



*Evaluación del nivel de humedad del Páramo de Cebadas mediante la aplicación del índice espectral NDWI a través de imágenes satelitales mensuales, periodo 2022*

*Evaluation of the humidity level of the Páramo de Cebadas through the application of the NDWI spectral index through monthly satellite images, period 2022*

*Evaluation of the humidity level of the Páramo de Cebadas through the application of the NDWI spectral index through monthly satellite images, period 2022*

Martha Marisol Vasco-Lucio <sup>I</sup>

[martha.vasco@epoch.edu.ec](mailto:martha.vasco@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-1377-7305>

Maritza Lucia Vaca-Cárdenas <sup>II</sup>

[maritza.vaca@epoch.edu.ec](mailto:maritza.vaca@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-4474-4354>

María Verónica González-Cabrera <sup>III</sup>

[mariav.gonzalez@epoch.edu.ec](mailto:mariav.gonzalez@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-5358-798X>

Diego Francisco Cushquicullma-Colcha <sup>IV</sup>

[diegofc10@correo.ugr.es](mailto:diegofc10@correo.ugr.es)

<https://orcid.org/0000-0001-6265-8164>

**Correspondencia:** [martha.vasco@epoch.edu.ec](mailto:martha.vasco@epoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 15 de abril de 2024 \* **Aceptado:** 09 de mayo de 2024 \* **Publicado:** 27 de junio de 2024

- I. Facultad de Recursos Naturales - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur, Km 1 ½, Riobamba EC-060155, Ecuador.
- II. Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur, Km 1 ½, Riobamba EC-060155, Ecuador.
- III. Facultad de Ciencias - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur, Km 1 ½, Riobamba EC-060155, Ecuador.
- IV. Universidad de Granada, Granada, España.

## Resumen

Los páramos andinos son ecosistemas diversos debido a las condiciones climáticas que posee, además de proporcionar varios servicios ecosistémicos basados en el recurso hídrico que hacen de este tipo de ecosistema un reservorio natural de agua, es así que en el presente estudio se utilizó sensores remotos que suministran información sobre las condiciones pasadas, actuales y futuras de los cuerpos de agua, lo que ayuda a entender el comportamiento del calentamiento global en los mismos, en la investigación se obtuvo para el periodo correspondiente al año 2022 un índice NDWI (Normalized Difference Water Index) con valores máximos de entre 0,40 a 0,64 lo que establece un nivel muy alto de humedad en todo el territorio, obteniendo así un promedio anual del 94,3 % de humedad relativa, sin embargo de acuerdo a la reclasificación realizada para establecer niveles de humedad el mes de marzo sobresale al presentar 30759, 90 hectáreas dentro del nivel muy húmedo con un valor medio del índice de 0,32 superior al resto de meses en estudio, además se determinó un incremento en relación a las precipitaciones y los valores del índice NDWI lo cual indicó un 76 % de variabilidad en los datos. Finalmente se establece que la conservación del ecosistema de páramo es de vital importancia hídrica, esto debido a la cantidad de precipitaciones durante todo el año y el tipo de vegetación existente, los datos obtenidos en la presente investigación servirán como base para la creación de estrategias de protección del páramo, representando así una herramienta importante para ajustar metodologías que permitan realizar seguimientos a largo plazo de las variaciones para hacer comparaciones de los cuerpos de agua y el nivel de humedad de zonas específicas de estudio.

**Palabras clave:** Páramo; Índice NDWI; Humedad; Recurso hídrico; Ecosistema.

## Abstract

The Andean moors are diverse ecosystems due to the climatic conditions they have, in addition to providing several ecosystem services based on water resources that make this type of ecosystem a natural reservoir of water, so in the present study remote sensors were used that They provide information on the past, current and future conditions of bodies of water, which helps to understand the behavior of global warming in them. In the research, an NDWI index (Normalized Difference Water Index) was obtained for the period corresponding to the year 2022. ) with maximum values between 0.40 and 0.64, which establishes a very high level of humidity throughout the territory,

thus obtaining an annual average of 94.3% relative humidity, however according to the reclassification carried out for establish humidity levels, the month of March stands out by presenting 30759,90 hectares within the very humid level with an average value of the index of 0.32 higher than the rest of the months under study, in addition an increase was determined in relation to rainfall and NDWI index values which indicated 76% variability in the data. Finally, it is established that the conservation of the paramo ecosystem is of vital water importance, this due to the amount of precipitation throughout the year and the type of existing vegetation. The data obtained in this research will serve as a basis for the creation of conservation strategies. protection of the moor, thus representing an important tool to adjust methodologies that allow long-term monitoring of variations to make comparisons of water bodies and the humidity level of specific study areas.

**Keywords:** Páramo; NDWI index; Humidity; Hidric resource; Ecosystem.

## Resumo

As charnecas andinas são ecossistemas diversos pelas condições climáticas que possuem, além de fornecerem diversos serviços ecossistêmicos baseados em recursos hídricos que fazem deste tipo de ecossistema um reservatório natural de água, portanto no presente estudo foram utilizados sensores remotos que fornecem informações sobre as condições passadas, atuais e futuras dos corpos d'água, o que ajuda a entender o comportamento do aquecimento global neles. Na pesquisa, foi obtido um índice NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) para o período correspondente ao ano de 2022.) com valores máximos entre 0,40 e 0,64, o que estabelece um nível de humidade muito elevado em todo o território, obtendo-se assim uma média anual de 94,3% de humidade relativa, no entanto de acordo com a reclassificação efectuada para estabelecer níveis de humidade, o mês de Março destaca-se apresentando 30.759,90 hectares dentro do nível muito úmido com valor médio do índice 0,32 superior ao restante dos meses em estudo, além disso foi determinado um aumento em relação aos valores de precipitação e índice NDWI que indicaram 76 % de variabilidade nos dados. Por fim, fica estabelecido que a conservação do ecossistema do paramo é de vital importância hídrica, isto devido à quantidade de precipitação ao longo do ano e ao tipo de vegetação existente. Os dados obtidos nesta pesquisa servirão de base para a criação de estratégias de conservação da charneca, representando assim uma importante ferramenta para

ajustar metodologías que permitan a monitorização a longo prazo das variações para fazer comparações de massas de água e do nível de humidade de áreas específicas de estudo.

Palavras-chave: Páramo; índice NDWI; Umidade; Recurso hídrico; Ecosistema.

## Introducción

Los páramos por las características de sus suelos, el desarrollo de la vegetación morfológicamente especial y la acumulación de materia orgánica, poseen alta capacidad de producción sostenida, almacenamiento y regulación de agua, son buenos reservorios del recurso hídrico en calidad y cantidad de esta forma abastecen a las principales cuencas hidrográficas, en donde existen asentamientos humanos que no solo utilizan el agua para consumo, sino también para riego de cultivos, abrevadero de animales y en la industria, procurando así su desarrollo económico, social y cultural (Chuncho & Chuncho, 2019). La sobreexplotación de los cuerpos de agua junto con las sequías y el impacto del cambio climático ha disminuido la disponibilidad de agua para diferentes actividades, lo cual genera graves problemas sociales y económicos, por lo cual es indispensable el monitoreo del estado de los cuerpos de agua superficiales, y una alternativa rápida, precisa y económica es hacerlo mediante técnicas de teledetección usando sensores remotos satelitales. Estas técnicas ayudan a obtener información a distancia de un determinado objeto situado sobre la superficie terrestre. El índice de agua modificado de diferencia normalizada (MNDWI, por sus siglas en inglés) y el índice de extracción de agua automatizado (AWEI, por sus siglas en inglés) son los más adecuados debido a que son fáciles de construir e interpretar, además de que tienen alta precisión (Hernández Lozano & Pavón, 2024). Los efectos del cambio climático y la mala gestión de los recursos hídricos son las principales causas de la escasez del agua en el mundo (Roque Quispe, 2017). El monitoreo de las inundaciones mediante sensores remotos ha facilitado de gran manera, la adquisición de información espacial de regiones afectadas (Edrosa, 2011).

