

# PERCEPCIÓN REMOTA EN LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS EN LA AMAZONÍA Y COSTA DEL PERÚ

**MAY. FAP Fernando Joel Díaz Salinas**

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las diferencias en la exactitud entre las clasificaciones supervisadas de imágenes Landsat con transformaciones radiométricas, para la elaboración de mapas de usos y cobertura del suelo en la amazonía y costa peruana. Como muestras de investigación se tomaron: el Santuario Histórico Bosque de Pómac y la zona circundante al área urbana del distrito de Iberia. Se utilizaron imágenes Landsat de las áreas de interés, las cuales fueron transformadas mediante el Modelo Lineal de Mezcla Espectral (MLME), Componentes Principales (PC) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Las imágenes transformadas fueron segmentadas con un algoritmo de crecimiento por regiones para luego realizar una clasificación supervisada basada en la distancia de Battacharya. Tanto en Pómac como en Iberia, el MLME obtuvo un mejor desempeño, lo que fue verificado con los puntos de control de campo de ambas áreas.

**Palabras claves:** Imágenes de satélite, Modelo Lineal de Mezcla Espectral, Componentes Principales, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Clasificación.

**REMOTE SENSING IN THE DETERMINATION OF  
DEFORESTED AREAS  
IN THE AMAZON AND COAST OF PERÚ**

**ABSTRACT**

The objective of this work was to determine the differences in the accuracy between the supervised classifications of Landsat images with radiometric transformations, for the elaboration of maps of uses and land cover in the Amazon and coast of Perú. As research samples were taken: the Bosque de Pómac Historical Sanctuary and the area surrounding the urban area of the Iberia district. Landsat images of the areas of interest were used, which were transformed using the Linear Spectral Mixing Model (MLME), Principal Components (PC) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The transformed images were segmented with a growth algorithm by regions to then perform a supervised classification based on the distance of Battacharya. In both Pómac and Iberia, the MLME obtained a better performance, which was verified with the field control points of both areas.

**Keywords:** Satellite images, Linear Spectral Mixture Model, Principal Components, Normalized Difference Vegetation Index, Classification.

**El MAY. FAP FERNANDO JOEL DIAZ SALINAS**, Oficial de la Especialidad de Ingeniería Fotogramétrica, Magister en Doctrina y Administración Aeroespacial, Bachiller en Ingeniería Geográfica en la UNFV, Administración y Dirección de Empresas en la UAP, asimismo posee una Especialización en Percepción Remota y Sistema de Información Geográfica en el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Brasil. Ha publicado Artículos en Revistas Indexadas relacionadas a la Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, ha sido ponente en Simposios Nacionales e Internacionales. Se ha desempeñado como Jefe de Laboratorio, del Archivo Nacional Aerofotográfico e Imágenes y de la Sección Inteligencia (DIVRA), Director Técnico de Estudios Espaciales en la Agencia Espacial del Perú (CONIDA); docente en la Escuela de Oficiales de la FAP, en la Escuela de Capacitación y Perfeccionamiento FAP, en la Escuela de Inteligencia FAP y en la Universidad Alas Peruanas.

## INTRODUCCIÓN

El Perú posee una gran cantidad de bosques, siendo el noveno país a nivel mundial y el segundo en Sudamérica con mayor extensión forestal y esto lo convierte en un foco de preocupación mundial por el cuidado medioambiental.

Los bosques son una gran fuente de emisión de oxígeno y de captura de carbono, siendo necesario su cuidado y preservación, con la finalidad de reducir las emisiones de carbono a la atmósfera.

En ese sentido, en el Perú existen instituciones encargadas de la fiscalización y cuidado de los bosques dentro de la estructura del Ministerio del Ambiente, así como instituciones usuarias y/o de investigación que precisan tener conocimiento del avance de la deforestación en relación al tiempo y espacio.

