



Severidad en Zonas Incendiadas que Afectan la Producción de Alimento de Especies Domésticas y Silvestres en la Subcuenca del Río Chambo en el Período 2013 – 2016, Mediante Teledetección

Severity in Burning Zones Affecting Food Production of Domestic and Wild Species in the Chambo River Sub-basin in the Period 2013 - 2016, Through Remote Sensing

Severidade em Zonas de Queima que Afetam a Produção Alimentar de Espécies Domésticas e Silvestres na Sub-bacia do Rio Chambo no Período 2013 - 2016, Através de Sensoriamento Remoto

Paúl Rolando Colcha-Cushquicullma^I
plcolcha@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9569-7274>

Maritza Lucía Vaca-Cárdenas^{II}
maritza.vaca@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9128-7232>

Víctor Manuel Espinoza^{III}
victor.espinoza@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6058-2274>

Norma Ximena Lara-Vásconez^{IV}
norma.lara@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8381-0401>

Diego Francisco Cushquicullma-Colcha^V
dagoeco@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6265-8164>

Correspondencia: plcolcha@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 15 de noviembre de 2021 ***Aceptado:** 18 Diciembre de 2021 * **Publicado:** 10 de Enero de 2022

- I. Investigador Independiente.
- II. Magíster en Cadenas Productivas Agroindustriales, Ingeniero Zootecnista, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Magister en formulación, evaluación y gerencia de proyectos para el desarrollo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Magister en Ciencias, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- V. Ingeniero en Ecoturismo, Proyecto de DIMATEZ Instituto de Investigaciones.

Resumen

En el Ecuador la mayor parte de incendios forestales son causados por el cambio de uso de suelo, con la transición de ecosistemas conservados por zonas dedicadas a la actividad agrícola, que afectan primordialmente a los páramos y bosques primarios, el objetivo del estudio es calcular la severidad de los incendios mediante índices espectrales en los ecosistemas de la subcuenca del río Chambo y determinar la intensidad de transición en el periodo 2013 a 2016. Se combinaron los índices espectrales: Normalized Burn Ratio Thermal (NBR) y Burn Area Index (BAI) y para mejorar la detección de los polígonos de zonas quemadas y se calculó índice de severidad de Área Quemada Normalizada (NBA), cuyos valores fueron clasificados en alta, media y baja severidad, se usaron imágenes satelitales Landsat 8 obtenidas de la plataforma Google Earth Engine. Para la evaluación de la intensidad de transición se utilizó el software TerrSet que permitió determinar las ganancias y pérdidas de cada categoría. Los resultados indican que la mayor cantidad de polígonos detectados como incendios se localizaron en el ecosistema herbazal de paramo con un total de 962,88 hectáreas, localizadas en la zona noroccidental de la sub cuenca, dentro de los límites de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y que afecta a la biomasa utilizada como alimento para especies silvestres (vicuña) y domésticos (llamas, alpacas, borregos y ganado bovino); los valores altos de severidad oscilan entre 931,24 y 3311,06 unidades. La intensidad de transición determinó que el periodo entre los años 2013 a 2014 tiene la tasa de cambio más alta correspondiente a 50,2 hectáreas, el ecosistema herbazal de paramo tiene una afectación alta, atribuido a la presencia de poblaciones cercanas que habitan los ecosistemas frágiles.

Palabras claves: Índice; Vegetación de Diferencia Normalizada; Calcinación Normalizada; Área Quemada; Terrset.

Abstract

In Ecuador, most forest fires are caused by changes in land use, with the transition of ecosystems conserved by areas dedicated to agricultural activity, which primarily affect moorlands and primary forests, the objective of the study is to calculate the severity of fires using spectral indices in the ecosystems of the Chambo river sub-basin and determine the intensity of transition in the period 2013 to 2016. The spectral indices were combined: Normalized Burn Ratio Thermal (NBR) and Burn Area Index (BAI) and To improve the detection of the burned areas polygons and a Normalized Burned Area (NBA) severity index was calculated, whose values were classified as

high, medium and low severity, Landsat 8 satellite images obtained from the Google Earth Engine platform were used. For the evaluation of the transition intensity, the TerrSet software was used, which made it possible to determine the gains and losses of each category. The results indicate that the largest number of polygons detected as fires were located in the herbazal paramo ecosystem with a total of 962.88 hectares, located in the northwestern area of the sub-basin, within the limits of the Fauna Production Reserve Chimborazo and that affects the biomass used as food for wild species (vicuña) and domestic (llamas, alpacas, sheep and cattle); the high severity values range between 931.24 and 3311.06 units. The intensity of the transition determined that the period between the years 2013 to 2014 has the highest rate of change corresponding to 50.2 hectares, the paramo grass ecosystem has a high impact, attributed to the presence of nearby populations that inhabit fragile ecosystems.