Los humedales alto andinos son hábitats primordiales para las diferentes formas de vida adaptadas a este tipo de ecosistemas extremos de alta montaña y los seres vivos que residen en las partes bajas, los cuales son espacios que albergan gran diversidad de flora y fauna propias de estas zonas que están asociados al componente hídrico. De allí radica la importancia de realizar monitoreos fáciles de aplicar que sean poco costosos. Los métodos de monitoreo en periodos cortos, económicamente rentables y proporcionan información fiable, corresponden a las evaluaciones mediante imágenes satelitales (Aponte-Saravia & Ospina-Noreña, 2019).

Generalmente los ambientes semiáridos son espacios sensibles y vulnerables ante las variaciones provocadas por actividades humanas, la escasez de agua fusionada con la degradación natural y antrópica limitan su aprovechamiento principalmente, para consumo humano, por lo que, las técnicas de teledetección se presentan como instrumentos válidos para evaluar de forma ágil y con mayor precisión ciertos parámetros de la calidad de agua. A su vez, el tratamiento de imágenes de satélite ayudan a mejorar la comprensión de los ambientes acuáticos, así como a la prolongación de la vida útil de las estructuras de reservas hídricas (Amado-Álvarez et al., 2018). Las diferentes técnicas de teledetección han sido decisivas para identificar zonas degradadas y desarrollar propuestas de restauración medioambiental (Brenner & Guasselli, 2015).

Las imágenes Landsat resultan un gran recurso importante para el monitoreo de manglares, ya que permiten su identificación mediante la respuesta espectral y la posibilidad de realizar análisis espaciotemporales abarcando un largo periodo de tiempo (Perea et al., 2021). Los datos de teledetección representan alternativas para generar información que contribuyen a la comprensión de los procesos naturales que ocurren en diferentes ecosistemas. El Índice de Agua de Diferencia Normalizada Water Index (NDWI) es un método conocido por parte de la comunidad científica que utiliza geotecnologías, sin embargo, la aplicación de estos causa dudas y confusión, porque existen distintos métodos para su cálculo, el NDWI funciona mejor para ilustrar superficies húmedas e inundadas del Pantanal (Pereira et al., 2018).

El índice NDWI (*Normalized Difference Water Index*) actúa de forma sensible ante los cambios en el contenido de agua en el dosel de la vegetación esto se debe a la reflectancia de 857 nm y 1241 nm; además posee propiedades de absorción de agua. Este índice es aplicado en estudios para evaluar el estrés del dosel de los bosques, índice de área foliar en vegetación densa, modelación de la productividad de las plantas y en investigaciones sobre susceptibilidad de fuego (Villatoro, 2019). Por su parte Özelkan, (2020) señala que es utilizado con mucho éxito en la detección y delimitación cartográfica de masas de agua superficiales. De igual Acosta et al., (2023) menciona que el índice de agua de diferencia normalizada sirve para analizar variaciones en la extensión de humedales lagunares.

El presente estudio se desarrolló en el marco del proyecto de investigación titulado “Determinar el uso eficiente de especies vegetales altoandinas biopurificadoras para la conservación del recurso hídrico en la microcuenca del río Cebadas, provincia de Chimborazo”, mediante teledetección a través del uso de imágenes satelitales, de esta forma se pudo determinar el nivel de humedad del

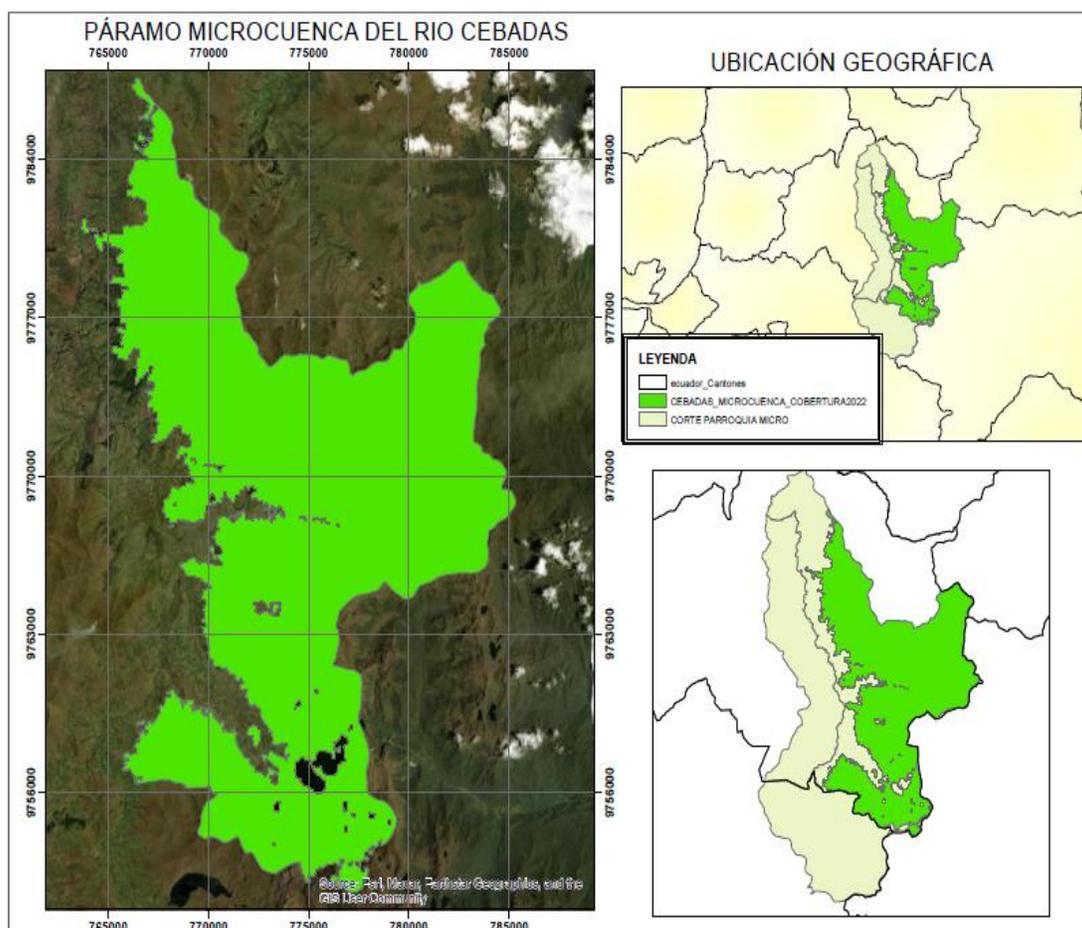
páramo de Cebadas a través de la utilización del índice NDWI característico en la discriminación de zonas con presencia de agua.

## Metodología

### Área de estudio

El diseño del sistema de monitoreo para vegetación, suelo y agua por teledetección se desarrollará en el páramo de la parroquia Cebadas ubicado en las parroquias Cebadas y Pungalá de los cantones Guamote y Riobamba respectivamente, en el Cantón Guamote de la provincia de Chimborazo, que es parte de la Subcuenca del río Chambo, la misma que limita al Norte con la parroquia La Matriz Guamote, al Sur Achupallas, al Este con Zuña y al Oeste Guamote La matriz, Palmira y Tixán; el páramo cubre alrededor de 31033,36 hectáreas.

*Figura 1: Ubicación geográfica de la parroquia Cebadas - Microcuenca del río Cebadas.*



## Métodos

Para monitorear el nivel de humedad en primera instancia se descargaron imágenes satelitales Landsat 8 mensuales del periodo correspondiente al año 2022, desde la plataforma Google Earth Engine Explorer mediante el link <https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>. Luego se ingresaron las imágenes descargadas al software ArcGis, para proceder con el corte de las imágenes satelitales por el área de estudio mediante la herramienta *Extract by mask*.

Posteriormente se procedió a proyectar los ráster resultantes a través de la herramienta “*Project raster*” que ayuda en la proyección de los ráster, de esta forma se proyectó a coordenadas geográficas a WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S, después se exportó el mapa y se estableció el tamaño de la celda de todas las capas cortadas con una resolución de 20x20, esto se hizo para que el observar de mejor forma los detalles del área.

