

Revista Cubana de  
Ciencias Forestales  
**CFORES**

Volumen 9, número 2; 2021

## **Evaluación de la deforestación en bosques subtropicales utilizando datos de terrenos espacio-temporales**

### **Assessment of deforestation in sub-tropical forest using spatiotemporal landsat data**

### **Avaliação do desmatamento em florestas subtropicais utilizando dados espaço-temporais do terreno**

**Syed Hassan Raza**<sup>1\*</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-1318-7818>

**Muhammad Irfan Ashraf**<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-0704-5087>

**Areeba Binte Imran**<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-3882-717X>

**Ishfaq Ahmad Khan**<sup>2</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-9614-6703>

**Syed Ghayoor Ali Shah**<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-7493-7264>

<sup>1</sup>Department of Forestry and Range Management, PMAS Arid Agriculture University, Rawalpindi, 46300, Pakistán.

<sup>2</sup>Department of Forest Science & Biodiversity, Faculty of Forestry and Environment, University Putra Malaysia, UPM Serdang, Selangor 43400, Malaysia.

\*Autor para la correspondencia: syedhassanraxa@gmail.com

**Recibido:** 05/02/2021

**Aprobado:** 26/05/2021



## RESUMEN

La presente investigación evaluó el cambio espacio-temporal en el bosque subtropical del distrito de Malakand mediante técnicas de teledetección y SIG. El objetivo principal era identificar las diferentes clases de cobertura del suelo y determinar los cambios temporales de la cobertura forestal en el área de estudio. Este estudio se basó en dos técnicas de clasificación diferentes para la clasificación de la cubierta del suelo. En este estudio, se adquirieron cuatro imágenes Landsat con un intervalo de 10 años desde 1988 hasta 2018. La clasificación de máxima verosimilitud y la clasificación de mínima distancia se aplicaron a las cuatro imágenes paso a paso. La superficie total del distrito de Malakand se registró como 975,32 km<sup>2</sup>. En lo que respecta a la cobertura porcentual de la superficie, el bosque cubrió el 22,1 % de la superficie total, mientras que los asentamientos, la agricultura, las tierras baldías y el agua cubrieron el 17,7, el 23,3, el 33 y el 3,9 % respectivamente en 1988. Durante el año 2018, el bosque cubrió el 9,3 % de la superficie total, así también los asentamientos de otras clases, la agricultura, la tierra estéril y el agua han cubierto el 33,8, 22,3, 31,8 y 3,7 respectivamente. El cambio en la superficie forestal a lo largo del tiempo fue de 60,4 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 6,2 % durante el período 1998-2008 y, en última instancia, la deforestación global fue de 124,4 km<sup>2</sup>, lo que equivale a una pérdida del 12,7 % de la superficie forestal perdida entre 1998 y 2018. Por lo tanto, la superficie forestal se transformó en asentamientos y tierras baldías de 1988 a 2018. Se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para 1988, 1998, 2008 y 2018. Según el análisis del NDVI, la deforestación total a lo largo del tiempo fue de 166,29 km<sup>2</sup> en los últimos 30 años (1988-2018), con un porcentaje de deforestación del 43,66 % de superficie perdida. Las imágenes Landsat tienen una resolución de 30 metros y los cambios en las áreas forestales pequeñas no pueden ser detectados por las imágenes Landsat, a diferencia de los productos de alta resolución que pueden detectar más deforestación en comparación.

**Palabras clave:** Deforestación; Análisis espacio-temporal; Landsat; Clasificación supervisada; NDVI.

## ABSTRACT

The present research evaluated spatio-temporal change in the sub-tropical forest of district Malakand through Remote Sensing and GIS techniques. The main objective was to identify different land cover classes and to determine temporal changes in forest cover in the study area. This study was based on the two different classification techniques for the land cover classification. In this study, four Landsat images were acquired with the interval of 10 years from 1988 to 2018. The maximum likelihood classification and Minimum distance classification was applied on all the four images step by step. The total area of district Malakand was recorded as 975.32 km<sup>2</sup>. Regarding percent wise area coverage Forest covered 22.1 % of the total area while other classes' settlements, agriculture, barren land and water have covered 17.7, 23.3, 33 and 3.9 % respectively in 1988. Whereas in 2018, percent wise area coverage forest covered 9.3 % of the total area although other classes' settlements, agriculture, barren land and water have covered 33.8, 22.3, 31.8 and 3.7 respectively. The change in forest area over the time was 60.4 km<sup>2</sup> which is equal to 6.2 % during 1998 to 2008 and ultimately overall deforestation was 124.4 km<sup>2</sup> which is equal to 12.7 % loss of forest area lost from 1998 to 2018. Thus, the forest area was changed to settlements and barren lands from 1988



to 2018. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated for 1988, 1998, 2008 and 2018. Based on NDVI analysis, total deforestation over the time was 166.29 km<sup>2</sup> in last 30 years (1988-2018) with percent deforestation of 43.66 % area lost. The Landsat images have 30 meters resolution and small forest area changes can not detected by Landsat images; thus, high-resolution products can detect more deforestation comparatively.

**Keywords:** Deforestation; Spatio-temporal analysis; Landsat, Supervised Classification, NDVI.

---

## RESUMO

A presente pesquisa avaliou a mudança espaço-temporal na floresta subtropical do distrito de Malakand através de técnicas de Sensoriamento Remoto e GIS. O principal objetivo era identificar diferentes classes de cobertura terrestre e determinar as mudanças temporais na cobertura florestal na área de estudo. Este estudo foi baseado nas duas diferentes técnicas de classificação da cobertura do solo. Neste estudo, quatro imagens Landsat foram adquiridas com o intervalo de 10 anos, de 1988 a 2018. A classificação de máxima probabilidade e a classificação de distância mínima foram aplicadas passo a passo em todas as quatro imagens. A área total do distrito de Malakand foi registrada como 975,32 km<sup>2</sup>. Em relação à porcentagem de cobertura de área sábia, a floresta cobriu 22,1 % da área total, enquanto os assentamentos de outras classes, agricultura, terra árida e água cobriram 17,7, 23,3, 33 e 3,9% respectivamente em 1988. Enquanto que em 2018, a porcentagem de cobertura de área razoável abrangia 9,3 % da área total, embora os assentamentos de outras classes, a agricultura, a terra árida e a água tenham coberto 33,8, 22,3, 31,8 e 3,7, respectivamente. A mudança na área florestal ao longo do tempo foi de 60,4 km<sup>2</sup> que é igual a 6,2 % durante 1998 a 2008 e finalmente o desmatamento total foi de 124,4 km<sup>2</sup> que é igual a 12,7% de perda de área de floresta perdida de 1998 a 2018. Assim, a área florestal foi mudada para assentamentos e terras áridas de 1988 a 2018. O Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI) foi calculado para 1988, 1998, 2008 e 2018. Com base na análise do NDVI, o desmatamento total ao longo do tempo foi de 166,29 km<sup>2</sup> nos últimos 30 anos (1988-2018) com percentual de desmatamento de 43,66 % de área perdida. As imagens Landsat têm resolução de 30 metros e pequenas mudanças de área florestal não podem ser detectadas pelas imagens Landsat, assim, produtos de alta resolução podem detectar mais desmatamento comparativamente.