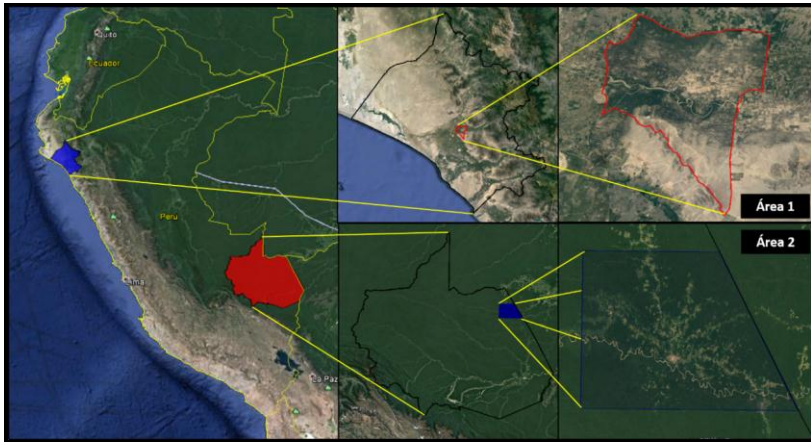
Siendo la deforestación una preocupación mundial, en el país pocos son los datos que permitan conocer este fenómeno de una manera concreta, siendo los esfuerzos dispersos y diversos, lo que trae como consecuencia el uso de diferentes metodologías para el cálculo de la deforestación a nivel nacional.

En la actualidad existen diferentes metodologías para la determinación de áreas deforestadas en la amazonía que han sido probadas con buenos y malos resultados, pero sin embargo, pocos son los estudios usando la percepción remota para determinar el fenómeno en mención en la Costa peruana. El tratamiento digital de imágenes, basado en el desarrollo de técnicas de clasificación permiten identificar y cuantificar las pérdidas de la cobertura boscosa (Pacheco, Aguado y López, 2013).

Según Pardi Lacruz (1996), los trabajos de cuantificación e inventario de vegetación contribuyen en gran medida en los cálculos de biomasa y modelaje de estimativa de carbono en estudios de cambios globales. El presente trabajo de investigación tiene como finalidad proponer una metodología que pueda ser utilizada de forma sistemática tanto en los bosques amazónicos como en los bosques secos costeros.

## MÉTODO

Tanto para el área de Pómac como de Iberia (Figura 1) se realizó el mismo proceso, en ese sentido, las bandas del infrarrojo medio, infrarrojo cercano y el rojo fueron transformadas al Modelo lineal de mezcla espectral, Componentes principales e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.



*Figura 1. Áreas de estudio*

En el caso del Modelo Lineal de Mezcla Espectral, las imágenes se transformaron mediante la técnica de realce del modelo lineal de mezcla espectral (MLME) para obtener las imágenes fracción vegetación, suelo y sombra (Ponzoni y Shimabukuro, 2007), tomando los valores de los píxeles puros de los objetos antes mencionados. Las imágenes fueron recortadas y segmentadas utilizando un algoritmo de crecimiento de regiones, el cual divide la imagen en regiones que son consideradas en un conjunto de píxeles contiguos que presentan una cierta uniformidad (Gomes, Freitas, Sant'Anna y Dutra, 2007). En la etapa de clasificación se usó el algoritmo supervisado basado en la distancia de Battacharya con un umbral de aceptación de 95%, suministrando muestras de entrenamiento que fueran representativas para cada clase. Finalmente, se procedió a mapear la imagen clasificada, teniendo en consideración las clases presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1

*Determinación de clases*

Clases SHBP	Clases Iberia
Hidrografía	Hidrografía
Bosque_denso	Bosque
Bosque_semi_denso	Regeneración_degradación
Bosque_ralo	Área urbana
Regeneración	Suelo
Suelo_chaparral	Agricultura_pastos
Agricultura	Deforestación
Deforestación	

Las mismas imágenes Landsat se transformaron mediante la técnica de Componentes Principales (PC), a las cuales se les realizó un contraste lineal, realizando dichas imágenes con la finalidad de obtener una mejor calidad visual de las mismas, para luego ser recortadas y segmentadas utilizando un algoritmo de crecimiento de regiones. En la etapa de clasificación se usó el algoritmo supervisado basado en la distancia de Battacharya con un umbral de aceptación de 95%, suministrando muestras de entrenamiento que fueran representativas para cada clase. Finalmente, se procedió a mapear la imagen clasificada, teniendo en consideración las mismas clases otorgadas para el MLME.