Mediante la herramienta “*reclassify*”, se procedió a clasificar en 4 clases los valores de cada índice en cada uno de los mapas según el mes de estudio, es así que se estableció los siguientes rangos de clasificación del índice NDWI, desarrollada por McFeeters (1996) para realzar las características relacionadas con el agua de los paisajes en donde el agua clara posee mayor reflectancia en la parte azul del espectro visible. Por lo tanto, el agua aparece azul mientras que el agua turbia tiene mayor reflectancia en el visible (Bahadur, 2018). Finalmente, las capas ráster se las transformó en polígonos mediante la herramienta “*raster to polygon*” y se calculó la superficie de acuerdo a cada criterio de clasificación.

**Tabla 1:** Clasificación nivel humedad índice NDWI

<i>N</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Rango</i>
1	Muy húmedo	0,2 a 1
2	Húmedo	0,0 a 0,2
3	Relativamente húmedo	-0,3 a 0,0
4	Sequía, superficies sin agua	-1 a -0,3

Se establecieron valores positivos del índice de 0 a 1 como superficies con un nivel húmedo y muy húmedo, mientras que los valores negativos del índice representan superficies, sin presencia de humedad.

## Resultados

Con el cálculo del índice espectral NDWI en los 12 meses del periodo 2022 se obtuvo rangos entre -0,11 a 0,64, registrándose en el mes de abril el rango más bajo al obtener un valor entre 0,05 a 0,40 mientras que, el mes de septiembre obtuvo un valor máximo de 0,64 lo cual representa superficies muy húmedas, en general se observa valores máximos que van desde 0,40 al 0,64, muestra zonas con alto contenido de humedad, lo cual es ratificado por De Sanctis, (2023) al manifestar que los altos valores del índice NDWI se debe a un elevado contenido de agua en la vegetación que se encuentra en pleno crecimiento y desarrollo, por el contrario si existe reducción de contenido de agua esto se debería a que las especies vegetales están al final de su etapa de maduración es así que toman valores inferiores a 0,4, en el caso de cultivos debido a problemas de deshidratado por lo que adquieren valores por debajo de 0,3.

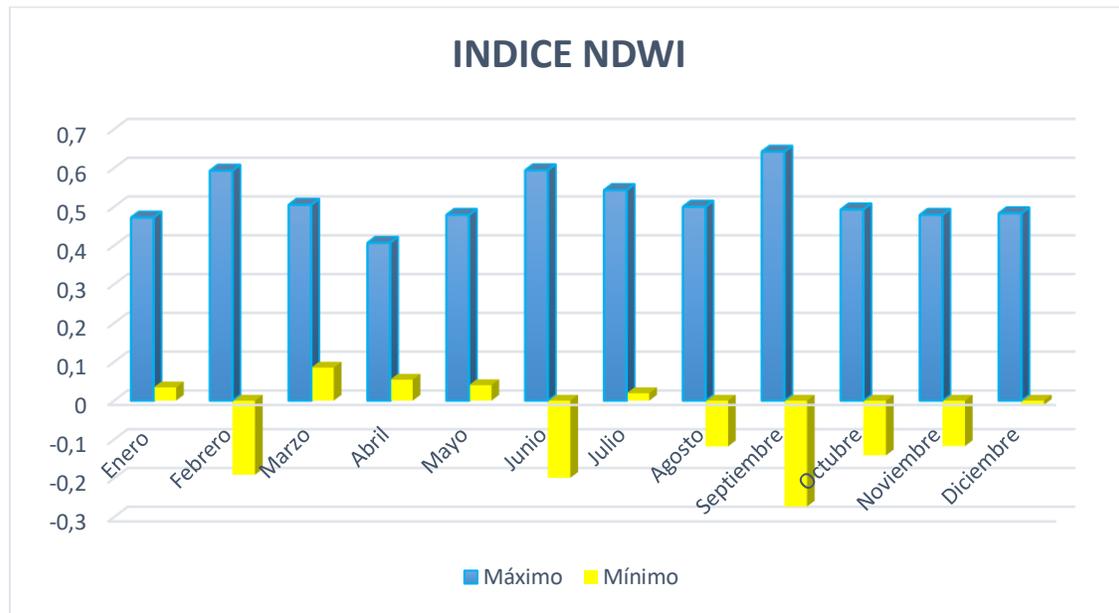
*Tabla 2: Páramo Cebadas máximos, mínimos, media y desviación estándar del índice NDWI periodo mensual año 2022.*

<b>AÑO 2022</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MEDIA</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>
<b>ENERO</b>	0,472	0,034	0,225	0,056002
<b>FEBRERO</b>	0,593	-0,191	0,164	0,079848
<b>MARZO</b>	0,505	0,085	0,322	0,053938
<b>ABRIL</b>	0,407	0,054	0,187	0,043151
<b>MAYO</b>	0,479	0,04	0,204	0,040783
<b>JUNIO</b>	0,594	-0,199	0,145	0,063024
<b>JULIO</b>	0,543	0,019	0,2	0,089121
<b>AGOSTO</b>	0,5	-0,118	0,166	0,062665
<b>SEPTIEMBRE</b>	0,642	-0,273	0,11	0,062546
<b>OCTUBRE</b>	0,493	-0,141	0,162	0,070695
<b>NOVIEMBRE</b>	0,479	-0,117	0,138	0,054705
<b>DICIEMBRE</b>	0,483	-0,011	0,208	0,052524

En la gráfica 1. Se muestran los valores máximos y mínimos del índice mismos que muestran niveles altos de humedad en la zona de estudio correspondiente al páramo de Cebadas, este ecosistema de páramo es característico por la presencia de vegetación natural como pastos y demás