Key words: Index; Vegetation of Normalized Difference; Normalized Calcination; Burned Area; Terrset

Resumo

No Equador, a maioria dos incêndios florestais são causados por mudanças no uso da terra, com a transição de ecossistemas conservados por áreas dedicadas à atividade agrícola, que afetam principalmente pântanos e florestas primárias, o objetivo do estudo é calcular a gravidade dos incêndios usando índices espectrais nos ecossistemas da sub-bacia do rio Chambo e determinar a intensidade de transição no período de 2013 a 2016. Os índices espectrais foram combinados: Razão de Queima Normalizada (NBR) e Índice de Área de Queima (BAI) e Para melhorar a detecção da polígonos de área queimada e foi calculado um índice de severidade Normalized Burned Area (NBA), cujos valores foram classificados em alta, média e baixa gravidade, foram utilizadas imagens de satélite Landsat 8 obtidas da plataforma Google Earth Engine. Para a avaliação da intensidade de transição foi utilizado o software TerrSet, que possibilitou determinar os ganhos e perdas de cada categoria. Os resultados indicam que o maior número de polígonos detectados como incêndios estavam localizados no ecossistema de pastagens do paramo com um total de 962,88 hectares, localizado na área noroeste da sub-bacia, dentro dos limites da Reserva de Produção de Fauna Chimborazo e que afeta a biomassa utilizada como alimento para espécies silvestres (vicuña) e domésticas (lhamas, alpacas, ovelhas e bovinos); os altos valores de severidade variam entre 931,24 e 3311,06 unidades. A intensidade da transição determinou que o período entre

os años de 2013 a 2014 presenta a maior taxa de variação correspondendo a 50,2 hectareas, o ecossistema do capim paramo tem um alto impacto, atribuído à presença de populações próximas que habitam ecossistemas frágeis.

Palavras-chave: Índice; Vegetação por Diferença Normalizada; Calcinação Normalizada, Área Queimada; Terrset.

Introducción

La degradación y destrucción de muchos ecosistemas en el mundo, ha acelerado la crisis ambiental debido a la reducción rápida de los múltiples servicios ambientales que prestan los ecosistemas, como producción de agua, fijación de CO₂, ciclos de materia, productividad del suelo, biodiversidad, coberturas que previenen erosión, etc (Ríos, 2011). El fuego tiene un papel fundamental en la definición y desarrollo de los ecosistemas en el medio ambiente, se encuentra asociado al uso de los suelos y sus sistemas de producción. Algunos ecosistemas necesitan del fuego para su equilibrio. Muchas comunidades dependen del fuego para su persistencia. No obstante, los cambios en la ocurrencia del fuego en términos de, extensión, frecuencia, intensidad y severidad, generados directa o indirectamente por presiones antrópicas, podrían producir incendios mayores a los esperados en un estado natural, provocando graves impactos sobre los ecosistemas frágiles y los bienes y servicios que estos nos brindan, la biodiversidad, la capacidad de sumideros de carbono y los medios de producción de la economía nacional (Bilbao et al., 2020).

La mayor parte de incendios forestales en el Ecuador están ligados a actividades humanas como son la agricultura, además MAE, (2015) señala que los actos vandálicos y piro maníacos de personas que visitan las áreas destinadas a turismo y los bosques son otra acción que conlleva a que los ecosistemas se expongan a incendios de manera descontrolada. A pesar de que en los últimos años el número de incendios forestales ha aumentado drásticamente, así como el número de hectáreas afectadas, son escasos los estudios sobre los patrones de ocurrencia de los Incendios forestales, por esta razón el presente estudio planteó como meta principal el cálculo de severidad de las zonas incendiadas mediante teledetección, debido a que la investigación de los modelos espaciales y multitemporales de la ocurrencia de los incendios son muy importantes para la conservación y el manejo ambiental de las áreas naturales como es el caso de las cuencas hidrográficas, evitando de una manera responsable el deterioro de las mismas (Rodas, 2015).