**Palavras-chave:** Desmatamento; Análise espaço-temporal; Landsat; Classificação supervisionada; NDVI.

---

## INTRODUCCIÓN

La deforestación es la eliminación completa de la vegetación forestal y su sustitución por una cubierta terrestre no forestal (Philippe y Karume, 2019; Kemppinen *et al.*, 2020). Los bosques juegan un papel importante en la absorción de nutrientes del suelo (Nitschke *et al.*, 2017) y funcionan como sumideros de carbono porque los árboles absorben CO<sub>2</sub>



y disminuyen la presión del calentamiento global sobre el medio ambiente (Zhao *et al.*, 2019). Después de la revolución industrial, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está aumentando a un ritmo muy rápido (Ussiri y Lal, 2017). Este aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> contribuye significativamente al calentamiento global y, por lo tanto, provoca el cambio climático, el aumento de la frecuencia y la magnitud de las inundaciones, las sequías, la ola de calor y la contaminación, etc., lo que afecta a la vida humana (Nda *et al.*, 2018). Los bosques también contribuyen al suministro de agua potable (Westling *et al.*, 2020), al flujo regular de agua y al filtrado de contaminantes, mejorando la calidad del aire y del agua (Davies *et al.*, 2017). Los factores directos e indirectos son dos de los principales impulsores de la deforestación, entre los que se incluyen factores ecológicos, sociales, comerciales y biofísicos que interactúan de forma compleja y que, en última instancia, provocan la pérdida de vegetación. Los factores directos de la deforestación pueden ser tanto naturales como antropogénicos. Entre los impulsores directos naturales se encuentran los daños causados por las fuertes inundaciones, las zonas quemadas por los incendios forestales, la infestación o el ataque de parásitos o depredadores y los huracanes. Por otro lado, los impulsores directos antropogénicos pueden incluir la tala de bosques para la agricultura, la cría de ganado, la extracción de madera comercial, la tala excesiva, la recogida de leña, la explotación de bosques para actividades mineras, las infraestructuras y la construcción de presas (Batar *et al.*, 2017; Behera *et al.*, 2019). Los impulsores indirectos son una compleja interacción de actividades económicas, de gobernanza, tecnológicas y demográficas (Kessy *et al.*, 2016; Tegegne *et al.*, 2016). Las causas indirectas de la deforestación también pueden incluir la falta de acciones políticas (Carr, 2007), el fracaso de las políticas y la gobernanza (sistema de tenencia insuficiente, fraude y administración pública incorrecta), la presión social, el terrorismo militar medioambiental y el impacto adverso del cambio climático (Chakravarty *et al.*, 2012; Sonter *et al.*, 2017).

La teledetección se ha utilizado ampliamente para conocer el desarrollo comunitario, la desertificación (Kouba *et al.*, 2018) y la deforestación (Meshesha *et al.*, 2016). A nivel mundial, la teledetección se utiliza ampliamente para supervisar la cubierta forestal espacio-temporalmente para entender la degradación de los bosques (Khan *et al.*, 2016) y sus impactos en el clima, la vida humana y la diversidad biológica (Van der Sande *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2020). Desde el lanzamiento del programa Landsat en 1972, se ha utilizado ampliamente para investigar la gestión de los recursos naturales, como la cartografía de la cubierta forestal (Phiri y Morgenroth, 2017; Wulder *et al.*, 2016). Los análisis forestales, la dirección y la detección del patrón espacial del cambio de uso de la tierra pueden ser posibles a través de los SIG y la teledetección (Islam *et al.*, 2018; Shawul *et al.*, 2019).

Pakistán tiene diversas condiciones climáticas debido a las cuales hay diferentes tipos de bosques en la región (Khan *et al.*, 2018). Los bosques de coníferas se sitúan principalmente en las zonas septentrionales de Khyber Pukhtunkhwa (KP), el norte de Punjab, Baluchistán y la región de Cachemira (AJK). Estos bosques se encuentran en altitudes de 1.000 a 4.000 metros sobre el nivel medio del mar (Ali *et al.*, 2018; Ali *et al.*, 2019). En KP, estos bosques están presentes principalmente en el distrito Dir, Malakand, Swat y Mansehra, mientras que en Punjab se puede encontrar en el distrito Rawalpindi (Bukhari *et al.*, 2019; Ali *et al.*, 2020). Además, estos bosques proporcionan suministro de leña, fauna y flora, control de la erosión, protección contra las inundaciones y madera para la construcción (Qamer *et al.*, 2016; Zeb *et al.*, 2019). En



el distrito de Malakand, las especies de coníferas (*Pinus roxburghii* y *Pinus wallichaina*) de Chirpine subtropical y Ecotone tienen un importante papel medioambiental, socioeconómico y biológico. Apoya la industria del turismo, los hábitats de la vida silvestre y tiene un alto potencial de producción de madera (Khan y Ullah, 2016). La zona forestal se enfrenta a graves problemas como la invasión, la falta de planificación del uso de la tierra y de concienciación en la comunidad, la deforestación y la conversión de los bosques en tierras baldías (Ali et al., 2017).

Las áreas de cobertura forestal en el distrito de Malakand han sufrido rápidas transformaciones. Sin embargo, el Proyecto de Reforestación de Mil Millones de Árboles (BTAP) es un programa de conservación de bosques del Gobierno Provincial de Khyber Pakhtunkhwa en Pakistán que se inició en 2014 y se completó en 2019. En el marco del BTAP, se llevaron a cabo actividades de forestación en diferentes zonas del distrito de Malakand que restauraron y aumentaron ligeramente la cubierta vegetal. La presente investigación evaluó el cambio espacio-temporal en el bosque subtropical del distrito de Malakand mediante técnicas de teledetección y SIG. El objetivo principal era identificar las diferentes clases de uso del suelo, la cubierta vegetal y determinar el cambio temporal de la cubierta forestal (distribución espacial) en la zona de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Malakand limita al norte con el distrito de Lower Dir, al este con el distrito de Buner, al sureste con el distrito de Mardan y al suroeste con el distrito de Charsadda y la Agencia de Mohmand. También limita con una cadena montañosa al noreste que lo separa del distrito de Swat y otra cadena montañosa al oeste que lo separa de las agencias de Bajaur y Mohmand. El suelo de Malakand es generalmente limoso y húmedo, de grava y roca, y está regado por el río Swat, que fluye desde Swat y se une al río Kabul cerca de Peshawar. La precipitación media anual de la zona de estudio oscila entre 600 y 650 mm, lo que no es suficiente; por lo tanto, el suelo requiere riego artificial (Khan et al., 2017). El clima aquí es moderadamente frío en los inviernos y agradable en los veranos. Además, la temperatura más alta (43°C) se ha registrado en el mes de junio y julio mientras que la temperatura más baja (-3°C) puede registrarse en invierno (en diciembre y enero).

Se realizó una clasificación supervisada de las imágenes de satélite del distrito de Malakand y una encuesta sobre el terreno para analizar el cambio de la cubierta forestal en la zona de estudio del distrito de Malakand. Se utilizó el método de teledetección para analizar la dinámica del cambio de la cubierta forestal en la zona de estudio. Se examinó el método de máxima verosimilitud y máxima distancia de clasificación supervisada para todas las imágenes Landsat (de 1998 a 2018). Después de la clasificación de imágenes claramente, se compararon los mapas resultantes píxel por píxel por medio de una matriz de detección de cambios. Los pasos que fluyen se llevaron a cabo para el procedimiento de procesamiento de imágenes; (1) Preparación de los datos que incluyó la corrección realizada en el software a saber, Entorno para la Visualización de Imágenes (ENVI 5.3) y Plataforma de Aplicación de Centinelas (SNAP), (3) Clasificación supervisada de imágenes utilizando conjuntos de datos de entrenamiento tomados para el departamento





forestal, (4) Análisis después de la clasificación para la cobertura forestal perdida durante 1998-2018 (5) Preparación de los mapas de detección de cambios. Estas aplicaciones se llevaron a cabo utilizando el software ENVI y ArcGIS 10.3. Para la detección de cambios en un periodo de tiempo se utilizaron imágenes de satélite temporales del mismo periodo de tiempo y de la misma estación. Se descargaron imágenes del satélite Landsat de cuatro épocas (1988, 1998, 2008 y 2018) (<http://glovis.usgs.gov/>). Para reducir el tiempo de cálculo, se combinaron diferentes bandas de imágenes Landsat y se descargaron en ENVI 5.3. En Landsat 5 había siete bandas que se agruparon para crear una imagen de satélite compuesta (<http://glovis.usgs.gov/>).

Se especificó un área de estudio utilizando la opción de área de interés (AOI) en la interfaz de subconjuntos y los subconjuntos estuvieron listos tras la finalización del estado del trabajo. Se utilizó la técnica de máxima verosimilitud para clasificar los píxeles. Se trata de un sistema de clasificación en el que los píxeles no identificados se asignan a las clases utilizando el contorno de la probabilidad alrededor de las áreas de entrenamiento mediante el estadístico de máxima probabilidad. Además, se determinó el NDVI, que oscila entre (-1) y (+1); aunque la ausencia de hojas verdes da un valor cercano a cero. Un valor de cero significa que no hay flora y cerca de +1 (0,8 - 0,9) muestra la máxima densidad probable de hojas verdes. Después de la clasificación de todos los mapas, se reclasificaron en las clases de cubierta forestal deseadas utilizando la herramienta de reclasificación de ArcGIS 10, y se utilizó la opción de cálculo raster para medir el área en cuestión. También se prepararon imágenes de todos los tipos de cobertura del suelo para cada año de la zona de estudio.

