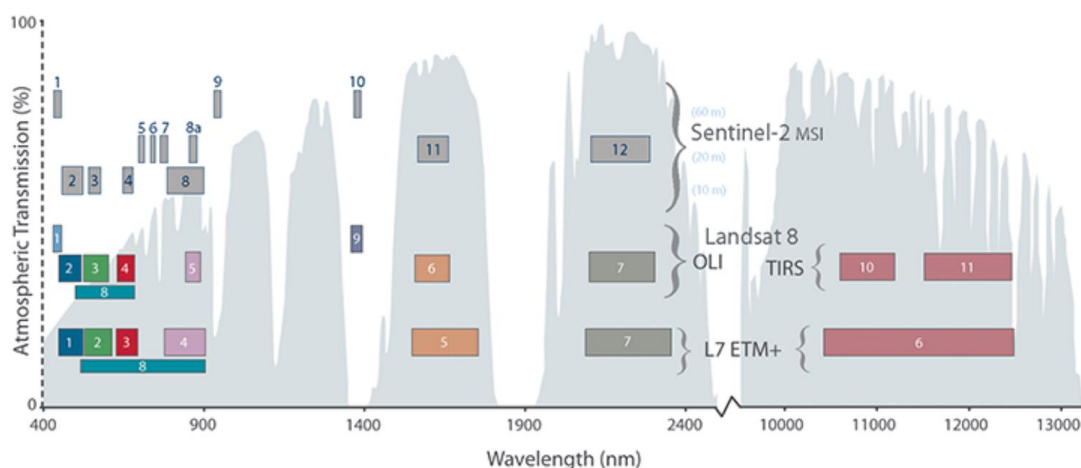
Figura 1 . Grillas o Tiles de Sentinel-2 en cuenca amazónica



Fuente: Elaboración propia

Las imágenes de Sentinel-2 contienen un total de 13 bandas espectrales: cuatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m y tres bandas a 60 m de resolución espacial. Tal como se puede observar en la imagen a continuación las bandas espectrales se encuentran en longitudes de onda del visible, infrarojo cercano y e infrarojo de onda, en ese sentido deja la posibilidad de realizar comparaciones con imágenes Landsat o Spot.

Figura 2 Distribución espectral de bandas.



Fuente: Landsat Science 2022

Asimismo resulta importante tener en cuenta que las diferentes bandas de las imágenes Sentinel-2, cuentan con diferentes resoluciones espaciales. En tal sentido se describe las diferentes longitudes de onda de las bandas por las diferentes resoluciones espaciales.

Figura 3 Resoluciones espectrales por resoluciones espaciales

10 metros de resolución espacial		20 metros de resolución espacial		60 metros de resolución espacial	
Band number	Central wavelength (nm)	Band number	Central wavelength (nm)	Band number	Central wavelength (nm)
2	490	5	705	1	443
3	560	6	740	9	945
4	665	7	783	10	1 375
8	842	8b	865		
		11	1 610		
		12	2 190		

Fuente: adecuado de Sentinel-2, User Handbook

3. Metodología

La metodología planteada permite dar alertas de deforestación y quemas, zonificando las áreas que pueden corresponder a deforestación o quemas, esta metodología ha sido desarrollada e implementada sobre la plataforma de Google Earth Engine. Tal como se describe en [3], existen un variedad de técnicas para realizar el monitoreo perturbaciones (quemas, deforestación, y degradación) en los bosques, para el presente caso de estudio se plantea el desarrollo de la técnica de detección de cambios basados en la trayectoria de una variable, este enfoque utiliza mediciones temporales de variables espectrales para detectar cambios ocasionados por perturbaciones (quemas y deforestación),

Se han propuesto muchos enfoques para detectar cambios en los bosques utilizando series temporales de datos satelitales de resolución espacial media (por ejemplo Landsat-8). Como se describe en [4] y [5] las series temporales de Landsat se han utilizado particularmente para la detección de cambios en la última década. Bajo este contexto, y en consideración a las ventajas del programa Sentinel-2, para la presente metodología plantea el desarrollo de una técnica de medición de perturbaciones de basados en datos satelitales Sentinel-2, explotando de esta manera las mejoras respecto a la resolución espacial y espectral de Sentinel-2 frente a Landsat-8, siguiendo las recomendaciones de diferentes estudios [6], [7], [8], [9], [10] [11].

La metodología planteada, se basa en al análisis temporal del comportamiento del NDVI [12], calculado a partir de las bandas Rojo e Infrarrojo de Sentinel.-2. Los cambios del comportamiento del NDVI pueden ser causados por el comportamiento fenológico de la vegetación como también por perturbaciones causadas por como quemas y deforestación, los cambios del comportamiento de NDVI fueron escalados de 0 a 100, siendo los valores mayores a 70, correspondientes a quemas o deforestación.

Se plantea el uso del NDVI debido a que tras la interpretación y análisis de este índice se evidencio que el NDVI permite la discriminación conjunta de quemas y deforestación, cumpliendo de esta manera los objetivos del presente caso de estudio. Asimismo, consecuente a diferentes investigaciones [4], [5], [13], [14], [15], [16], [17], [18] [19] y [20], se evidencio el buen funcionamiento de este índice para el análisis temporal y detección de perturbaciones en la vegetación.