En este contexto la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a través del Instituto de Investigaciones ejecuta el proyecto *“Diseño e implementación de un sistema de monitoreo ambiental por teledetección en zonas con alto Potencial de Recarga Hídrica en el margen oriental de la Subcuenca del Rio Chambo - DIMATEZ”*, con la finalidad de identificar, monitorear e implementar las zonas que brindan el servicios

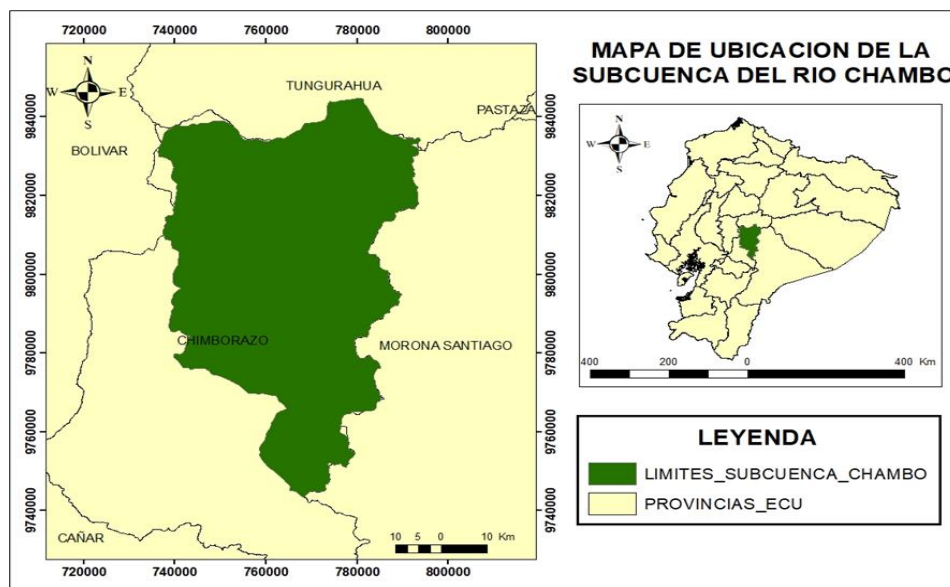
eco sistémico de abastecimiento de agua dulce , para finalmente formular una política pública provincial para el manejo y conservación de las zonas en mención.

Metodología

Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en la Subcuenca del río Chambo, que forma parte de la cuenca alta del río Pastaza, su principal afluente es el río del mismo nombre, cuenta con un área superior a 3580 Km² y un perímetro de 339,38 Km., en las coordenadas 1°59'42" Latitud Sur 78°29'40" Longitud Oeste.

Mapa 1. Mapa de localización de la Subcuenca del río Chambo



Fuente: Elaboración propia

Estudios hidrológicos muestran la existencia de 2 tipos de redes: Red hidrográfica oriental: que proporciona la mayoría de los recursos hídricos que posee el río Chambo, en el cual generalmente los meses de octubre y diciembre presentan los caudales más bajos en la zona, en cuanto que los caudales máximos se registran de julio a septiembre. Red hidrográfica occidental: en esta red el aporte hídrico es menor, los caudales bajos se presentan en noviembre y diciembre; mientras que, los meses de marzo y mayo evidencian los caudales (Agua Chambo, 2011).

Métodos

A través de la plataforma Google Earth Engine (GEE), se realizó la búsqueda de imágenes satelitales Landsat 8, compuestas de 12 bandas ortorectificadas de nivel 1, utilizando la reflectancia de la parte superior de la atmosfera (TOA) calculada (Perilla & Mas, 2020). Las imágenes compuestas se crean a raíz de todas las escenas satelitales adquiridas todo el año. Las imágenes compiladas en el año forman parte de esta composición, con el píxel más reciente como valor compuesto (30m x 30m) de los años 2013, 2014, 2015 y 2016; posteriormente en la misma plataforma se calculó los índices BAI, NBR para esto se descargó las imágenes Landsat 8 del índice de área quemada o Burn Area Index (BAI) para el período en estudio, el cual se basa en la distancia espectral entre los valores obtenidos de las imágenes del rojo e infrarrojo cercano que resulta de la respuesta espectral de las zonas que últimamente experimentaron incendios (CHUVIECO et al., 2002). Este índice depende generalmente de cuanto permanezca la señal del carbón después de los incendios. La expresión utilizada para su cálculo ha sido la siguiente:

$$BAI = \frac{1}{(R - R)^2 + (IRC - IRC)^2}$$

Se descargó las imágenes correspondientes al índice Normalized Burn Ratio o NBR, el cual ofrece mayor precisión en su respuesta ante el estudio de incendios forestales por el hecho de usar las bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta (Mena López, 2017). Este índice se originó para estudiar grandes áreas incendiadas por medio de la utilización de imágenes satelitales como es el caso de Landsat. La expresión utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Con el uso software Arc Gis 10.8 Luego cortaron los polígonos de los 13 ecosistemas de la Subcuenca, se combinaron los índices BAI y NBR para obtener el índice mejorado de severidad Normalized Burned Area (NBA), luego los valores obtenidos se clasificaron en 3 categorías: alta, media y baja severidad (Guillem et al., 2017) al señalar que con el índice es posible calcular el área incinerada de forma precisa. Las imágenes ráster reclasificadas se transformaron a polígonos, para extraer todos los valores altos dejando fuera los valores bajos que en este caso corresponden a las áreas que no han sufrido afectaciones y generar una nueva capa vectorial que contenga solo los valores altos del índice, que indican el nivel de severidad en la zona de estudio.

Se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) el cual permite conocer la cantidad y calidad de la vegetación, para ello se estudia la reflectancia en la banda del rojo y del infrarrojo cercano

(ALONSO, 2015) y se comparó con el índice de severidad NBA, luego se realizó el análisis estadístico en el software Minitab y se validó con resultados de estudios similares como es en la investigación de Capador Aguilar et al., (2021) mostraron que exactamente los valores bajos del índice NDVI pertenecen a las zonas que sufrieron incendios.

Las capas ráster transformadas a formato ASCII obtenidas en la combinación del índice BAI y NBR fueron ingresadas al software TerrSet, dentro del cual se cargó la opción *Land Change Modeler* en donde se creó una nueva sesión para realizar comparaciones de las imágenes entre periodos de tiempo, es así que en la opción *earlier land cover image* se colocó la primera imagen que se cargó al software que corresponde a la imagen anterior de la cobertura terrestre y en la opción *later land cover image* se ingresó la imagen correspondiente al año siguiente el cual corresponde a la imagen posterior de la cubierta terrestre, finalmente las imágenes fueron procesadas y se obtuvo el cambio de severidad en la zona de estudio.

Resultados y Discusión

Índice de área quemada (BAI)

Con los datos procesados, sistematizados y analizados se puede observar que el índice BAI detectó un total de 11675,33 hectáreas que corresponden a zonas quemadas, con un valor alto del índice de 3310,1 y un valor bajo de 0,269 en el período entre 2013 a 2016, siendo el año 2015 donde se registró un área de 4661,83 hectáreas quemadas siendo este el año con mayor superficie quemada. Además, según la tabla podemos determinar que el ecosistema más afectado por incendios de acuerdo con el índice BAI fue el Herbazal del Páramo con un total de 6559,84 hectáreas, siendo el año 2016 el umbral donde mayor área fue consumida por las llamas.

El análisis de las imágenes podemos apreciar que para el año 2013 el área que indica un mayor valor de severidad es la zona noroccidental de la subcuenca del río Chambo, donde se ubica la Reserva de Producción Faunística del Chimborazo, en la zona noroccidental del cantón Riobamba, para el año 2014 según la interpretación visual de los mapas se indica que el mayor valor del índice se distribuye en la zona este de la subcuenca; especialmente en los cantones de Penipe y Guamote en la provincia de Chimborazo.

Así también podemos observar que para el año 2015 y 2016 el mayor valor del índice se concentra en el área noroccidental de la subcuenca específicamente en la Reserva del Chimborazo, en la zona noroccidental del cantón Riobamba y en el cantón Penipe en menor magnitud.

Estos datos concuerdan con los incendios reportados para estos años, según Espinoza (2017, pp.6-35) debido a que en su estudio señala que la mayor cantidad de incendios que se reportaron en la provincia para el año 2013, 2015 y 2016 se encuentran distribuidos entre los cantones de Riobamba, Colta, Guamote y Penipe.

Así también por un informe emitido por el MAE (2013, párr.1-5), donde reporta incendios en las zonas de amortiguamiento de la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo.

La zona donde se ha detectado la mayor cantidad de pixeles de color rojo que indica áreas quemadas se encuentra en la Reserva del Chimborazo, la cual está dominada por el ecosistema Herbazal húmedo de páramo y Herbazal subnival húmedo de páramo concluyendo que estos ecosistemas son más propensos a incendios o en su caso son áreas que están siendo intervenidas por actividades antropogénicas.

