

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS Y VARIACIÓN DEL SUELO EN
LA ZONA DE TRANSICIÓN DE BOSQUE A PAJONAL EN LA PARTE
ALTA DEL PARQUE NACIONAL – RESERVA DE BIOSFERA DEL MANU.**

Tesis Presentado por:

Bach. Rudi Saul Cruz Chino

Para optar al título profesional de
BIÓLOGO

Asesor:

M. Sc. Máximo Américo Chacón
Campana

Co asesores:

Dr. Eric Gabriel Cosio Caravasi
Dra. Norma Salinas Revilla

FINANCIADO POR CONCYTEC

Cusco- Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso que siempre me ha cuidado, sobre todo en las salidas a campo y por bendecirme

A mi familia que son el motivo de vivir. A mis padres, Eusebio e Hilda quienes, a pesar de la dificultad, han sabido brindarme mucho amor y apoyo. A mis hermanos Melvy y Giovani que son la luz de mis ojos, gracias por cada travesura, son momentos que nunca olvido.

A mis compañeros de la universidad, con quienes compartimos grandiosos momentos de mi vida universitaria, espero volver a encontrarlos en el camino y seguir viviendo nuevas aventuras.

AGRADECIMIENTO

A mi familia que, a pesar de las dificultades y las distancias, ha estado siempre presente apoyándome en cada momento del cumplimiento de mis metas.

Al magister Américo Chacón por su disponibilidad al aceptar la asesoría de esta tesis. Su apoyo, confianza y su capacidad para absolver las dudas que surgieron en el desarrollo de este trabajo.

De igual forma agradezco a la Dra. Norma Salinas R. y al Dr. Eric Cosio C. y que con su gran experiencia y paciencia han sabido guiarme en el desarrollo de este trabajo. Les agradezco también haberme facilitado los medios suficientes para llevar a cabo las actividades necesarias para el desarrollo de esta tesis y por su insistencia durante este proceso.

También quiero agradecer a mis compañeros: Alex Nina, Paul Santos, Darcy Galiano, Anthony Chipana, Carlos Salas, Flor Pérez, Sandra Béjar y muchos otros, quienes han sido parte importante en diferentes etapas del desarrollo de esta tesis y que sin su ayuda no hubiera llegado a culminar este trabajo.

También quiero agradecer al CONCYTEC ya que es gracias a este programa he tenido la oportunidad de desarrollar la tesis como parte de un proyecto de investigación científica, creo sinceramente que es un gran apoyo a los científicos que se inician en la investigación.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	ii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	iv
JUSTIFICACIÓN.....	v
HIPOTESIS.....	vi
OBJETIVOS.....	vii
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. GENERALIDADES	2
1.2.1. Bosque Nublado	2
1.2.2. Puna o pajonal	3
1.2.3. Matorral.....	3
1.2.4. Factores que afectan la distribución vegetal en la línea arbórea.....	3
1.2.5. Descomposición de materia orgánica	7
1.2.6. Nutrición mineral de las plantas.	8
1.2.7 Potencial Hidrogenión (pH).....	16
1.2.8 Textura.....	17
CAPITULO II. MATERIALES Y METODOS.....	18
2.1. AREA DE ESTUDIO	18
2.2. MATERIALES.....	24
2.3. METODOS	26

2.3.1.	SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	26
2.3.2.	MÉTODO DE COLECTA.....	27
2.3.3.	PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		33
3.	RESULTADOS.....	33
3.1.	ANÁLISIS DE NUTRIENTES.....	38
3.2.	TEXTURA Y POTENCIAL HIDROGENIÓN.....	39
3.3.	COMPARACIÓN DE NUTRIENTES ENTRE FORMACIONES VEGETALES.....	40
4.1.	DISCUSIÓN.....	46
CONCLUSIONES.....		51
RECOMENDACIONES.....		52
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....		53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. VARIACIÓN TÉRMICA REGISTRADA DURANTE 6 DÍAS EN LA LOCALIDAD DE TRES CRUCES OBTENIDA DEL LABORATORIO DE CIENCIAS ECOSISTÉMICAS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.	4
FIGURA 2. PLÁNTULA DE <i>ALNUS ACUMINATA</i> EN TEMPORADA DE.....	5
FIGURA 3. COMPOSICIÓN HORIZONTAL DEL SUELO.....	7
FIGURA 4. TIPOS DE SUELOS DE ACUERDO AL NIVEL DE ACIDES O ALCALINIDAD, OBTENIDO DE L. BOHN ET AL. 2001	16
FIGURA 5. CLIMATOGRAMA DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE ACJANACO (2016 - 2020),.....	19
FIGURA 6. UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO (INDICADO EN EL CÍRCULO ROJO), EN LA LOCALIDAD DE TRES CRUCES, DISTRITO DE CHALLABAMBA, PROVINCIA DE PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DE CUSCO.FUENTE: PLAN MAESTRO DEL PARQUE NACIONAL DEL MANU, 2019-2023	22
FIGURA 7. MAPA DE UBICACIÓN DE LOS CINCO PUNTOS DE MUESTREO DISTRIBUIDOS EN LA LOCALIDAD DE TRES CRUCES, PARQUE NACIONAL DEL MANU.....	26
FIGURA 8. GRÁFICA DE CUANTILES PARA CATIONES INTERCAMBIABLES EN LAS TRES FORMACIONES VEGETALES EVALUADAS, DONE: NA = SODIO, K = POTASIO, CA = CALCIO Y MG = MAGNESIO	35
FIGURA 9. GRÁFICA DE CUANTILES PARA NITRÓGENO Y FOSFORO ASIMILABLE EN LAS TRES FORMACIONES VEGETALES EVALUADAS, DONE: NO ₃ = NITRATOS Y P = FOSFORO	36
FIGURA 10. GRÁFICA DE CUANTILES PARA CARBONO Y NITRÓGENO EN LAS TRES FORMACIONES VEGETALES EVALUADAS, DONE: C = CARBONO, N = NITRÓGENO Y C/N = RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO	37
FIGURA 11. VALORES DE CONTENIDO DE NUTRIENTES Y PH PROMEDIO OBTENIDO PARA LOS SUELOS ANALIZADOS	38
FIGURA 12. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ANOVA REPRESENTADOS EN BOX PLOT REALIZADO CON EL SOFTWARE RSTUDIO (P<0.05)	42
FIGURA 13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ANOVA REPRESENTADOS EN BOX PLOT PARA EL CONTENIDO DE ARENA, LIMO Y ARCILLA. (P<0.05).....	44
FIGURA 14. ANÁLISIS DE TUKEY PARA LAS VARIABLES MEDIDAS, COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES VARIABLES ENTRE FORMACIONES VEGETALES REALIZADA CON LA PRUEBA DE TUKEY, QUE MUESTRA LA DIFERENCIA DE MEDIAS. LAS LÍNEAS ROJAS INDICA A LAS FORMACIONES VEGETALES CON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS Y LAS LÍNEAS AZULES MUESTRA FORMACIONES VEGETALES IGUALES	45