## RESULTADOS

Este estudio se basa en dos técnicas de clasificación diferentes para la clasificación de la cubierta del suelo. En este estudio hemos tomado imágenes con un intervalo de 10 años desde 1988 hasta 2018. Se tomaron cuatro imágenes de 1988, 1998, 2008 y 2018 y en primer lugar se preprocesaron estas imágenes y todas ellas se muestran en la figura 4.1. Estas imágenes se corrigieron primero radio métricamente y luego se aplicó la corrección IAR y después se aplicó la sustracción oscura para poder tener la imagen disponible para el procesamiento posterior.

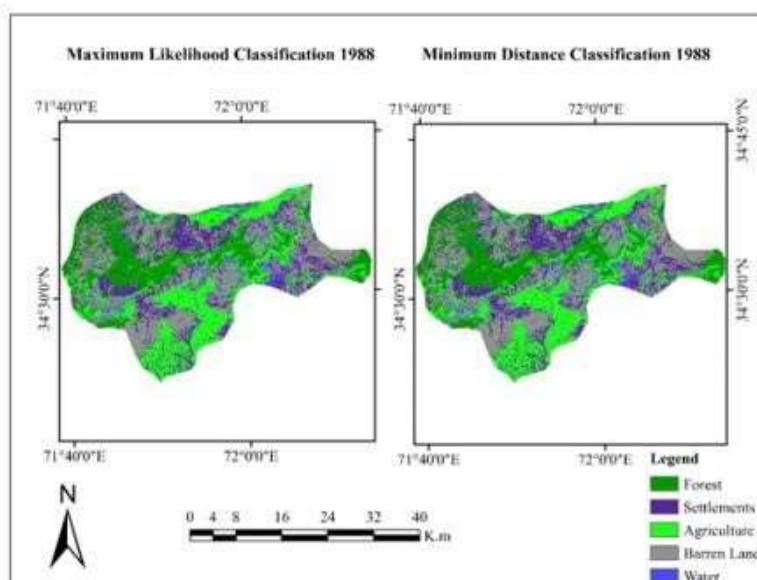
### Clasificación supervisada

La clasificación de máxima verosimilitud y la clasificación de mínima distancia se aplicaron a las cuatro imágenes paso a paso. La imagen clasificada se muestra en la Figura 1 y la Tabla 1 describe las áreas cubiertas y los porcentajes de cada clase en el Landsat-8 de 1988. La superficie total del distrito de Malakand se registró como 975,32 km<sup>2</sup>. La mayor superficie de cobertura del suelo fue la agricultura, con 227,6 km<sup>2</sup>, mientras que la menor superficie (37,7 km<sup>2</sup>) estaba cubierta por agua. La superficie forestal era de 215,2 km<sup>2</sup> y se extendía por la parte central y norte del distrito. El resto de la superficie cubierta por asentamientos y tierras baldías era de 173 km<sup>2</sup> y 321,5 km<sup>2</sup>. En cuanto a la distribución porcentual de la superficie, los bosques cubrían el 22,1 % de la superficie total, mientras que los asentamientos, la agricultura, las tierras baldías y el agua cubrían el 17,7, 23,3, 33 y 3,9 respectivamente.



**Tabla 1.** - Clases de área y porcentajes de 1988, 1998, 2008 y 2018

Clases	1988		1998		2008		2018	
	Área (km <sup>2</sup> )	% Edad	Área (km <sup>2</sup> )	% Edad	Área (km <sup>2</sup> )	% Edad	Área (km <sup>2</sup> )	% Edad
<b>Bosque</b>	215,5	22,1	189,0	19,4	151,6	15,5	91,2	9,3
<b>Asentamiento</b>	173,0	17,7	215,3	22,1	281,8	28,9	321,9	33,0
<b>Agricultura</b>	227,6	23,3	195,4	19,9	150,6	15,4	217,6	22,3
<b>Tierras baldías</b>	321,5	33,0	340,4	34,9	355,1	36,4	310,5	31,8
<b>Agua</b>	37,7	3,9	35,4	3,6	36,4	3,7	34,1	3,7
<b>Total</b>	975,32	100	975,32	100	975,32	100	975,32	100



**Figura 1.** - Clases de clasificación de 1988

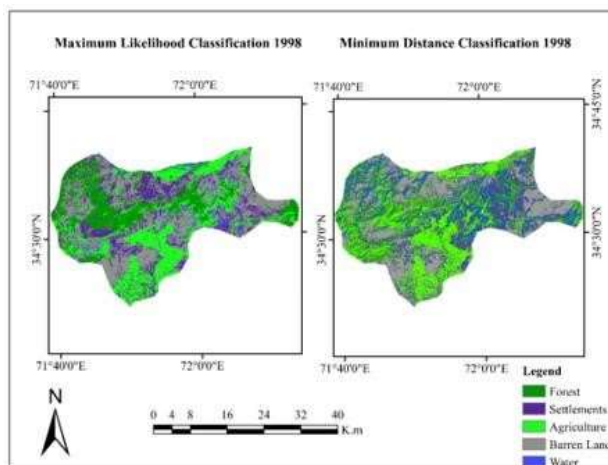
En las imágenes clasificadas de 1998, la agricultura cubría mucha superficie en toda la zona de estudio, especialmente cerca de los ríos y hacia el norte (Figura 2). La mayor superficie de cobertura del suelo eran las tierras baldías, 340,4 km<sup>2</sup>, mientras que la menor superficie, 35,4 km<sup>2</sup>, estaba cubierta por agua. La superficie forestal era de 189 km<sup>2</sup> y se extendía por la parte central y norte del distrito. El resto de la superficie cubierta por asentamientos y agricultura era de 215,3 km<sup>2</sup> y 195,4 km<sup>2</sup>. En cuanto a la distribución porcentual de la superficie, los bosques cubrían el 19,4 % de la superficie total, mientras que las otras clases de asentamientos, agricultura, tierras baldías y agua han cubierto el 22,1, 19,9, 34,9 y 3,7 respectivamente. El cambio en la superficie forestal a lo largo del tiempo fue de 26,5 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 2,7 % durante el período 1988-1998 (Tabla 1).



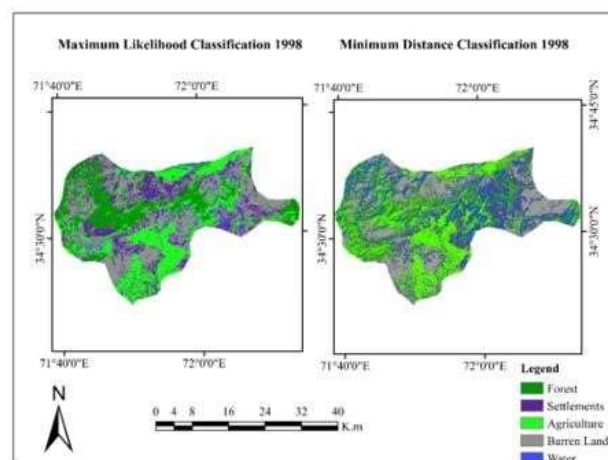


Del mismo modo, en las imágenes clasificadas de 2008, el clasificador de máxima verosimilitud muestra un alto índice de bosque en comparación con el clasificador de mínima distancia (Figura 3). En ambas imágenes, en dirección norte, hay un alto índice de superficie agrícola.

De acuerdo con la Tabla 1, la mayor superficie de cobertura del suelo fue la de tierras estériles, que cubría 355,1 km<sup>2</sup>, lo que indica un aumento de la superficie estéril en comparación con 1998. La superficie más baja, 35,4 km<sup>2</sup>, estaba cubierta por agua. La superficie forestal era de 151 km<sup>2</sup> y se extendía por la parte central y norte del distrito. El resto de la superficie cubierta por asentamientos y agricultura era de 281,8 km<sup>2</sup> y 150,4 km<sup>2</sup>. En cuanto a la cobertura porcentual, el bosque cubría el 15,4 % de la superficie total, mientras que los asentamientos, la agricultura, las tierras baldías y el agua cubrían el 28,9, 15,4, 36,4 y 3,7 respectivamente. El cambio en la superficie forestal a lo largo del tiempo fue de 37,4 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 3,9 % entre 1998 y 2008, mientras que durante las dos décadas de 1988 a 2008 la superficie deforestada fue de 64 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 6,6 % de la superficie perdida durante este periodo.