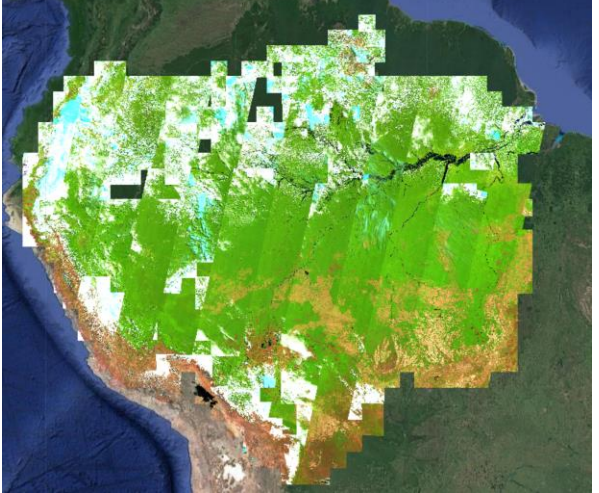
La metodología plantea una serie de tareas que pueden agruparse en tres partes, a continuación se describe cada uno de estos.

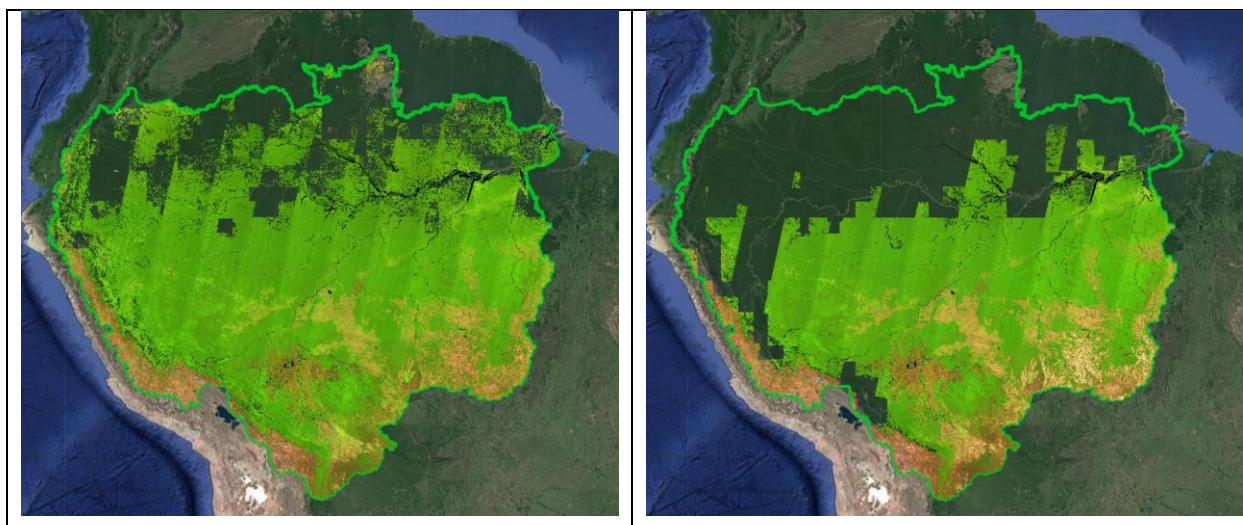
a) Pre-procesamiento de datos

Inicialmente se ha realizado las operaciones para contar con imágenes de toda el área de estudio (cuenca amazónica) con un alto nivel de corrección geométrica y con un nivel de corrección radiométrica BOA (*Bottom of Atmosphere*).

Posteriormente se ha trabajado en la construcción de mosaicos libres de perturbaciones por nubes. Los mosaicos fueron construidos para dos periodos. El primer periodo de tiempo, corresponde al periodo anterior al periodo de análisis, debido a la disponibilidad de imágenes satelitales, se evidencio que un mes, resulta ideal para este periodo. El segundo periodo corresponde al periodo de análisis de alertas de deforestación o quemas, este periodo puede ser por días, semanas o meses, de acuerdo al periodo de interés. Debido a la disponibilidad de datos entre 1 y 2 semanas resultan ideales para este periodo.

Figura 4 Mosaicos por periodo

Mosaico periodo 1 (1 mes) – Sin Procesamiento	Mosaico periodo 2 (2 semanas) – Sin Procesamiento
	
Mosaico periodo 1 (1 mes) – con Procesamiento	Mosaico periodo 2 (2 semanas) – con Procesamiento



