



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**  
**ESCUELA DE BIOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE**

COMPARACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS EN DISTINTAS  
COBERTURAS VEGETALES DEL PNC MEDIANTE MÉTODOS  
TRADICIONALES Y POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Biólogo del Medio  
Ambiente

AUTOR:

PABLO ANDRES QUINTEROS ASTUDILLO

DIRECTORA:

RAFFAELLA ANSALONI

CUENCA, ECUADOR

2012

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas, por mi Madre y su amor incondicional. Mis agradecimientos especiales para el Dr. Tripaldi por su apoyo y conocimientos brindados durante todo este tiempo, a la Dra. Raffaella Ansaloni, al profesor Franco Previtali, a la familia y amigos que de una u otra manera me han apoyado en el desarrollo de este trabajo.



**Comparación físico-química de suelos en distintas coberturas vegetales  
del PNC mediante métodos tradicionales y por espectroscopía  
infrarroja**

**RESUMEN**

Se analizaron 31 muestras de suelos pertenecientes a diferentes comunidades vegetales del Parque Nacional Cajas para clasificar y determinar sus características físico-químicas. Se aplicaron los métodos tradicionales de análisis de suelos y paralelamente se utilizó la técnica de espectroscopía infrarroja cercana (NIR), combinada con el método de algoritmos genéticos, para desarrollar un modelo de predicción del porcentaje de materia orgánica en suelos. El modelo resultante es bueno en cuanto presenta un coeficiente de determinación cross-validado  $R^2_{cv}=0.82$  y  $R^2$  de interpolación = 0.869, infiriendo que el modelo desarrollado es de buena calidad para la predicción del porcentaje de materia orgánica en suelos.

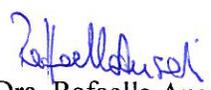
**Palabras clave:** Parque Nacional Cajas, espectrofotometría infrarroja, suelos, materia orgánica, algoritmos genéticos.



Blogo. Edwín Zárate  
Junta Académica



Ecol. David Siddons  
Junta Académica



Dra. Rafaella Ansaloni  
Directora de Tesis



Pablo Quinteros A.  
Tesisista

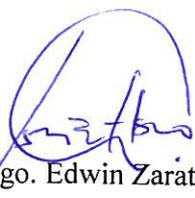


**Physical-chemical soil comparison in different vegetal surfaces from  
Cajas National Park, by means of traditional methods and infrared  
spectroscopy**

**ABSTRACT**

Thirty-one soil samples were analyzed from different plant communities at Cajas National Park. The aim was to classify and determine their physicochemical characteristics. Traditional methods of soil analysis were applied, in comparison with and as parallel technique, near-infrared spectroscopy (NIR). This approach, combined with the method of genetic algorithms allowed the development of a model to predict the percentage of organic matter in soils. The quality parameters of the model were:  $R^2=0.82$ , and  $R^2_{cv}$  interpolation = 0.869. These features display the good quality from the model developed, with the aim to predict the percentage of organic matter in soils.

**Keywords:** Cajas National Park, infrared spectrophotometry, soils, organic matter, genetic algorithms.



Blgo. Edwin Zarate  
Junta Académica



Ecol. David Siddons  
Junta Académica



Dra. Raffaella Ansaloni  
Directora de Tesis



Pablo Quinteros A.  
Tesista

## INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INDICE DE CONTENIDOS .....	v
INDICE DE FIGURAS Y TABLAS .....	vii
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	vi
INTRODUCCION .....	1
Generalidades.....	1
Justificación y objetivos del estudio .....	2
CAPITULO 1: MATERIALES Y METODOS .....	5
1.1 Descripción del sitio de estudio.....	5
2.1 Fase de campo .....	7
3.1 Fase de laboratorio .....	8
4.1 Análisis estadísticos de los datos físico-químicos obtenidos por los métodos tradicionales .....	8
5.1 Análisis estadísticos en el espectrofotómetro infrarrojo .....	9
CAPITULO 2: RESULTADOS.....	11
1.1 Características generales .....	11
2.1 Caracterización y clasificación de los suelos .....	12
3.1 Análisis de componentes principales (PCA) y Análisis de la clasificación por métodos robustos (KNN): .....	16
4.1 Modelo de calibración NIRS.....	19
5.1 Modelo de regresión PLS .....	20

CAPITULO 3: DISCUSION.....	23
1.1    Caracterización de los suelos.....	23
2.1 Propuesta de clasificación de los suelos del PNC.....	25
3.1 Modelo de regresión PLS.....	27
CONCLUSIONES .....	29
RECOMENDACIONES .....	31
BIBLIOGRFIA .....	32
ANEXOS .....	37

### INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1:	Dendrograma elaborado sobre los análisis físico-químicos realizados por los métodos tradicionales. ....	24
Figura 2:	Gráfico de la calidad del modelo en función del número creciente de las 10 variables incluidas .....	24
Figura 3:	Ejemplos de espectros obtenidos en el espectrofotómetro infrarrojo Thermo Scientific Nicolet, de 6 muestras seleccionadas al azar, después de realizada la corrección sobre la línea de base y la suavización. ....	26
Figura 4:	Gráfico muestra la distribución de los “leverage” de los patrones, en rojo el límite máximo permitido.....	26
Figura 5:	Gráfico de los residuos estandarizados de las muestras, en rojo los límites de confianza al 95%.....	27
Figura 6:	Parámetros de calidad usando la técnica PLS.....	27
Figura 7:	Gráfico de la relación entre la materia orgánica experimental y la calculada con 9 variables latentes.....	28
Tabla 1:	Descripción de los valores utilizados en el análisis KNN.....	23
Tabla 2:	Tabla de la matriz de confusión.....	24
Tabla 3:	Valores del porcentaje de aciertos de la clasificación de los suelos efectuada por KNN.....	25

### INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1:	Corte vertical dejado por una roca provocado en el momento de deshielo.....	20
Fotografía 2:	Bosque altoandino, laguna de Llaviuco típico valle en forma de U, característico de asentamientos glaciares.....	20
Fotografía 3:	Típico horizonte de un Andosol, del PNC.....	21

Quinteros Astudillo Pablo Andrés

Trabajo de Graduación

Dra. Raffaella Ansaloni

Julio 2012

## COMPARACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS EN DISTINTAS COBERTURAS VEGETALES DEL PNC MEDIANTE MÉTODOS TRADICIONALES Y POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA

### INTRODUCCION

#### Generalidades

La vegetación y el suelo son indicadores importantes para la salud del páramo. La capa vegetal del páramo es importante en la protección del suelo y como hábitat para la fauna nativa. (Hofstede R, Segarra P, Mena P. 2003). La evaluación de las características del suelo requiere medir sus propiedades físicas y químicas mediante técnicas que muchas veces resultan complejas, caras y lentas. Los análisis en laboratorios se han ido innovando con el uso de nuevas tecnologías. En la actualidad el método de espectroscopía infrarroja (IR), abre un nuevo horizonte en el campo de la investigación. Su aplicación presenta varias ventajas tales como, una mínima preparación de la muestra, análisis rápido, bajos costos, varios constituyentes pueden ser analizados simultáneamente, no destrucción de muestras, no uso de productos químicos y resultados precisos. Sin embargo, esta es una técnica relativamente nueva que no ha sido muy estudiada en el campo de la ciencia del suelo (Ben-Dor y Banin, 1995).

El método de espectroscopía infrarroja se fundamenta en que cuando la luz incide sobre una muestra, una parte de los fotones es transmitida a través de la misma, siendo el resto absorbido. La interacción de la energía con la materia obedece a la ley de Lambert-Beer, que establece que la absorbancia a cualquier longitud de onda es proporcional al número o concentración de las moléculas absorbentes presentes en el

camino recorrido por la radiación (Osborne, et.al. 2008). La radiación de las muestras es absorbida en función de la concentración del compuesto presente en las mismas (Guerrero, et al., 2007), cuya energía es absorbida, en la región del infrarrojo cercana, por diferentes uniones químicas, por ejemplo, enlaces C-H, N-H, S-H, C-O, y O-H, de los compuestos presentes en la muestra.

Existen importantes estudios utilizando la espectroscopía infrarroja cómo los realizados por Yong He, *et al* (2006), que utiliza la espectroscopía infrarroja cercana (NIRS) para predecir los macronutrientes del suelo, concluyendo que esta técnica tiene un buen potencial para la evaluación de Nitrógeno, Materia Orgánica y pH; con coeficientes de regresión de 0.93, mientras que la predicción para Fósforo y Potasio no fueron exitosas en la región del espectro infrarrojo cercano. También los estudios publicados por Dunn, *et al.* (2002), determinan la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C), pH, Ca, Mg, carbono orgánico y porcentaje de sodio intercambiable (PSI), utilizando la espectroscopia infrarroja.

### **Justificación y objetivos del estudio**

El PNC es uno de los principales suministros de agua para la ciudad de Cuenca, puesto que sus suelos retienen grandes cantidades de líquido vital, especialmente el páramo de almohadillas; los suelos del pajonal resultan importantes en el secuestro de carbono atmosférico, mientras que los suelos de los bosques de *Polylepis* y bosques altoandinos originan ecosistemas únicos evidenciado en un alto endemismo presente en el PNC; razón por lo cual el estudio de las características físico químicas del suelo resulta importante en la investigación de las interacciones sustrato-vegetal.

Dentro del marco de colaboración establecida entre la Universidad de Santiago de Compostela (España) y La Universidad del Azuay, se desarrolló el estudio Fitosociológico y de las comunidades vegetales existentes en los pajonales del Parque Nacional El Cajas, en relación con los factores ambientales como suelo, exposición, clima, etc.

El objetivo general de este estudio es determinar las características físicas y químicas del suelo de páramo de almohadillas, del bosque altoandino, del bosque de *Polylepis*, y páramo de pajonal, mediante el método de análisis físico-químico tradicional; y, compararlo con el método de espectroscopía infrarroja.

1. Determinar para cada una de las comunidades vegetales los siguientes parámetros: Ca, Mg, Fe, K, Na, pH, Conductividad, Nitrógeno Total, Fósforo, Textura y Materia Orgánica.
2. Caracterizar los suelos pertenecientes a las diferentes formaciones vegetales del Parque Nacional El Cajas.
3. Realizar el análisis de cada comunidad vegetal por el método de espectroscopía infrarroja
4. Comparar ambos métodos y determinar cuáles son los parámetros más relevantes para la caracterización de los suelos.
5. Proponer el método de espectroscopía infrarroja como más efectivo y económico para la caracterización de los suelos.

En el presente estudio se desarrolló un modelo de calibración para la determinación de materia orgánica (%), contenido en la región infrarroja cercana (NIRS). Para interpretar la información obtenida del infrarrojo, es necesario crear un modelo de calibración con la información espectral (óptica) y relacionarlo mediante un algoritmo de regresión con el porcentaje de materia orgánica obtenida por calcinación, utilizando métodos estadísticos como son los algoritmos genéticos, y los mínimos cuadrados parciales (PLS) (Batten, 1998).

**El algoritmo genético**, es una técnica fundamentada en la teoría de evolución de Darwin, que se basa en los mecanismos de selección natural y reproducción sexual,

esta técnica creada por John Holland en 1975, construye un sistema de clasificación que permite resolver problemas de búsqueda y optimización.

