

# CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS E INFORMÁTICA

## ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA VEGETACIÓN DE BOFEDAL CON EL ESPECTRORADIÓMETRO "FIELDSPEC4" E IMÁGENES DE SATELITE SENTINEL2, EN LA CABECERA DE CUENCA CACHI-APACHETA, REGIÓN AYACUCHO

**Wilmer Moncada Sosa, Alex Pereda Medina**

Unidad de Investigación e Innovación de Ingeniería de Minas Geología y Civil

Programa de Física - Área de Biofísica

E-mail: wilmer.moncada@unsch.edu.pe

### RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo analizar las firmas espectrales de la vegetación de bofedal, suelo y agua con el espectroradiómetro "Field Spec4", para su clasificación en las imágenes de satélite Sentinel-2, de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho. La corrección atmosférica de las imágenes Sentinel 2 se realizan con el programa Sen2Cor como herramienta del software SNAP. Para la caracterización de la vegetación, suelo y agua se ingresa la firma espectral de cada especie de vegetación según su longitud de onda correspondiente a su valor de reflectancia para cada una de las doce bandas de la imagen Sentinel-2 con resolución espacial de 20 m. En el mapeado de la clasificación de las 16 especies vegetales, suelo y agua, se ha encontrado que la vegetación de bofedal con mayor cobertura de área es la colonia de vegetación conformada por *Stepa sp.*, *Alchemilla Pinnata*, *Plantago Sericea*, *Luzula Peruviana*, de aproximadamente 3679,92 Ha equivalente al 25,65 %. La especie vegetal contenida en suelo seco abarca un área de 2547,12 Ha equivalente al 17,75 %. La zona de suelo arenoso cubre un área de 1413,72 Ha equivalente al 9,85 %. Las lagunas y zonas con agua alcanzan un área de 31,48 Ha equivalente al 0.23 % del área total.

Palabras clave: Sentinel 2. Firma Espectral. Bofedal.

## SPECTRAL ANALYSIS OF THE VEGETATION OF BOFEDAL WITH THE SPECTRORADIOMETER "FIELDSPEC4" AND SATELITE IMAGES SENTINEL2, IN THE CACHI-APACHETA BASIN HEADER, AYACUCHO REGION

### ABSTRACT

The purpose of this research project is to analyze the spectral signatures of the bofedal vegetation, soil and water with the "Field Spec4" spectroradiometer, for classification in the Sentinel-2 satellite images, of the Cachi-Apacheta basin header, Ayacucho region. Atmospheric correction of Sentinel 2 images is performed with the Sen2Cor program as a tool for SNAP software. For the characterization of the vegetation, soil and water, the spectral signature of each species of vegetation is entered according to its wavelength corresponding to its reflectance value for each of the twelve bands of the Sentinel-2 image with a spatial resolution of 20 m. In the mapping of the classification of the 16 plant species, soil and water, it has been found that the bofedal vegetation with greater area coverage is the vegetation colony formed by *Stepa sp.*, *Alchemilla Pinnata*, *Plantago Sericea*, *Luzula Peruviana*, of approximately 3679.92 hectares equivalent to 25.65%. The plant species contained in dry soil covers an area of 2547.12 Ha equivalent to 17.75%. The sandy soil zone covers an area of 1413.72 hectares equivalent to 9.85%. The lagoons and areas with water reach an area of 31.48 hectares equivalent to 0.23% of the total area.

Keywords: Sentinel 2. Spectral signature. Bofedal.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, perteneciente a la cuenca Cachi en la Región Ayacucho, se ha convertido en la principal fuente proveedora de agua para toda la población Ayacuchana, de donde se recolecta agua en la primera bocatoma Apacheta para ser trasladada por trabase a la represa de Cuchoquesera y cuyo monitoreo se puede realizar mediante el uso de imágenes de satélite Landsat para la cuantificación hidrológica de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta (Moncada et al., 2015). Apacheta no es ajena a la intervención de la mano del hombre y a la influencia climática dentro del contexto de cambio global, por lo que es de suma importancia monitorear la dinámica de sus

ecosistemas de humedales para el buen manejo de la microcuenca (Henao, 1988). Una de las herramientas de mejor uso y de fácil acceso es el manejo de las imágenes Sentinel 2 de resolución media y mejor aún de libre disponibilidad (European Space Agency 2017). La presente investigación da respuesta a la pregunta ¿En qué medida las firmas espectrales de la vegetación de bofedal, suelo y agua medidos con el espectroradiómetro "Field Spec4", permiten su clasificación en las imágenes de satélite Sentinel-2, de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho?, de esta manera se plantea una metodología que consiste en aprovechar el uso de las firmas espectrales tomadas con el espectroradiómetro Field Spec4 para determinar vegetación, suelo y agua (ASD Inc., 2017).

El análisis de las firmas espectrales de la vegetación de bofedal, permite caracterizarlos en las imágenes de satélite mediante el método de reconocimiento de distintos tipos de cobertura de vegetación en los bofedales que se logra evaluando las firmas espectrales (enmembers) en cada pixel de las imágenes de satélite Sentinel 2 (Daniel Marín, 2017), en función de sus valores de reflectancia lo cual es comúnmente necesario para la clasificación, que consiste en asignar un conjunto de objetos en la imagen digital a un conjunto de clases predefinidas que conforman los componentes de la vegetación en un bofedal por encima de los 4000 m.s.n.m. Los distintos tipos de coberturas de vegetación como bosques, suelos cultivados, láminas de agua, ecosistemas de humedales o bofedales, se distinguen por la energía que reflejan y emiten por el sol. Estos “espectros” que caracterizan el tipo de cubierta vegetal observada constituyen su firma espectral, la cual se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica de estudiar este comportamiento es disponer los datos de reflectancia (%) en el eje Y de las ordenadas y la longitud de onda  $\lambda$  en el eje X de las abscisas. Al unir los puntos con una línea continua se origina una representación bidimensional de la firma espectral. El espectroradiómetro “Field Spec4” de alta resolución espectral está diseñado para medir las firmas espectrales con más precisión y con una amplia gama de patrones espectrales (350 nm a 2500 nm). Ambas formas de medición de las firmas espectrales y el análisis espectral corresponde al método de diferenciación numérica y métodos de correlación estadística, lo cual permite encontrar

patrones espectrales propios de los tipos de vegetación que conforman el pixel de la imagen de satélite – (Sonobe et al., 2018).