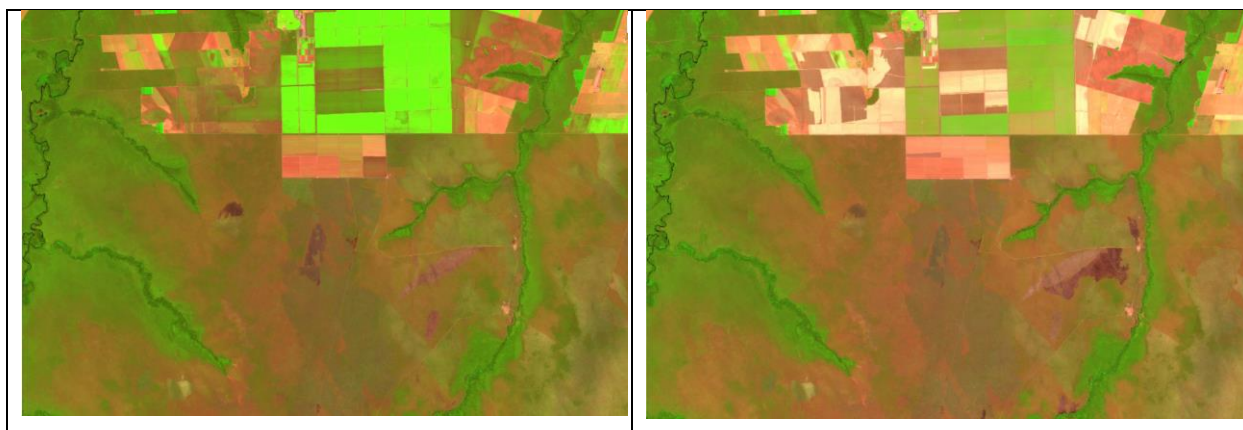
Fuente: elaboración propia

Para la construcción de un mosaico del primer periodo, al menos 2000 imágenes Sentinel-2 han sido procesadas, sin lugar a duda este procesamiento demanda altas capacidades computacionales, que han sido posibles cumplir gracias al trabajo sobre la plataforma Google Earth Engine. Como se puede observar en los mosaicos corregidos, se han removido perturbaciones causadas por la presencia de nubes.

En el mosaico del periodo 1 (Base), construido a partir de imágenes satelitales del 15 de junio al 15 de julio (un mes), se puede apreciar algunas cicatrices de quemas y cultivos que se encuentran en diferentes fases. Por otro lado en el mosaico del periodo 2 (análisis), construido con imágenes del 15 al 30 de julio (dos semanas) es posible evidenciar que en este último periodo existieron quemas nuevas y las quemas del periodo 1, se han regenerado. En este sentido el pre-procesamiento de datos culminaría, para dar lugar a la siguiente parte de la metodología.

Figura 5 Mosaicos por periodo en zona de cicatriz de quema

<i>Mosaico del periodo 1, con Procesamiento, Brasil</i>	<i>Mosaico del periodo 2, con Procesamiento, Brasil</i>
---	---



Fuente: elaboración propia

b) Análisis de Imágenes

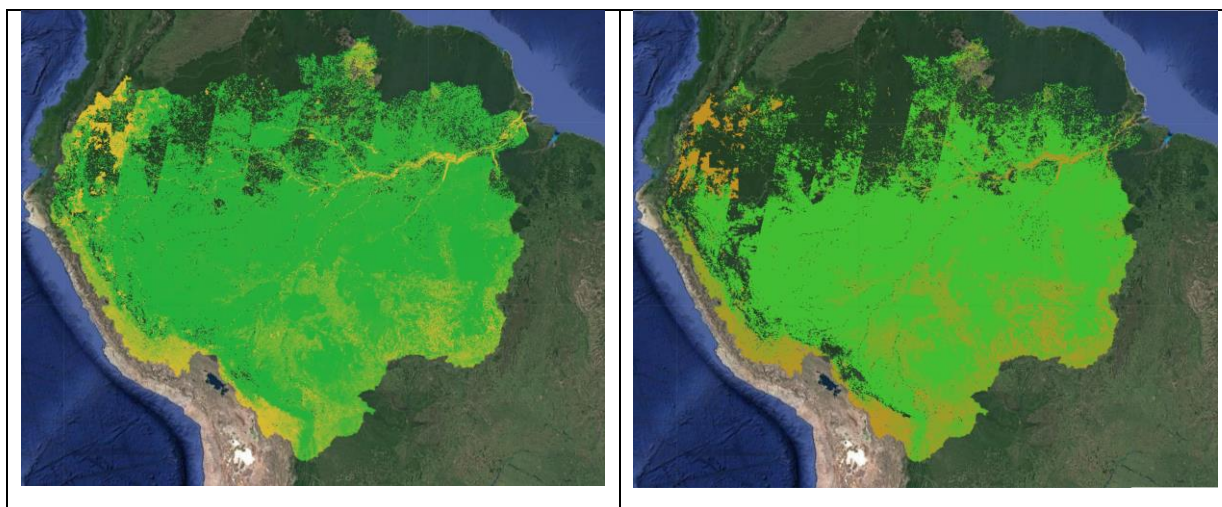
Contando con los mosaicos libres de perturbaciones para los dos periodos, se ha trabajado en la zonificación de áreas nuevas de deforestación o quemas. En ese sentido para una mejor identificación y realce de las zonas de deforestación o quemas, se plantea realizar evaluaciones a partir del Índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), para lo cual se ha realizado el cálculo del NDVI a partir de los mosaicos para los dos periodos.

Para el cálculo del NDVI se ha empleado la ecuación general, utilizando las bandas del Rojo e Infrarrojo dl mosaico de imágenes Sentinel-2, a continuación se describe la fórmula utilizada.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Figura 6 NDVI's Calculados