FIGURA 15. LÍNEA ARBÓREA EN LA LOCALIDAD DE TRES CRUCES EN EL PARQUE NACIONAL DEL MANU	59
FIGURA 16. MATORRAL Y PAJONAL EN LA LOCALIDAD DE TRES CRUCES.....	60
FIGURA 17. COLECTA DE MUESTRAS UTILIZANDO EL MUESTREADOR DE BARRENO.....	61
FIGURA 18. MUESTRAS COLECTADAS EN LAS TRES FORMACIONES VEGETALES. (A) PERFIL DE SUELO DE PAJONAL DONDE SE APRECIA ÚNICAMENTE EL HORIZONTE “A”. (B) PERFIL DE SUELO DEL MATORRAL, COLORACIÓN MÁS OSCURA DEL HORIZONTE “A” Y UN PEQUEÑO HORIZONTE “O”. (C) PERFIL DE SUELO DEL BOSQUE, DONDE SE APRECIA UN MAYOR GROSOR DEL HORIZONTE “O”	62
FIGURA 19. INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO. (A) ANALIZADOR DE CARBONO Y NITRÓGENO TRUMAC CN. (B) PHMETRO DE LABORATORIO DE LA MARCA KNICK. (C) ESPECTROFOTOMETRO CON LECTOR DE MULTIPLATOS	63
FIGURA 20. (A Y C) PREPARACIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN PARA ANÁLISIS DE NITRATOS. (B) MUESTRAS LISTAS PARA LECTURA DE ABSORBANCIA EN ESPECTROFOTÓMETRO (NITRATOS). (D) CURVA DE CALIBRACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE P. (E) MUESTRAS PREPARADAS PARA ANÁLISIS DE P.	64
FIGURA 21. (A) PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES DE CALIBRACIÓN PARA LOS ANÁLISIS DE NA, K, CA Y MG. (B) MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE CATIONES INTERCAMBIABLES CON ABSORCIÓN ATÓMICA.....	65
FIGURA 22. (A) COLOCACIÓN DE MUESTRA SECA DE SUELO EN EL CARRUSEL DEL ANALIZADOR DE CARBONO Y NITRÓGENO TRUMAC CN. (B) EXTRACCIÓN DE CUBETA DESPUÉS DE LA COMBUSTIÓN EN EL HORNO DEL ANALIZADOR DE CARBONO Y NITRÓGENO. (C) CARRUSEL PORTADOR DE MUESTRAS DEL ANALIZADOR DE CARBONO Y NITRÓGENO	66
FIGURA 23. ANÁLISIS DE CATIONES INTERCAMBIABLES EN EL EQUIPO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	67

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE NUTRIENTES DE ACUERDO A SU ABUNDANCIA	8
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE NUTRIENTES DE ACUERDO A SU COMPORTAMIENTO BIOQUÍMICO Y ROL FISIOLÓGICO MENGEL AND KIRKBY (2001)	9
TABLA 3. DATOS METEOROLÓGICOS (2016 – 2020) ESTACIÓN METEOROLÓGICA ACJANACO. FUENTE. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ-SENAMHI	19
TABLA 4. COORDENADAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN EL SISTEMA DE COORDENADAS UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR (UTM).	27
TABLA 5. MÉTODOS Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EN EL ANÁLISIS DE SUELOS.....	28
TABLA 6. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE SHAPIRO-WILK CON EL SOFTWARE SPSS STATISTIC 25	34
TABLA 7. CONTENIDO PORCENTUAL DE ARENA LIMO Y ARCILLA Y SUS LAS RESPECTIVAS TEXTURAS PARA LOS SUELOS DE LAS TRES FORMACIONES VEGETALES ESTUDIADAS	39
TABLA 8. PROMEDIO, NUMERO DE MUESTRAS (N), DESVIACIÓN ESTÁNDAR (DE) Y ERROR ESTÁNDAR (EE) PARA LOS DATOS DE LAS DIFERENTES VARIABLES MEDIDAS EN LAS FORMACIONES VEGETALES DE BOSQUE, MATORRAL Y PAJONAL.....	41
TABLA 9. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PRESENTE ESTUDIO CON TRABAJOS REALIZADOS EN ÁREAS SIMILARES (PONETTE-GONZÁLEZ ET AL. 2016) O IGUALES (ZIMMERMANN ET AL. 2010).	50