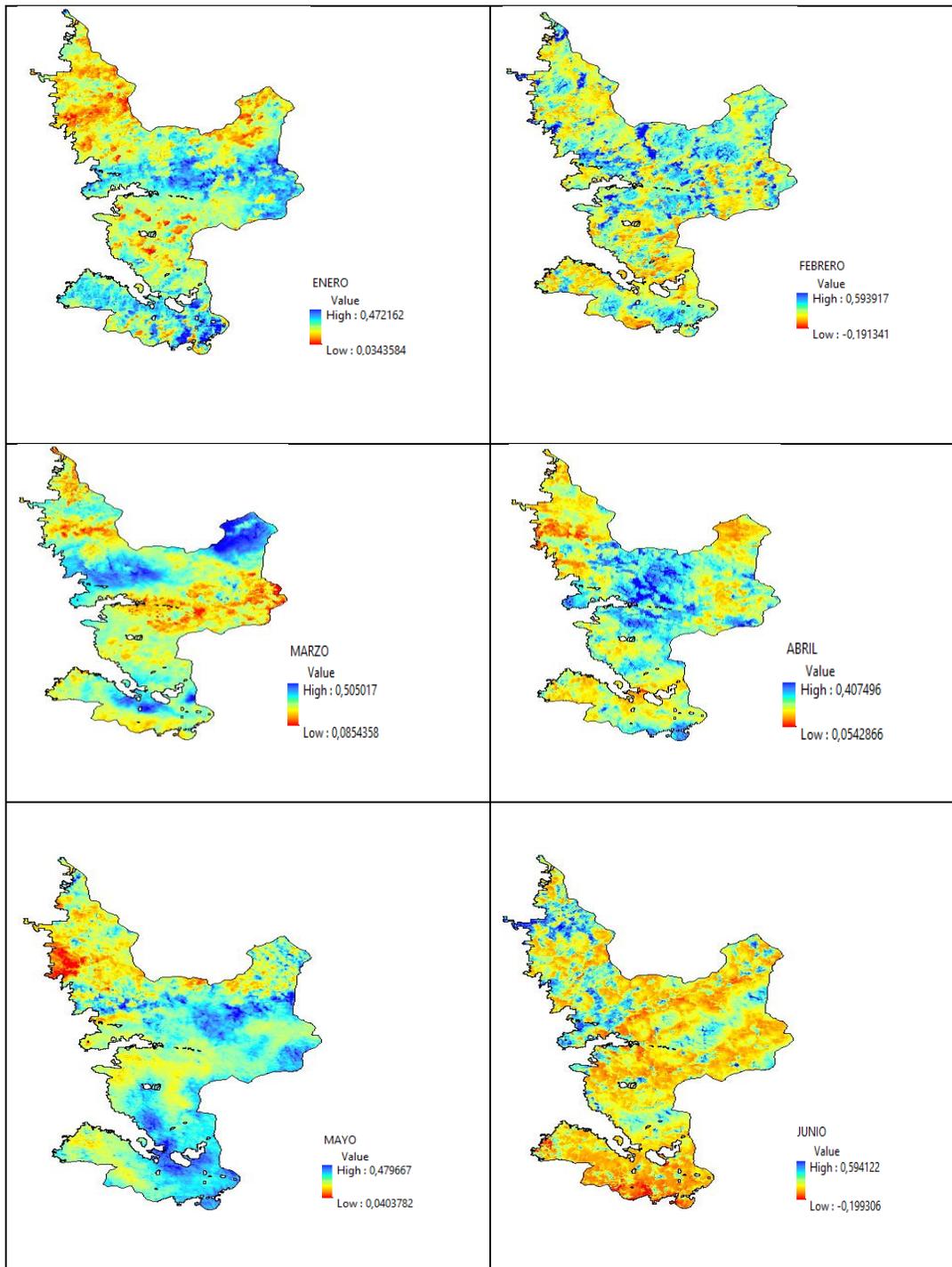
especies arbustivas sin embargo el ciclo hidrológico aun es desconocido en cuanto a la intercepción y regulación de microclimas que posibilitan la variedad de especies vegetales y animales (Buytaert et al., 2003). Por lo que ha sido indispensable la utilización del presente índice al ser ampliamente utilizado en el cálculo de cobertura de agua en zonas húmedas, ya que usa la absorción y reflectancia significativas en las bandas espectrales verde y el infrarrojo cercano (NIR), para de esta forma discriminar zonas con posible presencia de agua o humedad (A. Camacho et al., 2019).

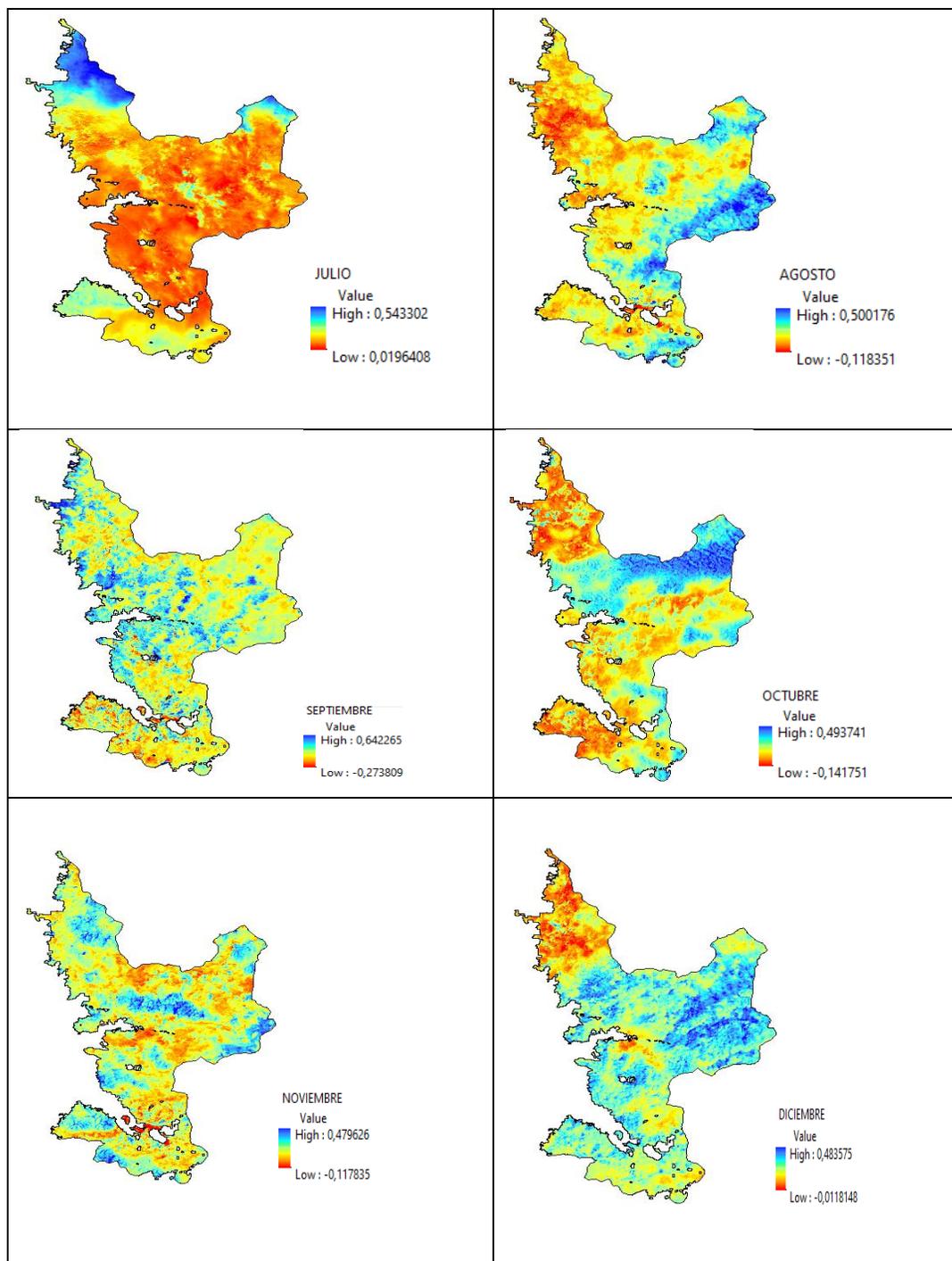
*Gráfico 1: Índice NDWI máximos y mínimos*



El páramo de Cebadas presenta valores máximos del índice NDWI superiores a 0,4 lo cual muestra zonas con alta presencia de humedad, esto es ratificado por Chávez Muyulema, (2021) en el Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Cebadas quien menciona que Cebadas es una zona con alta humedad debido a los recursos hídricos que nacen de los páramos, mismos que permiten irrigar grandes zonas agropecuarias que se encuentran fuera del territorio de Cebadas, en los cantones Riobamba y Guano; de igual forma el líquido vital se utiliza en la generación hidroeléctrica de la Central Agoyán y San Francisco (figura 2). De acuerdo con Hofstede et al., (2003) en los páramos el valor más notable es la regulación hídrica, es una zona que presenta la mayor parte del tiempo neblina que cubre grandes extensiones lo que se debe a la estructura de la vegetación que capta el agua para conducir al suelo y a su vez la protege contra erosión.

Figura 2: Índice diferencial de agua normalizado (NDWI) del páramo Cebadas.