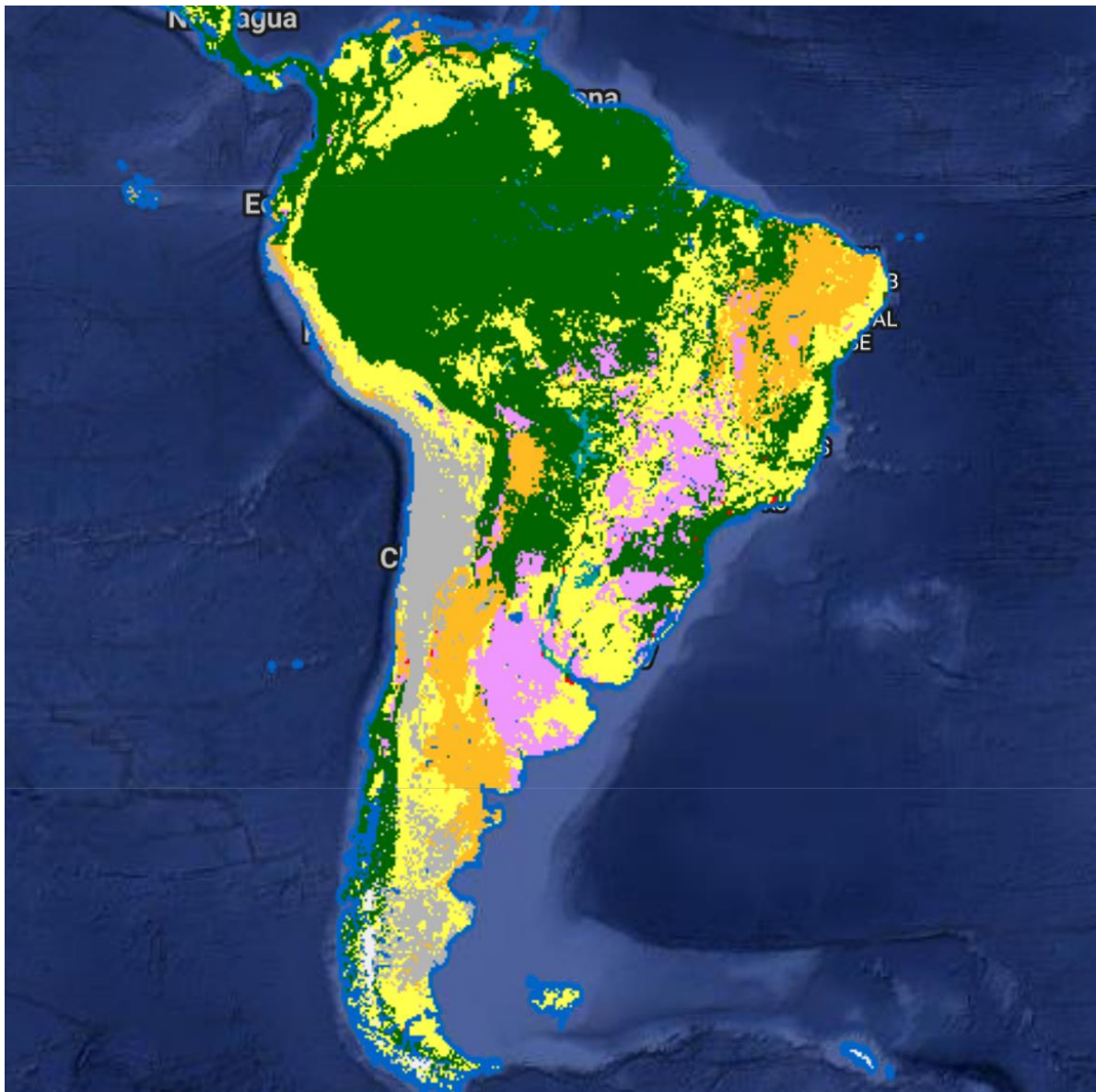
NDVI del periodo 1 (Base)	NDVI del periodo 2 (Análisis)
---------------------------	-------------------------------



Fuente: elaboración propia

A partir de los NDVI's calculados para los dos periodos, fue posible evaluar los cambios por cada pixel, debido a la deforestación o quemas, sin embargo resulta importante tener en cuenta que la actividades agropecuarias (siembra, cosecha de cultivos, etc.) pueden ser confundidos con deforestación o quemas, en ese sentido resulto necesario discriminar y eliminar las zonas agropecuarias y u otras que puedan generar confusión con las alertas de deforestación o quemas, para este fin se utilizó la información de cobertura global de la Agencia Espacial Europea del 2020 (*The European Space Agency WorldCover 10 m 2020*).

Figura 7 WorldCover 10 m 2020 – Sud America



Fuente: elaboración propia

c) Interpretación de Resultados

Finalmente tras la evaluación de diferentes regiones de la cuenca del Amazonas, se evidencia la variedad de bosques y vegetación, que van desde los bosques tropicales y húmedos hasta los bosques caducifolios y secos por temporadas. En ese sentido las variaciones de NDVI que nos permitan zonificar deforestación o quemas para un periodo determinado, han sido normalizadas para que el algoritmo funcione en la totalidad de la cuenca Amazónica, asimismo

esto ha permitido realzar y zonificar con mayor precisión las zonas de deforestación o quemas. A continuación se muestran una serie de ejemplos.