RESUMEN

En la presente investigación se estudiaron las características fisicoquímicas de muestras de suelos colectadas, en noviembre del 2018, a través de la transición de bosque a matorral y pajonal, en el sector de Tres Cruces del Parque Nacional del Manu. El objetivo principal de esta investigación, fue determinar las características fisicoquímicas tales como nutrientes (C, N, C/N, Na, K, Ca, Mg, NO_3^- y P), pH y textura, así como comparar estas características entre las tres formaciones vegetales que conforman esta transición. Se realizó un total de 30 puntos de muestreo, 10 en cada formación vegetal, utilizando un cilindro metálico de 3 cm de diámetro y 30 de largo el cual fue introducido en el suelo y extraído junto con la muestra, tomando únicamente los 10 cm superiores correspondientes al horizonte A. estas muestras fueron llevadas al laboratorio y analizadas de acuerdo a las variables planteadas.

El análisis de nutrientes dio como resultado niveles bajos en el contenido de nitratos, fosforo y calcio, así como los valores de pH que también mostraron ser ácidos y respecto al tipo textural, resultaron ser franco y franco limosos. Respecto a las diferencias entre los suelos de las tres formaciones vegetales el bosque resultó ser el mayor en contenido de nitratos, relación C/N y vinel de acidez mientras que mostraron los valores más bajos en el contenido de cationes intercambiables potasio y calcio. El resto de variables no mostro diferencias significativas entre las formaciones vegetales.

INTRODUCCION

Los bosques andino-tropicales son áreas con una gran biodiversidad y endemismo, que proveen servicios ecosistémicos esenciales (Bubb et al. 2004; Hamilton 1995; Körner 2004; Nogués-Bravo et al. 2006). La variada topografía y heterogeneidad climática genera gran cantidad de microbiomas en corta distancia y promueve un alto endemismo, (Pimm *et al.*, 1995).

Estos ecosistemas muestran su límite superior de distribución en un área ecotonal que lo separa del pajonal, y se ubica sobre los 3200 m de elevación (Webster 1995; Lauer 1989), al cual nos referiremos como línea arbórea. Su ubicación está determinada principalmente por la temperatura (Korner 1998), sin embargo, existe evidencia que muestra que el relieve y suelo también influyen en su distribución y dinámica (Rehm 2015).

Los suelos de bosque están cubiertos por una capa de hojarasca y restos vegetales (raíces y madera), los cuales se encuentra en proceso de descomposición, produciendo sustancias húmicas que contribuyen a la fertilidad del suelo (Koehler & Tranvik, 2015), aportando el 70 a 90 % de los nutrientes requeridos por las plantas (Waring & Schlesinger, 1985), lo cual muestra la importancia que tiene la cantidad y el tipo de materia orgánica en la fertilidad del suelo. Los nutrientes provenientes de la materia orgánica al ser liberados lentamente suplen las necesidades nutricionales de las plantas. La hojarasca y restos de plantas además son colonizadas por microorganismos y raíces finas las cuales son importantes en el ciclo de nutrientes para las plantas (Jackson et al., 2007; Matamala et al., 2003; Roederstein et al., 2005).

El clima sobre todo la temperatura también influye sobre las características del suelo, afectando los procesos biológicos, especialmente los de descomposición (Salinas et al 2011) y mineralización (Tanner et al., 1998), igualmente la humedad es un factor que limita el ciclo de nutrientes y la productividad (Bruijnzeel & Veneklaas, 1998; Tanner et al., 1998).

En el Parque Nacional del Manu la distribución de la línea arbórea se debe a factores climáticos, geográficos o edáficos, sin embargo, actividades que se han venido dando por décadas como ganadería y eventualmente incendios, han influido en la dinámica natural del suelo y las plantas. En la actualidad por políticas de gestión, estas actividades han cesado, por consiguiente, los suelos están recuperando su actividad y calidad naturales. El cambio de uso de suelo, ha generado cambios en la distribución de las formaciones vegetales de bosque, matorral y pajonal, repercutiendo en las características edáficas, por lo cual este estudio pretende analizar el estado y variaciones de este sustrato. Para responder estas interrogantes se colectaron aleatoriamente 30 muestras de suelos provenientes de las formaciones vegetales de bosque, matorral y pajonal, los cuales, fueron analizados mediante la aplicación de métodos estándar, con el objetivo de comparar las características nutricionales (C, N, C/N, Na, K, Ca, Mg, N-NO₃⁻ y P) y fisicoquímicas (pH y textura), bajo la hipótesis de la existencia de variaciones en las características edáficas entre las tres formaciones vegetales estudiadas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Parque Nacional del Manu es un área con gran especies y ecosistemas, estos últimos delimitados por zonas de transición denominadas ecotonos, donde existe influencia de ambos ecosistemas colindantes.

En el sector de Tres Cruces del Parque Nacional del Manu, la zona ecotonal de línea arbórea está representada por tres formaciones vegetales distintas, el bosque, matorral y pajonal, cuya distribución es atribuida principalmente a factores climáticos. sin embargo, el suelo, es un factor que aún carece de estudios en esta zona, limitando la comprensión de la relación que tiene esta con la vegetación y con las variables climáticas. por ello se hace necesario conocer algunas características como disponibilidad de nutrientes y variables fisicoquímicas de este sustrato, para poder comprender mejor la dinámica de estos ecosistemas y ver la variabilidad del suelo a través de la gradiente de estas tres formaciones vegetales y usar esta información para criterios de monitoreo e investigación.