**Figura 2.** - Clases de clasificación 1998



**Figura 3.** - Clases de clasificación 2008



Por último, en las imágenes clasificadas de 2018 a partir de la imagen Landsat-8, se puede observar que los asentamientos han aumentado exponencialmente durante 1998 a 2008 y los bosques han disminuido gradualmente en estos últimos diez años (Figura 4). En estas imágenes clasificadas, la tierra estéril ha aumentado y hay una drástica disminución de la superficie forestal. La tierra estéril también ha aumentado en la zona.

Según la Tabla 1, la mayor superficie de cobertura del suelo fue la de los asentamientos, que abarcó 321,9 km<sup>2</sup>, lo que indica un aumento de la superficie estéril en comparación con 1998. La superficie más baja, 35,4 km<sup>2</sup>, estaba cubierta por agua. La superficie forestal se redujo a 91,2 km<sup>2</sup> en la parte central del distrito. El resto de la superficie cubierta por tierras áridas y por la agricultura era de 310,5 km<sup>2</sup> y 217,6 km<sup>2</sup>. En cuanto a la cobertura porcentual, los bosques cubren el 9,3% de la superficie total, mientras que los asentamientos de otro tipo, la agricultura, las tierras baldías y el agua cubren el 33,8, 22,3, 31,8 y 3,7 respectivamente.

El cambio en la superficie forestal a lo largo del tiempo fue de 60,4 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 6,2 % entre 1998 y 2008, mientras que la deforestación global fue de 124,4 km<sup>2</sup>, lo que equivale a una pérdida del 12,7 % de la superficie forestal perdida entre 1998 y 2018. El gráfico por áreas se muestra en el área (Figura 4). Podemos ver que el bosque está muriendo en cada década. Por otra parte, el asentamiento se incrementa con el paso del tiempo. Así pues, la superficie forestal se ha transformado en asentamientos y tierras baldías desde 1988 hasta 2018 (Figura 5).

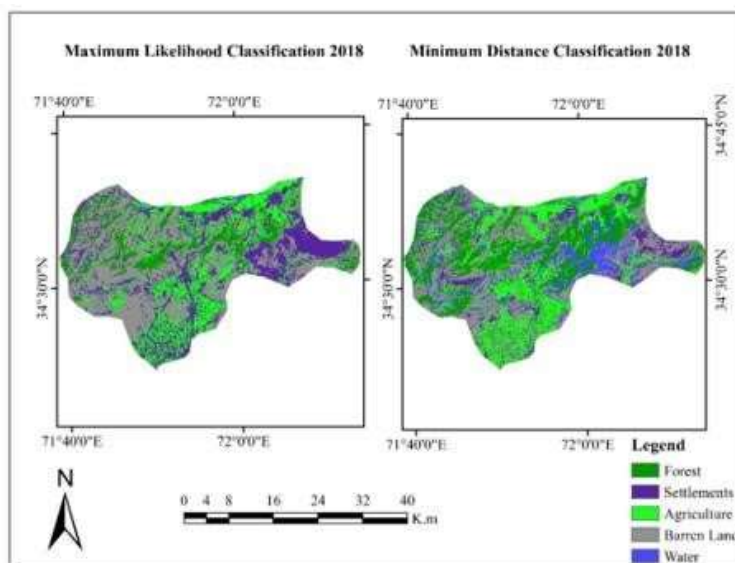
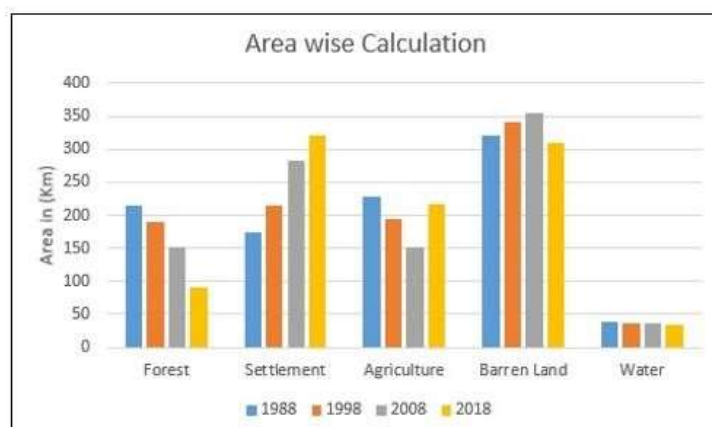


Figura 4. - Clases de clasificación 2018





**Figura 5.** - Clases por áreas durante 1988-2018

### Evaluación de la precisión

Es importante que la imagen postclasificada sea validada. Con la ayuda de la evaluación de la precisión también se probaron ambos clasificadores. Se observa que los resultados del clasificador de máxima verosimilitud son más precisos que los del clasificador de mínima distancia. La tabla de evaluación de la precisión del clasificador de máxima verosimilitud se muestra en la Tabla 2. En esta tabla podemos identificar que la precisión global del clasificador de máxima verosimilitud fue del 92,4 % con un coeficiente Kappa de 0,81. Desde el clasificador de distancia mínima, la precisión global fue del 87 % y el coeficiente Kappa fue de 0,76. Por lo tanto, a partir de estos resultados y de las tablas de evaluación de la precisión, se demuestra que el clasificador de máxima probabilidad es el mejor para la clasificación de la cubierta terrestre. La tabla se generó a partir de la clasificación de distancia mínima (Tabla 3).

**Tabla 2.** - Tabla de evaluación precisa de máxima probabilidad

Clases	bosque	asentamiento	Agricultura	Tierra baldía	agua	Total	precisión del Productor	precisión del usuario	Error de comisión	Error de Omisión
<b>Bosque</b>	1563	22	14	23	3	1611	96,36	97,02	3,63	2,97
<b>Asentamiento</b>	18	1506	40	116	0	1680	91,60	91,82	8,39	8,17
<b>Agricultura</b>	24	13	1422	46	3	1508	92,35	94,62	7,65	5,48
<b>Tierra baldía</b>	41	108	62	1326	7	1482	90,51	89,47	9,48	10,52
<b>Total</b>	0	8	10	0	311	319	96,88	97,49	3,11	2,50
<b>Total</b>	1622	1644	1548	1465	321	6600				



**Tabla 3.** - Evaluación precisa de distancia máxima

Clases	Bosque	Asentamiento	Agricultura	Tierra baldía	Agua	Total	Precisión del productor	Precisión del Usuario	Error de Comisión	Error de Omisión
<b>bosque</b>	1513	22	83	23	3	1694	96,36	97,02	3,63	2.97
<b>asentamiento</b>	18	1435	46	116	0	1686	91,60	91,82	8,39	8.17
<b>Agricultura</b>	13	44	1304	71	5	1437	91,64	88,27	8,36	11.73
<b>Tierra baldía</b>	41	108	109	1226	7	1591	90,51	89,47	9,48	10.52
<b>Agua</b>	0	8	6	0	311	325	96,88	97,49	3,11	2.50
<b>Total</b>	1622	1644	1548	1465	321	6600				