Cicatrices de Quemadas

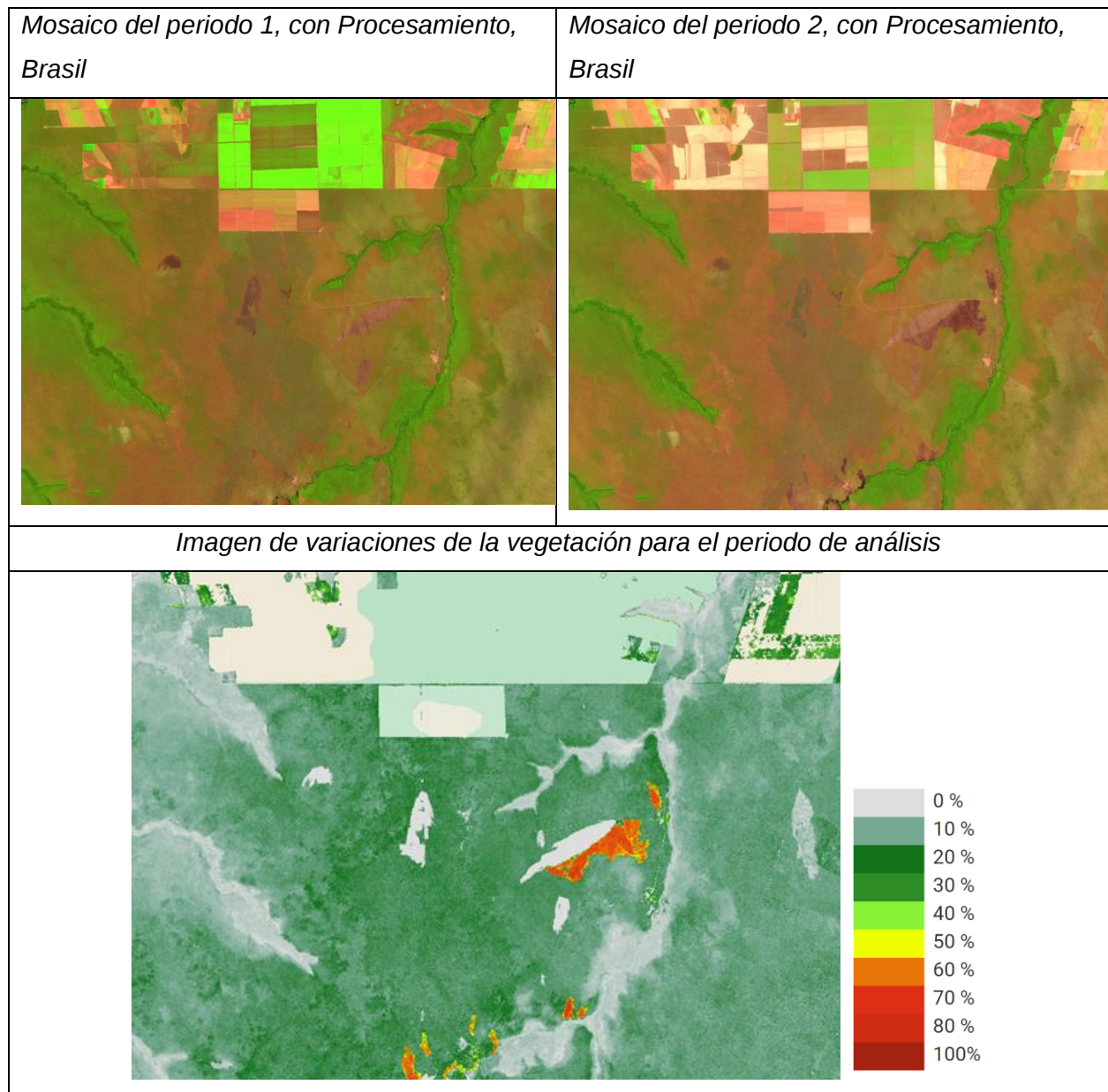
Para el ejemplo a continuación se analizó las zonas de cicatriz de quemadas registradas entre el 15 de julio al 31 de julio (dos semanas). En ese sentido el Mosaico Base correspondiente al periodo 1, fue construido con imágenes capturadas entre el 15 de junio al 15 de julio (un mes). Por otro lado, el Mosaico de Análisis correspondiente al periodo 2, fue construido con imágenes capturadas del 15 de julio al 31 de julio (dos semanas).

Como se puede observar en la imagen a continuación, en el periodo de análisis se registraron nuevas quemadas, así mismo existió cambios por agricultura e incluso lugares quemados se regeneraron. El objetivo del presente caso de estudio consistió en zonificar solamente las áreas de deforestación o quemadas en el periodo de análisis establecido para este caso del 15 al 31 de julio, tras la aplicación de las diferentes tareas mencionadas anteriormente se evidencia que se zonificaron solo las áreas de quemadas registradas en el periodo de análisis.

Se consiguió evitar confusiones entre quemadas y cambios por actividades agropecuarias u otros. Asimismo se excluye las quemadas que no fueron registradas dentro del periodo de análisis, mismas que ya se encuentran en un proceso de regeneración como se observa en el ejemplo. Asimismo como se puede observar las áreas con actividad agropecuaria se encuentran recortadas en la Imagen de variación

La imagen de variación de la vegetación, describe a los valores altos (mayores a 50) como pixeles que registran deforestación o cicatrices de quemadas como se observa en el ejemplo (fig. 8), por otra parte, valores menores a 50, pero mayores a 40 representarían procesos de degradación de la vegetación o bosques, valores inferiores a 40 dan referencia a cambios fenológicos (Vegetación Caducifolia). Para referencia de estos umbrales se analizaron diferentes tipos de vegetación distribuidas en los diferentes países que son parte de la Cuenca Amazónica.