Índice de Calcinación Normalizada (NBR)

El índice NBR detectó un área total de 4219,26 hectáreas que corresponden a zonas quemadas, con un valor alto de índice de 0,767 y un valor bajo de 0,996 en el período comprendido entre 2013 a 2016, siendo en el año 2015 donde más superficie de área quemada se pudo detectar con un total de 1749,22 hectáreas, así mismo el año 2013 fue el de menor área quemada al obtener 247,81 hectáreas. Además, podemos determinar que los ecosistemas más afectados por incendios de acuerdo con el índice NBR corresponde al ecosistema Herbazal ultra húmedo subnival de páramo y Herbazal de páramo con un total de 1603,56 hectáreas y 1576,93 hectáreas respectivamente, observándose así en el gráfico de barras que los años 2015 y 2016 es el umbral donde mayor área quemada se registró.

Los valores altos para los años 2013 y 2015 se ubican mayoritariamente en la zona noroccidental de la subcuenca, que pertenece a las inmediaciones de la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo, mientras que de igual forma para los años 2014 y 2016 los valores más altos los encontramos en su mayoría en la zona Este de la subcuenca con pocos pixeles en la parte de la Reserva del Chimborazo. Toaza Patiño, (2019, pp. 5-28) indica en su estudio que del total de la superficie afectada por incendios forestales definida dentro de la provincia de Chimborazo se halló que las coberturas vegetales como bosques nativos, páramo, plantaciones forestales, zonas agropecuarias y vegetación arbustiva fueron afectadas por los incendios.

Índice de severidad NBA

El índice NBA muestra los diferentes ecosistemas de la subcuenca del río Chambo con el total de áreas quemadas, siendo así que el ecosistema con la mayor área quemada en los 4 años de estudio fue el Herbazal del Páramo el cual obtuvo un área total de 355,07 ha, seguido por el ecosistema Herbazal ultrahúmedo subnival del Páramo con 304,12 ha en el período de investigación. Además, se obtuvo un área total de 962,88 hectáreas detectadas como quemadas en todo el período 2013 a 2016.

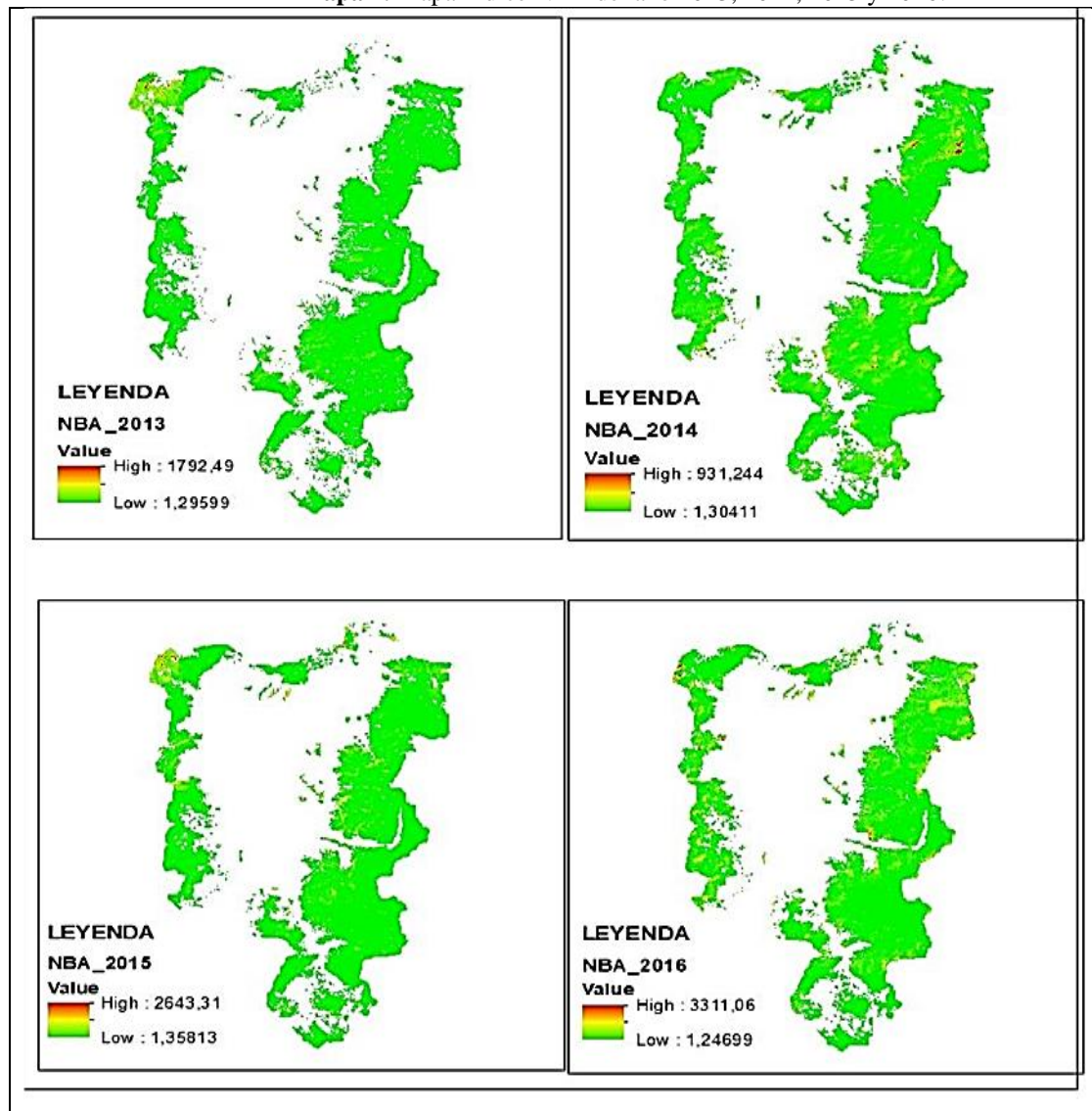
Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.: Áreas quemada por ecosistemas según el índice NBA