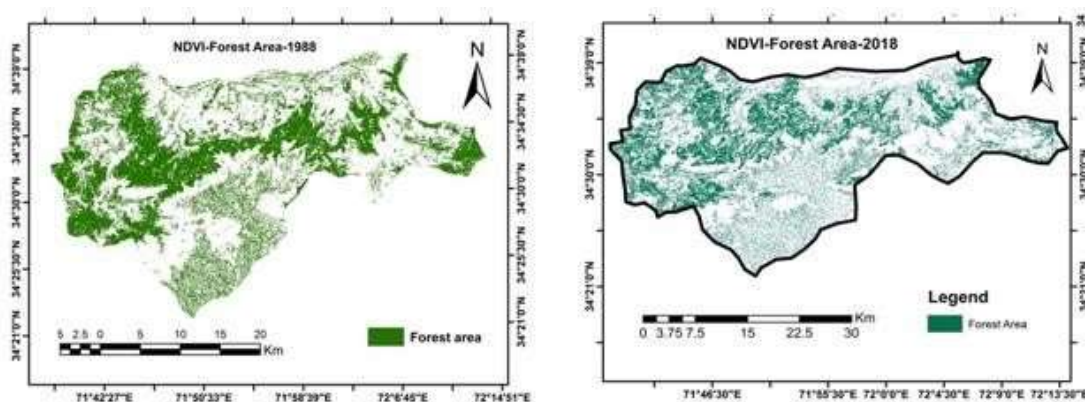
### **Análisis del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)**

Se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para 1988, 1998, 2008 y 2018 (Tabla 4). Los resultados del NDVI calculados a partir de imágenes Landsat del área de estudio para el año 1998 y 2018 se han mostrado en la Figura 6. En cuanto al análisis de la cubierta forestal a través del NDVI, normalmente algunos valores de NDVI más altos estaban en el mismo rango para las zonas agrícolas y las zonas forestales. Estos valores de las zonas forestales son un poco más bajos que el NDVI en 2018 y 2008. Estos valores basados en la agricultura se mantuvieron en consideración. Según la Tabla 4, en 1988 la superficie forestal basada en el NDVI era de 380,79 km<sup>2</sup>, lo que equivale al valor de 423110 píxeles de la imagen Landsat-5, mientras que la superficie se redujo a 327,89 km<sup>2</sup> en 1998. La deforestación adicional se hizo evidente a partir de los NDVI de 2008 y 2018, que mostraron áreas forestales de 255,57 km<sup>2</sup> y 214,50 km<sup>2</sup> respectivamente. Los cambios de superficie para el año base 1988 fueron: la deforestación de 1988 a 1998 fue de 52,90 km<sup>2</sup>, a continuación, de 1998 a 2008 la deforestación fue de 72,32 km<sup>2</sup> y, por último, de 2008 a 2018 la superficie forestal se ha reducido 41,06 km<sup>2</sup>. En cuanto al cambio porcentual con el año base 1988, los cambios porcentuales fueron; 13,89 % para 1988-1998, 22,05 % para 1998-2008 y 16,06 % para 2008-2018. La deforestación total a lo largo del tiempo fue de 166,29 km<sup>2</sup> en los últimos 30 años (1988-2018) con un porcentaje de deforestación del 43,66 % de superficie perdida.



**Tabla 4.** - Análisis Temporal del análisis del NDVI (1988-2018)

Año	1988	1998	2008	2018
<b>NDVI Pixel</b>	423 110	364 330	283 970	238 338
<b>Área en m<sup>2</sup></b>	380 799 000	327 897 000	255 573 000	214 504 200
<b>Área en km<sup>2</sup></b>	380,79	327,89	255,57	214,50
<b>Cambio de Área</b>	Año base	52,90	72,32	41,06
<b>Cambio de Porcentaje</b>	Año base	13,89%	22,05%	16,06%
<b>Deforestación (1988-2018)</b>	380,79-214.5= 166,2948 km <sup>2</sup>			
<b>Porcentaje de Deforestación (1988-2018)</b>	214,5/380,79 *100 = 56,330 (Área de bosque perdida 100 - 56,33 = 43,66			



**Figura 6.** - Índice de vegetación de diferencia normalizada 1988 y 2018

### Plantación en el marco del proyecto de forestación en el distrito de Malakand

En el marco del Proyecto de Forestación de Mil Millones de Árboles (BTAP), el departamento forestal provincial ha plantado miles de plantas autóctonas en una amplia zona del distrito de Malakand. Hay unas 29 zonas de plantación en el área de estudio y el aumento del bosque debido a la intervención del BTAP se ha evaluado mediante índices de vegetación. El índice de vegetación (RVI) es la relación entre el infrarrojo cercano y la porción roja del espectro debido a su importancia en la fotosíntesis. El rango de RVI es de 0 a infinito, menos de cero muestra la vegetación mientras que los valores más altos muestran menos áreas de vegetación. El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) supera la interferencia del suelo en los valores de reflectancia teniendo en cuenta el factor suelo, por lo que el SAVI puede utilizarse en combinación con el NDVI. El SAVI tiene el mismo rango que el NDVI. El DVI también tiene en cuenta la pendiente de la línea del suelo y pondera el infrarrojo cercano para diferenciar las zonas con vegetación de las zonas sin vegetación. Los valores van de negativos a positivos, la vegetación se expresa con valores positivos. El archivo de forma de las plantaciones creado mediante ArcGIS 10.3 se superpuso a los índices de vegetación correspondientes de todas las





imágenes adquiridas. Los valores de los píxeles enmascarados se extrajeron para todos los índices y se organizaron adecuadamente en hojas de Excel. Los resultados de todos los índices de vegetación mostraron un aumento significativo de la cobertura vegetal debido al programa de plantación en el área de estudio (Figure 7).

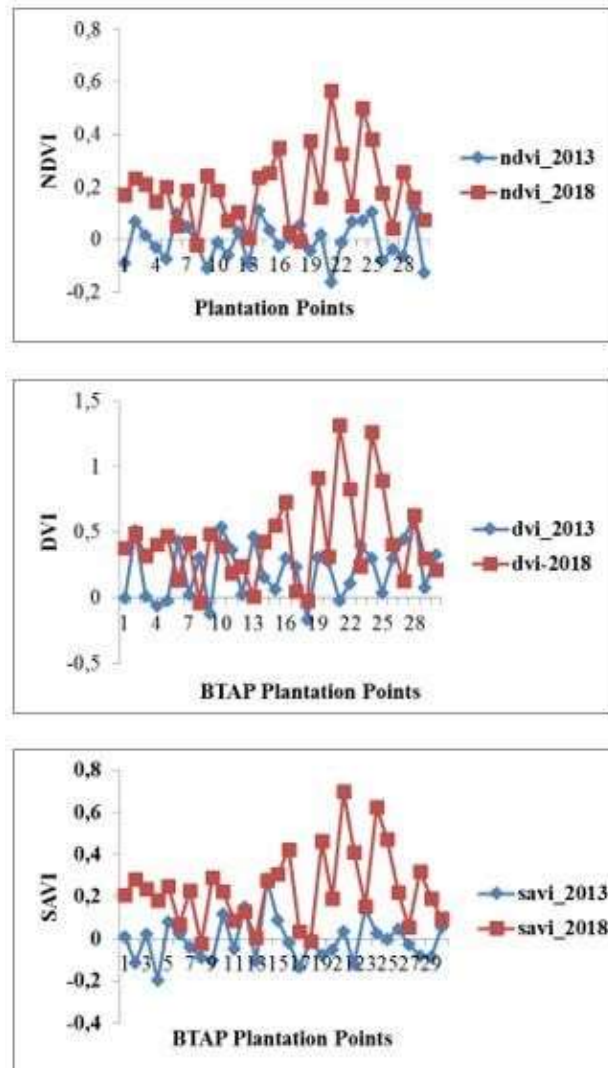


Figura 7. - NDVI, DVI y SAVI para los puntos de plantación de BTAP

## DISCUSIÓN

Los bosques tienen un importante papel medioambiental, socioeconómico y biológico, pero la zona forestal de Pakistán se enfrenta a graves problemas como la invasión, la falta de planificación del uso de la tierra y de concienciación de la comunidad, la deforestación y la conversión de los bosques en tierras baldías. Las zonas de cobertura forestal del distrito de Malakand han sufrido rápidas transformaciones. Mahboob *et al.*, (2016) informaron de su estudio sobre los cambios en el uso de la tierra en Islamabad





que la urbanización ha aumentado entre 1975 y 2010 de 50 km<sup>2</sup> a 332 km<sup>2</sup>, lo que en última instancia ha dado lugar a una alarmante reducción de la superficie forestal de 465 km<sup>2</sup> a 145 km<sup>2</sup>, incluido el Parque Nacional de Margalla Hills. Del mismo modo, **Batool y Kanwal Javaid (2018)** utilizaron Landsat-7 y Landsat-8 para descubrir los cambios en el uso de la tierra en los parques nacionales de Margalla Hills, Islamabad, entre 2000 y 2008. Identificaron un 13 % de deforestación con un 2 % de aumento de la construcción. **Mitchell et al., (2014)** afirmaron que Pakistán tiene una mayor zona rural en la que la gente cuenta sobre todo con recursos naturales. Además, existen numerosas industrias basadas en productos forestales que dependen de los bosques. Los bosques ofrecen diferentes servicios ecosistémicos a la población local. Aunque las actividades de desarrollo atraen a más turistas a estos bosques, esto afecta y perturba en gran medida el ecosistema forestal (**Sheday et al., 2019**). **Siyal et al., (2016)** estudiaron la diferencia espacial y temporal en la cubierta forestal del bosque de Pai en Sindh utilizando la temperatura de la superficie terrestre mediante datos ópticos y térmicos del satélite Landsat (1987-2014). El estudio mostró un 15 % de deforestación en el bosque delgado en solo cinco años (1987-1992), mientras que se registró un aumento del 26 % en la cubierta forestal gruesa en un lapso de unos 21 años (1992-2013). Se analizó que la mayor parte de la superficie boscosa se había despejado en 1992.

