

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	08/02/2025
	Nombre: Araceli	

Análisis de la deforestación en la selva amazónica con técnicas de segmentación

Resumen

Para llevar a cabo esta actividad se han empleado diferentes técnicas de procesamiento digital de imágenes para analizar la deforestación en la selva amazónica entre los años 2000 y 2019.

Se han utilizado métodos como la *ecualización del histograma*, *CLAHE*, *el filtro de la mediana*, *la eliminación o suavizado de la aparición de nubes a través de la segmentación por color*, *la segmentación por umbral de Otsu* y *operadores morfológicos* para mejorar la detección de áreas deforestadas, como la *clausura*.

Los resultados evidencian un aumento progresivo en la superficie afectada, con valores cuantificados en km² a partir de la relación de escala de las imágenes. Este trabajo destaca la relevancia del procesamiento de imágenes como herramienta para el monitoreo ambiental.

Introducción

La deforestación en la selva amazónica representa una problemática ambiental crítica con implicaciones para la biodiversidad y el clima global. La Amazonía desempeña un papel fundamental en la regulación del ciclo del carbono, la producción de oxígeno y el mantenimiento de la biodiversidad a nivel mundial. Sin embargo, factores como la expansión agrícola, la minería ilegal y la tala indiscriminada han generado un aumento alarmante en la pérdida de cobertura forestal.

El monitoreo de la deforestación a través de imágenes satelitales permite evaluar con mayor precisión los cambios en la cobertura terrestre y estimar la efectividad de las políticas de conservación implementadas.

En este estudio, se emplean técnicas avanzadas de mejora de imagen y segmentación con el propósito de estimar la extensión de las zonas deforestadas en el Bosque Nacional Jamanxim, Brasil, una de las regiones más afectadas por la actividad humana en la Amazonía.

Material y métodos

Base del código

El punto de partida para este laboratorio fue el código proporcionado por **Eduardo Muñoz Lorenzo**, profesor de la asignatura de *Visión Artificial* en la *Universidad Internacional de la Rioja (UNIR)*. Los cuadernos sirvieron como referencia principal para el desarrollo de la actividad.

Entorno de trabajo

Para la realización de este trabajo se ha utilizado un entorno basado en la nube utilizando **Google Colab**, la cuál es considerada como una de las plataformas más utilizadas en el ámbito de la investigación debido a su capacidad para ejecutar código en tiempo real y con acceso a recursos computacionales avanzados. Se empleó la versión de **Python 3.10.12**, que se encuentra configurada de forma predeterminada en el entorno. Además, para una mejor estructura del código y la visualización de los resultados, se ha utilizado un **notebook interactivo**.

Bibliotecas utilizadas

Se han utilizado las siguientes bibliotecas para realizar las operaciones de procesamiento de imágenes y visualización de resultados:

- **NumPy**: utilizada para realizar operaciones matriciales y manipulación de datos numéricos. Es muy útil, ya que las imágenes están representadas como una matriz de píxeles.
- **Matplotlib**: empleada para la generación de gráficos e histogramas, así como la representación visual de las imágenes procesadas.
- **OpenCV (cv2)**: biblioteca principal para el procesamiento y transformación de imágenes. (*OpenCV Documentation, s.f.*)
- **Skimage.mophology**: utilizada para la utilización de funciones que representan a los operadores morfológicos y los diferentes tipos de elementos estructurantes.
- **Google Colab Files**: facilitó la carga de las imágenes desde el entorno local al entorno online de colab.

Datos utilizados

Partiendo de la base de datos de la **Nasa** (*NASA Earth Observatory, s.f.*), se han obtenido 20 imágenes, las

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	08/02/2025
	Nombre: Araceli	

cuales muestran la evolución de la deforestación de una de las regiones amazónicas de manera satelital a lo largo de los años (2000 - 2019).



Figura 1: Imagen satelital de la región amazónica del año 2009

Técnicas aplicadas

En este estudio se han utilizado diferentes técnicas.

Las siguientes tienen que ver con el **procesado sistemático del histograma**:

- **Ecualización del histograma:** es una técnica de procesamiento de imágenes que mejora el contraste de una imagen *ajustando la distribución de los niveles de intensidad de los píxeles*. Transforma una imagen para que tenga una *distribución uniforme* de intensidades, mejorando así la visibilidad de detalles en imágenes de gran oscuridad o mal contrastadas. (Lorenzo, Tema 6: Procesamiento de Imagen: Operaciones Elementales, s.f.)