El método utilizado es una alternativa rápida, repetible, evaluable y de bajo costo para describir la cobertura y tipo de vegetación que componen las áreas extensas de los bofedales y monitorear su cambio a lo largo del tiempo, en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho, mediante las firmas espectrales de la vegetación de bofedal medidos con el espectroradiómetro Field Spec4, caracterizados en las imágenes de satélite Sentinel 2, y así ubicar su cobertura de vegetación en los bofedales de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La figura 1, muestra la ubicación demográfica de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, ubicada en las alturas de la cuenca Cachi, provincia de Cangallo, Región Ayacucho. Por el norte es compartida con la provincia de Huaytara en el departamento de Huancavelica. Posee un área de superficie de 14348,21 Ha. Se ubica en el huso WGS84-18S, enmarcada entre las coordenadas geográficas 13° 17' 5.32" S (526046.418228 UTM) y 13° 26' 12.417" S (540755.87805 UTM) latitud sur y entre los 74° 37' 24.599" W (8514530.22427 UTM) y 74° 45' 34.324" W (8531355.20191 UTM) longitud oeste. Tiene una altitud media de 4651 m.s.n.m., su altura mínima es 4112 m.s.n.m. y su altura máxima es 5045 m.s.n.m. (Pereda et al., 2018).

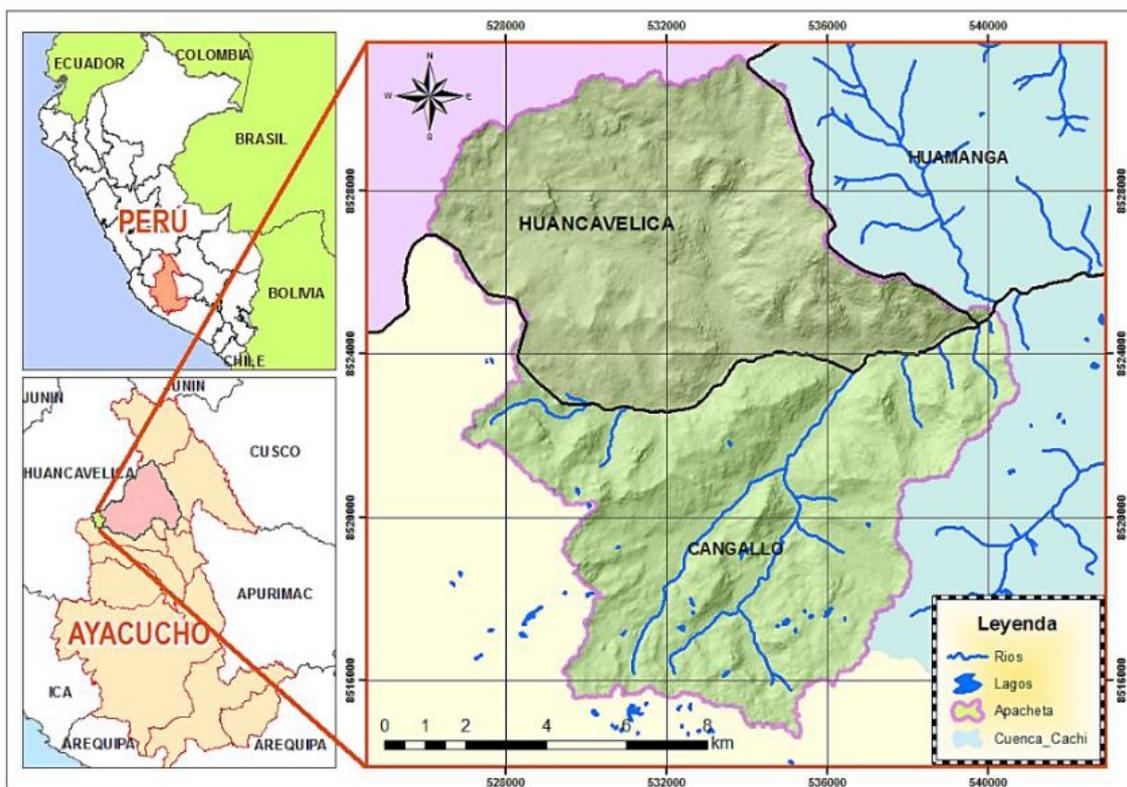


Fig. 1. Ubicación Geográfica de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho.

Las imágenes ópticas Sentinel 2 se procesan con el software SNAP, en donde se hace uso de la herramienta Sen2Cor para la corrección atmosférica de las imágenes, lo cual permite generar valores de reflectancia entre 0 y 1. Este rango de valores permite la detección de cambios y el establecimiento de un valor de reflectancia para la longitud de onda de cada banda de la imagen de satélite Sentinel 2 con resolución de 20 m por pixel, además de tomar en cuenta los datos proporcionados por la estación meteorológica Apacheta de patrones climatológicos como la precipitación, temperatura, velocidad de viento, dichos patrones son influyentes en la cobertura de vegetación, suelo, agua y por ende el uso de suelo en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta (Sola et al., 2018).

En primer término, la metodología involucra indicadores y descriptores biofísicos como información acerca del estado de vegetación, evapotranspiración y humedad de los humedales de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, estableciendo correlaciones y relaciones de causa-efecto, con parámetros climáticos (precipitación, temperatura, humedad, velocidad de viento, evaporación), con respecto a los parámetros morfométricos de humedales de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta. En segundo término, los estudios conllevan a la identificación de las principales especies vegetales caracterizadas a través de las firmas espectrales, mediante el procesamiento de imágenes de satélite Sentinel 2A y 2B, identificados en los bofedales de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, así como el indicador de vegetación NDVI y la determinación de las firmas espectrales de las diferentes especies de vegetación.