Por otro lado, las bandas del infrarrojo cercano y rojo se utilizaron para crear la imagen NDVI, la cual se utilizó para reemplazar la banda del infrarrojo cercano (Banda 5) para crear la composición RGB: 6, NDVI, 4, a fin de obtener una mejor visualización de las áreas con vegetación en la zona de estudio. Asimismo, estas bandas fueron recortadas y segmentadas utilizando un algoritmo de crecimiento de regiones. En la etapa de clasificación se usó el algoritmo supervisado basado en la distancia de Battacharya con un umbral de aceptación de 95%, suministrando muestras de entrenamiento que fueran representativas para cada clase. Finalmente, se procedió a mapear la imagen clasificada, teniendo en consideración las mismas clases otorgadas en las transformaciones anteriores.

Para la evaluación de resultados, en las dos áreas de estudios, se crearon matrices de confusión generados por el software, teniendo en consideración las muestras de entrenamiento que se adoptaron para cada una de las clasificaciones. Asimismo, a fin de determinar la

coincidencia de las clases resultantes de cada una de las clasificaciones con los puntos de control obtenidos en el campo, se realizó la revisión de 30 puntos de control para cada una de las áreas de estudio y para cada una de las clasificaciones. Con este último paso, se pudo deducir cuál es la metodología que ha presentado mayor exactitud tanto a nivel de campo como de gabinete.

## RESULTADOS

Tabla 2  
*Medida de clases de Pómac*

Descripción	MLME Área (ha)	CP Área (ha)	NDVI Área (ha)
Bosque denso	1491.75	875.07	970.74
Bosque semi denso	1617.12	1914.03	2148.3
Bosque ralo	692.1	421.65	657.9
Regeneración	307.44	971.55	356.67
Agricultura_pastos	975.96	975.15	1139.85
Suelo_chaparral	744.03	670.86	554.85
Hidrografía	61.02	61.02	61.02
<b>TOTAL</b>	<b>5889.42</b>	<b>5889.33</b>	<b>5889.33</b>

Tabla 3  
*Medida de clases de Iberia*

Descripción	MLME Área (ha)	CP Área (ha)	NDVI Área (ha)
Bosque	80377.47	80841.15	76242.15
Regeneración	17245.08	12914.64	19903.05
Agricultura_pastos	9537.93	15558.93	12597.75
Suelo	3121.65	869.13	1556.91
Hidrografía	667.62	769.05	653.04
<b>TOTAL</b>	<b>110949.75</b>	<b>110952.9</b>	<b>110952.9</b>

Como resultado de las medidas de clases de cada una de las metodologías se presentan las Tablas 2 y 3, teniendo que resaltar que la diferencia en el área total del Modelo Lineal de Mezcla Espectral, respecto a las otras metodologías se da por la diferente agrupación de los píxeles al ser metodologías diferentes, siendo finalmente poco considerable en el resultado.

Tabla 4

*Desempeño de muestras en Pómac*

	Desempeño General	Kappa
MLME	100%	100%
PC	100%	100%
NDVI	93.85%	93%

Tabla 5

*Desempeño de muestras en Iberia*

	Desempeño General	Kappa
MLME	100%	100%
PC	98.11%	97.83%
NDVI	86.66%	77.84%

Luego de evaluar el desempeño de las muestras de entrenamiento dispuestas para las clasificaciones de las transformaciones realizadas se puede apreciar un mejor desempeño del MLME (Tabla 4 y Tabla 5).

Tabla 6

*Coincidencias con puntos de control de campo*

	Coincidencias Pómac	Coincidencias Iberia
MLME	26	27
PC	19	19
NDVI	18	18

Con respecto a la verificación con los puntos de control de campo, los cuales fueron 30, también se puede apreciar que el Modelo Lineal de Mezcla Espectral tuvo mejores resultados, con mayor cantidad de coincidencias entre las clasificaciones y dichos puntos de control, de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 6.