Ante esta problemática surgen las siguientes interrogantes:

- ¿Qué características presentan estos suelos respecto a la disponibilidad de nutrientes, contenido de carbono, nitrógeno y la relación entre estos dos últimos?
- ¿Qué textura y niveles de acides (pH) tienen estos suelos?
- ¿Cómo cambian las variables medidas a través de los suelos de las tres formaciones vegetales evaluadas?

JUSTIFICACIÓN

El Parque Nacional del Manu es un área protegida ubicada entre los departamentos de Cusco y Madre de Dios, establecida con el fin de proteger la gran biodiversidad que alberga, así como la diversidad de ecosistemas presentes en él. Los ecosistemas de bosque montano encuentran su límite superior en el ecotono de línea arbórea, el cual al encontrarse influenciado por una gradiente de elevación ha tomado importancia en estudios de monitoreo ante el cambio climático. El propósito de esta investigación es en primer lugar, conocer las características de los suelos en este ecotono en el Parque Nacional del Manu, y las diferencias entre las formaciones vegetales que en él se encuentra, lo cual servirá para entender de mejor manera la dinámica de este ecotono y la relación que este pueda tener con el suelo. Asimismo, este trabajo es importante en la generación de nueva información la cual servirá de base para futuras investigaciones, en los el monitoreo de este ecotono y planes de conservación.

HIPOTESIS

El contenido de nutrientes, así como el pH y la textura varían a través de la transición de bosque a matorral y pajonal. Siendo los bosques los suelos con mayor disponibilidad de nutrientes, y con valores de pH más ácidos, mientras que la textura será igual entre las tres formaciones vegetales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Medir y comparar el contenido de nutrientes, el pH y la textura entre los suelos de las formaciones vegetales de bosque, matorral y pajonal; en el ecotono de línea arbórea del Parque Nacional del Manu, localidad de Tres Cruces.

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Determinar la disponibilidad de N, C, P, NO_3^- , Na, K, Ca, Mg y la relación C/N en los suelos del ecotono de línea arbórea.
- Analizar la textura y pH del suelo en el ecotono de línea arbórea.
- Comparar los parámetros nutricionales y las características fisicoquímicas de suelos de las tres formaciones vegetales en estudio.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.

1.1. ANTECEDENTES

Wang et al. (2018), estudiaron, en tres zonas climáticas de China, la variación en la concentración de los cationes base Ca, Mg y K, y micronutrientes Fe, Mn y Zn, los cuales fueron analizados en muestras vegetales y suelos, incluyendo en su área de muestreo el límite arbóreo en tres climas distintos (subtropical, temperado seco y temperado húmedo). En sus resultados no encontraron patrones altitudinales para los cationes intercambiables ni para los micronutrientes.

Ponette-González et al., (2016), estudian las características químicas del suelo y raíces en el ecotono de línea arbórea del Parque Nacional Río Abiseo, al norte de Perú, para lo cual colectaron muestras de suelos y raíces en hábitats de bosque, límite arbóreo y pastizal, en las que realizaron mediciones de contenido de P, Ca, K, Mg, Na, NH₄-N, NO₃-N, pH, C, y N, comparando estas variables entre los distintos hábitats. Encontrando que solamente Ca, Mg y P muestran variación en los suelos, disminuyendo a través de la transición del bosque al pajonal.

Zimmermann et al. (2010), realizaron mediciones del stock de carbono, a diferentes estratos de profundidad, contenido en los suelos de los biomas de bosque nublado, matorral y pastizal en el ecotono de línea arbórea de la parte alta del Parque Nacional de Manu, para lo cual colectaron un total de 596 muestras de suelos en 63 puntos de muestreo. Obtuvieron en sus resultados que no existe diferencia significativa entre el contenido de carbono de los biomas estudiados, también evaluaron la variación de la densidad de carbono en diferentes profundidades, encontrando que, en los bosques la densidad de carbono es uniforme con la profundidad, en el matorral disminuye linealmente con la profundidad y en el pajonal se observa una disminución exponencial.

Moscatelli et al. 2017, realizaron revisiones acerca de los suelos en la línea arbórea de países como Bulgaria, Italia Rumania Republica Checa y Eslovaquia, con el objetivo de identificar variables que sirvan como indicadores de la calidad de suelos y servicios ecosistémicos, sugiriendo que estas variables pueden ser utilizadas en monitoreos ante la actividad antrópica y cambio climático. Concluyó que el contenido

de materia orgánica, pH y la microbiología del suelo son muy útiles como indicadores de calidad del suelo.

Sullivan et al. 2015, realizaron monitoreos de las condiciones ambientales, fotosíntesis, anillos de crecimiento de plantas, y nutrientes del suelo, en áreas con suelos de temperaturas similares, para estudiar la influencia de la calidad nutricional del suelo sobre el crecimiento de los árboles en el ecotono de línea arbórea, en comparación a las variables ambientales, sobre todo temperatura. Los datos que obtuvieron demuestran que el crecimiento del abeto blanco está relacionado más estrechamente con los patrones nutricionales del suelo, en especial nitrógeno, que con la temperatura.

Köhler et al. 2006, estudiaron los nutrientes tanto en suelos como en plantas a través de una gradiente altitudinal en las islas canarias, analizaron el contenido N total, P disponible y Ca, K y Mg intercambiable en los suelos, los cuales fueron comparados en la gradiente altitudinal a través de la línea arbórea y en profundidad del suelo. En sus resultados encontraron que, los cationes Ca, K, Mg de la parte mineral del suelo, disminuyen con el incremento de la altitud, en tanto que el contenido de nitrógeno en la capa orgánica no presento variaciones significativas.