En las imágenes Sentinel 2, se realiza la caracterización de las principales especies vegetales mediante su firma espectral medida con el espectroradiómetro Field Spec4 del

Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables LABTELER-UNSCH, por lo que se propone un proceso de aprendizaje iterativo que involucra el análisis de datos satelitales, datos de campo, generación de mapas temáticos, validación y análisis de correlaciones. Con el espectroradiómetro "Field Spec4", se realiza la medida de las firmas espectrales de 16 especies de vegetación en los bofedales de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta. Se determinan las firmas espectrales de la vegetación en los bofedales tomadas por el espectroradiómetro "Field Spec4" y se identifican los nombres de la vegetación que componen a los bofedales, su cobertura espacial de suelo y agua. El procedimiento permite la aplicación del método de la mínima distancia a la data espectral para la precisión de la clasificación de especies de vegetación y coberturas de suelo y agua.

La metodología que aquí se propone involucra el análisis de datos satelitales Sentinel 2, datos de campo como las firmas espectrales de la vegetación de bofedal y puntos de GPS, generación de mapas temáticos de la clasificación de vegetación, suelo y agua, validación de los resultados, análisis de correlaciones y análisis de las firmas espectrales tomadas con el espectroradiómetro Fiel spec4 y de las Imágenes Sentinel-2. Así mismo, se hace uso del espectroradiómetro Field Spec4 para la obtención de las firmas espectrales de la vegetación, suelo y agua para el contraste de resultados y validación de la data satelital. Complementariamente, se utilizan los datos de la estación meteorológica Apacheta para verificar la cobertura de vegetación ante la presencia de precipitación en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta. El pre procesamiento y procesamiento de la imagen Sentinel 2, para la clasificación de la vegetación, suelo y agua del área en estudio, sigue los siguientes pasos:

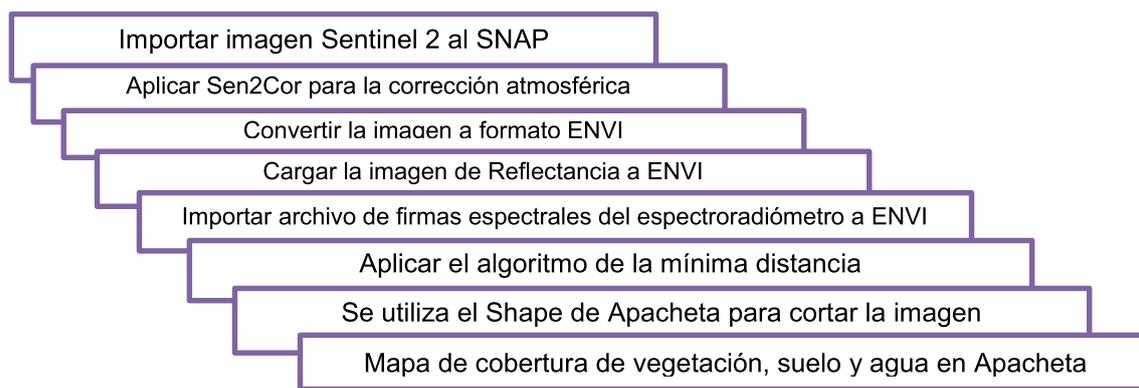


Fig. 2. Pre procesamiento y procesamiento de imágenes Sentinel 2 y la aplicación de firmas espectrales de las especies vegetales, suelo y agua en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho.

La vegetación, suelo y agua a clasificar deben estar en un archivo ASCII o Txt, el cual contiene valores de reflectancia del *Aciachne Pulvinata* / *Muhlenbergia Fastigiata*; *Graminea* sp. / *Muhlenbergia Fastigiata*; *Stipa* sp. / *Alchemilla Pinnata* / *Plantago Sericea* / *Luzula Peruviana*; *Stipa Ichu*; *Graminea*

sp; *Flavoparmelia Caperata*; *Alchemilla Pinnata* / Suelo Húmedo; *Werneria Pygmaea* / *Plantago Tubulosa*; *Alchemilla Pinnata*; Vegetación con Suelo Seco; Roca; *Plantago Rigida*; Arena; Piedra de Rio; Rio; Agua.

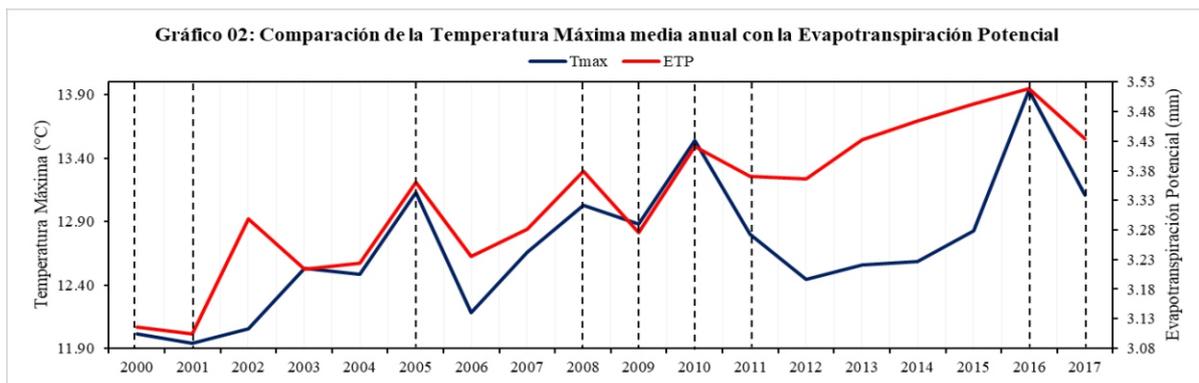
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. El análisis de los patrones climáticos como indicadores biofísicos de la dinámica espacial de humedales, corresponden a los datos de la estación meteorológica Apacheta.
- 2.



**Interpretación:** El gráfico 01, muestra la comparación de la precipitación acumulada anual con la evapotranspiración potencial media anual de la Cabecera de Cuenca Cachi-Apacheta, presenta movimientos ascendentes y descendentes recurrentes, donde se observa para ambos casos una

tendencia anual positiva, además se observa un comportamiento inverso para algunos años donde existen picos altos de precipitación y a la vez picos bajos de evapotranspiración con ocurre con los años 2008, 2009, 2010, 2011, 2016 y 2017.