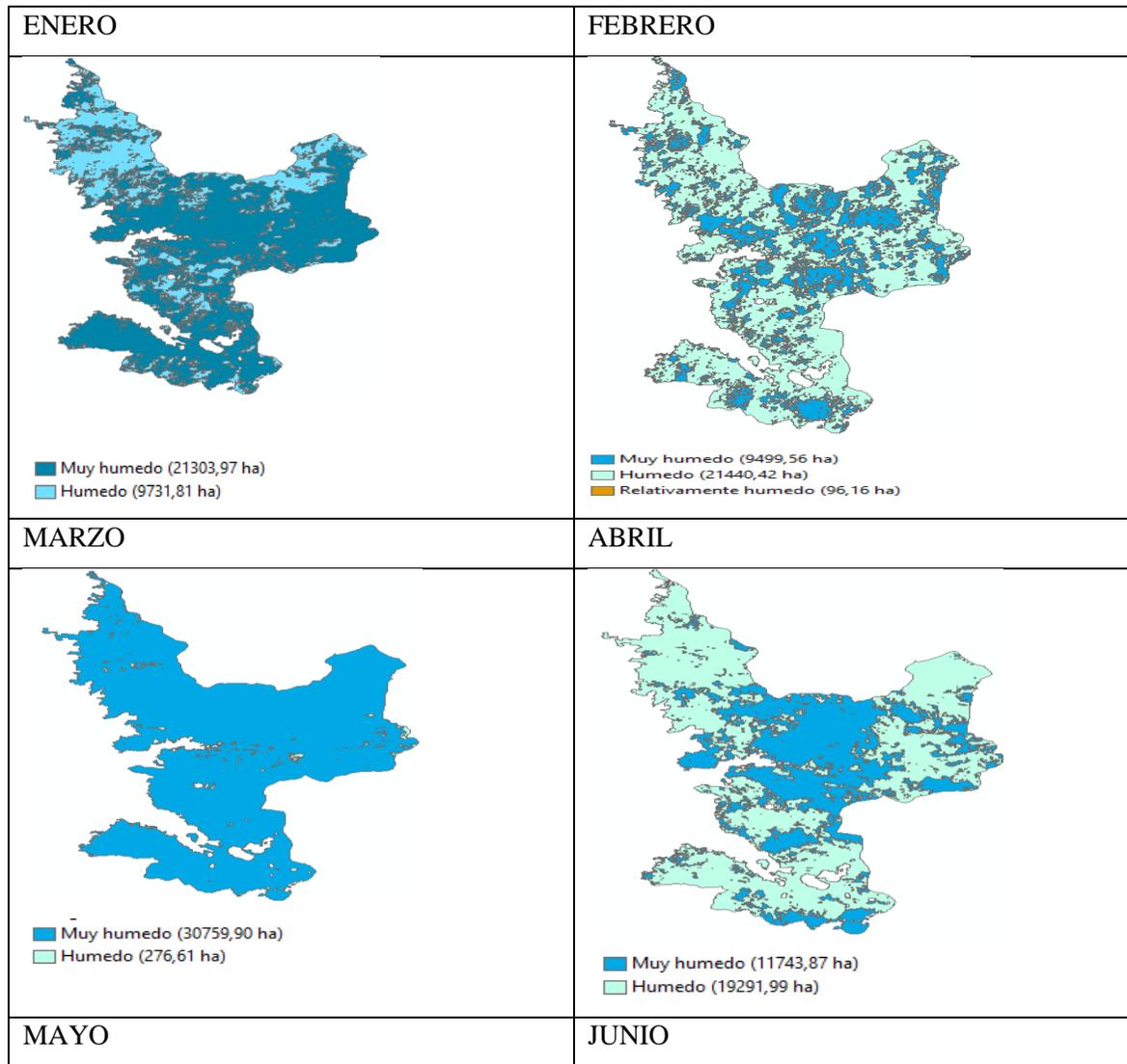
Las imágenes obtenidas se reclasificaron en 4 clases que corresponden a 1 aquellos valores del índice que van entre 0,2 a 1 y reflejan espacio Muy húmedos, la clasificación 2 corresponde a zonas con un índice de agua entre 0,0 a 0,2 que significa superficies húmedas, en la categoría 3 se encuentran rangos de entre -0,3 a 0,0 correspondientes a zonas Relativamente húmedas y 4 nuestra

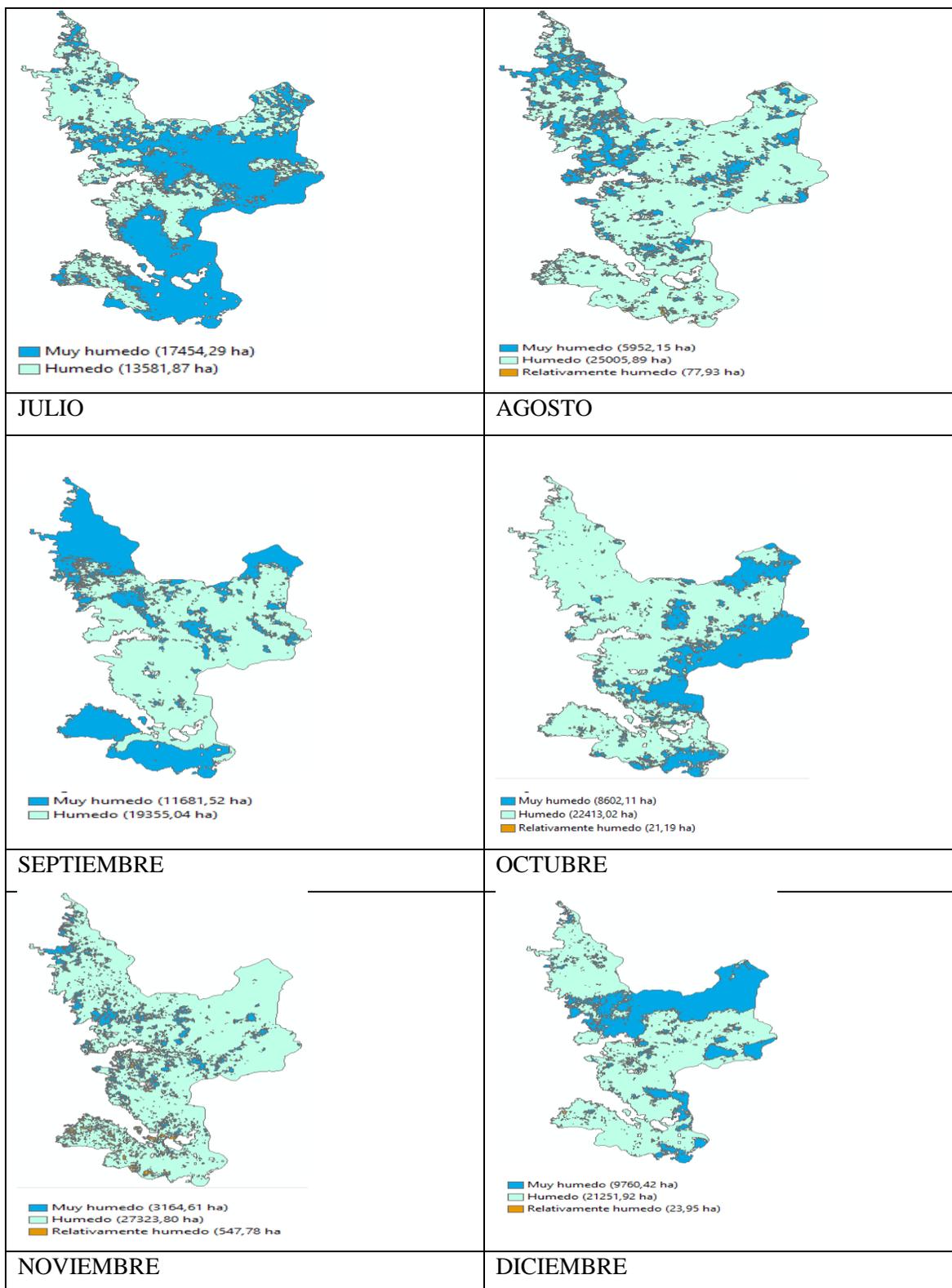
rangos de -1 a -0,3 que representan sequia o superficies sin agua, dentro del presente estudio se obtuvo como resultado 9 meses que alcanzaron a clasificarse en zonas muy húmedas y húmedas, mientras que los 3 meses restantes mostraron 3 clasificaciones muy húmedo, húmedo y relativamente húmedo ya que obtuvieron valores superiores a -0,3 esto debido a que al ser una zona de páramo existe gran cantidad de precipitaciones durante el año por lo que mantiene la humedad, esto es confirmado por Moksa, (2022) al afirmar que la humedad relativa de los ecosistemas de páramo suele ser alta, entre el 80 a 98%, puede llegar a su máximo en la época lluviosa y mínima en estaciones más secas. Estos dos aspectos favorecen la importante función de los páramos como reguladores hídricos, además menciona que la vegetación y los suelos de los páramos con su estructura porosa interceptan la lluvia, facilitan la infiltración y acumulan una parte, haciendo que su salida por los ríos y quebradas sea más gradual, lo que contribuye a un suministro más estable y continuo de agua. El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) es muy utilizado para resaltar el aspecto de las masas de agua en una imagen de satélite. Para ello, se reduce considerablemente la reflectancia del suelo y la vegetación, lo que permite que dichas masas de agua “destaquen” en la imagen (Eos data analytics, 2024).