1.2. GENERALIDADES

1.2.1. Bosque Nublado

Los bosques nublados son ecosistemas montanos que se encuentran típicamente entre 1000 a 3500 msnm llegando a representar el 2.5% de los bosques tropicales del mundo (Bubb, May, Miles, & Sayer, 2004). Estos se caracterizan por la presencia constante de nubes y neblina, que proveen un aporte extra de agua ya que al chocar con la vegetación producen la lluvia horizontal, determinando características hidrológicas, ecológicas y edáficas particulares de este ecosistema (Álvarez Arteaga et al., 2008; Stadtmüller, 1987).

Una característica muy resaltante de estos bosques es la presencia de helechos, musgos, orquídeas y muchas otras especies vegetales epifitas que se desarrollan prácticamente sobre cualquier superficie que esté disponible, haciendo que la biodiversidad y endemismo de estos ecosistemas se encuentren entre los más altos del mundo, pero a la vez, entre los más amenazados debido a la pérdida de biomas ante el cambio climático (Foster, 2001).

1.2.2. Puna o pajonal

Presenta vegetación relativamente homogénea con predominio de pastos, se encuentran sobre los 3500 msnm, caracterizados por la ausencia de vegetación arbórea, en algunos casos asociada a vegetación arbustiva y herbácea. Posee suelos de coloración oscura, pH ácido, con alto contenido de materia orgánica y poca disponibilidad de fósforo (Suarez R. 2001) , son ecosistemas importantes debido a que son áreas clave en la regulación de agua para consumo humano (Cuesta *et al.* 2009, Bubb *et al.* 2004)

1.2.3. Matorral

Es una formación vegetal que se encuentra en el límite superior de los bosques montanos, y el límite inferior del pajonal, se distribuye a una altitud aproximada de 3300 msnm, y es considerado por muchos científicos como el límite superior de colonización arbórea (Rehm, 2015).

La vegetación característica está formada por especies predominantemente arbustivas y algunas arbóreas de estaturas bajas, como los géneros *Escallonia*, *Gynoxis*, *Weinmania*, *Miconia*, *Gaultheria*, *Brachiotum*, *Bacharis*, *Diplostefium*, etc, los cuales crecen generalmente solitarios o formando pequeños grupos a manera de islas.

1.2.4. Factores que afectan la distribución vegetal en la línea arbórea.

La distribución vegetal de la línea arbórea puede ser afectada por factores naturales como el clima, y también por la actividad antrópica como ganadería y agricultura. El clima y sus variables son los factores más investigados, tomando mayor relevancia la temperatura la cual muestra gran variación entre las distintas formaciones vegetales que componen parte del ecotono de línea arbórea (Rehm, 2015). Esto no resta importancia de los otros factores ambientales, que también influyen en la dinámica de este ecotono.

Temperatura.

Muchos científicos consideran que la temperatura es el factor determinante en la distribución de las comunidades vegetales del ecotono de línea arbórea (Körner, 2012; Körner & Paulsen, 2004; Müller *et al.*, 2016), la cual se encuentra a elevadas altitudes (3300 msnm aproximadamente), lugar donde las condiciones ambientales, sobre todo la temperatura y radiación, son drásticas (Körner & Paulsen, 2004), e

influyen en la fisiología de las plantas, pero también lo hace en el suelo pudiendo afectar la velocidad con la que se desarrollan los procesos biológicos como la descomposición, afectando así la disponibilidad de nutrientes (Weih & Karlsson, 2001). El suelo presenta menor rango de variación de temperatura que la del aire, en épocas cálidas el suelo conserva una temperatura inferior a la del aire, mientras que en épocas frías la temperatura del suelo es mayor a la del aire, a pesar de esto ambos presentan una temperatura media de entre 5-7°C (Körner & Paulsen, 2004).

El rango de variación térmica más amplio en estos ecosistemas se da entre el día y la noche, durante el día la temperatura puede llegar a los 27°C aproximadamente y durante la noche desciende hasta los -1°C (Datos colectados por el laboratorio de ciencias ecosistémicas de la PUCP) (Gráfica 1). El rango de variación térmica a estas altitudes depende también del tipo de formación vegetal. La complejidad de la vegetación que se desarrolla en un bosque hace que la temperatura dentro de este varíe en rangos menores a las del pajonal, que son ecosistemas más homogéneos y están directamente expuestos a la intemperie (Körner, 2012).

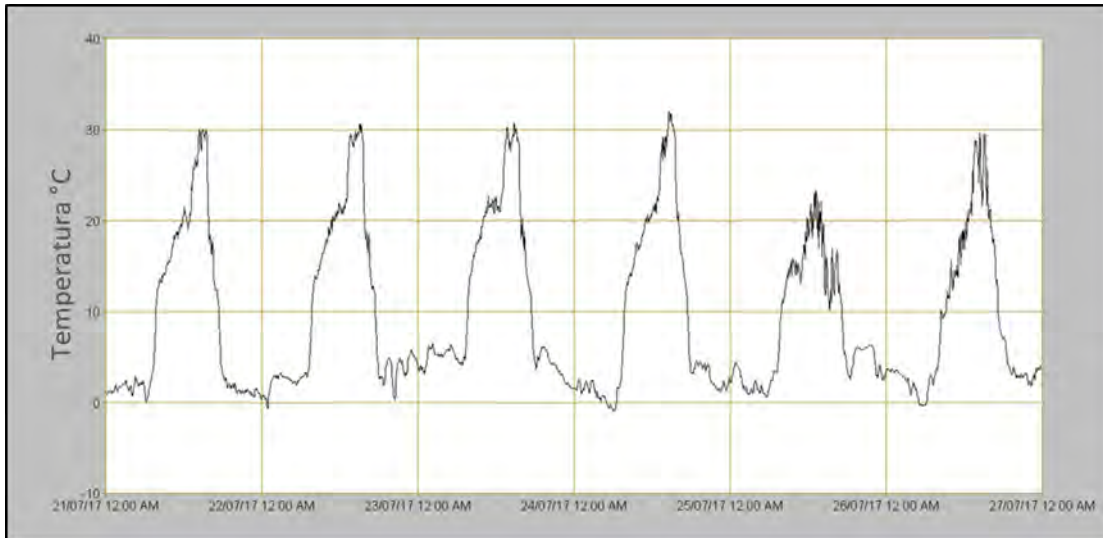


Figura 1. Variación térmica registrada durante 6 días en la localidad de Tres Cruces obtenida del laboratorio de Ciencias Ecosistémicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Radiación solar.