Una definición bastante completa de un algoritmo genético es la propuesta por John Koza (1992):

"Es un algoritmo matemático altamente paralelo que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales con respecto al tiempo, usando operaciones modeladas de acuerdo al principio darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tras haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas de entre las que destaca la recombinación sexual. Cada uno de estos objetos matemáticos suele ser una cadena de caracteres (letras o números) de longitud fija que se ajusta al modelo de las cadenas de cromosomas, y se les asocia con una cierta función matemática que refleja su aptitud. "

La **regresión por mínimos cuadrados parciales o partial least squares (PLS)**, fue introducido por el estadístico sueco Herman Wold en 2001, este es un método en el que se encuentra un modelo de regresión lineal por la proyección de las variables pronosticadas y las variables observables en un nuevo espacio. Se utiliza para encontrar las relaciones fundamentales entre las dos matrices (X, Y), es decir, un enfoque de variables latentes para modelar las estructuras de covarianza en estos dos espacios. Este método de regresión es especialmente adecuado cuando la matriz de predictores tiene más variables que las observaciones, y cuando hay multicolinealidad entre los valores de X.

PLS es un método de calibración multivariante que pueden descomponer los datos espectrales (X) y datos de los suelos de propiedad (Y) en un nuevo conjunto más pequeño de variables latentes y sus resultados que mejor describen toda la varianza de los datos (Haaland y Thomas, 1988; Wold et al. 2001).

## CAPITULO 1: MATERIALES Y METODOS

### 1.1 Descripción del sitio de estudio

El Parque Nacional de El Cajas (PNC) se localiza entre los 3.200 m s.n.m. y los 4.545 m s.n.m., ocupando parte de los territorios de la Cordillera Occidental del Sur de los Andes ecuatorianos. Incluye las cuencas altas de los ríos Llaviucu, Mazán y Soldados, que drenan hacia el Atlántico, y de los ríos Luspa, Sunincocha, Atugyacu, Yantaguhayco, Jerez y Angas, hacia el Pacífico.

En el Anexo 1 se encuentra el mapa de áreas representativas de las formaciones vegetales correspondientes al PNC. Las comunidades vegetales estudiadas en la presente investigación se encuentran descritas a continuación:

El **bosque altoandino** se encuentra entre los 2900 y 3400 m s.n.m. cubriendo gran porcentaje del área de las microcuencas de Llaviucu y Mazan; incluyen alrededor de 300 especies de plantas vasculares, entre las que se pueden encontrar, según Minga y Serrano (S/F): *Ocotea heterochroma*, *Weinmannia fagaroides*, *Escallonia myrtilloides*, *Miconia pustulata*, *Axinaea affinis*, *Miconia denticulata*, *Hedyosmum cumbalense* *Gynoxys* spp, *Badilloa salicina* y *Clethra fimbriata* principalmente. La estructura de la vegetación suele cambiar como consecuencia de las alteraciones causadas por la explotación forestal.

Los **bosques de *Polylepis***, son bosques que crecen formando pequeños fragmentos caracterizados por su alta especificidad y diversidad biológica concentrada en áreas muy reducidas, resultado de sus características ecoclimáticas únicas; por definición las especies de *Polylepis* son los árboles dominantes en estos bosques, sin embargo hay un gran número de especies arbóreas y arbustivas asociadas con ellas (Kessler M, 1996). En el PNC, estos bosques se localizan sobre los 3300 m s.n.m., en las microcuencas de Luspa y Sunincocha, la dominancia se encuentra alternada entre las

especies *P. reticulata* y *P. incana*; entre las especies asociadas más frecuentes se encuentran: *Myrsine dependens*, *Miconia salicifolia*, *Sessea crassivenosa*, *Vallea stipularis* y *Gynoxys* spp esta última puede eventualmente llegar a dominar pequeños doseles (Minga y Serrano, S/F).

La comunidad vegetal más ampliamente distribuida, cerca del 90.6 % (CEMAPRIMES-ETAPA, 2003), es el **Páramo de pajonal**, cuya fisionomía y estructura es bastante homogénea; además, crecen en grandes cantidades, pequeños arbustos (Sierra R. 1999). Es una formación herbácea, siempre verde, relacionada con temperaturas bajas y condiciones hiper-húmedas cuya fisionomía está dada principalmente por gramíneas, entre las más representativas se encuentran: *Calamagrostis* sp., *Stipa* sp., y otras menos abundantes *Agrostis*, *Festuca*, *Paspalum*, *Poa*, *Cortadeira*. Se pueden encontrar en espacios más abiertos otros géneros, entre otras muchas especies: Bromelias, Asteráceas, *Lycopodium*, *Castilleja*, *Gentiana*, *Geranium*, *Valeriana*. (Serrano F. Minga D. S/F).

Los **páramos de almohadillas** son áreas denominadas ciénagas o turberas; son lugares inundados donde el suelo presenta condiciones anaeróbicas y se inhibe la descomposición de la materia orgánica. Son suministro de ríos y quebradas (Huttel Ch, 1997.) se encuentran, generalmente, en áreas muy pequeñas, dispersos a través del páramo de pajonal. En estas zonas la alfombra de gramíneas es discontinua, y a veces, inexistente. Las almohadillas pueden ocupar una proporción muy importante de la superficie del suelo pero nunca la cubren totalmente; los arbustos son escasos y algunas porciones del suelo a veces están desnudas. Las principales especies son *Plantago rigida*, *P. tubulosa* (Plantaginaceae), *Gentianella cerastoides* (Gentianaceae), *Distichia muescoides* (Juncaceae), y varias especies de *Azorella* sp., *Geranium* sp., *Hypochaeris* sp. y *Werneria* sp. (Serrano F. Minga D. S/F)

En la actualidad, sus suelos se han clasificado, según la FAO, como Andosols, que evidencian la presencia de poca ceniza volcánica reciente y una baja sensibilidad a la erosión hídrica, siendo suelos bien drenados. (Dercon G. *et al.* 1998).

## 2.1 Fase de campo

El trabajo de campo se realizó en el Parque Nacional El Cajas, se recolectaron un total de 31 muestras de suelo, tomadas sobre el Horizonte “A”, a 25 cm de profundidad aproximadamente, excluyendo la capa A0, es decir, la hojarasca y las raicillas.

Para el desarrollo de la investigación se recolectaron muestras de suelos en las diferentes comunidades vegetales correspondientes a: los suelos del **bosque altoandino** fueron tomadas en el bosque de la laguna de Llaviuco; para el **bosque de *Polylepis***, en el sector de la laguna Toreadora; para el **páramo de almohadillas**, en el sector de Tres Cruces, Labrado y Soldados; para el **páramo de pajonal**, en Labrado, Soldados, Totoracocha, Tres Cruces, Miguir y Toreadora. Se colectó mayor número de muestras de páramo de pajonal por poseer mayor cobertura vegetal dentro del PNC.

Las muestras fueron recolectadas en bolsas de plástico y etiquetadas con la siguiente información:

- Descripción de la vegetación circundante
- Altura (m s.n.m)
- Uso del suelo
- Fecha
- Posición GPS
- Observaciones

Previo a los análisis en el laboratorio, las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, en un cuarto ventilado durante el tiempo necesario. Posteriormente, utilizando un tamiz de 2 mm, se filtran las muestras para obtener un material homogéneo.

### 3.1 Fase de laboratorio

Para realizar los análisis físico-químicos de las muestras se siguieron los siguientes métodos utilizados en el Laboratorio de Servicios Ambientales, descritos por Primo y Carrasco (1973), los protocolos para los análisis de las muestras y los reactivos necesarios para los análisis se encuentran descritos detalladamente en el Anexo 2.

- Para la determinación de **pH**, se utilizó el método potenciométrico con un electrodo de vidrio, utilizando una solución 2:1 (relación agua-suelo).
- Para la determinación de la **Textura**, se utilizó el método del densímetro de Bouyucus.
- La **Materia Orgánica** se determinó por mineralización con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_6$ ).
- Para la extracción del **Fósforo** se utilizó una solución ácida de  $NH_4F$ , utilizando el método Bray II.
- Para determinar el **Nitrógeno Total**, se utilizó el método Kjeldhal con ácido sulfúrico concentrado y su posterior lectura en el espectrofotómetro ultravioleta-visible.
- Para determinar la **Capacidad de Intercambio Catiónico**, se realizó la extracción con una solución de  $Cl_2Ba$  y su posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- Para la determinación por el método de **espectroscopia infrarroja**, se realizó un barrido completo de la muestra, desde los 700 nm hasta los 4000 nm en el espectrofotómetro infrarrojo Thermo Scientific Nicolet FT-IR 100.

### 4.1 Análisis estadísticos de los datos físico-químicos obtenidos por los métodos tradicionales

Con los datos de campo obtenidos y los resultados de laboratorio, se realizó un análisis de la varianza de una vía para determinar la homogeneidad de cada parámetro, evaluado sobre todos los bloques.

Para completar la extracción de información de los datos, se realizó un análisis multivariante en etapas:

1. Método Clúster
2. Análisis de Componentes Principales (PCA)
2. Análisis de la clasificación por métodos robustos (KNN).

### **5.1 Análisis estadísticos en el espectrofotómetro infrarrojo**

Debido a que la técnica de NIRS genera una cantidad de datos de los espectros, es necesario aplicar métodos quimiométricos para interpretar los resultados y generar modelos de predicción para los elementos de interés (Wold *et al.*, 2001). La aplicación de diversos métodos matemáticos para el cálculo de concentraciones y otras propiedades a partir de datos instrumentales, se conoce como **quimiometría**. Es un área de intensa actividad, por sus amplias aplicaciones en la industria química de procesos y en estudios ambientales. Algunos de los métodos más usados en quimiometría son, el método de mínimos cuadrados parciales conocido por sus iniciales en inglés PLS “Partial Least Squares”, y los algoritmos genéticos (Alciatacuri C, Escobar M, *et al.* 2003). Los avances en electrónica y computación han hecho posible un rápido progreso en la adquisición de datos, transmisión y procesamiento.

En el presente estudio, el objetivo del análisis por espectroscopía infrarroja cercana (NIRS) es generar un modelo para predecir la cantidad de Materia orgánica (%) en suelos del PNC, de manera rápida y confiable.

Con esta finalidad se construyó un modelo de calibración mezclando las muestras de suelos con arcilla pura en proporciones: 50-50, 30-70, 70-30, 90-10, 10-90. Se realizaron un total de 114 mezclas, con sus respectivas etiquetas. De las muestras que fueron previamente secadas y tamizadas, se retiraron los remanentes de materia orgánica presentes como raicillas y hojarasca; se molieron las muestras en un molino de bolas para reducir el efecto del tamaño de partícula en los espectros.

Para comparar los espectros obtenidos en el infrarrojo se calcinaron todas las mezclas a 400 °C durante 4 horas, para eliminar la materia orgánica de las muestras. De estas muestras se obtuvo el porcentaje de materia orgánica por diferencia de peso.

Los métodos instrumentales de análisis químico hacen uso de las relaciones entre la señal obtenida y una propiedad del sistema estudiado, generalmente una concentración según Quezada C. (2008). Al desarrollar la calibración NIRS, la información espectral (óptica) se relacionó mediante un algoritmo de regresión con el porcentaje de materia orgánica obtenida por calcinación de las muestras.

En el espectrofotómetro infrarrojo Thermo Scientific Nicolet FT-IR 100, se hicieron 120 barridos de cada mezcla y de la línea de base, desde los 650nm hasta los 4000nm. Los espectros fueron previamente corregidos contra todo el espectro ambiente con aire como telón de fondo o línea de base.

Los datos obtenidos en el infrarrojo fueron tratados con el programa Omnic32 versión 7.0, con diversas técnicas matemáticas de transformación, como la corrección por la línea de base, la normalización y suavización de los espectros; esto para reducir el ruido o la distorsión indeseable en los espectros, provocados por la dispersión de las partículas y otros factores ambientales (Misun Kang, B.S. 2002).