CÓDIGO	ECOSISTEMAS SUBCUENCA DEL RIO CHAMBO	INDICE DE SEVERIDAD NBA				AREA TOTAL POR ECOSISTEMA
		2013	2014	2015	2016	ÁREA (ha)
		ÁREA (ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (ha)	
A1	Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes	0	0	1,44	1,08	2,52
A2	Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	0	29,84	2,29	0,53	32,66
B1	Bosque siempreverde del Páramo	0	3,24	0	1,37	4,61
B2	Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes	0	0,07	0	1,42	1,49
B3	Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	0	94,08	4,98	0,49	99,55
B4	Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes	0	0	0	0	0
B5	Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	0	2,63	7,79	0	10,42
B6	Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles	0	0	2,29	0,53	2,82
H1	Herbazal del Páramo	0,56	132,47	44,95	177,09	355,07
H2	Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo	0	0	0	0,08	0,08
H3	Herbazal húmedo subnival del Páramo	76,7	0	32,12	0,37	109,19
H4	Herbazal ultrahúmedo subnival del Páramo	113,29	0,36	85,92	104,55	304,12
H5	Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del Páramo	0,82	12,38	6,33	20,81	40,34
TOTAL (Hectáreas)		191,37	275,08	188,11	308,32	962,88

Fuente: Elaboración propia

El año 2016 es el periodo con mayor superficie afectada debido a que se pudo detectar 308,32 hectáreas quemadas en su gran mayoría en el área correspondiente a la Reserva de producción de Fauna de Chimborazo, en el ecosistema Herbazal de páramo lo cual concuerda con el estudio realizado por Vasco, (2021) en donde obtuvo como resultado que en la reserva, el ecosistema Herbazal de páramo presentó mayor alteraciones por el fuego.

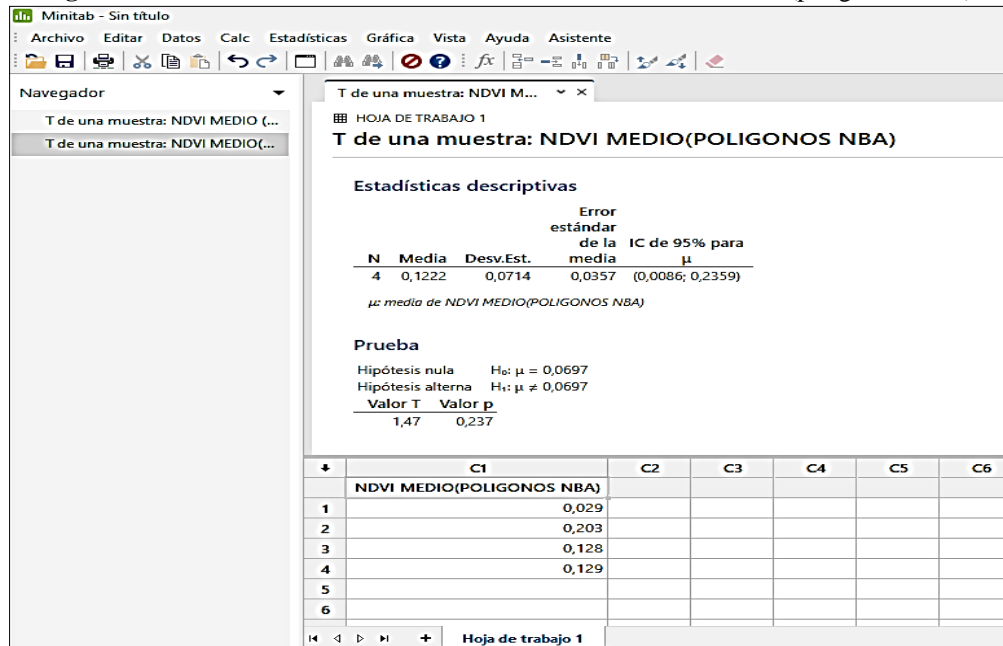
Mapa 2. Mapa Índice NBA del año 2013, 2014, 2015 y 2016.