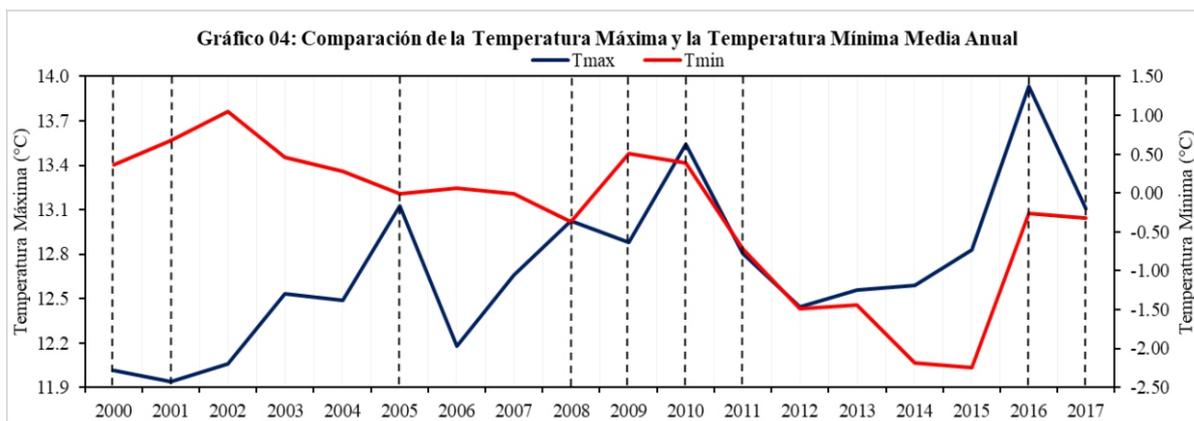
**Interpretación:** El gráfico 02, muestra fluctuaciones cíclicas de la secuencia anual de la temperatura máxima en comparación con la evapotranspiración potencial media anual de la Cabecera de Cuenca Cachi-Apacheta, Región

Ayacucho durante el periodo 2000 al 2017, se observa que el comportamiento es directamente proporcional entre ambos en los picos altos correspondientes a los años 2005, 2008, 2010 y 2016, con una ligera tendencia positiva.



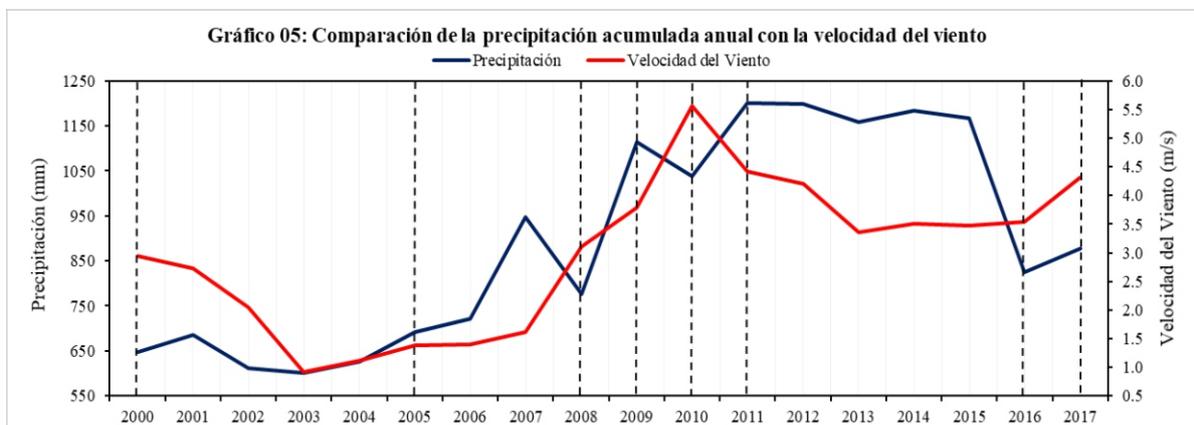
**Interpretación:** En el gráfico 03, se observa las fluctuaciones cíclicas de la secuencia mensual de la velocidad del viento media anual comparación con la evapotranspiración potencial media anual de la Cabecera de Cuenca Cachi-Apacheta de la Región Ayacucho durante el

periodo 2000 al 2017, se observa que existe una correspondencia directa para algunos años como en el 2005, 2008, 2010 y un comportamiento inverso durante los años 2001, 2012, 2016 y 2017.



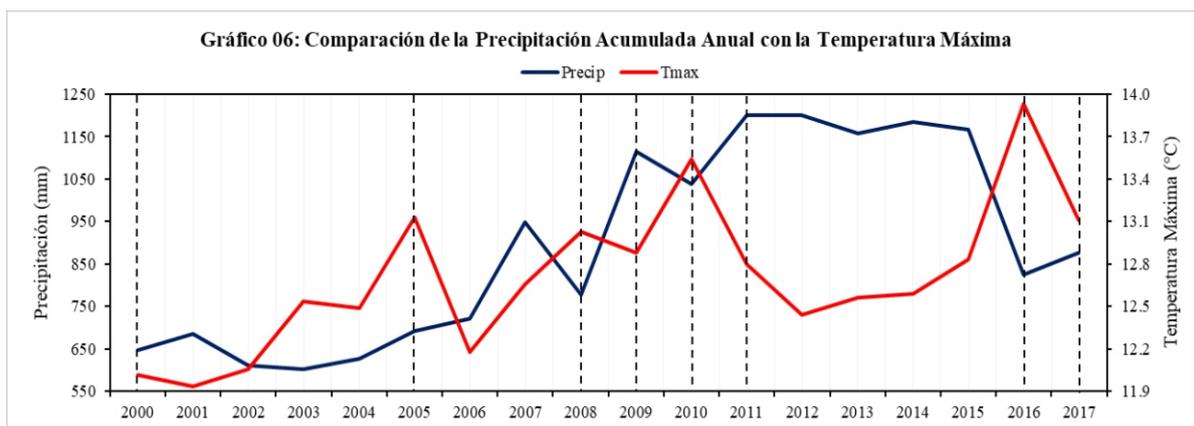
**Interpretación:** En el gráfico 04, muestra el comportamiento de la temperatura máxima y mínima media anual, de la Cabecera de Cuenca Cachi-Apacheta de la Región Ayacucho durante el periodo del 2000 al 2017, se

observa que ambos mantienen una correspondencia directa a partir del año 2010 hasta el año 2016, con una ligera tendencia a incrementarse para ambas temperaturas.