## CONCLUSIONES

En el caso del Bosque de Pómac, en primer lugar podemos evidenciar que el MLME clasificado presenta una mayor cantidad de áreas de bosque denso respecto a las otras dos metodologías que al ser verificadas con los puntos de control tomados en campo muestran una mejor performance en la medición de dicha clase.

En el caso del bosque semi denso se puede determinar que el NDVI clasificado presenta una mayor cantidad de áreas respecto al MLME y los PC, pero al ser verificadas con los puntos de control tomados en campo muestran menor cantidad de coincidencias con los mismos.

Respecto a la clase bosque ralo, la clasificación realizada a los Componentes Principales presenta una menor cantidad de área, siendo esta clasificación la que muestra un punto que no acertó respecto a los puntos de control de campo, a diferencia de las otras dos metodologías que presentan un mejor desempeño con cantidades similares: MLME (692.1 ha) y NDVI (657.9 ha).

En el caso de la regeneración, la metodología utilizada con los Componentes Principales ha mostrado una mayor cantidad de área clasificada con 971.55 ha (16.50%), respecto a las otras dos metodologías, pero sin embargo, al evaluar los resultados de las metodologías respecto a los puntos de control de campo, se puede verificar que la metodología ha presentado confusión con bosque denso y bosque semi denso.

En el caso de la agricultura o pastos, se puede evidenciar que existe una coincidencia entre el MLME y los PC con 975.96 ha y 975.15 ha, respectivamente, a diferencia del NDVI que presenta 1139.85 ha. Cabe resaltar que al verificarlos con los puntos de control de campo se puede apreciar que la metodología que tuvo un mejor desempeño fue el NDVI y el que tuvo mayor confusión fue el MLME.

En el caso de la clase Suelo o Chaparral, se puede determinar que la que tuvo un mejor desempeño y una mayor cantidad de área representada fue el MLME (744.03 ha) respecto a las clasificaciones de los PC (670 ha) y del NDVI (554.85 ha), al ser evaluados y verificados con los puntos de control de campo.

De acuerdo a lo presentado por las matrices de confusión, el Modelo Lineal de Mezcla Espectral y los Componentes Principales tuvieron el mejor desempeño en la toma de muestras de entrenamiento con índices de 100%. Asimismo, la clasificación con NDVI tuvo un excelente desempeño con índices superiores al 93%.

De acuerdo a lo evidenciado en la verificación de las clasificaciones con los puntos de control de campo, la metodología que obtuvo mejores resultados fue el Modelo Lineal de Mezcla



Espectral con 26 coincidencias, seguida por los Componentes Principales con 19 coincidencias y la metodología con NDVI con 18 coincidencias.

La metodología que ha presentado los mejores resultados en el mapeo de usos y cobertura del Santuario Histórico Bosque de Pómac es el Modelo Lineal de Mezcla Espectral.

En el caso de Iberia, en primer lugar podemos evidenciar que el MLME y los PC clasificados presentan una mayor cantidad de áreas de bosque respecto a la metodología del NDVI y al que al ser verificadas con los puntos de control tomados en campo se puede determinar que el MLME tiene un mejor desempeño, seguido por los PC y el NDVI con un menor desempeño en de dicha clase.

En el caso de la regeneración, la metodología utilizada con el NDVI ha mostrado una mayor cantidad de área clasificada con 19903.05 ha (17.94%), respecto a las otras dos metodologías, pero sin embargo, al evaluar los resultados de las metodologías respecto a los puntos de control de campo, se puede verificar que la metodología con mejor desempeño fue el MLME (2 de 3 puntos coincidentes), seguido por el NDVI (1 de 3 puntos coincidente) y los PC (sin coincidencias).