**Rashid & Iqbal, (2018)** estudiaron la dinámica de la cubierta forestal durante 1990-2016 utilizando imágenes Landsat a lo largo de la carretera de Karakoram. Los mapas de cambio de la cubierta forestal de las cinco áreas de estudio clasificadas en función del uso del suelo (bosque, vegetación, zona urbana, terreno abierto y cubierta de nieve) detectan una disminución del 26 % de la cubierta forestal en un período de 26 años. La expansión urbana y la sustitución de la vegetación fueron las principales causas de la disminución de la cubierta forestal. En este contexto, varios estudios concluyeron que la rápida expansión urbana y el fomento de la agricultura son los dos principales factores que provocan la reducción de la cubierta forestal (**Gilani et al., 2015; Sajjad et al., 2015; Qamer et al., 2016; Khalid et al., 2016; Kundu, 2017**). Además, la tala ilegal es también un elemento de degradación forestal en los países en desarrollo (**Khalid et al., 2016; Qamer et al., 2016**). En este contexto, la presión de la comunidad local sobre estos bosques para el consumo de madera hace prever que los bosques de Malakand y Hazara podrían dejar de existir en el año 2027. Los pastizales, la agricultura y las plantaciones cubren aproximadamente el 21 % de las necesidades totales. Pero se espera que el déficit de suministro de 8,8 millones de m<sup>3</sup> en 2027 llegue a 13,6 millones de m<sup>3</sup> en 2050 (**Rashid e Iqbal, 2018**).

Debido a los cambios en el uso del suelo y a la expansión de las zonas urbanas, se produce un aumento de la degradación de los bosques en Abbottabad a Besham en Khyber Pakhtunkhwa. La transformación de estas tierras en pastos, parques y vegetación agrícola aumenta el valor estético, pero es vulnerable al pastoreo intenso y, en última instancia, provoca la degradación. La demanda de madera por parte de la comunidad local es otro factor de degradación forestal (**Fischer et al., 2010; Ali et al., 2006; Rashid e Iqbal, 2018**).

**Kausar et al., (2016)** utilizaron imágenes Landsat para detectar el cambio de LULC debido al aumento de las actividades de ecoturismo durante 1998-2010. El estudio informó que la superficie construida ha aumentado en un 11,73 %, los bosques de reserva en un 8,11 %, mientras que los pastizales y los bosques naturales densos disminuyen en un



7,50 y un 12,37 %, respectivamente. Del mismo modo, Urooj y Ahmad, (2019) realizaron un análisis espacio-temporal de los cambios ecológicos en torno a los humedales de Azad Jammu y Cachemira. El estudio reveló un notable aumento de la zona edificada, mientras que se observó una reducción de la masa de agua, la vegetación y la zona estéril entre 1992 y 2013. En otro estudio, los investigadores concluyeron que el rápido aumento de la superficie agrícola es una de las principales causas del declive de los bosques (Qasim *et al.*, 2011). Tang *et al.*, (2005) afirmaron que los principales impulsores del declive forestal eran el desarrollo urbano y los asentamientos. Del mismo modo, Awasthi *et al.*, (2002) y Twumasi y Merem (2006) describieron la tendencia a la disminución de los bosques en las cuencas hidrográficas de todo el mundo. Además, las imágenes Landsat tienen una resolución de 30 metros y las imágenes Landsat no pueden detectar los cambios en las áreas forestales pequeñas, por lo que las imágenes de alta resolución pueden detectar más deforestación en comparación. Spot-5/6/7 y Worldview 2/3 pueden aplicar la deforestación detallada. La fusión de las imágenes Sentinel-2, Sentinel-1 y SAR/Radar puede mejorar los resultados. Los resultados pueden compararse con los mapas globales de altura del dosel forestal Lidar de 1 km y con los conjuntos de datos globales de cambio de la cubierta forestal 2000-2017.

## CONCLUSIÓN

Este estudio se ha basado en dos técnicas de clasificación diferentes para la clasificación de la cobertura del suelo. En este estudio se han tomado imágenes con el intervalo de 10 años desde 1988 hasta 2018. La clasificación de máxima verosimilitud y la clasificación de mínima distancia se aplicaron en todas las imágenes Landsat.

La superficie total del distrito de Malakand se registró como 975,32 km<sup>2</sup>. En lo que respecta a la cobertura porcentual de la superficie, el bosque cubrió el 22,1 % de la superficie total, mientras que los asentamientos, la agricultura, las tierras baldías y el agua cubrieron el 17,7, el 23,3, el 33 y el 3,9 respectivamente en 1988. Mientras que, en 2018, el bosque cubrió el 9,3 % de la superficie total, mientras que los asentamientos de otras clases, la agricultura, las tierras baldías y el agua cubrieron el 33,8, 22,3, 31,8 y 3,7 respectivamente.

El cambio en la superficie forestal a lo largo del tiempo fue de 60,4 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 6,2 % durante el período 1998-2008, mientras que la deforestación global fue de 124,4 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 12,7 % de pérdida de superficie forestal entre 1998 y 2018. La superficie forestal se convirtió en asentamientos y tierras baldías desde 1988 hasta 2018. Se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para las tres décadas (1988- 2018) y los resultados mostraron una deforestación total de 166,29 km<sup>2</sup> con un porcentaje de deforestación del 43,66 % de superficie perdida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, A., ASHRAF, Dr.I., GULZAR, S. y AKMAL, M., 2020. Estimation of forest carbon stocks in temperate and subtropical mountain systems of Pakistan: implications for REDD+ and climate change mitigation. Environmental Monitoring and