**Interpretación:** En el gráfico 5, muestra la comparación entre la precipitación acumulada anual con la velocidad del viento de la Cabecera de Cuenca Cachi-Apacheta de la Región Ayacucho durante el periodo del 2000 al 2017, cuya

tendencia presenta variaciones cíclicas del comportamiento entre ambos guardan una correspondencia directa con una ligera tendencia a incrementarse.



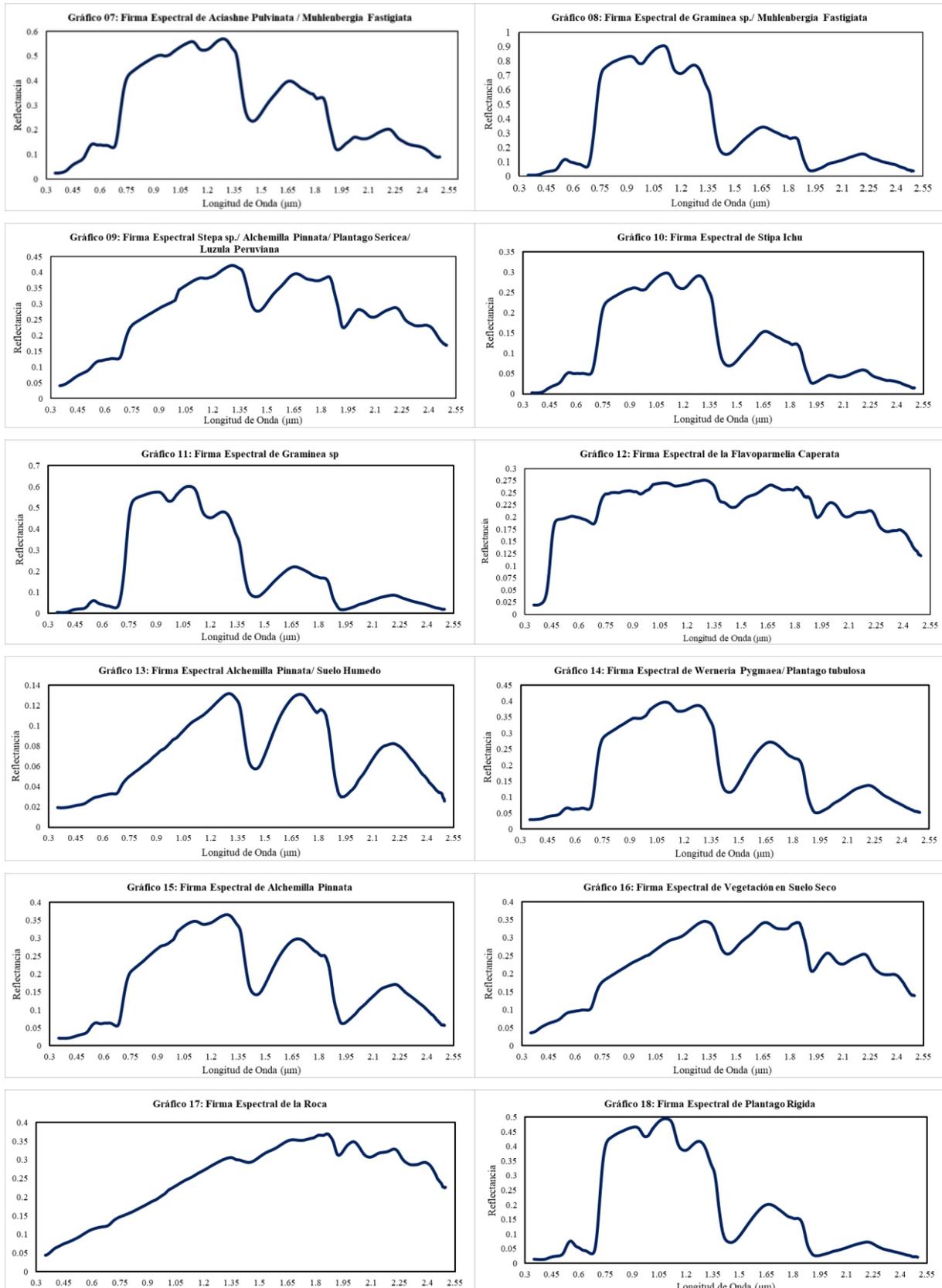
**Interpretación:** En el gráfico 6, muestra la comparación entre la precipitación acumulada anual con la velocidad del viento de la Cabecera de Cuenca Cachi-Apacheta de la Región Ayacucho durante el periodo del 2000 al 2017, donde