Los altos niveles de radiación solar que presentan los ecosistemas andinos como la línea arbórea son el efecto de la latitud y altitud en las que se ubican (Bader, Van Geloof, & Rietkerk, 2007), cuyo componente más dañino es la radiación UV. Los altos niveles de radiación solar impiden el establecimiento de especies arbóreas en el pajonal ya que las plántulas se encuentran directamente expuestas, provocando sobrecalentamiento sequedad y fotoinhibición de las hojas (Barber & Andersson, 1992), trayendo como consecuencia plantas con hojas quemadas o secas (Figura 1).



Figura 2. Plántula de *Alnus acuminata* en temporada de heladas, en el mes de junio

La foto-inhibición es provocada principalmente por la radiación UV, la cual causa daños en el Fotosistema II y a la enzima Rubisco, reduciendo la capacidad fotosintética y por consiguiente la asimilación de carbono mediante fotosintético (Teramura & Sullivan, 1994).

Las distintas especies que se encuentran en el ecotono de línea arbórea muestran distinto grado de tolerancia a la alta radiación. El género *Diplostephium* es uno de los más tolerantes a estos niveles de radiación, lo cual le permite crecer en áreas expuestas, en comparación con otras especies arbóreas y arbustivas que son poco tolerantes a la alta radiación UV por lo cual son más abundantes en los bosques, (Bader et al., 2007).

El suelo.

El suelo puede ser definido de distintas maneras dependiendo del punto de vista que se tome (edafológico, agrícola, geológico, cultural, etc.), en nuestro caso particular, lo definiremos como la parte superficial de la corteza terrestre, la cual sirve de sustento para la vida, en especial de las plantas, con las cuales guarda estrecha relación, involucrando gran cantidad de procesos y ciclos biogeoquímicos, por lo cual también se considera al suelo como un ecosistema.

El suelo está dividido en capas verticales denominadas horizontes, que se desarrollan a lo largo del proceso de formación del suelo o procesos pedogénicos, siendo apreciables en una vista de perfil del suelo. Cada horizonte se distingue uno del otro por su composición, sobre todo en el contenido mineral y orgánico (Osman, 2013), los horizontes más superficiales (HO y HA) presentan mayor contenido de materia orgánica, razón por la cual son importantes en el ciclo de carbono y ciclaje de nutrientes, mientras que en los horizontes más profundos (HB y HC) predomina el componente mineral conformado por roca madre meteorizada (Jenny & Amundson, 1994).

En una vista de perfil del suelo también se puede apreciar la gran variabilidad que existe en la conformación de estos horizontes como resultado de una alta diversidad de factores que participan en su formación (Álvarez Arteaga et al., 2008), la presencia y profundidad de cada horizonte varía de acuerdo al historial de formación que tengan los suelos, por lo cual también existen diferentes criterios de clasificación. La clasificación más utilizada para la descripción de suelos considera los horizontes O, A, B, C y R (Osman, 2013).

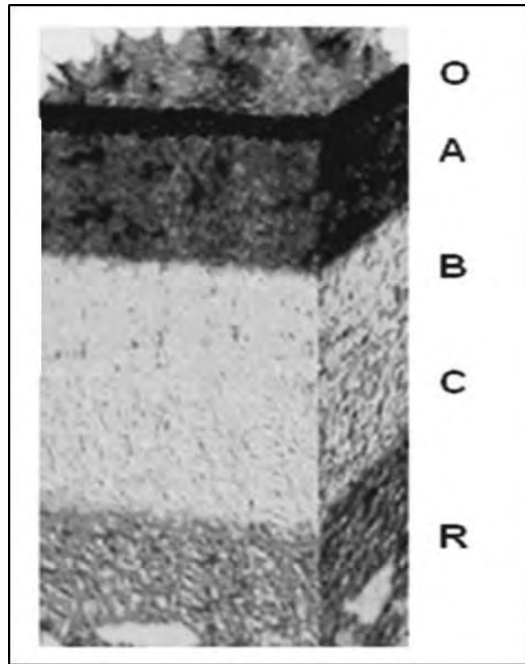


Figura 3. Composición horizontal del suelo (perfil del suelo), obtenido de (Osman, 2013)

1.2.5. Descomposición de materia orgánica.

La descomposición de la materia orgánica es un proceso muy importante en el ciclo del carbono y ciclaje de nutrientes en el suelo. Transforma la materia orgánica en moléculas simples y estables, mediante la participación de diversos organismos, así como procesos físicos y químicos.

Los restos vegetales y animales son sustratos heterogéneos y químicamente complejos para los descomponedores. Están comprendidos principalmente por celulosa, hemicelulosa, ceras, resinas, proteínas, azúcares, aminoácidos y sales, los cuales, al descomponerse provee energía y carbono emitiendo metano y dióxido de carbono como parte del proceso. Gracias a esto la descomposición es parte importante en el ciclo del carbono, a través del cual se regresa a la atmosfera la mayor cantidad de dióxido de carbono (B. Berg, & C. McClaugherty. 2014).