Figura 8 Caso de cicatriz de quema en Brasil



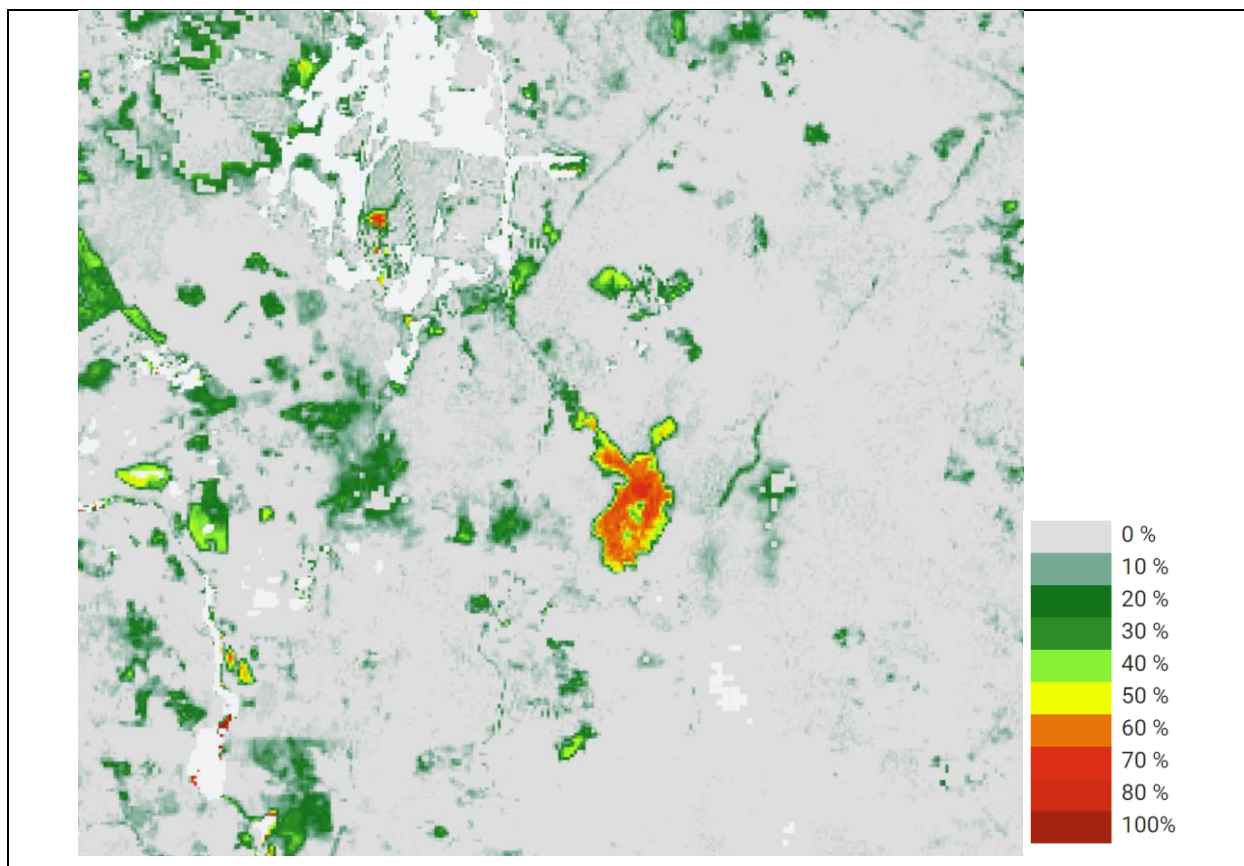
Fuente. Elaboración propia

A continuación se muestran los ejemplos en otra región dentro la cuenca amazónica, se aplicó las mismas fechas para los dos periodos. Se puede observar que los bosques y la vegetación en general son muy diferentes al ejemplo anterior, sin embargo el algoritmo permite zonificar de igual manera al anterior ejemplo, las áreas de deforestación o quemas registradas en el periodo de análisis.

En este sentido se evidencia que la metodología aplicada resulta adecuada para diferentes tipos de cobertura de bosques y vegetación de la cuenca amazónica. El mismo análisis fue realizado en las diferentes regiones de la cuenca, obteniendo los mismos resultados.

Figura 9 Caso de cicatriz de quema en Brasil





Fuente. Elaboración propia

Deforestación

Para el presente ejemplo, el mosaico del periodo 1 (Base) se construyó en base a imágenes capturadas del 15 de junio al 15 julio del 2021 (Un mes), por otro lado, el mosaico del periodo 2 (análisis), se construyó en base a imágenes capturadas del 15 de julio al 31 de julio (dos semanas).

Como se puede observar en la imagen a continuación, en el periodo de análisis se registraron áreas deforestadas, así mismo existió cambios por agricultura e incluso lugares quemados se regeneraron. El objetivo del presente caso de estudio consistió en zonificar solamente las áreas de deforestación o quemas en el periodo de análisis establecido para este caso del 15 al 31 de julio, tras la aplicación de las diferentes tareas mencionadas anteriormente se evidencia que se zonificaron solo las áreas de deforestación registradas en el periodo de análisis.