Fuente: Elaboración propia

Comparación estadística de polígonos detectados por el índice NBA con los valores del índice NDVI para medir la eficiencia en la detección de polígonos de incendios

Figura 1: Análisis estadístico T student de una muestra NDVI medio (polígonos NBA).



Fuente: Elaboración propia

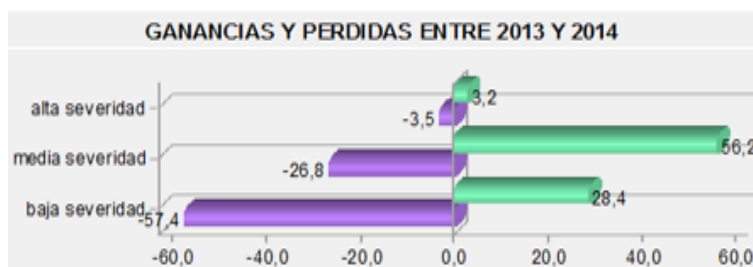
El estadístico de prueba (t) arrojó un valor de 1,47 y un p valor de 0,237 mayor al nivel de significancia (alfa 0,05), por tanto se asevera que al 95% de confianza la media hipotética de las zonas quemadas no difiere significativamente de la muestra del presente estudio, con lo que afirma que los polígonos detectados por el índice mejorado NBA en los ecosistemas que son parte de la Subcuenca del río Chambo lo cual fue obtenido por la combinación del índice NBR incluyendo la información proporcionada por el índice BAI, detectan zonas quemadas lo que resulta de mucha utilidad para elaborar posteriormente cálculos en cuanto a la superficie y el grado de severidad del incendio que se haya presentado en cualquier superficie, considerando que el NDVI oscila entre los valores de -1.0 a 1.0, los valores altos muestran alta acción fotosintética por parte de la cubierta vegetal conocido como fenología foliar y una cercana relación con la evapotranspiración, por otra parte los valores bajos señalan la presencia de escasa vegetación o incluso pérdida de cobertura (Arboit y Maglione, 2018, pp. 13 - 60).

Intensidad de transición

La categoría que obtuvo mayor ganancia fue entre los años 2013 a 2014 en la categoría de media severidad, el cual tuvo un aumento en más de 56,2 hectáreas correspondiente al 0,01% y tuvo una pérdida de 26,8 ha; la categoría de baja severidad también obtuvo una ganancia de 28,4 (ha) al 0,01% , sin embargo tuvo una pérdida de 57,4 ha; la categoría de alta severidad posee baja ganancia y perdió en este período 3,5 (ha) y

una ganancia de 3,2 (ha) que no representan ni el 0,01% del área total. Es decir, el resultado entre 2013 a 2014 es positivo, debido a que la categoría de alta severidad que muestra áreas quemadas no tuvo mayores cambios, mientras que la categoría de media severidad aumentó considerablemente en el transcurso de este período. Paula et al. (2018, pp.125-137) menciona que la alteración o cambios que experimenta la cobertura vegetal se ve influenciada por la quema de los pajonales, que es un mecanismo o herramienta que utilizan las comunidades para obtener pasto fresco y tierno.

Gráfico 1: Ganancias y pérdidas para el periodo 2013 y 2014.



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El índice espectral BAI detectó que el año 2015 mostró la mayor cantidad de áreas quemadas con un total de 4661,83 hectáreas, localizadas principalmente en el ecosistema Herbazal del Páramo; mientras tanto de igual forma el índice NBR detectó la mayor área quemada en el año 2015 con un total de 1749,22 hectáreas ubicados en los ecosistemas Herbazal ultra húmedo subnivel de páramo y Herbazal del páramo.

El índice NBA detectó el mayor número de hectáreas quemadas en los ecosistemas Herbazal de Páramo y Herbazal ultra húmedo subnivel de páramo, que afecta a la producción de biomasa para especies silvestres y domésticos que pastorean en los pajonales naturales de las zonas aledañas a la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y que se ubican en zonas entre los 3800 y 4200 msnm.