- Assessment [en línea], vol. 192, no. 3, pp. 1-13. DOI 10.1007/s10661-020-8157-x. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/339541526\\_Estimation\\_of\\_forest\\_carbon\\_stocks\\_in\\_temperate\\_and\\_subtropical\\_mountain\\_systems\\_of\\_Pakistan\\_implications\\_for\\_REDD\\_and\\_climate\\_change\\_mitigation](https://www.researchgate.net/publication/339541526_Estimation_of_forest_carbon_stocks_in_temperate_and_subtropical_mountain_systems_of_Pakistan_implications_for_REDD_and_climate_change_mitigation)
- ALI, A., ASHRAF, Dr.I., GULZAR, S., AKMAL, M. y AHMAD, B., 2019. Estimation of soil carbon pools in the forests of Khyber Pakhtunkhwa Province, Pakistan. Journal of Forestry Research [en línea], vol. 31, no. 1, pp. 1-9. DOI 10.1007/s11676-019-01059-9. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/336673520\\_Estimation\\_of\\_soil\\_carbon\\_pools\\_in\\_the\\_forests\\_of\\_Khyber\\_Pakhtunkhwa\\_Province\\_Pakistan](https://www.researchgate.net/publication/336673520_Estimation_of_soil_carbon_pools_in_the_forests_of_Khyber_Pakhtunkhwa_Province_Pakistan).
- ALI, A., ULLAH, S., BUSHRA, S., AHMAD, N. y KHAN, M.A., 2018. Quantifying forest carbon stocks by integrating satellite images and forest inventory data. Austrian Journal of Forest Science [en línea], vol. 135, no. 2, pp. 93-118. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/327174541\\_Quantifying\\_forest\\_carbon\\_stocks\\_by\\_integrating\\_satellite\\_images\\_and\\_forest\\_inventory\\_data](https://www.researchgate.net/publication/327174541_Quantifying_forest_carbon_stocks_by_integrating_satellite_images_and_forest_inventory_data).
- ALI, S., ALI, W., NADEEM, M., KHAN, A., RAHMAN, Z. y IQBAL, A., 2017. Forest cover change and carbon stock assessment in Swat valley using remote sensing and geographical information systems. Pure and Applied Biology [en línea], vol. 6, no. 3, pp. 850-856. DOI 10.19045/bspab.2017.60089. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/318502849\\_Forest\\_cover\\_change\\_and\\_carbon\\_stock\\_assessment\\_in\\_Swat\\_valley\\_using\\_remote\\_sensing\\_and\\_geographical\\_information\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/318502849_Forest_cover_change_and_carbon_stock_assessment_in_Swat_valley_using_remote_sensing_and_geographical_information_systems).
- AWASTHI, K.D., SITAULA, B.K., SINGH, B.R. y BAJACHARAYA, R.M., 2002. Land-use change in two Nepalese watersheds: GIS and geomorphometric analysis. Land Degradation & Development [en línea], vol. 13, no. 6, pp. 495-513. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 1099-145X. DOI <https://doi.org/10.1002/ldr.538>. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.538>.
- BADSHAH BUKHARI, S.S., BAJWA, G.A. y REHMAN, S.S., 2019. Climate-Growth Response Function of the Blue Pine (Pinus Wallichiana) in Galies Forest Division Abbottabad, KP, Pakistan. Sarhad Journal of Agriculture [en línea], vol. 35, no. 1, pp. 116-125. [Consulta: 4 mayo 2021]. Disponible en: <https://researcherslinks.com/current-issues/Climate-Growth-Response-Function-of-the-Blue-Pine-Pinus-Wallichiana-in-Galies-Forest-Division-Abbottabad-KPPakistan/14/1/2004/figures>
- BATAR, A., WATANABE, T. y KUMAR, A., 2017. Assessment of Land-Use/Land-Cover Change and Forest Fragmentation in the Garhwal Himalayan Region of India. Environments [en línea], vol. 4, no. 2, pp. 34. DOI 10.3390/environments4020034. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/316273164\\_Assessment\\_of\\_Land-Use\\_Land-Cover\\_Change\\_and\\_Forest\\_Fragmentation\\_in\\_the\\_Garhwal\\_Himalayan\\_Region\\_of\\_India](https://www.researchgate.net/publication/316273164_Assessment_of_Land-Use_Land-Cover_Change_and_Forest_Fragmentation_in_the_Garhwal_Himalayan_Region_of_India).



- BEHERA, M.D., TRIPATHI, P., DAS, P. y SRIVASTAV, S.K., 2018. Remote sensing based deforestation analysis in Mahanadi and Brahmaputra river basin in India since 1985. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 206, pp. 1192-1203. [Consulta: 4 mayo 2021]. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.10.015. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/321123158\\_Remote\\_sensing\\_based\\_deforestation\\_analysis\\_in\\_Mahanadi\\_and\\_Brahmaputra\\_river\\_basin\\_in\\_India\\_since\\_1985](https://www.researchgate.net/publication/321123158_Remote_sensing_based_deforestation_analysis_in_Mahanadi_and_Brahmaputra_river_basin_in_India_since_1985).
- CARR, F., 2007. Government decision-making and environmental degradation: a study relating to mining activities in Papua New Guinea [en línea]. Doctoral dissertation. S.l.: Murdoch University. Disponible en: <https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/502/1/01Front.pdf>.
- CHAKRAVARTY, S., GHOSH, S., SURESH, C., DEY, A. y SHUKLA, G., 2012. Deforestation: Causes, Effects and Control Strategies [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-953-510569-5. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/global-perspectives-on-sustainable-forest-management/deforestation-causes-effects-and-control-strategies>.
- DAVIES, H.J., DOICK, K.J., HUDSON, M.D. y SCHRECKENBERG, K., 2017. Challenges for tree officers to enhance the provision of regulating ecosystem services from urban forests. *Environmental Research* [en línea], vol. 156, pp. 97-107. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0013-9351. DOI 10.1016/j.envres.2017.03.020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935117304942>.
- ISLAM, K., JASHIMUDDIN, M., NATH, B. y NATH, T.K., 2018. Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* [en línea], vol. 21, no. 1, pp. 37-47. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 1110-9823. DOI 10.1016/j.ejrs.2016.12.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982316301594>.
- KAUSAR, R., BAIG, S. y RIAZ, I., 2016. Spatio-temporal land use/land cover analysis of Murree using remote sensing and GIS. *Asian Journal of Agriculture and rural Development* [en línea], vol. 6, no. 3, pp. 50-58. [Consulta: 4 mayo 2021]. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/asi/ajosrd/2016p50-58.html>.
- KEMPPINEN, K.M.S., COLLINS, P.M., HOLE, D.G., WOLF, C., RIPPLE, W.J. y GERBER, L.R., 2020. Global reforestation and biodiversity conservation. *Conservation Biology* [en línea], vol. 34, no. 5, pp. 1221-1228. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32017194/>
- KESSY, J.F., NSOKKO, E., KASWAMILA, A. y KIMARO, F., 2016. Analysis of Drivers and Agents of Deforestation and Forest Degradation in Masito Forests, Kigoma, Tanzania. *International Journal of Asian Social Science* [en línea], vol. 6, no. 2, pp. 93-107. [Consulta: 4 mayo 2021]. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/asi/ijoass/2016p93-107.html>.



- KHALID, S. ur R., KHAN, M.R., USMAN, M., YASIN, M.W. y IQBAL, M.S., 2016. Spatiotemporal Monitoring for Deforestation and Forest Degradation Activities in Selected Areas of Khyber Pakhtunkhwa (KPK). *International Journal of Geosciences* [en línea], vol. 7, no. 10, pp. 1191-1207. [Consulta: 4 mayo 2021]. DOI 10.4236/ijg.2016.710089. Disponible en: <http://www.scirp.org/Journal/Paperabs.aspx?paperid=71536>.
- KHAN, W., KHAN, S.M., AHMAD, H., ALQARAWI, A.A., SHAH, G.M., HUSSAIN, M. y ABD\_ALLAH, E.F., 2018. Life forms, leaf size spectra, regeneration capacity and diversity of plant species grown in the Thandiani forests, district Abbottabad, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en línea], vol. 25, no. 1, pp. 94-100. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 1319-562X. DOI 10.1016/j.sjbs.2016.11.009. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X16301668>.
- KOUBA, Y., GARTZIA, M., EL AICH, A. y ALADOS, C.L., 2018. Deserts do not advance, they are created: Land degradation and desertification in semiarid environments in the Middle Atlas, Morocco. *Journal of Arid Environments* [en línea], vol. 158, pp. 1-8. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0140-1963. DOI 10.1016/j.jaridenv.2018.07.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196318304257>.
- MESHESHA, T.W., TRIPATHI, S.K. y KHARE, D., 2016. Analyses of land use and land cover change dynamics using GIS and remote sensing during 1984 and 2015 in the Beressa Watershed Northern Central Highland of Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment* [en línea], vol. 2, no. 4, pp. 1-12. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 2363-6211. DOI 10.1007/s40808-016-0233-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0233-4>.
- MUHAMMAD, Z., KHAN, N. y ULLAH, A., 2016. Quantitative Ethnobotanical Profile of Understorey Vegetation in *Acacia Modesta* (Wall) Forests of Malakand Division, Pakistan. *Science, Technology and Development* [en línea], vol. 35, no. 2, pp. 88-93. DOI 10.3923/STD.2016.88.93. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Quantitative-Ethnobotanical-Profile-ofUnderstorey-Muhammad-Khan/06c36545fd271a2df5aa7d9fc9d4a6a26ac9f9ed>.
- NDA, M., ADNAN, M.S., AHMAD, K.A., USMAN, N., RAZI, M.A.M. y DAUD, Z., 2018. A Review on the Causes, Effects and Mitigation of Climate Changes on the Environmental Aspects. *International Journal of Integrated Engineering* [en línea], vol. 10, no. 4. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 2600-7916. Disponible en: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/2269>.
- ITSCHKE, C.R., WAEBER, P.O., KLAASSEN, J.W., DORDEL, J., INNES, J.L. y APONTE, C., 2017. Nutrient uptake and use efficiency in co-occurring plants along a disturbance and nutrient availability gradient in the boreal forests of the southwest Yukon, Canada. *Journal of Vegetation Science* [en línea], vol. 28, no. 1, pp. 69-81. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 1654-1103. DOI <https://doi.org/10.1111/jvs.12468>. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jvs.12468>.