## CAPITULO 2: RESULTADOS

### 1.1 Características generales

Los análisis de las 31 muestras de suelos se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad del Azuay y cuyos resultados se encuentran en la tabla del Anexo 3, junto con los cálculos de la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C), Grado de saturación de bases (G.S.B %), Carbono orgánico (%), y la relación C/N; de igual manera los datos obtenidos en el campo se presentan en la tabla del Anexo 4.

La composición de las muestras de suelos del PNC se caracteriza por el predominio de materia orgánica en los suelos de los pajonales y de páramo de almohadillas, de igual manera en estas comunidades vegetales el pH es más bajo comparándolo con los bosques de *Polylepis* y b. altoandino. En general, ambos tipos de bosque tienen una alta capacidad de intercambio catiónico y alta tasa de saturación de bases.

A partir de la materia orgánica (%) se obtuvo el valor del Carbono orgánico, multiplicándolo por el factor "Van Bemmelen", que es 1.724, este factor ha sido utilizado durante muchos años y se basa en la aceptación de que la materia orgánica del suelo contiene 58% de C. orgánico. La bibliografía indica que la proporción de C. orgánico en la materia orgánica de un conjunto de suelos es muy variable, por lo que todo factor constante es solo una aproximación. (Artigas D. 2004). La corteza terrestre contribuye con material mineral mientras que los organismos introducen un componente orgánico en los suelos, originando así el material mineral y la materia orgánica.

## 2.1 Caracterización y clasificación de los suelos

De acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelos, FAO (2008), para la selección de características de diagnóstico, se toma en cuenta las relaciones con los procesos formadores de suelos. En el nivel categórico más alto, las clases se diferencian principalmente de acuerdo al proceso pedogenético primario que ha producido los rasgos de suelo característicos predominantes. En el segundo nivel, las unidades de suelos se diferencian de acuerdo a cualquier proceso formador de suelos secundario que haya afectado significativamente los rasgos de suelo primarios. En ciertos casos, pueden tomarse en cuenta las características del suelo que tengan un efecto significativo sobre el uso.

Existen evidencias de campo, históricas y bibliográficas, que indican que los suelos del PNC son Andosoles e Histosoles, según la FAO (2008). Entre las evidencias históricas se sabe que hace 26 millones de años se da el apareamiento de la cordillera de los Andes. Luego, hace 15.000 años, la región del PNC experimentó un proceso de glaciación, que excavó una superficie muy irregular permitiendo la presencia de lagunas y humedales en los valles glaciares en forma de “U”, formados por el peso y retiro de capas de hielo en eras antiguas, (Harden y Borrero, 2005).

En las muestras de suelo se pueden apreciar cristales provenientes de material volcánico antiguo, lo que evidencia la presencia de materiales piroclásticos (Borrero, Harden. 2005); su topografía redondeada dejada por las lenguas glaciales formando valles en forma de “U” se puede apreciar en las fotografías 1 y 2.

Las condiciones climáticas tienen marcadas consecuencias sobre la evolución de los suelos; es así que en el PNC, la temperatura baja reduce la actividad biológica y como consecuencia la mineralización de la materia orgánica disminuye, permitiendo su acumulación en grandes cantidades. La humedad presente y constante con las precipitaciones ocultas (neblina, lloviznas, etc.), dan al suelo una humedad permanente permitiendo una evolución rápida (Podwojewski, P y Poulenard J. 2000).

Los vientos localmente fuertes pueden aumentar la evapotranspiración potencial en las zonas cubiertas de páramo, en donde los vientos se añaden a la insolación episódicamente intensa, para conferir características xéricas a la vegetación de condiciones climáticas húmedas. (Huttel Ch, 1997).



Fotografía 1: Se puede apreciar el corte vertical dejado por una roca provocado en el momento de deshielo.



Fotografía 2: Bosque altoandino, laguna de Llaviuco típico valle en forma de U, característico de asentamientos glaciares.

Los **Andosoles**, (del japonés *an*, negro, y *do* suelo), como se aprecia su perfil en la fotografía 3, son típicamente negros provenientes de paisajes de origen volcánico, ocurren en regiones de todo el mundo, cuyo material parental son vidrios y eyecciones volcánicas principalmente cenizas, y otros materiales ricos en silicatos; estos suelos presentan una fuerte fijación de fósforo, no asimilable para las plantas (causada por Al y Fe libres), afectando su falta al desarrollo de las plantas. (FAO, 2007).

Tienen una buena tasa de humedad que se debe, más que a la cantidad de lluvia que varía en el PNC entre 500 y 3000 mm/año, a las constantes precipitaciones ocultas como neblina, lloviznas, etc. Son suelos porosos por lo que su densidad aparente es muy débil ( $<0,9$ ), la tasa de retención de agua es muy alta y tienen pH ácido que está relacionado con la presencia de gramíneas como *Calamagrostis*, *Festuca spp.* etc. (Podwojeski y Poulénard, 2000)



Fotografía 3: Típico horizonte de un Andosol, del PNC. Su color negro indica un alto contenido de carbono proveniente de la lenta descomposición de la materia orgánica.

Los **Histosoles** (del griego *histos*, tejido) comprenden suelos formados de material orgánico principalmente, son más conocidos como suelos de turba, de pantano y suelos orgánicos; cuyo material parental proviene de restos vegetales

incompletamente descompuestos con o sin mezcla de arcilla, limo o arena. En las tierras altas poseen una alta relación evapo-transpiración. Tienen una lenta mineralización. Los histosoles sin saturación de agua prolongada generalmente se forman en ambientes fríos que son atractivos para el uso agrícola, necesitando ser drenadas y fertilizadas para permitir la producción de cultivos normales. En el ecosistema cumplen función de esponjas al regular el flujo de los cursos de agua y soportar humedales que contienen especies de animales únicas.

Además de la caracterización expuesta anteriormente, los suelos pueden presentar ciertas características hísticas, hídricas y perhídricas en su morfología, lo que permite adjuntar estas propiedades a la propuesta de clasificación.

Las características **Hísticas** son superficiales, tienen poca profundidad, material orgánico pobremente aireado, y se encuentran saturados con agua por 30 días consecutivos o más, lo que es evidente en las medidas de la humedad media anual del PNC, de 1200 mm (Enciclopedia del Parque Nacional Cajas. 2009). El límite inferior del contenido de carbono orgánico, varía desde 12 a 18% de carbono orgánico (FAO, 2008).

Las características **Hídricas** se refiere a que tienen dentro de 100 cm de la superficie del suelo, una o más capas con un espesor combinado de 35 cm o más, tienen una retención de agua de 100 por ciento o más (*sólo en Andosoles*). (FAO, 2007)

Entonces, se pueden clasificar a los suelos estudiados como:

- Histic Andosols
- Hidric Andosols
- Perhidric Andosols
- Histic-Hidric Andosol
- Andosols
- Histosols

### 3.1 Análisis de componentes principales (PCA) y Análisis de la clasificación por métodos robustos (KNN):

Con los datos de campo obtenidos y los resultados de los análisis de laboratorio, se realizó el análisis de la varianza de una vía para determinar la homogeneidad de cada parámetro evaluado sobre todos los bloques. Para extraer la información de los datos se realizaron los siguientes análisis multivariantes:

Aplicando el método clúster, sobre los análisis físico-químicos, se obtuvo un dendrograma presentado en la figura 1, el cual presenta cuatro grupos diferenciados; de izquierda a derecha, el primer y cuarto grupo son bien diferenciados, mientras que el segundo y el tercero presentan estrechas diferencias. En el primer grupo compuesto por tres muestras, corresponden a las muestras de pajonal. En el segundo grupo todas son muestras de pajonal y una muestra de almohadillas. El tercer grupo corresponde a nueve muestras de pajonal y tres muestras de almohadillas. El cuarto grupo se encuentran los b. de *Polylepis* y b. altonadinos. Se puede observar la similitud que existen entre las muestras de almohadillas y las de pajonal, mientras que la diferencia es más marcada entre las muestras que son de los bosques y las muestras que se encuentran fuera del PNC.

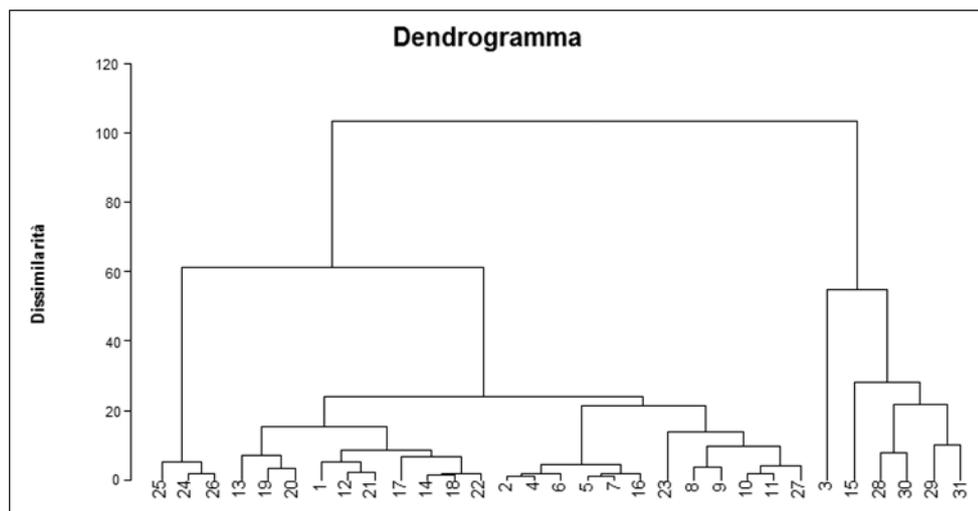


Figura 1: Dendrograma elaborado sobre los análisis físico-químicos realizados por los métodos tradicionales.

<b>method:</b>	'knn'
<b>scal:</b>	'auto'
<b>cv_groups:</b>	5
<b>cv_type:</b>	'vene'
<b>num_chrom:</b>	30
<b>startvar:</b>	5
<b>maxvar:</b>	30
<b>probm:</b>	0.0100
<b>probcross:</b>	0.5000
<b>runs:</b>	100
<b>num_eval:</b>	100
<b>kernel:</b>	'linear'
<b>num_windows:</b>	1
<b>dist_type:</b>	'euclidean'
<b>domax:</b>	0

Tabla 1: Descripción de los valores utilizados en el análisis KNN

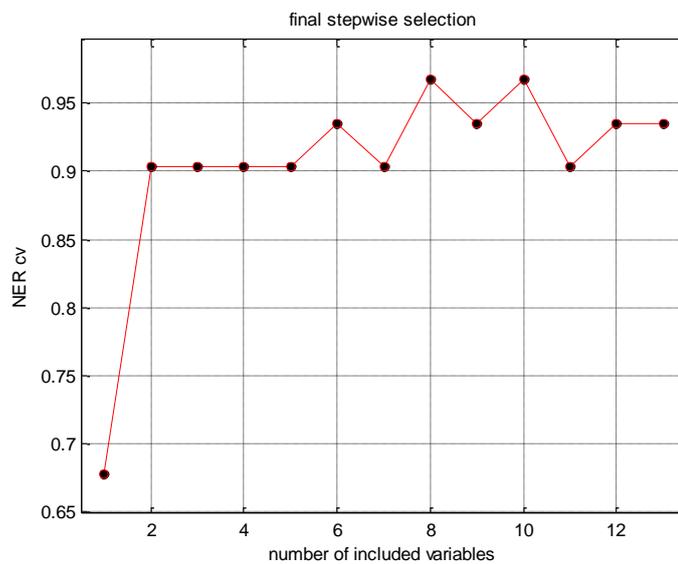


Figura 2: Gráfico de la calidad del modelo en función del número creciente de las 10 variables incluidas

Las variables que más influyen el modelo de clasificación, presentado en la figura 2 son: calcio, nitrógeno total, hierro, fósforo, C.I.C, relación C-N, pH, conductividad, sodio y carbono orgánico.

c. iniciales	clases algoritmo				Total
	1	2	3	4	
1	3	0	0	0	3
2	0	10	1	0	11
3	0	0	11	0	11
4	0	2	0	4	6
<b>Total</b>					31

Tabla 2: Tabla de la matriz de confusión

La matriz de confusión, en la tabla 2, presenta la bondad del modelo KNN de clasificación de los suelos; en las 4 clases se puede ver que la primera y la tercera clase están correctamente clasificadas, mientras que los suelos de la segunda clase presentan errores de clasificación de aproximadamente 10% y los peores clasificados son los del cuarto grupo; en la tabla 3 se presentan los valores del porcentaje de aciertos para los cuatro grupos.