A nivel ecosistémico la descomposición tiene mucha importancia, ya que está estrechamente relacionada con la dinámica de ciclaje de nutrientes (B. Berg, & C. McClaugherty. 2014).

1.2.6. Nutrición mineral de las plantas.

Los beneficios de agregar elementos minerales al suelo, como nutrientes para la mejora del crecimiento de las plantas se conocen desde hace más de 2000 años, sin embargo, este echo carecía de soporte científico. Fue Liebig (1803-1873) quien, en base a análisis de composición química de plantas, concluyó que los elementos N, S, P, K, Ca, Mg, Si, Na y Fe son esenciales para su desarrollo. Esta idea se confirmó con experimentos de cultivos en agua y arena donde las plantas eran privadas de ciertos elementos, lo cual tenía efectos en su crecimiento y desarrollo.

En 1939 Arnon y Stout propusieron el termino elemento mineral esencial para referirse a los elementos que cumplieran con los siguientes tres criterios.

1. Un elemento es esencial cuando su ausencia no permite a la planta completar las etapas fenológicas de su ciclo de vida
2. Un elemento es esencial cuando no puede ser reemplazado por otro elemento, aunque tenga propiedades similares
3. Un elemento es esencial solo si participa de forma directa en el metabolismo de la planta.

Actualmente se distinguen 17 elementos químicos esenciales para las plantas los cuales se clasifican en dos grupos, los macronutrientes que se encuentran en concentraciones relativamente altas, y los micronutrientes que son igualmente esenciales, pero se encuentran en pequeña concentración. Existen otros elementos que participan en algunos procesos metabólicos de la planta, pero no se consideran esenciales ya que su ausencia no afecta en su desarrollo (Tabla 1) (Mengel & Ernest A., 2001). Todos estos nutrientes pueden ser clasificados también en base a su comportamiento bioquímico y rol fisiológico, en un esquema propuesto por Mengel and Kirkby (2001) en el que se pueden distinguir cuatro grupos (Tabla 2).

Tabla 1. Clasificación de nutrientes de acuerdo a su abundancia.

Macronutrientes	C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S
Micronutrientes	Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Cl y Ni
Elementos benéficos	Si, Al, Co, Na, V y Se

Tabla 2. Clasificación de nutrientes de acuerdo a su comportamiento bioquímico y rol fisiológico Mengel and Kirkby (2001)

Nutriente	Consumo	Función bioquímica
Grupo 1		
C, H, O, N, S	as CO ₂ , HCO ₃ ⁻ , H ₂ O, O ₂ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , N ₂ , SO ₄ ²⁻ , SO ₂ , en forma iónica de la solución del suelo	Mayor constituyente de la materia orgánica. Moléculas esenciales que participan en los procesos enzimáticos. Reacciones de oxido reducción.
Grupo 2		
P, B, Si	Como fosfato, ácido bórico o borato, ácido silícico de la solución del suelo.	Esterificación con grupos alcohol. Reacciones de transferencia de energía.
Grupo 3		
K, Na, Ca, Mg, Mn, Cl	Como iones de la solución del suelo.	Funciones no específicas que establecen el potencial osmótico. Activación enzimática. Puente para las reacciones asociadas. Equilibrio de aniones. Control de la permeabilidad de la membrana y potenciales electroquímicos.
Grupo 4		
Fe, Cu, Zn, Mo	Como iones o quelatos en la solución del suelo.	En forma quelada en grupos prostéticos de enzimas. Habilitar el transporte de electrones por cambio de valencia.

Estos nutrientes se encuentran en la solución del suelo, la cual puede contener alta concentración de otros minerales no necesarios para la planta, pudiendo incluso ser tóxicos. En base a mediciones y experimentos sobre la concentración de nutrientes dentro y fuera de células en plantas superiores e inferiores, Marschner 2012 demostró que la captación de iones se caracteriza por ser:

- Selectiva. La planta absorbe preferentemente aquellos iones que necesita en su desarrollo excluyendo los demás.
- Acumulativa. La concentración de nutrientes es mayor dentro de las células que en su entorno externo.
- Genotípica. Cada especie de planta muestra diferencias en la captación de nutrientes de acuerdo a su requerimiento.

Todos estos nutrientes se absorben del suelo en forma de iones inorgánicos presentes en la solución del suelo y que provienen de procesos de descomposición del restos inorgánicos y orgánicos procedentes de organismos vivos.

Carbono (C).

El carbono es un elemento químico no metálico, componente principal de los compuestos orgánicos, gracias a que tiene la propiedad de enlazarse con otros átomos de carbono y otros elementos o moléculas formando una gran diversidad de compuestos presentes en los organismos vivos. La base del ciclo del carbono lo constituyen las plantas las cuales toman el carbono inorgánico atmosférico y lo transforman en compuestos orgánicos, introduciéndolo en un ciclo biogeoquímico.

Nitrogeno (N).

El nitrógeno es un elemento ampliamente distribuido en nuestro planeta, se encuentra presente en la atmósfera, litosfera e hidrosfera, siendo el mayor reservorio la atmósfera (Delwiche 1983). Es un elemento que circula activamente entre la atmósfera, el suelo y los organismos vivos, involucrando varios procesos fisicoquímicos y biológicos.

Nitrógeno en el suelo. En los ecosistemas naturales el nitrógeno presente en el suelo proviene de la atmósfera a través de dos principales procesos de fijación: 1) Fijación abiótica, el nitrógeno es convertido en óxidos por acción de descargas eléctricas, trasladado por acción de la lluvia y depositado en el suelo en forma de

ácido nitroso y nítrico. 2) Fijación biótica, que consiste en la incorporación del nitrógeno molecular atmosférico en la estructura de ciertos microorganismos que pueden vivir libremente en el suelo o formar simbiosis con ciertas plantas (leguminosas).