- PHILIPPE, M.T. y KARUME, K., 2019. Assessing Forest Cover Change and Deforestation Hot-Spots in the North Kivu Province, DR-Congo Using Remote Sensing and GIS. *American Journal of Geographic Information System* [en línea], vol. 8, no. 2, pp. 39-54. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 2163-114X. Disponible en: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajgis.20190802.01.html>.
- PHIRI, D. y MORGENROTH, J., 2017. Developments in landsat land cover classification methods: A review. *Remote Sensing* [en línea], vol. 9, no. 9, pp. 967. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 2072-4292. Disponible en: [https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL\\_ID=201802220882090078](https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=201802220882090078).
- QAMER, F.M., SHEHZAD, K., ABBAS, S., MURTHY, M.S.R., XI, C., GILANI, H. y BAJRACHARYA, B., 2016. Mapping Deforestation and Forest Degradation Patterns in Western Himalaya, Pakistan. *Remote Sensing* [en línea], vol. 8, no. 5, pp. 385. [Consulta: 4 mayo 2021]. DOI 10.3390/rs8050385. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/5/385>.
- QASIM, M., HUBACEK, K., TERMANSEN, M. y KHAN, A., 2011. Spatial and temporal dynamics of land use pattern in District Swat, Hindu Kush Himalayan region of Pakistan. *Applied Geography* [en línea], vol. 31, no. 2, pp. 820-828. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0143-6228. DOI 10.1016/j.apgeog.2010.08.008. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622810001098>.
- SHAWUL, A.A. y CHAKMA, S., 2019. Spatiotemporal detection of land use/land cover change in the large basin using integrated approaches of remote sensing and GIS in the Upper Awash basin, Ethiopia. *Environmental Earth Sciences* [en línea], vol. 78, no. 5, pp. 141. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 1866-6299. DOI 10.1007/s12665-019-8154-y. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665019-8154-y>.
- SONTER, L., HERRERA, D., BARRETT, D., GALFORD, G., MORAN, C. y FILHO, B., 2017. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Communications* [en línea], vol. 8. DOI 10.1038/s41467-017-00557-w. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/320472961\\_Mining\\_drives\\_extensive\\_deforestation\\_in\\_the\\_Brazilian\\_Amazon](https://www.researchgate.net/publication/320472961_Mining_drives_extensive_deforestation_in_the_Brazilian_Amazon).
- TANG, Z., ENGEL, B.A., PIJANOWSKI, B.C. y LIM, K.J., 2005. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 76, no. 1, pp. 35-45. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/j.jenvman.2005.01.006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479705000514>.
- TEGEGNE, Y.T., LINDNER, M., FOBISSIE, K. y KANNINEN, M., 2016. Evolution of drivers of deforestation and forest degradation in the Congo Basin forests: Exploring possible policy options to address forest loss. *Land Use Policy* [en línea], vol. 51, pp. 312-324. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0264-8377. DOI 10.1016/j.landusepol.2015.11.024. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837715003877>.





- TWUMASI, Y.A. y MEREM, E.C., 2006. Management of watersheds with remote sensing and GIS: a case study of River Niger Delta Region in Nigeria. ASPRS 2006 Annual Conference [en línea]. Reno, Nevada: ASPRS, Disponible en: <http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/reno2006/0158.pdf>
- UROOJ, R. y AHMAD, S.S., 2019. Spatio-temporal ecological changes around wetland using multispectral satellite imagery in AJK, Pakistan. SN Applied Sciences [en línea], vol. 1, no. 7, pp. 714. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 2523-3971. DOI 10.1007/s42452-019-0748-1. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42452019-0748-1>.
- USSIRI, D.A.N. y LAL, R., 2017. Introduction to Global Carbon Cycling: An Overview of the Global Carbon Cycle. En: D.A.N. USSIRI y R. LAL (eds.), Carbon Sequestration for Climate Change Mitigation and Adaptation [en línea]. Estados Unidos: Springer International Publishing, pp. 61-76. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISBN 978-3-31953845-7. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53845-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53845-7_3).
- VAN DER SANDE, M.T., POORTER, L., BALVANERA, P., KOOISTRA, L., THONICKE, K., BOIT, A., DUTRIEUX, L.P., EQUIHUA, J., GERARD, F., HEROLD, M., KOLB, M., SIMÕES, M. y PEÑA-CLAROS, M., 2017. The integration of empirical, remote sensing and modelling approaches enhances insight in the role of biodiversity in climate change mitigation by tropical forests. Current Opinion in Environmental Sustainability [en línea], vol. 26-27, pp. 69-76. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 1877-3435. DOI 10.1016/j.cosust.2017.01.016. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187734351730026X>.
- WESTLING, N., STROMBERG, P.M. y SWAIN, R.B., 2020. Can upstream ecosystems ensure safe drinking water—Insights from Sweden. Ecological Economics [en línea], vol. 169. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0921-8009. DOI 10.1016/j.ecolecon.2019.106552. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800919306019>.
- WULDER, M.A., WHITE, J.C., LOVELAND, T.R., WOODCOCK, C.E., BELWARD, A.S., COHEN, W.B., FOSNIGHT, E.A., SHAW, J., MASEK, J.G. y ROY, D.P., 2016. The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. Remote Sensing of Environment [en línea], vol. 185, pp. 271-283. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/j.rse.2015.11.032. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425715302194>.
- YU, J., LI, F., WANG, Y., LIN, Y., PENG, Z. y CHENG, K., 2020. Spatiotemporal evolution of tropical forest degradation and its impact on ecological sensitivity: A case study in Jinghong, Xishuangbanna, China. Science of The Total Environment [en línea], vol. 727, pp. 138678. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138678. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720321951>.
- ZEB, A., HAMANN, A., ARMSTRONG, G.W. y ACUNA-CASTELLANOS, D., 2019. Identifying local actors of deforestation and forest degradation in the Kalasha valleys of Pakistan. Forest Policy and Economics [en línea], vol. 104, pp. 56-64. [Consulta:



4 mayo 2021]. ISSN 1389-9341. DOI 10.1016/j.forpol.2019.04.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934118301849>.

ZHAO, J., MA, J. y ZHU, Y., 2019. Evaluating impacts of climate change on net ecosystem productivity (NEP) of global different forest types based on an individual tree-based model FORCCHN and remote sensing. Global and Planetary Change [en línea], vol. 182, pp. 103010. [Consulta: 4 mayo 2021]. ISSN 0921-8181. DOI 10.1016/j.gloplacha.2019.103010. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818118307045>.

#### **Conflicto de intereses:**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

#### **Contribución de los autores:**

**Syed Hassan Raza:** Búsqueda y revisión de literatura, confección de instrumentos, aplicación de instrumentos, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, análisis estadístico, confección de tablas, gráficos e imágenes, confección de base de datos.

**Muhammad Irfan Ashraf:** Concepción de la idea, aplicación de instrumentos, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados.

**Areeba Binte Imran:** Concepción de la idea, asesoramiento general por la temática abordada, redacción del original (primera versión), revisión y versión final del artículo, corrección del artículo.

**Ishfaq Ahmad Khan:** Recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, análisis estadístico, confección de tablas, gráficos e imágenes.

**Syed Ghayoor Ali Shah:** Concepción de la idea, búsqueda y revisión de literatura, confección de base de datos, asesoramiento general por la temática abordada.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. Copyright (c) 2021 Syed Hassan Raza, Muhammad Irfan Ashraf, Areeba Binte Imran, Ishfaq Ahmad Khan, Syed Ghayoor Ali Shah