Grupos:	% de aciertos
1	1
2	0.9091
3	10.000
4	0.6667
<b>% Total</b>	0.9032

Tabla 3: Valores del porcentaje de aciertos de la clasificación de los suelos efectuada por KNN.

No existen diferencias significativas en la distribución de las muestras entre la clasificación KNN y el método cluster. Se conservan los cuatro grupos principales, con la diferencia que entre los grupos dos y tres, varían tres muestras en su distribución, éstas son muestras de pajonal y almohadillas.

#### 4.1 Modelo de calibración NIRS

Se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro infrarrojo de las muestras de suelos y de las mezclas con la arcilla para obtener el modelo de calibración. Se obtuvieron espectros como los que se muestran en la *figura 3*. El barrido se realizó desde los 650 hasta los 4000 nm, que incluyen la región infrarroja media (MIRS); sin embargo por el objetivo de este estudio se seleccionó solamente el rango espectral que corresponde a la región infrarroja cercana, que tiene inferencia directa con la materia orgánica, desde 700 hasta los 1700 nm; luego se realizó en pre-tratamiento a los espectros en el programa Omnic32 versión 7.3 para la corrección de la línea de base y la suavización de los espectros, los mismos que se grabaron en formato de texto para su tratamiento.

Se desarrolló el modelo de calibración a partir de estos espectros que fueron validados con técnicas de regresión lineal múltiple, en el que se forma un modelo de predicción específico de la relación entre una variable independiente de respuesta, “Y” en este caso, el porcentaje de materia orgánica obtenida por calcinación; con el conjunto de variables dependientes, “X”: los espectros del infrarrojo.

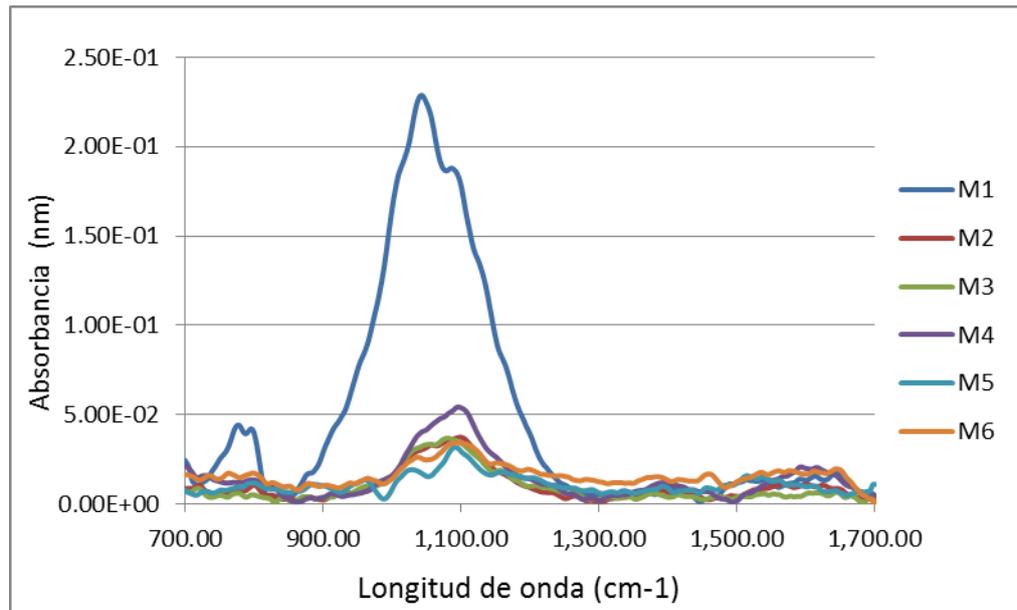


Figura 3: Ejemplos de espectros obtenidos en el espectrofotómetro infrarrojo Thermo Scientific Nicolet, de 6 muestras seleccionadas al azar, después de realizadas la corrección sobre la línea de base y la suavización.

### 5.1 Modelo de regresión PLS

Usando el programa Matlab 7.0, con el método PLS se redujo el número de vectores latentes por un proceso de validación cruzada, para así proporcionar un número de valores adecuados para el análisis estadístico. El conjunto de datos para el análisis de materia orgánica se han purificado de manera iterativa para eliminar los datos anómalos, sea por “*leverage*”, mostrado en la figura 4 y por residuos estandarizados expuesto en la figura 5. Se seleccionaron las 53 mejores muestras de todo el modelo y se eligió un modelo con 9 variables latentes, cuyos parámetros de calidad se presentan en la tabla 4. En el anexo 5 se presenta la tabla completa del modelo de calibración óptimo con nueve variables de las 53 muestras con su valor respectivo de materia orgánica.

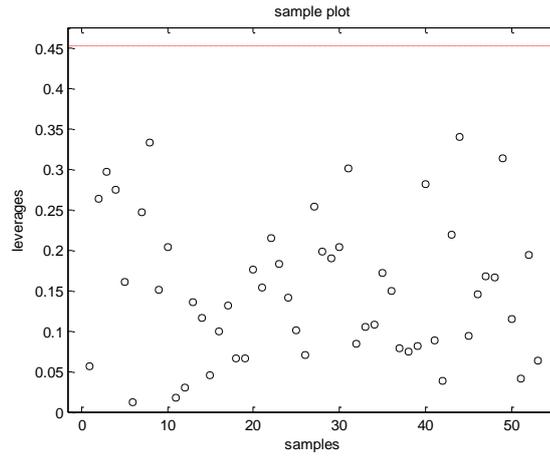


Figura 4: Gráfico muestra la distribución de los “leverage” de los patrones, en rojo el límite máximo permitido

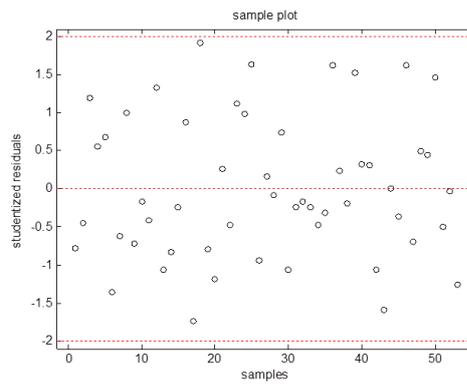


Figura 5: Gráfico de los residuos estandarizados de las muestras, en rojo los límites de confianza al 95%.

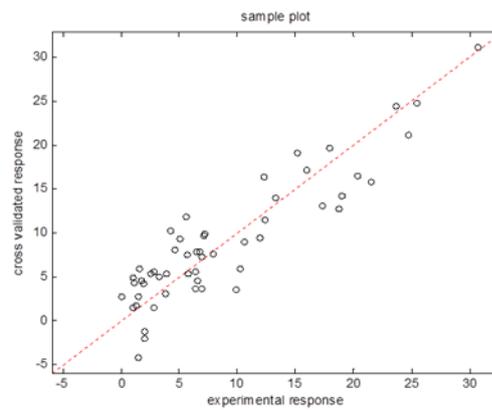


Figura 6: Parámetros de calidad usando la técnica PLS.

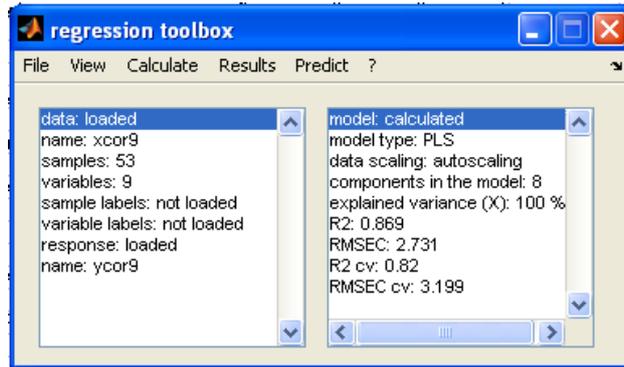


Figura 7: Relación entre la materia orgánica experimental y la calculada con 9 variables latentes.

## CAPITULO 3: DISCUSION

### 1.1 Caracterización de los suelos

Según el análisis de componentes principales KNN, en la figura 1, se puede observar la similitud que existe entre las muestras de almohadillas y las de pajonal, mientras que las diferencias se encuentran entre éstas con las muestras de los bosques y las muestras que se encuentran fuera del PNC. Las similitudes entre las muestras de pajonal y almohadillas puede ser debido a que las almohadillas se encuentran dispersos a través de toda la superficie del pajonal y, en áreas muy pequeñas y restringidas (Minga D, Serrano F.), generalmente las almohadillas se localizan en las partes bajas y planas donde se acumula el agua por escorrentía, generando un microclima menos frío en su interior, donde las plantas protegen sus órganos jóvenes (Hofstede R, Segarra P, Mena P. 2003), en estos ecosistemas se encuentra gran diversidad de plantas, sin embargo por su cercanía con los pajonales reciben similares aportes de materia orgánica.

Sin embargo, las diferencias que existen entre los pajonales y las almohadillas son debido a la cantidad de agua que se acumula en las partes bajas, causando una lenta descomposición de la materia orgánica. Existe una relación mutua entre agua y la materia orgánica: con mucha agua hay mucha materia orgánica (poca descomposición) y con mucha materia orgánica hay mucha agua (adsorción). Estos complejos a su vez retienen nutrientes dentro de su estructura, para que no puedan ser aprovechadas por la vegetación. Esto pasa específicamente con fósforo, así el suelo del páramo tiene mucha fertilidad, pero no es aprovechable para plantas. (Hofstede R, Segarra P, Mena P. 2003).

Las diferencias que existen entre el páramo de pajonal y de almohadillas, con los bosques de *Polylepis* y altoandino, son debidas al diferente aporte de materia orgánica que reciben de las especies características de cada comunidad vegetal,

cómo los restos leñosos, la cobertura del bosque y los restos de pajonales, de arbustos pequeños, de rosetones, etc; creando microclimas diferentes. Así las diferentes características del clima y del suelo, inciden en la vida de las plantas, determinan la distribución de la vegetación a lo largo del eje altitudinal y, consecuentemente, influyen en la diversidad biológica de los páramos. (León-Yáñez S, 2003)

Las diferencias físico-químicas existentes entre los páramos del primero y segundo grupo de la figura 1, son originadas por la ubicación de las localidades muestreadas, más que por los tipos de vegetación, esto puede ser por que el suelo tiene diferente material parental y a que poseen características climáticas diferentes. Las características de los suelos varían según los microecosistemas generados en cada sitio; no existe diferencia por el tipo de vegetación, exceptuando las diferencias significativas entre los bosques y pajonales.