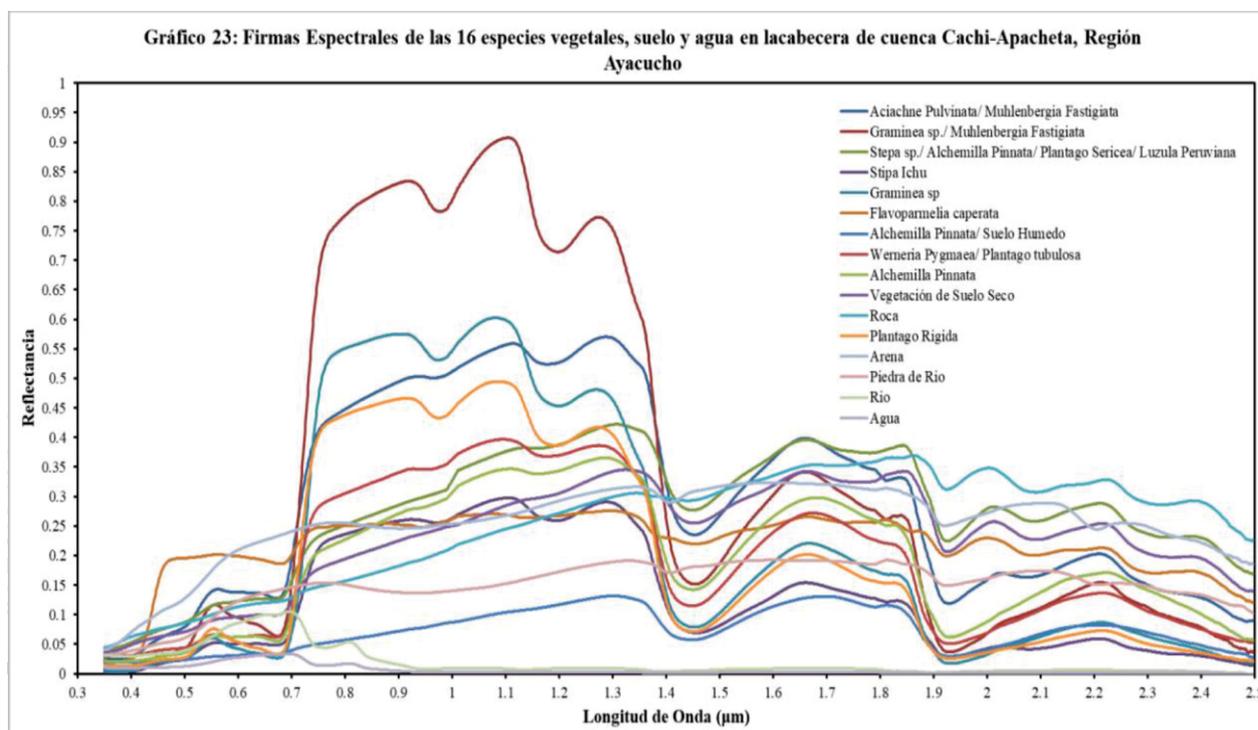
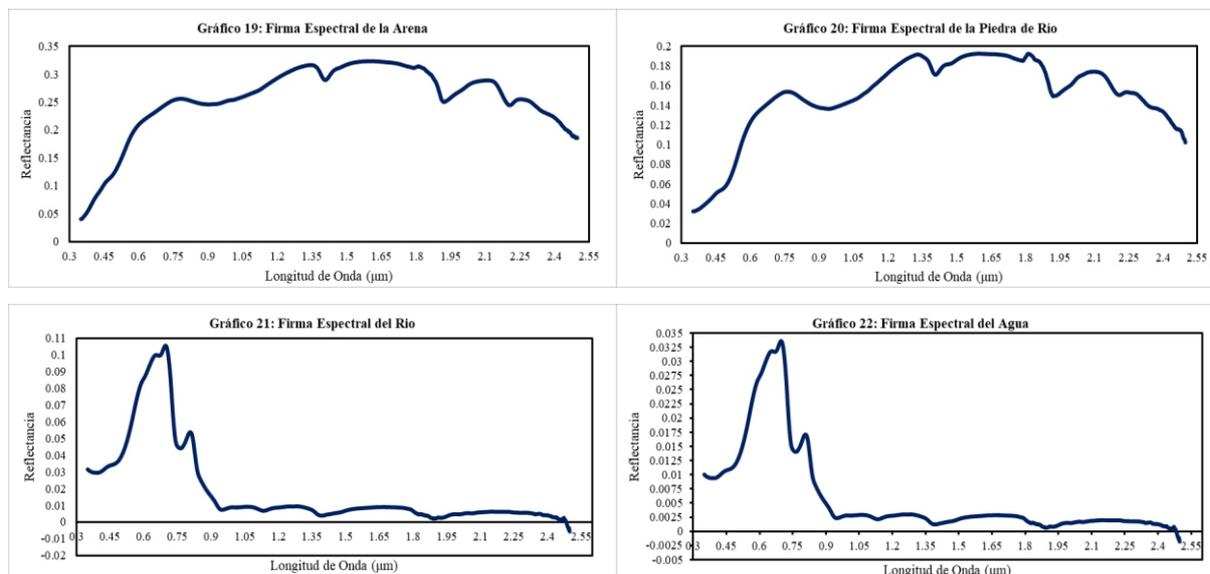
se observa que para algunos años su comportamiento es inverso, como sucede en los años 2000, 2001, 2003, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2015, 2016 y 2017.

3. La tabla 1, muestra las firmas espectrales de los 16 tipos de vegetación, suelo y agua analizados en los bofedales de Apacheta de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho, donde se observa el comportamiento de la firma espectral para cada tipo de especie de vegetación, suelo y agua, mostrando factores relacionados a su

reflectancia con respecto a la longitud de onda de las bandas espectrales que dependen de manera directa con la proporción de las hojas, lignina y el efecto del suelo, la geometría de las hojas y los ángulos de observación de éstas.

**Tabla 1.** Firmas espectrales de las especies vegetales, suelos y agua en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta.





4. La figura 2, muestra el resultado de la clasificación del área en estudio mediante la introducción de las firmas espectrales de las diferentes especies vegetales, suelo y agua, los cuales dan lugar a un mapa de cobertura de uso de suelo de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta con las áreas involucradas para las diferentes especies vegetales, suelo y agua, que están clasificadas por colores. Se ha logrado determinar las firmas espectrales de la vegetación de bofedal, suelo y agua, caracterizados en las imágenes de satélite Sentinel 2, mediante la

determinación del área de cobertura de las 16 especies de vegetación, suelo y agua, siendo las vegetaciones de los bofedales con mayor cobertura de área la colonia de vegetación conformada por *Stepa sp.*, *Alchemilla Pinnata*, *Plantago Sericea*, *Luzula Peruviana*, de aproximadamente 3679.92 Ha, seguido de la especie vegetal contenida en suelo seco con 2547.12 Ha. En la zona de suelo desnudo se visualizan áreas extensas de suelo arenoso de 1413.72 Ha. Las lagunas y zonas con agua llegan alcanzar un área de 31,48 Ha.