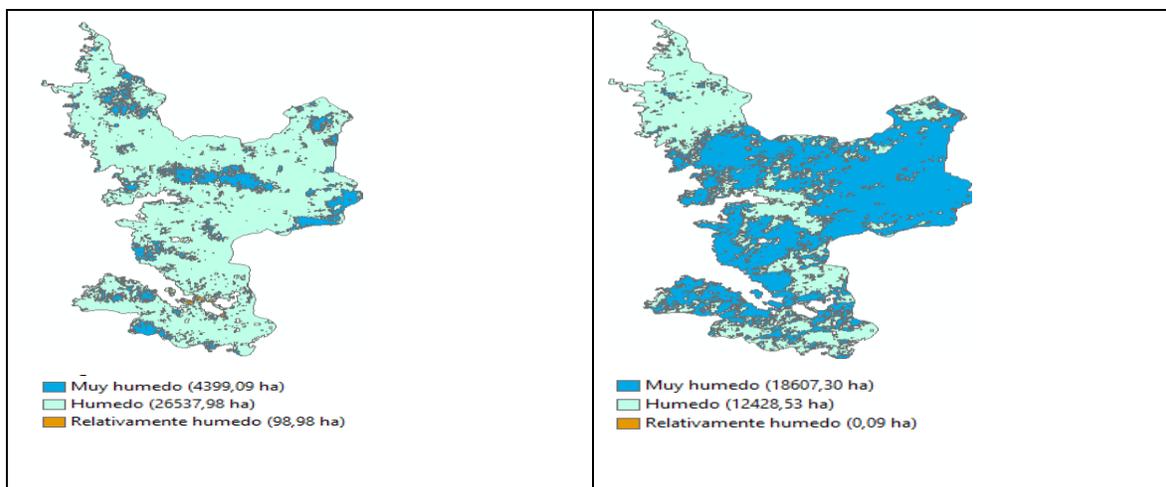
El páramo no debe ser considerado únicamente como un ecosistema frágil, atendiendo a su vulnerabilidad y las permanentes amenazas antrópicas, sino que además tiene que considerarse también su carácter estratégico para la naturaleza, la sociedad y la economía nacional, dadas las irremplazables funciones ecológicas, biológicas, hidrológicas, sociales, culturales y económicas que tiene este agro ecosistema (Camacho, 2013). En las siguientes figuras se observa la cuantificación de superficie por clasificación del índice de agua es así como la categoría correspondiente a zonas con alta humedad o muy húmedas se muestran de color azul, mientras que las zonas húmedas poseen coloración celeste y por último zonas relativamente húmedas poseen color naranja. se utiliza para resaltar el aspecto de las masas de agua en una imagen de satélite. El índice NDWI reduce de forma considerable la reflectancia del suelo y la vegetación, permitiendo de esta forma que destaquen las masas de agua dentro de la imagen. Las comunidades de Cebadas poseen diferentes regímenes de lluvia, que va desde los 250 mm, mientras que en el ecosistema páramo registran 2.500 mm de precipitación media anual por lo que existe gran contenido de humedad (PDYOT, 2015), lo que concuerda con el índice NDWI en estudio ya que en la figura 3. las imágenes obtenidas de la reclasificación se observan en los 12 meses tonalidades azules debido a que en general en el año 2022 se registró alta humedad en todo el páramo de Cebadas lo cual se

debería a las características propias como es la presencia de vegetación que funcionan como almohadillas en donde almacenan agua.

*Figura 3: Índice NDWI paramo de Cebadas periodo 2022*







De acuerdo a la tabla 3. se puede observar que los meses del año 2022 que presentaron mayor superficie correspondiente a la clasificación muy húmedo del índice NDWI fueron enero con 21303,97 hectáreas, marzo con 30759,90 ha, mayo 17454,29 ha y diciembre con 18607,30 hectáreas, mientras que los meses de febrero con 21440,42 hectáreas, abril con 19291,99 ha, junio con 25005,89 ha, julio con 19355,04, agosto con 22413,02 ha, septiembre con 27323,80 ha, octubre con 21251,92 ha y noviembre con 26537,98 ha. De esta forma se puede evidenciar que la utilización de imágenes satelitales para posteriormente realizar el cálculo de índices espectrales es una gran herramienta para el análisis y comparación de cuerpos de agua y el nivel de humedad de la zona, esto permite la elaboración de mapas de cambio para determinar las áreas afectadas otorgando valiosa información a los gestores para la caracterización y conocimiento del estado actual de los efectos de cambio climático (Ariza & García, 2013).

**Tabla 3:** Índice NDWI superficie periodo mensual 2022

Año 2022	Índice NDWI			
	1	2	3	4
Meses	Muy húmedo (ha)	Húmedo (ha)	Relativamente húmedo (ha)	sequia / superficies sin agua (ha)
Enero	21303,97	9731,81	-	-
Febrero	9499,56	21440,42	96,16	-
Marzo	30759,90	276,61	-	-
Abril	11743,87	19291,99	-	-
Mayo	17454,29	13581,87	-	-

<b>Junio</b>	5952,15	25005,89	77,93	-
<b>Julio</b>	11681,52	19355,04	-	-
<b>Agosto</b>	8602,11	22413,02	21,19	-
<b>Septiembre</b>	3164,61	27323,80	547,78	-
<b>Octubre</b>	9760,42	21251,92	23,95	-
<b>Noviembre</b>	4399,09	26537,98	98,98	-
<b>Diciembre</b>	18607,30	12428,53	0,09	-

De acuerdo con la tabla 4. el periodo 2022 registró una temperatura media anual de 13,1 °C lo que coincide con el plan de ordenamiento territorial Cebadas al señalar que la temperatura media anual es de alrededor 13,7°C, en donde se constituye dos estaciones Invierno húmedo frío en los meses de octubre a mayo y verano cálido, seco, ventoso de junio a septiembre; además presenta una humedad relativa del 96,8% y una precipitación de 681 mm, mientras que el presente estudio registró una humedad relativa máxima anual de 94,3% y 592,3 mm de precipitación anual.

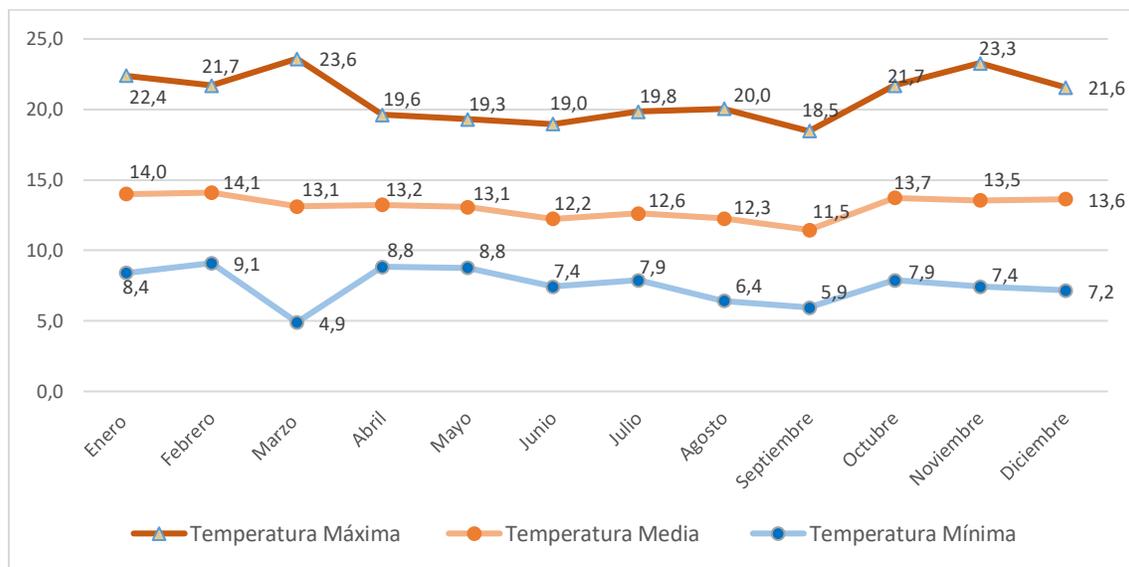
*Tabla 4: Datos meteorológicos periodo mensual año 2022*