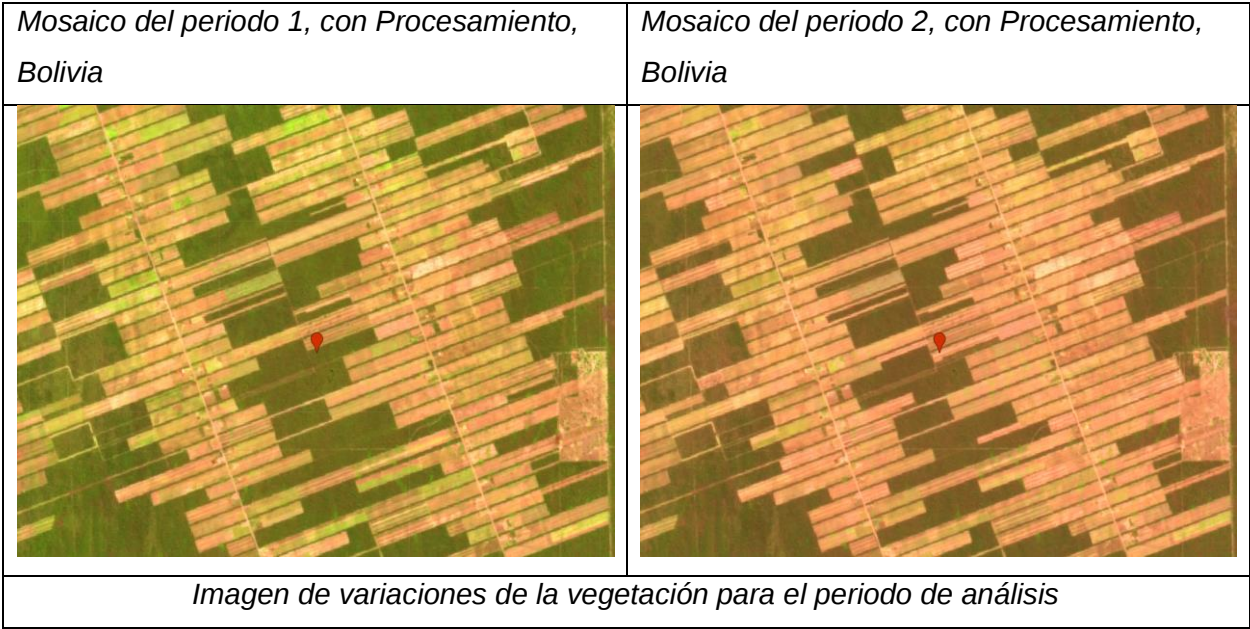
Se consiguió evitar confusiones entre áreas de deforestación y cambios por actividades agropecuarias u otros. Asimismo se excluye las áreas de deforestación que no fueron registradas

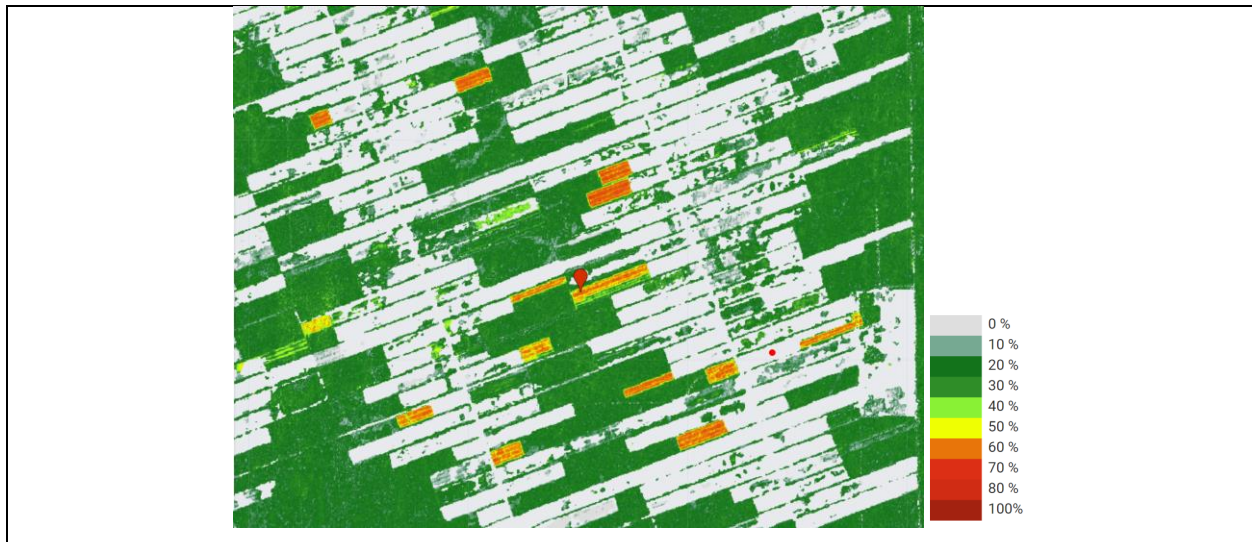
dentro del periodo de análisis, mismas que ya se encuentran en un proceso de regeneración como se observa en el ejemplo. Asimismo como se puede observar las áreas con actividad agropecuaria se encuentran recortadas en la Imagen de variación

La imagen de variación de la vegetación, describe a los valores altos (mayores a 50) como pixeles que registran deforestación o cicatrices de quemas como se observa en el ejemplo, por otra parte, valores menores a 50, pero mayores a 40 representarían procesos de degradación de la vegetación o bosques, valores inferiores a 40 dan referencia a cambios fenológicos (Vegetación Caducifolia). Para referencia de estos umbrales se analizaron diferentes tipos de vegetación distribuidas en los diferentes países que son parte de la Cuenca Amazónica

En este ejemplo se muestra áreas deforestadas en una región de Bolivia que pertenece a la cuenca amazónica. En esta región se encuentra un bosque y cobertura vegetal caducifolia, por lo que resulta importante discriminar cambios debido a la fenología de la vegetación. Como se observa en el siguiente ejemplo se puede observar el cambio del estado (de verde a seco) de la cobertura boscosa y vegetación, sin embargo la metodología aplicada en esta región ha generado los resultados esperados, zonificando las áreas de deforestación.