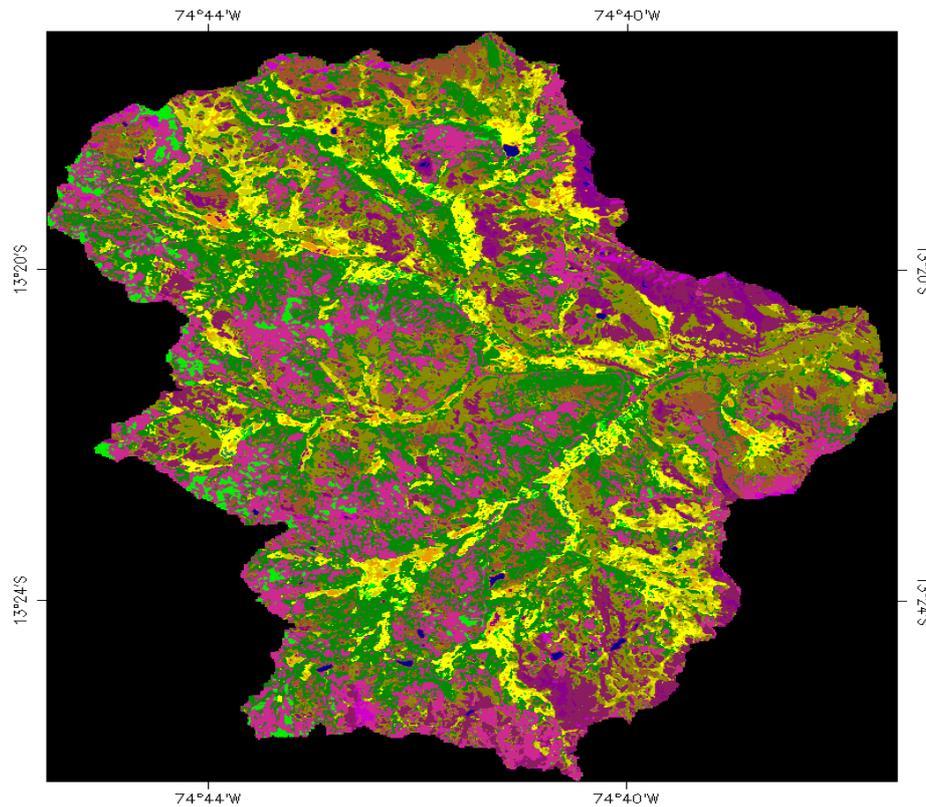


Figura 2. Mapa de clasificación de las 16 especies de vegetación, suelo y agua procesada en la imagen de satélite Sentinel 2B de Fecha 05 de setiembre de 2018, a partir de las firmas espectrales tomadas con el espectroradiómetro Field Spec4.

5. En la tabla 2 muestra las 16 especies de vegetación, suelo y agua a partir de las firmas espectrales tomadas con el espectro radiómetro Field Spec 4, estas firmas espectrales se introducen con ayuda del software ENVI y se procede a clasificar las zonas haciendo uso del algoritmo de la mínima distancia. Se ha logrado determinar las firmas espectrales de la vegetación de bofedal, medidos con el espectroradiómetro

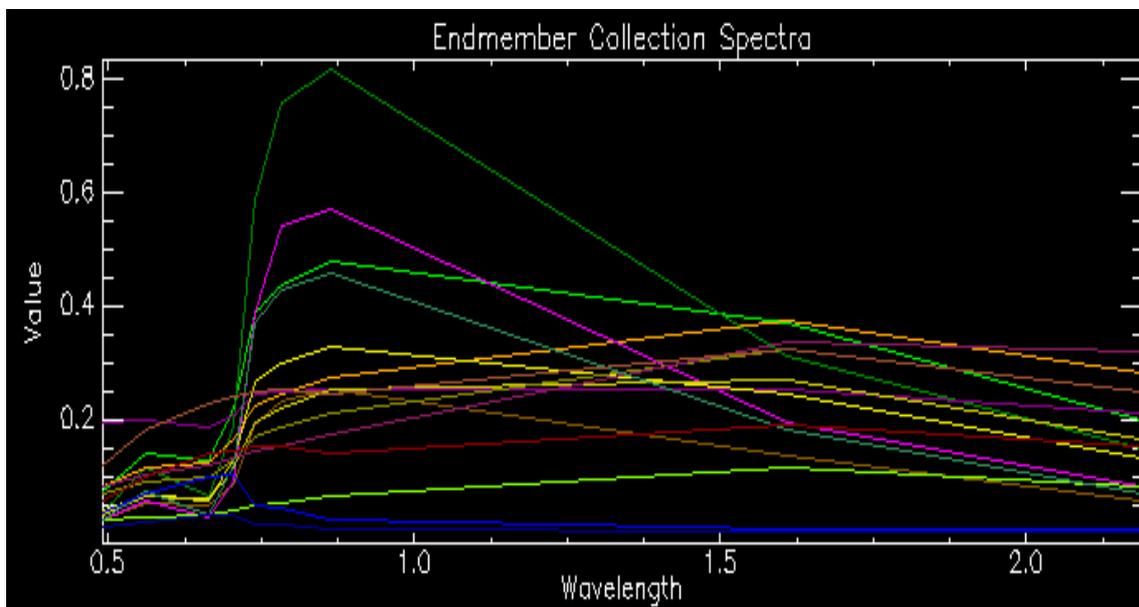
“FIELDSPEC4”, en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta. Las firmas espectrales de las 16 especies de vegetación, suelo y agua, se han logrado introducir al software ENVI 5.3 para su clasificación en las imágenes de satélite Sentinel 2, cuyo resultado fue muy optimo en comparación con otros métodos, dado que la firma espectral es un método físico la cual es única para cada especie de planta, suelo o agua.

**Tabla 2.** Área de las 16 especies de vegetación, suelo y agua clasificados en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho.