<b>AÑO 2022</b>	<b>Temperatura (°C)</b>			<b>Humedad relativa (%)</b>			<b>Precipitación (mm)</b>
	<b>Máxima</b>	<b>Media</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Media</b>	<b>Mínima</b>	
<b>Enero</b>	22,4	14,0	8,4	94,3	68,0	32,5	44,3
<b>Febrero</b>	21,7	14,1	9,1	95,7	71,0	32,9	17,7
<b>Marzo</b>	23,6	13,1	4,9	92,7	75,1	41,9	52,3
<b>Abril</b>	19,6	13,2	8,8	97,0	77,4	44,7	77,4
<b>Mayo</b>	19,3	13,1	8,8	96,8	49,6	47,5	44,7
<b>Junio</b>	19,0	12,2	7,4	96,4	75,9	42,7	63,2
<b>Julio</b>	19,8	12,6	7,9	96,0	73,8	40,2	36,0
<b>Agosto</b>	20,0	12,3	6,4	95,4	69,7	36,3	17,3
<b>Septiembre</b>	18,5	11,5	5,9	81,0	56,4	27,1	52,2
<b>Octubre</b>	21,7	13,7	7,9	93,5	70,0	35,7	48,9
<b>Noviembre</b>	23,3	13,5	7,4	97,9	68,2	34,6	77,1
<b>Diciembre</b>	21,6	13,6	7,2	94,8	68,3	33,1	61,2
<b>Promedio anual</b>	<b>20,9</b>	<b>13,1</b>	<b>7,5</b>	<b>94,3</b>	<b>68,6</b>	<b>37,4</b>	<b>592,3</b>

*Fuente: (INAMHI, 2022).*

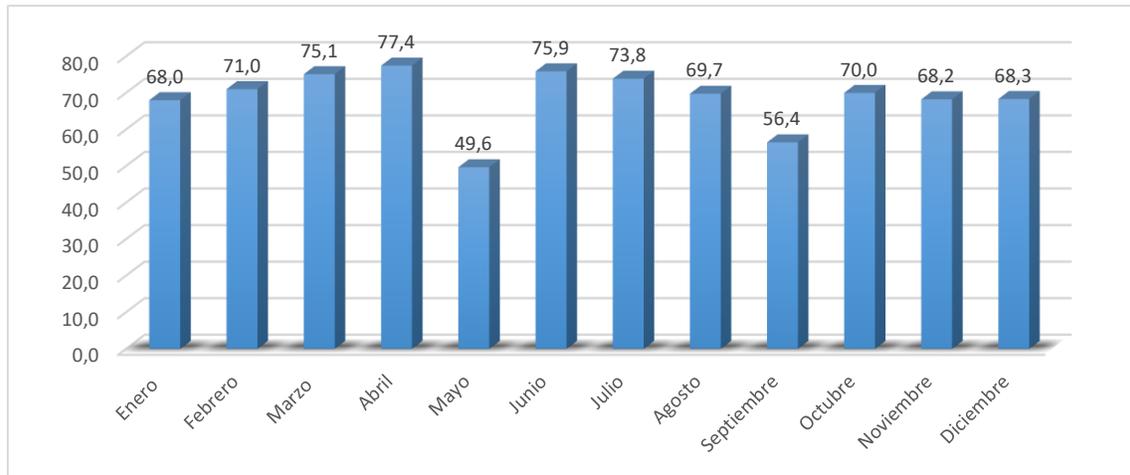
En el grafico 2 se observa la variación de temperatura mensual del año 2022 en el cual se muestra una temperatura máxima anual de 20,9 °C, media anual de 13,1 °C, y una temperatura mínima anual de 7,5 °C, notándose en el mes de marzo la temperatura más baja de 4,9 °C, las bajas temperaturas del páramo posibilitan el lento proceso de descomposición de la materia vegetal por lo tanto existe mayor acumulación de materia orgánica en el suelo, generalmente durante el día la radiación solar es alta mientras que en las noches las temperaturas bajan radicalmente (Llambí et al., 2012).

**Gráfico 2:** Temperatura (°C) promedio mensual año 2022



Como se observa en el grafico 3. Los meses de mayo y septiembre presentaron bajos porcentajes de humedad media anual con 49,6% y 56,4% respectivamente, esto coincide con la figura 3 en donde se observa al mes de septiembre con pocas superficies que ingresan en la categoría muy húmeda lo cual se muestra de tonalidad azul. Sin embargo, en general durante el año 2022 de acuerdo a los datos meteorológicos se evidencian valores altos de humedad entre 56,4 % a un máximo de 77,4 %.

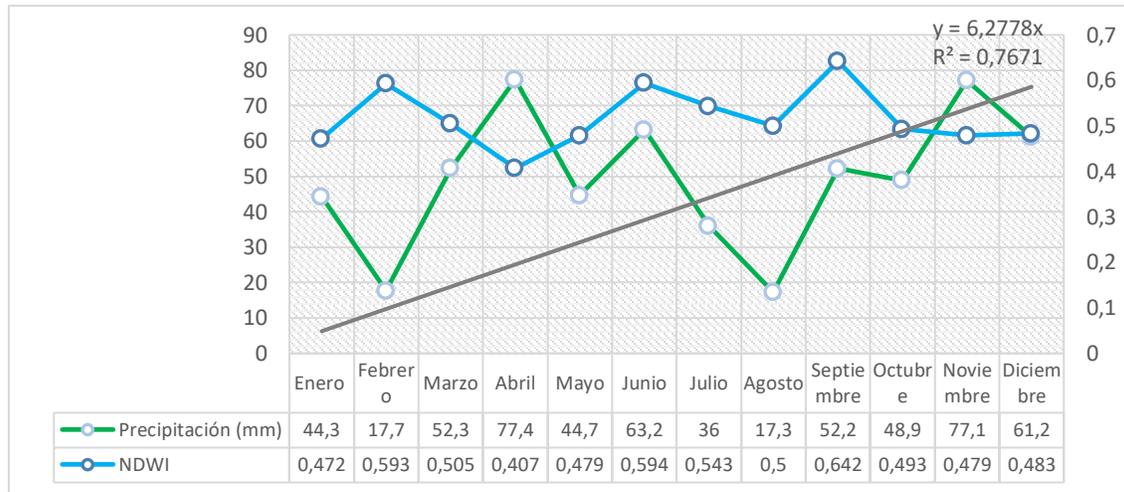
**Gráfico 3:** Humedad relativa (%) promedio mensual año 2022



Los suelos del páramo tienen un alto contenido de materia orgánica y por lo tanto una alta capacidad para retener agua y nutrientes (Llambí et al., 2012). Lo cual es confirmado por Ati et al., (2023) en su estudio sobre Análisis del estado del suelo de los ríos Cebadas - Yasepan de la microcuenca del río Cebadas en donde menciona que el suelo de Cebadas es altamente ácido debido a la cantidad de precipitaciones en la zona el factor principal del drenaje de estas son los eventos de precipitación, por lo que existe gran acumulación de agua y por ende alta humedad en el sitio de estudio.