Algunos sitios de muestreo presentan evidencia de pastoreo y cultivo, generalmente en las tierras andinas se cultivan hasta los 3800 msnm, actividad a veces reemplazada por la ganadería extensiva (Noni G, Viennot M, Trujillo G. 1992). En varios páramos del país el daño sobre los suelos es muy extenso y profundo, la compactación por vacas y caballos, la pérdida de la cobertura vegetal por ovejas, las quemadas y otras formas de mal uso del suelo del páramo, junto con una gran fragilidad natural del ecosistema que incluye fuertes pendientes y vientos, logran que éste de todas maneras haya perdido su capacidad hidrofílica (de captación y distribución de agua) y se vuelva hidrofóbico (que repele el agua), con lo que ésta ya no se infiltra en la esponja y más bien baja sin control llevándose el suelo mismo hacia las tierras bajas, en un proceso rápido de erosión. El gran problema está en que el suelo que perdió su capacidad esponjosa simplemente ya no puede recuperarla: es una esponja de una sola vida. (Podwojewski P y Poulenard J, 2000)

La pérdida de estas características hidrológicas especiales del páramo trae problemas muy graves para la población directa e indirectamente relacionada con él, pero éste no es el único servicio ambiental de este ecosistema. El páramo también almacena mucho carbono en sus suelos y así ayuda, de manera pasiva pero importante, a paliar el efecto invernadero (Mena P. S/F). Al dañarse los suelos del páramo no sólo se

daña el servicio hidrológico sino que se va mucho dióxido de carbono a la atmósfera, con lo que la concentración de gases de invernadero aumenta.

Para obtener el Carbono orgánico a partir de la materia orgánica se utilizó el factor de conversión "Van Bemmelen = 1,724", ha sido incorporado en la mayoría de los países como valor estándar para la conversión de Carbono orgánico a materia orgánica. Pero a su vez, tomando en consideración que el factor no es preciso, se ha hecho cada vez más habitual determinar el contenido de C orgánico y expresarlo como tal, en porcentaje en peso, sin convertirlo a materia orgánica. La determinación en el laboratorio se basa en la oxidación del C orgánico con dicromato de potasio, generalmente sin aplicación de calor externo. (Artigas D. 2004).

## **2.1 Propuesta de clasificación de los suelos del PNC**

Los andosoles son suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas, son particularmente importantes en el Ecuador, según Sourdat M y Zebrowski C (1992), porque constituyen aproximadamente el 30 % del territorio y por el interés agronómico que presentan. Estos presentan gran variedad debido a la diversidad de climas bajo los cuales se formaron. Su pedogenesis depende también de la naturaleza de la edad de los materiales de los que proceden.

El dendrograma presentado en la figura1, obtenido en el programa Matlab 7.0, muestra 4 grupos diferenciados que se clasifican de acuerdo a sus características físico-químicas con los taxones propuestos por la FAO, de manera que se puede sugerir una clasificación de estos suelos con las siguientes características:

- El **primer grupo:** Histic-Hidric-Andosol

Presentan ambas características tanto hídricas que se refiere a la humedad y hísticas por la cantidad de materia orgánica presente

Corresponde a las 3 muestras de pajonal de Zhiña, Rañas y Jubones; presentan características diferentes por estar geográficamente más distantes; la materia orgánica entre 30 y 40 %, es más alta que la de los grupos 2 y 3, sin embargo se encuentra igual de alta que las muestras de los bosques de *Polylepis* y b. altoandinos. Son suelos cultivados, pastoreados y quemado en el caso de la muestra del río Jubones.

- El **segundo grupo:** Perhidric-Andosols

Los suelos de este grupo poseen una retención de agua mayor al 100%, es decir, se encuentran inundadas la mayor parte del año.

A este grupo pertenecen 11 muestras de pajonal de Soldados, Miguir, Toreadora, Totoracochoa, Labrado, y a 1 muestra de páramo de almohadillas de Tres Cruces. El Nitrógeno total porcentual está entre 1 y 3 %.

- El **tercer grupo:** Histic-Andosols

Estos son superficiales, con poca profundidad, material orgánico pobremente aireado, y se encuentran saturados con agua por 30 días consecutivos o más.

Corresponde a las 9 muestras de pajonal de la toreadora, miguir, soldados, labrado, tres cruces y tinajillas, y 3 muestras del páramo de almohadillas de soldados y labrado; tienen el pH más bajo que el resto de los grupos con un promedio de 4.18.

- El **cuarto grupo**: Hidric-Andosols

Esta es una característica exclusiva de los andosoles, que tienen dentro de 100 cm de la superficie del suelo, una o más capas con un espesor combinado de 35 cm o más, y una retención de agua de 100 por ciento o más.

Corresponde a las muestras del bosque de *Polylepis* y al de bosque altoandino, presentan características similares en su pH todos están entre 5 y 6. Presentan mayor tasa de intercambio catiónico por grupo en comparación con los otros grupos tiene una distribución más homogénea entre 67 y 76 meq/100g, al igual que el pH.

### 3.1 Modelo de regresión PLS

La composición de las muestras de suelos del PNC se caracteriza por el predominio de materia orgánica en sus suelos, por lo que se escogió realizar el modelo de calibración con la materia orgánica, además, ésta realiza funciones importantes como: la producción de diferentes nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, la liberación de ácidos orgánicos que durante su descomposición ayuda a disolver minerales y los hace más accesibles para las plantas y para los microorganismos, conserva la temperatura, evita la erosión y la escorrentía, favorece a la infiltración lenta del agua, constituye un almacén de cationes intercambiables y aprovechables (Ortiz B, Ortiz C. 1990). Con el método NIRS se intenta desarrollar un nuevo modelo para disminuir los costos de análisis, ya que el método con dicromato de potasio es lento y costoso, y el método de calcinación a 400 ° C, no resulta ser exacto en suelos de páramo por interferencia de la gran cantidad de la materia orgánica.

El análisis de regresión PLS, presenta una buena capacidad de reproducción del modelo y de recalcular la materia orgánica de los patrones; como se observa en la figura 7, su  $R_2$  cv 0.82 tiene su valor muy cercano a  $R_2$  de interpolación, 0.869, por lo que se infiere que este modelo tendrá una buena capacidad de predicción en casos reales. Todos los residuos estandarizados presentados en la figura 6, muestra que están dentro de los límites de confianza al 95 % de probabilidad, indicando que sus

valores están distribuidos al azar con distribución normal, por lo tanto se infiere que el modelo de regresión es de buena calidad. Mientras que en la figura 4, se presenta la distribución de los leverages de los patrones, en la que se puede observar como todos los patrones tienen una influencia sobre el modelo casi homogénea, y ninguno supera el umbral de patrón, marcado con la línea punteada roja, con demasiado peso con respecto a los demás.

## CONCLUSIONES

- Los estudios de suelos enfocados a la botánica, es decir a la relación sustrato-formación-vegetal, toman en cuenta principalmente el horizonte A, y sus características físicas químicas importantes para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, los estudios taxonómicos de suelos requieren otro tipo de análisis para su clasificación, como la tabla de colores de Münsell, humedad (%), pendiente, es necesario también una descripción del perfil completo del suelo y sus horizontes, para su precisa clasificación taxonómica.
- La gran cantidad de materia orgánica no descompuesta completamente, presente en suelos de los páramos, interfiere con los análisis físicos químicos, se deberían aplicar métodos específicos para este tipo de suelos, por ejemplo, para analizar la materia orgánica y el carbono orgánico, es preferible utilizar el método por oxidación de la M.O con Dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_6$ ) en lugar de la calcinación a 400 °C.
- De igual manera, la textura se utiliza ampliamente como índice para predecir las propiedades físicas de los suelos y su productividad, en los suelos provenientes de ceniza volcánica la determinación de la textura no es exacta, ni recomendable, porque por la dispersión completa de sus partículas minerales es virtualmente imposible, sobretodo con análisis mecánicos, debido a los materiales no cristalinos y a los restos de materia orgánica no descompuesta que forman agregados estables fuertemente resistentes a la dispersión. Por tanto, los porcentajes de arena, limo y arcilla que fueron analizados en este estudio no son precisos. La solución de hexametafosfato de sodio que se utilizó como solución dispersante para determinar las variables de textura no es efectiva para obtener la dispersión de partículas. (Shoji, et al 1993).
- El análisis cluster y Knn utilizado indica que existe similitud entre las muestras de pajonal y las de almohadillas. Pero existen diferencias entre éstas y las muestras de los bosques de *Polylepis* y altoandino, debido a las diferencias en el aporte de materia orgánica, y a la velocidad de mineralización de la M.O.

- El método de espectroscopia infrarroja utilizado para la determinar el porcentaje materia orgánica, presentó un 95% de confianza, y una distribución normal, por lo tanto se infiere que el algoritmo de regresión es de buena calidad, para la predicción de materia orgánica (%) en muestras de suelos.
- Para realizar análisis de suelos en el espectrofotómetro infrarrojo es necesario crear un modelo de calibración específico para cada parámetro, lo cual resulta lento al principio, hasta obtener buenas predicciones con el modelo, pero luego con el modelo ya creado, el análisis en el infrarrojo resulta efectivo y económico.
- Ambos métodos el tradicional y por NIRS resultan importantes a la hora de realizar análisis físico químicos en suelos, sin embargo la NIRS resulta ser un método nuevo que no se encuentra completamente desarrollado y verificado científicamente a nivel mundial, dentro de los parámetros de calidad para la caracterización de suelos, quizá debido a su complejidad a la hora de interpretar los datos de los espectros. Es un método que se está desarrollando actualmente y que en este estudio se intenta ampliar para su mejor comprensión.
- La caracterización de los suelos requiere de la medición de parámetros como la humedad, inclinación, color, la descripción del perfil completo del suelo para su correcta y precisa clasificación, por lo que en este estudio se sugiere una preclasificación de los mismos, para que en posteriores estudios, tomar en cuenta los análisis nombrados anteriormente.

## RECOMENDACIONES

- Para una clasificación más específica del suelo se recomienda un estudio completo de los horizontes de cada perfil, comparación con la paleta de colores de Münsell, se requieren datos específicos de humedad, pendiente, descripción detallada de los perfiles
- Se requieren análisis específicos para el estudio de los andosols, ya que la alta cantidad de materia orgánica influye sobre el tamaño de las partículas para la determinación correcta de la textura y la materia orgánica (%).
- Por los óptimos valores obtenidos al usar el método por espectroscopia infrarroja para la determinación de materia orgánica, se recomienda utilizar este método para realizar otro tipo de determinaciones como el pH, calcio, magnesio, C.I.C, Nitrógeno total, en muestras de suelos.
- Proteger y conservar las tierras del PNC por su función de esponjas, al regular el flujo de cursos de agua y sostener humedales que contienen especies vegetales y animales únicas

## BIBLIOGRAFÍA

ALCIATURI C, ESCOBAR M, DE LA CRUZ C, *et al.* 2003. Partial least squares (PLS) regression and its application to coal analysis. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, dic., vol.26, no.3, p.197-204. ISSN 0254-0770.

ARTIGAS D. 2004. Composición del suelo. Universidad de la Republica. Facultad de agronomía. Departamento de suelos y aguas. Montevideo – Uruguay.

BATTEN, G.. 1998. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: the potential and the limitations. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38: 697-706.

BEN-DOR E, BANIN A. 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:364-372.