Clase	Descripción	Color	Nº Puntos	Área (Ha)	%
1	<i>Aciachne Pulvinata / Muhlenbergia Fastigiata</i> <i>Stepa sp / Alchemilla Pinnata / Plantago Sericea / Luzula</i>	Green1	9305	372.2	2.59
2	<i>Peruviana</i>	Green3	91998	3679.92	25.65
3	<i>Stipa Ichu</i>	Orange3	3932	157.28	1.10
4	<i>Flavoparmelia Caperata</i>	Magenta2	2924	116.96	0.82
5	<i>Alchemilla Pinnata / Suelo Húmedo</i>	Magenta3	8001	320.04	2.23
6	<i>Werneria Pygmaea / Plantago Tubulosa</i>	Yellow1	24828	993.12	6.92
7	<i>Alchemilla Pinnata</i>	Yellow2	23545	941.8	6.56
8	Vegetación en Suelo Seco	Yellow3	63678	2547.12	17.75
9	Roca	Sienna	21554	862.16	6.01
10	<i>Plantago Rigida</i>	Sea Green	802	32.08	0.22
11	Arena de Río	Marron2	67454	2698.16	18.80
12	Piedra de Río	Marron3	35343	1413.72	9.85
13	Agua en el Río	Blue1	20	0.8	0.01
14	Agua de Lago	Blue3	787	31.48	0.22

6. La figura 3, muestra la imagen de las firmas espectrales de las especies vegetales, suelo y agua, tomadas con el espectro radiómetro Field Spec 4, introducidas en el software ENVI en donde se les denomina endmembers, para su clasificación en la imagen Sentinel 2 de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho,

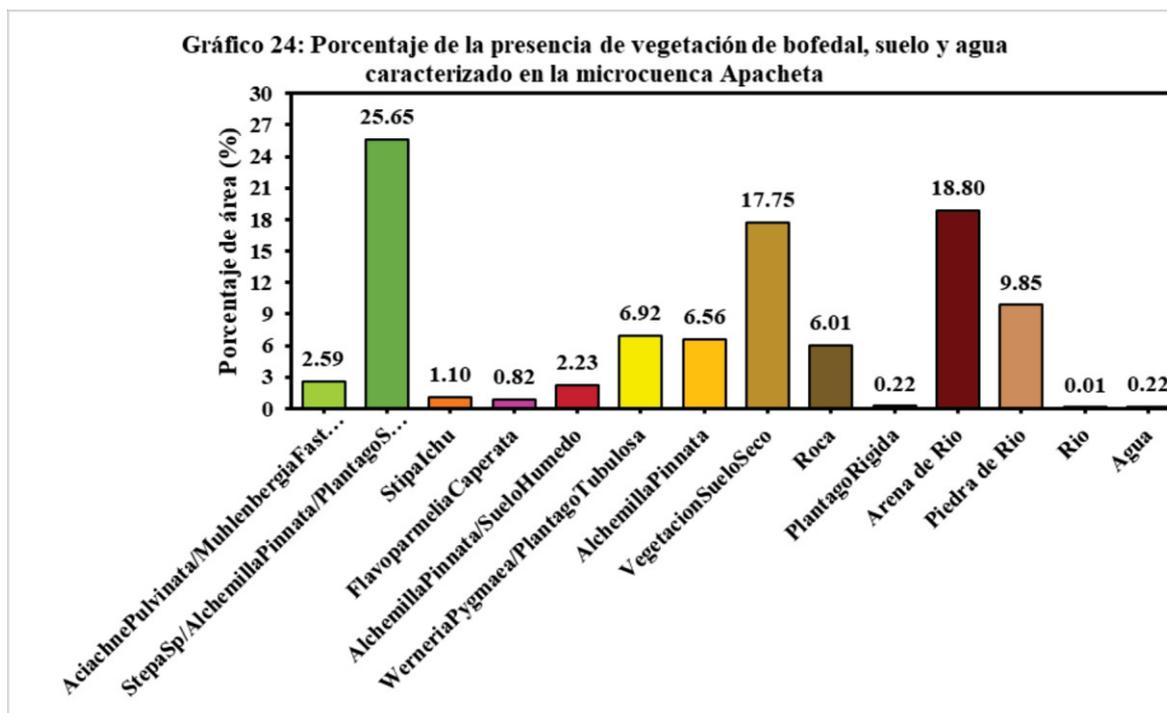
el código de colores utilizado se describe en el cuadro 02, y difiere sus formas de la imagen de firmas espectrales presentado en el cuadro 01, dado que para su introducción es necesario colocar el valor de la reflectancia correspondiente a cada longitud de onda de cada banda de la imagen Sentinel 2 a clasificar.



**Figura 3.** Firmas espectrales de especies vegetales, suelo y agua, correspondiente a las 16 especies de vegetación, suelo y agua, tomadas con el espectro radiómetro Field Spec4 y evaluadas en las imágenes Sentinel 2 con el software ENVI 5.3

7. El gráfico 24, muestra el porcentaje del área de cobertura de las 16 especies de vegetación de bofedal, suelo y agua caracterizados en la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho, donde se observa que la vegetación *Stipa sp.*, *Alchemilla Pinnata*, *Plantago*

*Sericea*, *Luzula Peruviana*, conforman un área equivalente al 25,65%, las lagunas y zonas con agua llegan a alcanzar un área equivalente al 0,23% del área total.



## AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables LABTELER de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por permitir el uso de sus ambientes y equipos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASD Inc., 2017. FieldSpec 4 Hi-Res High Resolution Spectroradiometer [www Document]. URL <https://www.asdi.com/products-and-services/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-hi-res> (accessed 11.8.17).

Daniel Marín, 2017. Puesto en órbita el Sentinel 2B (Vega VV09) [www Document]. Eureka. URL <http://danielmarin.naukas.com/2017/03/07/puesto-en-orbita-el-sentinel-2b-vega-vv09/> (accessed 11.8.17).

Henao, J., 1988. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomas, Bogotá.

Moncada, W., Pereda, A., Aldana, C., Masías, M., Jiménez, J., 2015. Cuantificación hidrográfica de la cuenca del río Cachi-Ayacucho, mediante imágenes satelitales. Inst. Investig. Científica E Innov. Tecnológica UNSCH II.

Pereda, A., Moncada, W., Verde, L., 2018. Respuesta nival de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta de Ayacucho. Editorial Académica Española, Perú.

Sola, I., García-Martín, A., Sandonís-Pozo, L., Álvarez-Mozos, J., Pérez-Cabello, F., González-Audicana, M., Montorio Llovería, R., 2018. Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 images in Mediterranean landscapes. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation 73, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.020>

Sonobe, R., Sano, T., Horie, H., 2018. Using spectral reflectance to estimate leaf chlorophyll content of tea with shading treatments. Biosyst. Eng. 175, 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.018>