En el caso de la agricultura o pastos, se puede evidenciar que los PC han mostrado una mayor cantidad de área clasificada con 15558.93 ha (14.02%), respecto a las otras dos metodologías (MLME: 9537.93 ha y NDVI: 12597.75 ha). Cabe resaltar que al verificarlos con los puntos de control de campo se puede apreciar que la metodología que tuvo el NDVI tuvo menor coincidencia (9 de 10 puntos) y el MLME y los PC coincidieron en la totalidad de los 10 puntos de control.

En el caso de la clase Suelo, se puede determinar que la que tuvo un mejor desempeño y una mayor cantidad de área representada fue el MLME (3121.65 ha) respecto a las clasificaciones de los PC (869.13 ha) y del NDVI (1556.91 ha), al ser evaluados y verificados con los puntos de control de campo.

En el caso de la clase Hidrografía, mostró una mayor cantidad de áreas clasificadas con los PC (769.05 ha), seguidos por el MLME (667.62 ha) y el NDVI (653.04 ha), siendo estas diferencias mínimas dentro del área total de los mapas, sin embargo, cabe resaltar que esta mayor cantidad clasificada por los PC puede darse por una confusión

con áreas quemadas de áreas agrícolas, las que muchas veces presentan un comportamiento espectral parecido al agua.

De acuerdo a lo presentado por las matrices de confusión, el Modelo Lineal de Mezcla Espectral tuvo el mejor desempeño en la toma de muestras de entrenamiento con índices de 100%. Asimismo, la clasificación con los Componentes Principales tuvo un excelente desempeño con índices promedio de 98% y la clasificación con NDVI presenta un buen desempeño con índices promedio de 80%.

De acuerdo a lo evidenciado en la verificación de las clasificaciones con los puntos de control de campo, la metodología que obtuvo mejores resultados fue el Modelo Lineal de Mezcla Espectral con 27 coincidencias, seguida por los Componentes Principales con 19 coincidencias y la metodología con NDVI con 18 coincidencias.

La metodología que ha presentado los mejores resultados en el mapeo de usos y cobertura de la zona circundante al área urbana del distrito de Iberia en Madre de Dios es el Modelo Lineal de Mezcla Espectral.

A fin de complementar el presente estudio se hace necesario la ejecución tanto de una edición matricial como vectorial, a fin de perfeccionar los errores presentados en los clasificadores.

Con la finalidad de evaluar al Modelo Lineal de Mezcla Espectral, se requiere aplicar la metodología aplicada en áreas de bosques montañosos, tanto de Selva como de Sierra.

El Modelo Lineal de Mezcla Espectral permitirá determinar los diferentes usos y cobertura del terreno, en especial de la deforestación tanto en la amazonía como en la Costa peruana.

Con los datos generados por la metodología utilizada con el Modelo Lineal de Mezcla Espectral pueden ser utilizados por diferentes instituciones que precisen de esta información.

Asimismo, los datos generados en la clasificación del MLME pueden servir para diferentes proyectos como los de Bono e Carbono o Proyectos REDD+.

## REFERENCIAS

- Gomes, A. R., Freitas, C. C., Sant'Anna, S. J. S. y Dutra, L. V. (2007). Influência do georreferenciamento na classificação de imagem JERS-1. *Anales del XIII Simposio Brasileiro de Percepção Remota – SBSR*. Florianópolis, Brasil
- Pacheco, C.; Aguado, I. y López, J. (2013) Comparación de los métodos utilizados en el monitoreo de la deforestación tropical, para la implementación de estrategias REDD+, caso de estudio los Llanos Occidentales Venezolanos. *Anales del XVI Simposio Brasileiro de Percepção Remota – SBSR*. Foz de Iguazú, PR, Brasil
- Pardi, M. (1996) *Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica como subsídio para levantamentos fisionômico - estruturais em floresta tropical úmida - estudo de caso: Estação Científica Ferreira Penna, PA* (Tesis para optar el título de .Magister en Percepção Remota). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Sao Paolo, Brasil
- Ponzoni, F.J. y Shimabukuro, Y.E. (2007). *Sensoriamento Remoto no estudio da Vegetação*. São José dos Campos, SP. Brasil: Parêntese