También se concluye que el índice NBA es el mejor estimador de severidad en comparación a los índices BAI y NBR, de tal manera que para alcanzar una mejor precisión se fusionó las características de ambos índices logrando una detección más exacta de las áreas donde existe alta severidad de incendios forestales. Se concluye que el índice NDVI es el mejor estimador de áreas con baja y alta actividad fotosintética, tanto así que existe coincidencia entre los píxeles de alta severidad del NBA con los píxeles de valores menores del índice NDVI lo que permitió validar los resultados de la detección de zonas quemadas.

Se determina que el ecosistema Herbazal del Páramo posee alta severidad de incendios, lo cual se atribuye a factores climáticos como las elevadas temperaturas y prolongadas épocas secas, además de factores antropogénicos como son las actividades realizadas por los agricultores en donde la extensión de la ganadería, ha hecho de este ecosistema susceptible y propenso a incendios forestales.

Referencias

1. Agua Chambo. (2011). Ubicación. *Subcuenca Chambo*. <https://subcuencachambo.wordpress.com/about/>
2. ALONSO, D. (2015, mayo). 6 opciones para descargar imágenes Landsat GRATIS. *mappinggis*. <https://mappinggis.com/2015/05/como-descargar-imagenes-landsat/>
3. ARBOIT, Mariela Edith. & MAGLIONE, Dora Silvia. "Análisis Multitemporal Y Multiespacial Del Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada (Ndvi) Y Del Índice De Vegetación Ajustado Al Suelo (Savi) En Centros Urbanos Forestados Y Oasis Irrigados, Con Climas Secos". Boletín de Estudios Geográficos [en línea], 2018, vol. 109, pp. 13-60., ISSN 0374-6186. Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11458/02-arboit-maglione.pdf.
4. Bilbao, B., Steil, I., Urbirta, L., Anderson, C., Pinto, M., Gonzales, A., Millan, R., E, F., Morici, V., Ibarnegaray, D., Perez-Salicrup, J., Pereira, M., & Moreno, M. (2020). Incendios forestales. En: Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT. En *Cuadernos de geografía* (Número 23).
5. Capador Aguilar, Y. E., González Angarita, G. P., & Suarez Daza, P. A. (2021a). Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: Caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia). *Avances: Investigación en Ingeniería*, 18(1), 1-22. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6931>
6. CHUVIECO, E., MARTÍN, M. P., & PALACIOS, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>
7. ESPINOZA, Víctor., Diseño de un modelo de gestión sostenible para la prevención de incendios forestales en plantaciones de pino en la comunidad Ganquis provincia de Chimborazo. s.n. S.l.: 2017.
8. GUILLEM-COGOLLOS, R. et al. "Estudio crítico de los índices de severidad y la superficie afectada por el incendio de Sierra de Luna (Zaragoza)". *Revista de Teledetección*, 2017, vol. 2017, pp. 63., DOI 10.4995/raet.2017.7117.

9. MAE. "Evaluación de necesidades tecnológicas para el manejo de la oferta hídrica en cantidad y calidad.", 2013, pp. 275.,
10. MAE. (2015). *Prevención y control de incendios una prioridad nacional*. <https://www.ambiente.gob.ec/prevencion-y-control-de-incendios-una-prioridad-nacional/>
11. Mena López, S. (2017). IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8. *Revista Geográfica del Sur*, 8(12), 15-25.
12. PAULA, Pamela Andrea. et al. "Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático". *Enfoque UTE*, 2018, vol. 9, no 2, pp. 125-137., ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/enfoqueute.v9n2.252.
13. Perilla, G. A., & Mas, J.-F. (2020). Google Earth Engine (GEE): Una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones geográficas*, 101, 1-6. <https://doi.org/10.14350/rig.59929>
14. Ríos, O. V. (2011). *RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN*. 27.
15. Rodas, M. (2015). *Análisis del comportamiento de incendios forestales en la cuenca del río Paute mediante sensores remotos*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.
16. TOAZA PATIÑO, Esteban David., *APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA ESTIMACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS DESDE UNA PERSPECTIVA MULTITEMPORAL EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. (Trabajo de titulación (Grado)). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba-Ecuador: 2019.
17. Vasco, M. (2021). *CÁLCULO DE LA SEVERIDAD EN ZONAS INCENDIADAS EN LA SUBCUENCA DEL RIO CHAMBO EN EL PERÍODO 2017 A 2020 MEDIANTE TELEDETECCIÓN*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.