- **CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization):** variante adaptativa de la ecualización del histograma. Consiste en dividir la imagen en varias regiones (se utiliza la definición de *ventana*, en este caso de 8x8) a las que se le aplica de manera individual la ecualización del histograma. (CLAHE Histogram Equalization – OpenCV, s.f.) Además, se le ha aplicado un *límite de contraste de 2.0* permitiendo así mejorar la calidad y visibilidad de la imagen.

Técnicas de **reducción de ruido y anomalías en la imagen**:

- **Filtro de la mediana:** aplicado para reducir el ruido impulsivo en las imágenes y eliminar anomalías sin afectar los bordes de las regiones.

Técnicas de **segmentación**:

- **Segmentación a los canales de color para eliminar o suavizar las nubes:** utilizado para identificar y

eliminar regiones con tonalidades específicas, siendo en este caso, utilizados los modelos de color *HSV* y *LAB*.

-**Segmentación por umbral OTSU:** implementado para establecer un umbral óptimo que permita separar las áreas forestales de las deforestadas sin intervención manual. Al aplicar este tipo de segmentación se binarizó la imagen para su mejor uso.

Utilización de **operadores morfológicos**:

-**Clausura:** reduce elementos innecesarios y permite consolidar las formas dentro de la imagen. El elemento estructurante utilizado en este caso fue el *cuadrado (square)*.

Resultados

A partir de los resultados obtenidos se ha podido comprobar como ha ido evolucionando la deforestación en esta zona de las amazonas.

En este apartado se va a detallar que operaciones se han llevado a cabo para procesar la imagen y obtener el número de km² de deforestación.

Procesado Sistemático del histograma

Se aplicaron las técnicas de *ecualización del histograma* y *CLAHE* para mejorar los niveles de intensidad de la imagen. Los resultados mostraron que CLAHE hace una mejor nivelación de estos niveles de intensidad, dado que va aplicando esta técnica por regiones en función de una ventana (8x8).

Por lo que será la imagen obtenida por CLAHE la utilizada para seguir con el procesamiento y análisis de las imágenes. En la *figura 2* se puede observar en comparación con la imagen original, los resultados obtenidos por la ecualización del histograma y por CLAHE.



Figura 2: Imagen satelital de la región amazónica del año 2009 original, ecualizada y con CLAHE

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	08/02/2025
	Nombre: Araceli	

Reducción de ruido y anomalías en la imagen

Se aplicó el filtro de la mediana para reducir el ruido impulsivo en la imagen sin afectar de manera prominente en los bordes de las regiones. También se probó con el *filtro de Hampel*, sin embargo, producía resultados muy similares y por problemas computacionales, se eligió utilizar el filtro de la mediana.

Filtro de Mediana



Figura 3: Imagen satelital de la región amazónica del año 2009 aplicado el filtro de la mediana al resultado obtenido por CLAHE

Técnicas de segmentación y operadores morfológicos

Una vez eliminado el ruido impulsivo y las posibles anomalías, dado que en algunas fotos aparecen ciertas nubes, se aplicó una **segmentación basada en color**.

Con esta segmentación, a través de los modelos de color *HSV* y *LAB* se intentó identificar y eliminar las regiones con tonalidades blancas y grises correspondientes a las nubes.

Para HSV, se jugó con los números para determinar el color, siendo esta la configuración que mejores resultados dio:

- **lower_cloud**: establece el límite inferior del color en HSV:

- **H = 0**: Cubre todos los tonos (porque 0 en HSV representa rojo, pero con saturación y valor bajos puede abarcar otras tonalidades).
- **S = 0**: Muy baja saturación, lo que indica colores casi blancos o grises.
- **V = 300**: Alta intensidad, lo que representa colores brillantes como el blanco.

- **upper_cloud**: define el límite superior del color en HSV:

- **H = 180**: Cubre todo el espectro de colores en OpenCV.
- **S = 30**: Baja saturación, lo que permite incluir tonos de gris y blanco sin afectar otros colores intensos.
- **V = 255**: Máximo valor de brillo, lo que garantiza que los colores más claros sean detectados.

Esta máscara se usa para identificar y eliminar las nubes de la imagen, evitando que interfieran en la segmentación de las áreas deforestadas. HSV es útil dado que separa la información de color (Hue) de la intensidad (Value), lo que facilita la detección de colores específicos sin verse afectado por cambios de iluminación. Además, permite segmentar elementos con colores similares en diferentes niveles de brillo, como las nubes blancas y grises en la imagen.

Por otro lado, *LAB*, separa la información de luminosidad (**L**) de los componentes de color (**A** y **B**), lo que ayuda a eliminar regiones con alto brillo sin afectar el resto de la imagen, siendo este, el más perceptual y alineado con la visión humana, por lo que mejora la detección de estructuras claras como las nubes sin perder detalles importantes.