Figura 10 Deforestación en Bolivia





Fuente. Elaboración propia

4. Conclusiones

La metodología planteada permite zonificar áreas de deforestación o quemas de un periodo determinando a partir del procesamiento y análisis de imágenes satelitales de Sentinel-2. Es posible tener alertas de deforestación o quemas cada 5 días para la totalidad de la cuenca del Amazonas y para la totalidad de variedades de bosques y vegetación que se encuentran dentro de esta.

Esta metodología puede ser aplicada con otros programas satelitales (Landsat 8, 9, CBERS, etc), para contar con alertas de deforestación o quemas en menor tiempo. Para el presente caso de estudio se planteó una metodología que permita zonificar áreas de deforestación o quemas, y se logró el objetivo, sin embargo debe considerarse que resultaría ventajoso, ajustar la metodología por cada variable (Deforestación y quema), por separado, esto permitiría emplear índices (NBR, dNBR, RdNBR, NDFI, EVI, etc,) específicos para cada variable basados en sus diferencias.

El trabajo sobre la plataforma Google Earth Engine (GEE) permite el procesamiento y análisis de grandes cantidades de datos satelitales en tiempos cortos, sin lugar a duda, considerando la extensión geográfica de la cuenca del Amazonas, requiere contar de altas capacidades computacionales similares a GEE. Asimismo se personalizaron diferentes ecuaciones, procesos y correcciones, que permitieron obtener mejores resultados.

5. Bibliografía

1. Noel Gorelick, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau,

Rebecca Moore, Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, Remote Sensing of Environment.

2. SENTINEL-2 User Handbook
3. A. Banskota, N. Kayastha, M.J. Falkowski, M.A. Wulder, R.E. Froese and J.C. White, "Forest monitoring using Landsat time series data: a review", Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 40, pp. 362-384, 2014.
4. Kennedy, R.E.; Yang, Z.; Cohen, W.B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series
5. Shimizu, K.; Ota, T.; Mizoue, N. Detección de cambios en los bosques utilizando datos de series temporales de Landsat 8 y Sentinel-1 denso en bosques estacionales tropicales.
6. Dutrieux, L.P.; Verbesselt, J.; Kooistra, L.; Herold, M. Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia. ISPRS J.
7. Hamunyela, E.; Verbesselt, J.; Herold, M. Using spatial context to improve early detection of deforestation from Landsat time series. Remote Sens.
8. Hadi; Krasovskii, A.; Maus, V.; Yowargana, P.; Pietsch, S.; Rautiainen, M. Monitoring Deforestation in Rainforests Using Satellite Data: A Pilot Study from Kalimantan, Indonesia.
9. Reiche, J.; de Bruin, S.; Hoekman, D.; Verbesselt, J.; Herold, M. A Bayesian Approach to Combine Landsat and ALOS PALSAR Time Series for Near Real-Time Deforestation Detection.
10. Hansen, M.C.; Loveland, T.R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data.
11. Verhegghen, A.; Eva, H.; Ceccherini, G.; Achard, F.; Gond, V.; Gourlet-Fleury, S.; Cerutti, P. The Potential of Sentinel Satellites for Burnt Area Mapping and Monitoring in the Congo Basin Forests.
12. Rouse, J.W.; Haas, R.W.; Schell, J.A.; Deering, D.H.; Harlan, J.C. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation; NASA/GSFC: Greenbelt, MD, USA, 1974.
13. Forkel, M.; Carvalhais, N.; Verbesselt, J.; Mahecha, M.D.; Neigh, C.S.R.; Reichstein, M. Trend Change Detection in NDVI Time Series: Effects of Inter-Annual Variability and Methodology.
14. Y. Gao, A. Quevedo and J. Loya, "Forest Disturbance Detection By Landsat-Based Ndvi Time Series For Ayuquila River Basin, Jalisco, Mexico"

15. Helman, D.; Lensky, I.M.; Tessler, N.; Osem, Y. A Phenology-Based Method for Monitoring Woody and Herbaceous Vegetation in Mediterranean Forests from NDVI Time Series.
16. Pisek, J.; Rautiainen, M.; Nikopensius, M.; Raabe, K. Estimation of seasonal dynamics of understory NDVI in northern forests using MODIS BRDF data: Semi-empirical versus physically-based approach.
17. Lu, H.; Raupach, M.R.; McVicar, T.R.; Barrett, D.J. Decomposition of vegetation cover into woody and herbaceous components using AVHRR NDVI time series.
18. Jonas Lambert, Christophe Drenou, Jean-Philippe Denux, Gérard Balent & Véronique Cheret (2013) Monitoring forest decline through remote sensing time series analysis
19. Yan Gao, Alexander Quevedo, Zoltan Szantoi & Margaret Skutsch (2021) Monitoring forest disturbance using time-series MODIS NDVI in Michoacán.
20. Lasaponara R, Abate N, Fattore C, Aromando A, Cardettini G, Di Fonzo M. On the Use of Sentinel-2 NDVI Time Series and Google Earth Engine to Detect Land-Use/Land-Cover Changes in Fire-Affected Areas.