BORRERO A, HARDEN. C. 2005. Descripción geomorfológica glacial del parque nacional cajas. Plan de manejo del Cajas . Cuenca, Ecuador. 25 pp

CALLE F. Informe N° 1. Plan de manejo del Cajas .2000. Cuenca, Ecuador. 11 pp.

DERCON G, BOSSYUT, DE BIEVRE B. *et al.* Zonificación agroecológica del Austro Ecuatoriano. Cuenca – Ecuador. Edición 1998. Programa para el manejo del agua y suelo (PROMAS)

ENCALADA O. La gestión del Parque Nacional Cajas, con énfasis en el desarrollo comunitario, en el marco del proceso de descentralización. 2004. En: J Anhalzer, PNC. ETAPA. Municipalidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. 107 pp.

FITZPATRICK, E. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. 1ra edición. 5ta reimpresión. Compañía editorial S.A de México, 1984. 430. p. Traducido por Longman Group limited. ISBN 0-582-44188-9.

GUERRERO, C., MATAIX-SOLERA, J., ARCENDEGUIR, V, MATAIX-BENEYTO, J Y GÓMEZ, I. 2007. Near-infrared spectroscopy to estimate the maximum temperatur reached on Burneo soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(3):1029-1037

HARDEN C. BORRERO A. L. Geomorfología del Parque Nacional Cajas. 2005. Facultad de filosofía. Especialidad de historia y geografía. Universidad de Cuenca. Ecuador.

HOFSTEDE R, SEGARRA P, MENA P. (Eds.) 2003. Los Páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Contexto histórico. Los páramos dentro del contexto ecuatoriano .Global Peatland Initiative/NC-UICN/EcoCiencia. Quito.

HUTTEL CH. 1997. Los paisajes naturales del Ecuador, las grandes regiones climáticas y sus formaciones vegetales. ORSTOM ISBN-998-92-165-6. Capitulo3. pp. 53-87.

KESSLER, M. 1996. Bosques de *Polylepis*. Botánica Económica de los Andes Centrales Editores: M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 110-120.

KOZA, J. R. 1992. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. MIT Press.

LEÓN-YANEZ S, 2003. Páramos ecuatorianos. En la biodiversidad de los páramos. Serie Páramo 7. GTP/ Abya Yala. Quito.

MENA P. S/F. El estado de salud de los páramos en el Ecuador: alternativas interesantes y pronósticos complicados. Proyecto páramo andino. EcoCiencia.

MENA P, MEDINA G, 1999. Los páramos en el Ecuador. Proyecto páramo.

NONI G, VIENNOT M, TRUJILLO G. 1992. La erosión agrícola de los suelos en el Ecuador. Capítulo 6. Los paisajes naturales del Ecuador. Centro ecuatoriano de investigación geográfica, CEDIG. ISBN-997-92-165-6. Quito – Ecuador.

ORTIZ B, ORTIZ C. A. Edafología. Séptima edición. Universidad autónoma Chapingo. México. 1990. 394 p. ISBN-968-884-090-4

Plan de Manejo del Parque Nacional Cajas, CEMAPRIMES. 2003. ETAPA. Cuenca – Ecuador.

PODWOJEWSKI, P. Y J. POULENARD. 2000: Los suelos de los páramos del Ecuador. En: Los suelos del páramo. Serie Páramo 5: 5-26. GTP/AbyaYala. Quito.

PRIMO E. CARRASCO D. Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes. Primera edición. 1973. Reimpresión 1981. España. Editorial Alhambra S.A. ISBN-84-205-0448-3.

QUEZADA C. Aplicación de la espectroscopía de reflectancia infrarroja (NIRS) en el análisis de suelos. Revista Ciencia... Ahora, N° 21, año 11, marzo a septiembre 2008 Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Recursos Naturales.

SERRANO F. MINGA D. S/F La diversidad vegetal del Parque Nacional Cajas. Diagnóstico para la elaboración del plan de manejo integral del PNC. Reporte de consultoría para CEMAPRIMES Cía. Ltda.

SIERRA, R. Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. 1999. Quito, Ecuador. 193 p. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia.

SOURDAT M, ZEBROWSKI C. 1992. Los paisajes naturales del Ecuador. Los factores de la pedogénesis y los suelos en Ecuador. ORSTOM. Capítulo 5. ISBN-998-92-165-6. Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica - ICEDIG.

SUMMERS, D, *ET AL.* Visible near-infrared reflectance spectroscopy as a predictive indicator of soil properties. *Ecological Indicators*. Accepted May 2009. volumen 510 - 9 p. doi:10.1016/j.ecolind.2009.05.001.

VALENCIA R., CERON C, PALACIOS W, SIERRA R. 1999. Los sistemas de clasificación de la vegetación propuestos para el Ecuador.. En: Sierra, R. (Ed.). 1999. Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Pp. 19 – 26. Quito, Ecuador

WOLD H, SJÖSTRÖM M, ERIKSSON L. 2001. PLS-Regression: a basic tool of chemometrics. *Chemo. Intell. Lab. Syst.* 58: 109-130.

WINCKELL A. Los paisajes naturales del Ecuador. HUTTEL Ch. 1ra edición.IGM. Quito –Ecuador. 1997.159 p. Geografía básica del Ecuador. Tomo IV. Geografía Física. Volumen 1.CEDIG. ISBN-9978-92-165-6.

### REFERENCIAS ELECTRONICAS

ENCICLOPEDIA DEL PARQUE NACIONAL CAJAS. 2009 disponible en: [http://www.etapa.net.ec/PNC/pnc\\_bibdes.aspx](http://www.etapa.net.ec/PNC/pnc_bibdes.aspx). Con acceso el: 27/ Febrero/2012

HOLLAND J. H. 1975. Algoritmos genéticos. Publicado en *Investigación y Ciencia*. Septiembre 1992. Disponible en: <http://www-mat.upc.es/algevol-pdf/inv-cien92.pdf>. Con acceso el: 9/marzo/2012

IUSS. Grupo de trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre recursos mundiales de suelos. No 103. FAO. Roma. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0541s/a0541s00.pdf>. Con acceso el: 5/Abril/2011

MISUN KANG, B.S. 2002. Quantification of soil organic carbón using MID and NEAR-DRIFT spectroscopy. Submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE. Korea

University. Disponible en: [www.elsevier.com/locate/geoderma](http://www.elsevier.com/locate/geoderma). Con acceso el 16/Febrero/2012.

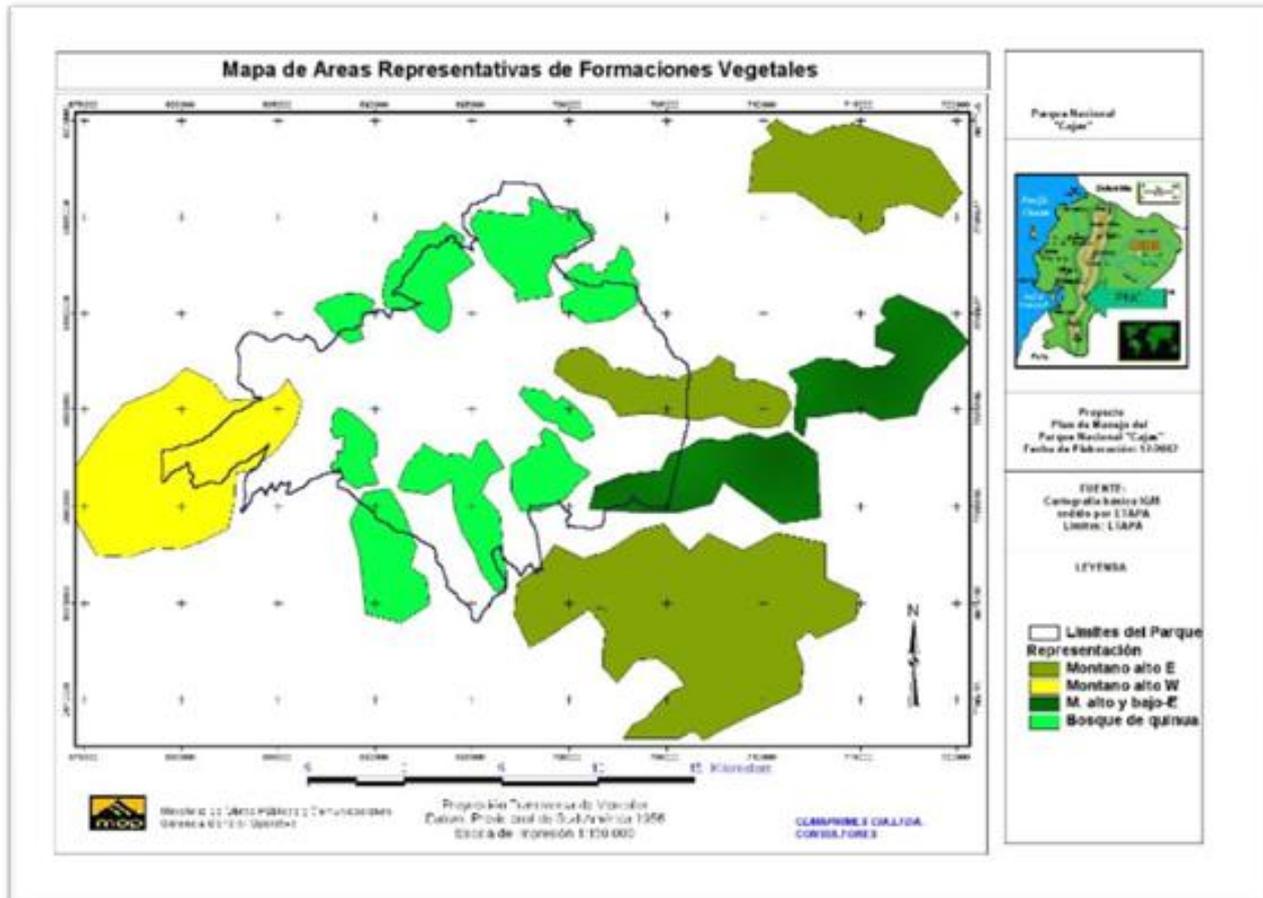
SHOJI S, NANZYOM, DAHLGREN R. 1993. Volcanic Ash Soils: genesis, properties and utilization. Elsevier Science Publishers B.V Amsterdam, Holanda. 287pp. Disponible en: [www.elsevier.com/locate/geoderma](http://www.elsevier.com/locate/geoderma). Con acceso el: 16/Febrero/2012.

YONG HE Y, HUANG M, GARCIA A, HERNANDEZ A, NONG H. Prediction of soil Macronutrients content using near-infrared spectroscopy. 2006. Computers and electronics in agriculture 58 (2007) pp 144-153. Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Con acceso el: 15/Diciembre/2011.