En la siguiente figura se puede ver la imagen resultante de la combinación de ambos métodos:

Sin Nubes

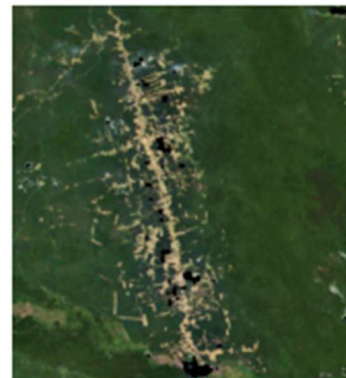


Figura 4: Imagen satelital de la región amazónica del año 2009 con la eliminación de nubes aplicada a partir de la segmentación por color

Cabe destacar, que algunas imágenes no se han llegado a eliminar con éxito todas las nubes, dado que abarca tonalidades amarillas, coincidiendo

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	08/02/2025
	Nombre: Araceli	

levemente con el área de interés, por lo que si se abarcara esta gama de colores también se estaría eliminando parte del área a investigar.

Una vez eliminadas las nubes se aplicó el **operador morfológico de la clausura** (dilatación + erosión), que ayudó a reafirmar y consolidar las formas de las nubes eliminadas dentro de la imagen. Sin embargo, dado que la zona eliminada de la nube, en la mayoría de las imágenes no es muy grande, no se aprecia muy bien a simple vista el efecto de la clausura.

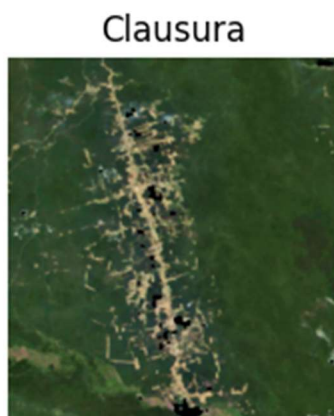


Figura 5: Imagen satelital de la región amazónica del año 2009 aplicada la técnica de la clausura

Una vez limpiada la imagen, se aplicó la técnica de **segmentación por umbral Otsu**. Esta es una herramienta útil dado que establece un umbral que permite separar las áreas forestales de las zonas deforestadas. Esta técnica se aplicó a los canales de color, siendo posteriormente binarizada la imagen.

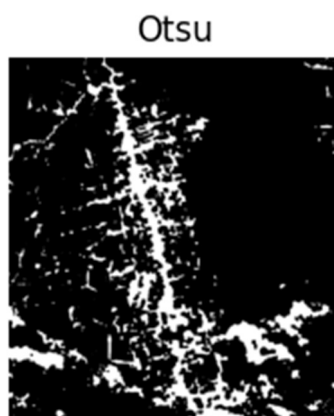


Figura 6: Imagen satelital de la región amazónica del año 2009 aplicada la segmentación por umbralización Otsu y binarización

Por último, se volvió a aplicar a la imagen resultante el operador de la clausura para ayudar a consolidar la forma del área deforestada.

Segmentación Refinada



Figura 7: Imagen satelital de la región amazónica del año 2009 aplicada el operador de la clausura

Cálculo del área deforestada

Una vez procesada la imagen, se puede proceder al cálculo del área deforestada en km. Se estimó la superficie afectada en km² considerando la conversión de píxeles a unidades espaciales (20 km ≈ 51 píxeles). Donde, una vez obtenidos los km² por cada año, se realizaron comparaciones anuales para identificar tendencias y variaciones en la deforestación a lo largo del tiempo.

Cabe destacar que hay años en los que hay ciertos picos, debido que no se pudieron eliminar las nubes con tonalidad en sus colores similares a la región de interés (ej: año 2008).

Año 2000:	Área deforestada estimada = 4739.10 km ²
Año 2001:	Área deforestada estimada = 5922.49 km ²
Año 2002:	Área deforestada estimada = 5270.13 km ²
Año 2003:	Área deforestada estimada = 5888.20 km ²
Año 2004:	Área deforestada estimada = 7460.82 km ²
Año 2005:	Área deforestada estimada = 8835.22 km ²
Año 2006:	Área deforestada estimada = 8062.90 km ²
Año 2007:	Área deforestada estimada = 7620.45 km ²
Año 2008:	Área deforestada estimada = 12103.96 km ²
Año 2009:	Área deforestada estimada = 8907.50 km ²
Año 2010:	Área deforestada estimada = 8893.66 km ²
Año 2011:	Área deforestada estimada = 10523.49 km ²
Año 2012:	Área deforestada estimada = 10286.20 km ²
Año 2013:	Área deforestada estimada = 10703.27 km ²
Año 2014:	Área deforestada estimada = 10765.86 km ²
Año 2015:	Área deforestada estimada = 11260.13 km ²
Año 2016:	Área deforestada estimada = 11164.48 km ²
Año 2017:	Área deforestada estimada = 11916.34 km ²
Año 2018:	Área deforestada estimada = 10435.52 km ²
Año 2019:	Área deforestada estimada = 12333.72 km ²

Figura 8: Resultado en km² de la región deforestada por cada año

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	08/02/2025
	Nombre: Araceli	

En la siguiente figura se puede observar de manera visual el crecimiento de la deforestación en dicha área.