En la gráfica 4. se puede observar la comparación entre los valores de precipitación y los valores máximos del índice NDWI que muestran un alto nivel de humedad o presencia de agua, en la cual se determina que los meses de junio y septiembre muestran que al incremento de la precipitación sube el índice NDWI alcanzando unos valores máximos de 0,59 y 0,64 respectivamente que indican mayor concentración de humedad en el territorio, mientras que en los meses de mayo, julio, agosto y octubre las precipitaciones bajan y de igual forma los valores del índice como se muestra en la gráfica. En la línea de tendencia se obtuvo un  $R^2$  de 0,76, el valor de  $R$  indica la cantidad proporcional de variación de la variable respuesta y según la variable independiente  $X$  en el modelo de regresión lineal, por lo que se determina que mientras mayor es el valor de  $R^2$ , mayor es la variabilidad de los datos, es así que el presente estudio muestra una alta variabilidad del 76%, los valores crecientes indican áreas con alta concentración de humedad a lo largo del periodo en estudio.

**Gráfico 4:** Comparación precipitación – índice NDWI



## Conclusiones

Mediante la aplicación del índice NDWI se determinó que el páramo de Cebadas obtuvo un alto nivel de humedad en el periodo 2022 superior al 90 %, lo cual se debe primordialmente a la cantidad de precipitaciones a lo largo del año tiene lo cual desencadena la retención de humedad en este tipo de ecosistema andino.

El índice NDWI se utiliza para perfilar el contorno de las masas de agua en los mapas y controlar la turbiedad del agua, esto debido a que el agua no refleja casi nada de luz, en el presente estudio se determinó que el mes de marzo presentó la mayor extensión de 30759,90 hectáreas con un valor del índice entre 0,08 a 0,50 que corresponden a zonas muy húmedas, esto concuerda con la época lluviosa en la sierra ecuatoriana que se muestra de febrero a mayo.

## Referencias

1. Acosta, R., Carol, E., Borzi, G., Leal, P., & Alvarez, M. (2023). ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA EXTENSIÓN DE HUMEDALES LAGUNARES A PARTIR DEL ÍNDICE NDWI. CONAGUA 2023, 1–93.
2. Amado-Alvarez, J., Pérez-Cutillas, P., Alatorre-Cejudo, L. C., Olgún-López, J. L., Ramírez-Valle, O., Segovia-Ortega, E. F., & Alarcón-Cabañero, J. J. (2018). Análisis multispectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1(62), 49. <https://doi.org/10.15359/rgac.62-1.2>

3. Aponte-Saravia, J., & Ospina-Noreña, J. E. (2019). Evaluando el desempeño de índices espectrales para identificar humedales alto andinos. *Revista de Teledetección*, 53, 59. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.10580>
4. Ariza, A., & Garcia, S. (2013). Desarrollo de un modelo de corrección de imágenes de satélite para inundaciones: (CAIN - Corrección Atmosférica e Índices de Inundación ). UN-SPIDER Knowledge Portal. <http://www.pcigeomatics.com/pdf/ModeloCAIN.pdf>
5. Ati, G., Vasco, M., Cushquicullma, D., & Barba, M. (2023). Analysis of the state of the soil of the Cebadas - Yasipan rivers of the Cebadas river micro-basin , province of Chimborazo Análise do estado do solo dos rios Cebadas - Yasipan da microbacia do rio. *Polo Del Conocimiento*, 8(11), 112–125. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6196>
6. Bahadur. (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7,8. [https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7,8. Hhttps://Www.Linkedin.Com/, September 2018, 8. https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri/%0Ahttps://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri](https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri/%0Ahttps://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri)
7. Brenner, V. C., & Guasselli, L. A. (2015). Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) para Identificação de Meandros Ativos no Leito do Canal do Rio Gravataí/RS - Brasil. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 1, 6381–6388.
8. Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2003). Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad. *Soil and Water*, 1–26.
9. Camacho, A., Morant, D., Ferriol, C., Santamans, A. C., Doña, C., Camacho-Santamans, A., & Picazo, A. (2019). Descripción de Métodos para Estimar las Tasas de Cambio del Parámetro “Superficie Ocupada” por los Diferentes Tipos de Hábitat Leníticos de Interior (Lagos, Lagunas y Humedales). Serie “Metodologías Para El Seguimiento Del Estado de Conservación de Los Tipos de Hábitat” . Ministerio Para La Transición Ecológica. Madrid., 140. [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/04bosquesymatorralesnofluviales\\_1\\_metodossuperficie\\_tcm30-506051.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/04bosquesymatorralesnofluviales_1_metodossuperficie_tcm30-506051.pdf)
10. Camacho, M. (2013). LOS PÁRAMOS ECUATORIANOS : CARACTERIZACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA SU CONSERVACIÓN Y.
11. Chávez Muyulema, N. (2021). PDOT Final GAD CEBADAS 2021diseño.

12. Chuncho, C., & Chuncho, G. (2019). BOSQUES LATITUD CERO Publicado por Editorial Universidad Nacional de Loja bajo licencia Creative Commons 4.0 Consultor ambiental-MAE-SUIA-0280-CI y Ex docente la Universidad Nacional de Loja, Ecuador Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una re. Bosques Latitud Cero, 9(2), 71–75.
13. De Sanctis, M. (2023). PREVENIR EL ESTRÉS HÍDRICO CON EL ÍNDICE NDWI. <https://tethys.farm/es/indice-ndwi-para-salvaguardar-la-salud-de-tus-cultivos/>
14. Edrosa, M. (2011). Aplicación de la Teledetección para el Monitoreo de Eventos Hídricos Superficiales mediante Imágenes Cosmo Sky Med. 110. [https://pep.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/68/2017/08/2009\\_Edrosa-Rodrigo.pdf](https://pep.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/68/2017/08/2009_Edrosa-Rodrigo.pdf)
15. Hernández Lozano, R., & Pavón, N. (2024). Índices Para El Monitoreo De Cuerpos De Agua Usando Sensores Remotos. Acta Universitaria, 34, 1–19. <https://doi.org/10.15174/au.2024.3814>
16. Hofstede, R., Segarra, P., & Vásquez, P. (2003). Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos 2003. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia.
17. INAMHI. (2022). INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA - ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA AÑO : 2022.
18. Llambí, L. D., Soto, A., Céleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos. Proyecto Páramo Andino, June 2014, 281. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf>
19. Özelkan, E. (2020). Water body detection analysis using NDWI indices derived from landsat-8 OLI. Polish Journal of Environmental Studies, 29(2), 1759–1769. <https://doi.org/10.15244/pjoes/110447>
20. PDYOT. (2015). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO. 554. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000280001\\_PDyO T FINAL - 160516 13y50\\_16-05-2016\\_19-06-53.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000280001_PDyO T FINAL - 160516 13y50_16-05-2016_19-06-53.pdf)
21. Perea, M. A., Leal Villamil, J., & Oviedo Barrero, F. (2021). Manglar Con T Eledetección En El Litoral P Acífico Colombiano : B Ajo B Audó , C Hocó. 34(C), 27–44.
22. Pereira, L. E., Amorim, G., Grigio, A. M., & Filho, A. C. P. (2018). Comparative analysis of normalized difference water index (NDWI) methods in continental wetland | Análise

- comparativa entre métodos de índice de agua por diferencia normalizada (NDWI) en área húmeda continental. Anuario Do Instituto de Geociencias, 41(2), 654–662. <https://doi.org/10.11137/2018>
23. Roque Quispe, J. (2017). Detección semiautomatizada de cuerpos de agua y bofedales a partir del tratamiento de imágenes Lansat TM (generación de un modelo predictivo) Escena 001/071 La Paz - Bolivia. 1–107. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18636>
24. Villatoro, B. (2019). Uso De Índices De Vegetación Ndwí Y Msi Obtenidos De Imágenes Satelitales Sentinel-2 Y Landsat 8 Para Monitoreo De Humedad, Como Indicador De Momento Óptimo De Cosecha En Caña De Azúcar. 1, 225–243. [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov)

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).