## ANEXOS

### ANEXO 1

Mapa de Áreas Representativas de Formaciones Vegetales del Parque Nacional Cajas



## ANEXO 2

### PROTOSCOLOS PARA LOS ANALISIS DEL “LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES DE LA UDA”

#### **Protocolo para análisis en espectrofotómetro infrarrojo**

Preparación de la muestra:

Previamente retirar la materia orgánica presente y moler las muestras de suelo en el molino de bolas

Preparación del equipo:

1. Encender el equipo y esperar 10 minutos para que se estabilice
2. Configurar el sistema para realizar las lecturas en absorbancia
3. Definir el rango de la longitud de onda para ejecutar el barrido de la muestra (650 – 4000 nm)
4. Establecer el número de lecturas para las muestras y la línea base
5. Esparcir homogéneamente la muestra en el soporte, retirar los excesos
6. Realizar las lecturas
7. Repetir el procedimiento para cada muestra

#### **Protocolo para la determinación de pH en agua (2:1)**

1. Pesar en un vaso de precipitación 10 gr. de muestra.
2. Agregar 20 ml de agua destilada, y agitar.
3. Dejar reposar durante 30 minutos.
4. Calibrar el potenciómetro con las soluciones buffer de pH de 4, 7 y 10, previamente al análisis y repetir el procedimiento cada diez lecturas.
5. Colocar el electrodo en el vaso con la muestra
6. Esperar a que se estabilice la lectura y anotar el resultado
7. Lavar el electrodo con abundante agua destilada
8. Repetir el procedimiento para cada muestra

### **Protocolo para la determinación de Conductividad**

1. Pesar en un vaso de precipitación 10 gr. de muestra
2. Agregar 20 ml de agua destilada, y agitar.
3. Dejar reposar durante 30 minutos.
4. Determinar en el equipo las unidades de lectura uS/seg o m/seg.
5. Colocar el electrodo en el vaso con la muestra.
6. Esperar a que se estabilice la lectura y anotar el resultado.
7. Lavar el electrodo con abundante agua destilada.
8. Repetir el procedimiento para cada muestra.

### **Protocolo para la determinación de La Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)**

Preparación de la solución extractora:

1. Pesar 24.43 gr de  $\text{Cl}_2\text{Ba}$  en un vaso de precipitación de 800 ml.
2. Añadir agua destilada y agitar hasta disolver por completo el contenido.
3. Aforar la solución en un balón de 1000 ml.

Preparación de la muestra:

1. Sacar el peso analítico de la muestra de suelo (5 gr) en un erlenmeyer con tapa.
2. Añadir 50 ml de la solución de  $\text{Cl}_2\text{Ba}$  y dejar en el agitador durante 30 minutos.
3. Filtrar la muestra y aforar en balones de 100 ml o 250 ml.
4. Para los cálculos tomar en cuenta las diluciones realizadas y el peso de la muestra en la solución.

Preparación de las soluciones patrón:

1. Partiendo de las soluciones concentradas o patrón de Na, K, Ca, Fe, Mg de 1000 ppm, realizar la diluciones necesarias hasta obtener dos series de

patrones para realizar las lecturas correspondientes a la curva de calibración de 0.5, 1 y 2.5 ppm.

Preparación del equipo:

8. Calibrar el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
9. Colocar la lámpara y ajustar la longitud de onda específica para cada metal.
10. Establecer la máxima energía de la lámpara.
11. Esperar 15 minutos para que se caliente la lámpara.
12. Ajustar la mezcla de combustión (10 de Oxígeno y 5 de Acetileno).
13. Realizar las lecturas de la curva de calibración y de las muestras.

#### **Protocolo para la determinación de Materia orgánica**

1. Pesar en la balanza analítica un crisol seco,
2. Pesar 5 gr de la muestra, y volver a pesar el crisol.
3. Llevar la muestra 400°C durante 4 horas y volver a pesar el crisol

#### **Protocolo para la determinación de Textura**

1. Pesar 50 gr de muestra desecado y tamizado en una malla de 2 mm
2. Colocar la muestra en la copa batidora y añadir 10 ml de la solución dispersante y agua destilada hasta que la superficie del líquido quede a unos 6 cm sobre el fondo de la copa.
3. Se dispersa en la batidora durante 5 minutos.
4. Se vierte el contenido en una probeta de un litro, arrastrando con el frasco lavador todas las partículas.
5. Se completa con agua destilada hasta 1 litro.
6. Se agita la probeta tapada durante un minuto a fin de homogenizar el contenido.

7. Se deja la probeta sobre la mesa al mismo tiempo que se dispara el cronometro.
8. A los 42 segundos de asentar la probeta se introduce el densímetro de Boyoucus y se anota la lectura.
9. Se repite el paso 8 luego de dejar reposar durante 2 horas.
10. Realizar los cálculos.

### **Protocolo para la determinación de Fosfatos**

Preparación de la solución extractora y de los reactivos:

1. Solución de Molibdato de Amonio

Pesar 2.5gr de molibdato de amonio y 0.8gr de antimonil tartrato de potasio, disolver la solución y aforar a 1000 ml.

2. Solución de Acido Ascórbico

Disolver 5gr de acido ascórbico en 1000ml de agua destilada. El reactivo debe estar siempre fresco, por lo que es necesario prepararlo previo a cada análisis.

Preparación de los Patrones para la curva de calibración.

1. Solución Patrón: Disolver 4.4gr de fosfato mono-potásico  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en 400ml de agua destilada y aforar la solución a 1000ml.
2. Realizar una curva de calibración de 5, 2, 1, y 0.5ppm.

Preparación del equipo

1. Calibrar el Espectrofotómetro con una longitud de onda de 660 nm.
2. Realizar las lecturas de los patrones para la curva de calibración y de las muestras

## ANEXO 3

Tabla 4: Tabla de los datos de campo obtenidos durante el muestreo.

Lugar	Fecha	C. Vegetal	Altura m s.n.m.	Descripción Vegetación	Observaciones	Uso del Suelo	Posición GPS UTM	
							E	N
soldados-chaucha	091021/5	almohadillas	3838	tapiz de plantago	plano o ligeramente abombado	no pastoreado	17692996	9678474
soldados-chaucha	091021/3	almohadillas	3818	Tapiz de Plantago, almohadilladon	sobre replano, con estagnación, muy humedo	no pastoreado	176936027	9678416
soldados-chaucha	091021/2	pajonal	3818	agrostis intermedia, Tapiz de Plantago, apenas abo	no encharcado, bien drenado		176936027	9678416
toreadora	091012/2	pajonal	3716	alamagrostis intermedia, macolas (> 1m de diámetro)	denso. contacto de tapiz húmedo, con Cortaderia de humedal	pastoreado (Heces de cone	123855017	9678435
miguir	091009/1	pajonal	3750	Calamagrostis intermedia	muy abierto, pobre, en ladera,	pastoreado (heces)	17718242	9643317
soldados-chaucha	091021/8	pajonal	3990	sp leñosas, arbustivo	probable restos incendio, sobre suelo liviano Suelo desnudo: 5%.		17690522	9678942
labrado	091228/4	pajonal	3485	calamagrostis intermedia	10 % pendiente	poco intervenido	712488	9698780
labrado	091228/2	pajonal	3435	calamagrostis intermedia	pajonal cerrado, rodeado por arbustos y rocas 5% pendiente S		713339	9698318
labrado	091228/3	almohadillas	3431	catula mexicana, cyrpus sp.	humedal		713063	9698418
labrado	091228/1	pajonal	3449	Calamagrostis intermedia, paspalun p	medianamente intervenido, pisadas y heces de borregos,		713947	9698206
tres cruces	091001/1	pajonal	4154	Calamagrostis intermedia (de 40-50 cm de alto)	resto tapiz herbáceo, prostrado.	no pastoreado	695877	9693303
soldados	091004/4	pajonal	3500	amagrostis intermedia, algunos arbustos de talla me	bastante denso, atravesado por caminos de ganado,	pastoreado	123855017	9609286
soldados	091004/1	pajonal	3250	Calamagrostis intermedia, puyas floridas	ado, baja cobertura. Parte alta ladera, herbáceas acaules dominante	signos de fuego, sin heces	123855017	9678435
soldados	091004/2	pajonal	3250	Calamagrostis intermedia	bien desarrollado, con alta cobertura. Parte baja de ladera		60160583	9677750
tres cruces	091001/4	almohadillas	4125	Plantago rigida	Afloramiento rocoso, horizonte inferior limoso.	no pastoreado	696326	96092886
tres cruces	091001/3	pajonal	4162	Calamagrostis intermedia	denso, sin leñosas. Suelo orgánico,	no pastoreado	695857	969338
miguir	091009/2	pajonal	3750	Calamagrostis intermedia, grandes macollas,	semiabierto, claros con abundantes musgos .	pastoreado (heces)	123855017	9678435
toreadora	091012/1	pajonal	3698	alamagrostis intermedia, de grandes macollas verde	muy denso. Bajo la paja, gran cantidad de hepáticas y musgos	o pastoreado, Heces de cone	54315955	19387205
totoracocho	091005/2	pajonal	3820		Suelo profundo, saturado	no pastoreado	17699814	9692283
totoracocho	091005/1	pajonal	3756	Calamagrostis intermedia, Gynoxys cuicochensis	pocos arbustos, abierto, pie de ladera.	Pastoreado	63141698	20598202
labrado	091228/1	pajonal	3541				5552533	21971817
miguir	091009/3	pajonal	3900	Calamagrostis intermedia	muy denso, con pocas leñosas, ladera de pequeño cerro.	no pastoreado	17715064	9648368
totoracocho	091008/1	pajonal	3820	Calamagrostis intermedia	so, bien desarrollado, pocas leñosas. Ligera depresión al pie de fara	no pastoreado	17699814	9692283
cuenca rio jubones	100627/ 1	pajonal	3205	calamagrostis intermedia,	cultivado disperso anteriormente	pastoreado y quemado	17715801	9641288
entre zhiña y rañas	100627/ 2	pajonal	3198	stis intermedia, paspalun sp, bidens andicola, chilino	cultivo disperso	pastoreado	17715739	9641288
zhiña	100627/ 3	pajonal	3314	calamagrostis intermedia,	cultivo de papas, cerca de pino	cultivado	17718242	9643317
tinajillas	100627/ 4	pajonal	3437	calamagrostis intermedia, paspalim bomplandeanum	pajonal bajo ralo con escasos arbustos	pastoreado quemado	17717903	9645002
toreadora	100829/1	bosque Polylep	3885	Polylepis sp.	pis maduro, raices gruesas, abundante hojarasca, pie de ladera, h	no pastoreado	17713500	9652636
llaviucu	100829/2	bosque altoandin	3160	te musgo, epifitas, helechos pequeños, arboles leñ	abundantes hojarasca y raices, humedo	no pastoreado	17716237	9644706
llaviuco (cerca laguna)	100829/3	oesque altoandin	3259	te musgo, epifitas, helechos pequeños, arboles leñ	abundante hojarasca y raices, pie de ladera, humedo	no pastoreado	17716324	9645390
toreadora	100829/4	b polylepis Joven	3900	Polylepis sp.	lylepis joven, raices gruesas, abundante hojarasca, en ladera, hum	no pastoreado	17714195	9650739

## ANEXO 4

Tabla 5: Tabla de resultados de los análisis físicos-químicos realizados por los métodos tradicionales.