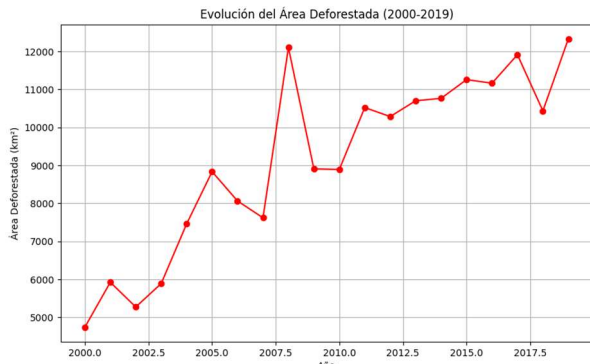


Figura 9: Gráfica del resultado en km² de la región deforestada por cada año y su crecimiento

Se observa que la pérdida de cobertura forestal se ha intensificado especialmente en la última década, con un aumento significativo en la extensión de áreas degradadas.

En términos cuantitativos, los resultados reflejan un crecimiento anual promedio en la deforestación de aproximadamente 3.5%, con picos más elevados en años donde se han registrado incendios forestales o actividades intensivas de tala. Se presentan gráficos y la salida por pantalla de los km² por año, que ilustran la evolución del área deforestada en km² por año, que permiten comparar la extensión del daño a lo largo del periodo de estudio.

Conclusiones

El procesamiento de imágenes digitales ha demostrado ser una herramienta efectiva para el monitoreo de la deforestación en la selva amazónica. Las técnicas aplicadas permitieron una segmentación eficiente y la cuantificación precisa de la superficie afectada, facilitando el análisis de la evolución de la deforestación con base en datos cuantificables.

Sin embargo, se identificaron ciertas limitaciones en la segmentación debido a la presencia de nubes, variaciones en la iluminación y diferencias en la calidad de las imágenes satelitales. La implementación de segmentación por color permitió mitigar este problema de manera significativa, eliminando interferencias y mejorando la precisión de la detección.

Se recomienda complementar el análisis con modelos de inteligencia artificial y aprendizaje automático, como redes neuronales convolucionales, que puedan mejorar la clasificación y segmentación automática de las imágenes.

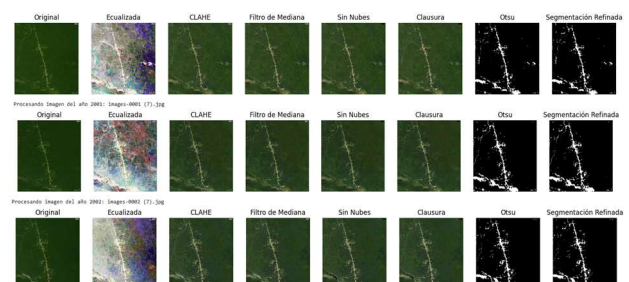
Asimismo, futuras investigaciones podrían incorporar la integración de datos meteorológicos y factores socioeconómicos para correlacionar los eventos de deforestación con patrones climáticos y actividades humanas. La combinación de diversas fuentes de información permitirá desarrollar estrategias más efectivas para la conservación de la Amazonía y mitigar el impacto de la deforestación a largo plazo.

Referencias

- NASA Earth Observador. (s.f.). *Making Sense of Amazon Deforestation Patterns*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145888/making-sense-of-amazon-deforestation-patterns>
- OpenCV Documentation. (s.f.). *Image Processing Techniques*. <https://docs.opencv.org>
- *CLAHE Histogram Equalization – OpenCV*. (s.f.). Obtenido de <https://www.geeksforgeeks.org/clahe-histogram-equalization-opencv/>
- Lorenzo, E. M. (s.f.). *Tema 6: Procesamiento de Imagen: Operaciones Elementales*.

Anexo

En este apartado se mostrarán las imágenes de los años restantes junto con su procesamiento. Dichas imágenes también se encuentran en el notebook adjunto a la actividad:



Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	08/02/2025
	Nombre: Araceli	