serie lab	C. vegetal	pH	Conductividad	Calcio	Potasio	Sodio	Magnesio	Hierro	Fósforo	uración de ba	C.L.C	M. Orgánica	Carbono	N Total	C/N	Textura		
muestra			uS/cm	ld 0.08 ppm	ld 0.07 ppm	ld 0.1 ppm	ld 0.08 ppm	ld 0.03 ppm	ld 0.01 ppm	%	meq/100g	%	%	%		% arcilla	% limo	% arena
m1	almohadillas	3.99	404	618.500	130.981	41.336	195.022	25.463	429.092	13.564	38.372	46.428	26.993	1.508	17.903	0.540	0.720	98.740
m2	almohadillas	3.88	448	361.364	240.874	36.352	83.528	5.357	94.683	5.080	64.259	42.220	24.546	0.980	25.035	0.500	0.900	98.600
m3	pajonal	6.07	706	1132.437	678.331	1.225	296.195	10.621	578.461	5.411	181.596	51.760	30.093	1.633	18.426	0.560	0.200	99.240
m4	pajonal	3.68	242	544.545	239.022	16.534	138.677	8.951	109.692	6.979	65.067	39.799	23.139	1.566	14.773	0.540	8.020	91.440
m5	pajonal	4.19	141	663.763	189.416	0.000	105.841	16.801	16.868	8.867	52.631	45.291	26.332	1.459	18.050	0.520	3.220	96.260
m6	pajonal	3.93	317	594.497	283.423	13.173	93.774	19.809	111.081	5.925	76.289	46.239	26.883	1.256	21.406	0.533	5.227	94.240
m7	pajonal	4.28	55	442.911	129.538	0.000	88.544	17.113	61.679	9.064	36.072	40.707	23.667	1.656	14.293	0.500	6.360	93.140
m8	pajonal	4.78	250	2537.492	114.657	18.721	186.024	0.000	141.947	33.409	43.600	48.008	27.911	0.540	51.721	0.540	8.020	91.440
m9	almohadillas	5.46	87	1757.069	88.963	19.028	85.887	9.563	1.798	30.281	32.312	43.404	25.235	1.485	16.992	0.540	4.060	95.400
m10	pajonal	4.54	88	205.532	36.586	4.945	54.199	3.846	52.514	14.620	10.851	41.664	24.223	1.382	17.523	0.560	2.120	97.320
m11	pajonal	4.51	72	386.657	26.179	60.877	103.071	15.152	164.055	31.923	9.738	42.044	24.444	0.838	29.157	0.540	0.140	99.320
m12	pajonal	4.49	117	954.547	134.127	28.639	179.791	7.075	367.515	16.496	40.673	46.422	26.990	2.826	9.550	0.863	5.697	93.440
m13	pajonal	4.74	64	376.714	40.389	10.842	76.368	4.167	70.176	20.630	12.886	56.821	33.036	1.249	26.458	0.538	4.422	95.040
m14	pajonal	4.89	67	624.266	154.989	19.744	115.390	19.653	39.924	10.381	43.793	45.833	26.647	2.747	9.701	0.560	8.000	91.440
m15	almohadillas	5.27	746	4202.251	185.249	43.502	478.310	42.512	458.869	35.275	72.475	36.788	21.389	3.755	5.696	0.560	0.020	99.420
m16	pajonal	3.83	323	583.405	110.388	20.185	73.986	20.560	95.791	12.216	31.842	45.348	26.365	1.388	18.991	0.520	1.480	98.000
m17	pajonal	4.84	697	549.227	130.763	18.064	119.354	19.134	2.889	11.102	37.247	44.375	25.799	3.106	8.307	0.500	4.600	94.900
m18	pajonal	4.2	189	575.356	83.768	19.543	85.944	16.368	26.234	15.453	25.089	48.886	28.422	2.821	10.076	0.540	5.220	94.240
m19	pajonal	4.96	50	1360.204	66.500	47.606	60.273	47.170	25.560	31.267	24.500	51.628	30.016	3.027	9.917	0.531	2.829	96.640
m20	pajonal	4.36	126	584.750	39.418	20.372	55.063	21.185	121.555	26.290	13.542	54.534	31.706	3.259	9.729	0.540	8.020	91.440
m21	pajonal	5.54	133	1029.798	218.020	18.357	233.953	17.331	304.904	12.240	62.908	45.972	26.728	2.863	9.336	0.540	5.020	94.440
m22	pajonal	4.73	91	543.332	51.927	17.665	71.090	17.706	168.748	21.048	16.655	44.253	25.729	2.821	9.121	0.520	1.960	97.520
m23	pajonal	3.82	487	610.056	15.833	19.698	63.731	19.698	418.990	47.957	7.704	41.158	23.929	2.494	9.596	0.580	7.980	91.440
m24	pajonal	4.58	84	420.518	69.794	27.184	837.020	33.862	46.001	34.426	26.952	36.655	21.311	0.271	78.596	0.566	7.994	91.440
m25	pajonal	4.64	63	466.572	100.140	25.818	1109.793	42.500	26.081	31.799	37.181	33.555	19.508	0.145	134.620	0.5561	8.1439	91.3
m26	pajonal	4.44	109	313.555	87.695	39.138	834.790	52.702	51.346	28.437	31.031	38.710	22.506	0.462	48.682	0.541	7.459	92.000
m27	pajonal	4.39	98	198.937	92.099	29.465	743.299	19.706	21.247	24.257	30.791	36.561	21.256	1.353	15.709	0.530	8.230	91.240
m28	B. Polylepis	5.16	118	2968.766	124.264	390.387	1084.903	< ld	304.934	45.006	57.218	40.911	23.785	0.318	74.788	0.536	8.184	91.280
m29	B. altoandino	5.92	485	2921.835	184.831	1048.233	989.569	1.704	96.971	37.220	74.552	29.244	17.003	2.082	8.168	0.555	8.745	90.700
m30	B. altoandino	5.77	399	2768.054	184.831	474.145	575.633	5.263	15.833	31.054	67.884	50.540	29.384	0.329	89.351	0.546	8.554	90.900
m31	B. Polylepis	5.84	285	2968.766	184.831	356.603	1500.703	13.509	131.755	38.402	75.982	39.360	22.884	2.565	8.922	0.578	6.002	93.420

## ANEXO 5

Tabla 6: Tabla obtenida para la predicción de materia orgánica, con las mejores variables escogidas por el análisis de regresión PLS y su respectivo valor de materia orgánica.

No muestra	122	251	519	249	254	124	204	313	133	M. Orgánica:
1	0,663	-0,58	-0,205	-0,548	-0,608	0,54	1,085	-0,689	0,334	0
4	0,322	-0,303	-0,486	-0,267	-0,363	0,201	1,683	-0,608	-0,101	7,239
9	0,647	-0,389	-0,509	-0,354	-0,446	0,498	1,065	-0,669	0,312	1,98
13	0,349	-0,318	-0,577	-0,305	-0,348	0,221	1,533	-0,59	0,183	6,57
15	0,392	-0,347	0,041	-0,298	-0,425	0,309	1,44	-0,838	0,305	11,945
18	0,411	-0,412	0,045	-0,377	-0,474	0,332	1,478	-0,777	0,144	5,085
19	0,199	-0,471	0,845	-0,445	-0,518	0,118	1,354	-0,711	-0,121	3,248
20	0,666	-0,311	-0,017	-0,253	-0,4	0,617	1,476	-0,832	0,577	20,384
21	0,772	-0,522	-0,067	-0,492	-0,567	0,663	1,135	-0,733	0,364	2,818
25	0,42	-0,614	0,961	-0,574	-0,68	0,376	1,109	-0,899	0,196	6,768
26	0,548	-0,578	0,191	-0,544	-0,616	0,441	1,229	-0,745	0,179	3,876
27	0,549	-0,57	0,152	-0,537	-0,612	0,458	1,273	-0,852	0,265	10,254
31	0,538	-0,721	0,428	-0,681	-0,777	0,465	1,049	-0,889	0,43	4,587
32	0,666	-0,715	0,537	-0,681	-0,77	0,593	0,946	-0,923	0,434	2,542
33	0,402	-0,479	0,223	-0,424	-0,557	0,352	1,455	-0,879	0,282	13,245
35	0,372	-0,381	0,344	-0,316	-0,47	0,358	1,728	-0,925	0,335	24,71
36	0,508	-0,673	0,615	-0,619	-0,745	0,443	1,275	-0,992	0,234	5,619
41	0,673	-0,643	0,017	-0,608	-0,692	0,571	1,026	-0,752	0,312	9,909
42	0,559	-0,6	0,211	-0,57	-0,639	0,456	1,123	-0,698	0,192	1,695
43	0,401	-0,472	0,033	-0,417	-0,555	0,375	1,508	-0,899	0,508	15,205
45	0,318	-0,412	0,458	-0,333	-0,527	0,311	1,696	-0,957	0,359	25,501
47	0,76	-0,424	-0,482	-0,377	-0,474	0,63	1,183	-0,665	0,255	1,918
50	0,41	-0,797	0,959	-0,773	-0,814	0,306	1,012	-0,83	-0,058	1,971
54	0,344	-0,577	0,482	-0,562	-0,596	0,273	1,376	-0,853	0,038	6,936
55	0,535	-0,621	0,278	-0,603	-0,653	0,398	1,045	-0,759	0,016	1,464
60	0,482	-0,294	-0,437	-0,268	-0,329	0,376	1,424	-0,628	0,158	1,113
63	0,135	-0,162	-0,336	-0,15	-0,181	0,08	1,845	-0,864	0,052	5,736
64	0,48	-0,359	-0,3	-0,347	-0,376	0,397	1,466	-0,842	0,16	1,285
68	0,214	-0,241	0,023	-0,221	-0,274	0,163	1,653	-0,906	0,052	6,42

69	0,025	0,049	-0,315	0,092	-0,012	0,03	2,095	-0,855	0,073	12,255
71	-0,049	0,175	-0,526	0,24	0,075	-0,032	2,348	-0,792	0,079	23,625
73	0,482	-0,361	-0,158	-0,346	-0,385	0,386	1,36	-0,756	0,195	1,041
74	0,351	-0,233	-0,195	-0,189	-0,294	0,292	1,89	-0,754	0,109	15,945
77	0,469	-0,33	-0,325	-0,29	-0,365	0,332	1,593	-0,635	0,121	6,453
78	0,301	-0,348	-0,17	-0,348	-0,364	0,196	1,482	-0,614	0,044	1,474
80	0,423	-0,32	-0,132	-0,268	-0,391	0,337	1,728	-0,645	0,104	21,483
82	0,554	-0,47	-0,313	-0,44	-0,508	0,418	1,284	-0,61	0,097	3,762
83	0,498	-0,376	-0,213	-0,349	-0,423	0,396	1,509	-0,682	0,085	6,93
84	0,311	-0,255	-0,049	-0,223	-0,312	0,245	1,777	-0,747	0,186	19,053
85	0,367	-0,375	0,555	-0,335	-0,432	0,25	1,653	-0,774	0,048	12,369
86	0,608	-0,451	-0,285	-0,416	-0,499	0,465	1,344	-0,703	0,248	6,399
87	0,519	-0,492	-0,14	-0,463	-0,531	0,39	1,331	-0,667	0,102	0,995
90	0,46	-0,595	0,589	-0,561	-0,65	0,322	1,44	-0,823	0,078	4,245
93	0,206	-0,167	0,139	-0,085	-0,3	0,191	2,246	-1,016	0,218	30,753
94	0,273	-0,308	0,083	-0,26	-0,373	0,218	1,909	-0,814	0,147	17,969
95	0,644	-0,59	-0,283	-0,545	-0,643	0,571	1,397	-0,845	0,489	18,705
98	0,74	-0,6	-0,41	-0,573	-0,641	0,652	1,266	-0,783	0,458	7,068
103	0,486	-0,763	0,89	-0,722	-0,823	0,365	1,239	-0,788	0,015	10,572
104	0,497	-0,75	0,95	-0,703	-0,832	0,356	0,949	-0,846	-0,012	2,789
105	0,553	-0,554	-0,165	-0,511	-0,62	0,501	1,319	-0,839	0,468	17,33
108	0,534	-0,616	0,14	-0,576	-0,673	0,428	1,211	-0,762	0,22	5,646
113	0,715	-0,806	0,196	-0,76	-0,862	0,611	1,03	-0,939	0,521	7,953
114	0,763	-0,647	-0,117	-0,613	-0,694	0,647	1,077	-0,784	0,427	1,589