El nitrógeno en el suelo es uno de los elementos esenciales para la planta, cuya disponibilidad varía según las condiciones de drenaje, topografía, textura del suelo, clima, actividad microbiana, etc. (Robinson, 1994). Los suelos arcillosos con poco drenaje presentan mayor contenido de nitrógeno que los suelos con mayor drenaje (Navarro & García, 2003).

El clima también influyen sobre el contenido de nitrógeno, las temperaturas altas provocan incremento de la mineralización aumentando los compuestos nitrogenados simples, los cuales se pierden por lixiviación (Navarro & García, 2003).

El nitrógeno en el suelo puede ser clasificado como inorgánico y orgánico. En su forma inorgánica se encuentran principalmente como amonio, nitrato, nitrito y óxidos de nitrógeno (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , N_2O , NO). De todas estas formas inorgánicas del nitrógeno, el nitrato y el amonio son las formas asimilables para la mayoría de plantas (Mengel & Ernest A., 2001). El nitrógeno orgánico es la forma más abundante en los suelos, se encuentra como proteínas, enzimas, aminoácidos, aminoazúcares, entre otros, estas son sustancias complejas que se originan en el proceso de humificación y son resistentes a la degradación, pero pueden ser absorbidas por las plantas como por ejemplo en forma de urea y amino ácidos (Marschner, 2012).

Nitrógeno en la planta. Actualmente se conoce al nitrógeno como el elemento esencial limitante en el crecimiento de las plantas, se encuentra en mayor concentración en tejidos jóvenes donde puede llegar a representar entre el 5.5 y 6.5% del peso seco, constituyendo moléculas importantes para su metabolismo y formando la estructura de proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, clorofila, alcaloides y enzimas (Navarro & García, 2003).

La deficiencia de nitrógeno provoca hojas poco desarrolladas y de coloración amarillentas, los peciolos se acortan y las nervaduras aparecen más marcadas ya que se retrasa el desarrollo de las partes suculentas. La deficiencia de nitrógeno se manifiesta primero en hojas viejas ya que este se desplaza hacia las partes jóvenes (Mengel & Ernest A., 2001)

La abundancia de nitrógeno origina plantas muy carnosas con pocas partes lignificadas, raíces pequeñas y gran desarrollo de la parte aérea, las hojas toman coloración verde oscura (Navarro & García, 2003).

Fosforo (P).

Fosforo en el suelo. La única fuente original del fosforo la constituyen las rocas, sobre todo rocas volcánicas las cuales pueden llegar a tener un 0.3% de fosforo en forma de apatitas.

En fosforo liberado por procesos de meteorización de la roca, se encuentra en moléculas inorgánicas que por lo general contienen calcio, hierro o aluminio. Las formas cálcicas, son las más abundantes y con mayor importancia nutricional para las plantas. (Navarro & García, 2003). También se encuentra formando moléculas orgánicas como los fosfolípidos ácidos nucleicos y fitinas, los cuales son mucho más abundantes que los compuestos inorgánicos, pero son poco o nada solubles en la solución del suelo.

A diferencia del nitrógeno, el fosforo no se incorpora al suelo por medio de fijación bioquímica, si no que proviene de la meteorización de la roca madre sobre todo rocas volcánicas donde se encuentra en forma de apatita. Estas formas fosfatadas liberadas se han concentrado en diferentes depósitos sobre el planeta, siendo el mayor los sedimentos de origen orgánico, como los que se encuentran en el fondo del mar, o los depósitos de guano.

El contenido de fosforo en el suelo es muy bajo, raras veces sobrepasa el 0.5%, y se clasifica en inorgánico y orgánico. El fosforo inorgánico comprende dos grupos: Los que contienen calcio y los que contienen hierro y aluminio, siendo los primeros los más importantes, ya que en este se encuentran los fosfatos mono y dicálcico los cuales son fácilmente asimilables por las plantas. El fosforo orgánico está representado por fosfolípidos, fosfatos de inositol, ácidos nucleicos y fitina, los cuales junto a otros compuestos no identificados forman entre el 20 a 80% del fósforo total contenido en el suelo (Navarro & García, 2003).

El fósforo soluble escaso en el suelo, está influenciado por el pH. La forma monovalente de fosforo (PO_4H^{-2}) se encuentra en mayor abundancia a pH ácido, por lo tanto, es un pH favorable para las plantas, ya que la forma monovalente del fosfato es la que más se asimila.

Fosforo en la planta. Se encuentra distribuido en todos los órganos de la planta variando en un rango de 0.5 a 1% de P₂O₅ por peso seco. Es absorbido principalmente bajo la forma de PO₄H₂⁻, y en menor cantidad como PO₄H⁻ (Mengel & Ernest A., 2001).

En la planta forma parte de numerosas biomoléculas como los fosfolípidos, fosfoglicidos, fitina, coenzimas y sobre todo un grupo de moléculas importante por su amplia utilidad en los procesos metabólicos, las moléculas fosforiladas encargadas AMD, ADP y ATP, que se encargan del almacenamiento de energía.

Su presencia en una amplia variedad de biomoléculas lo hace importante es procesos metabólicos como biogénesis de glúcidos, lípidos, clorofila y otros pigmentos. (Navarro & García, 2003)

Debido a la participación del fosforo en múltiples procesos metabólicos, la deficiencia de fosforo produce en las plantas retardo en el desarrollo de la parte aérea y radicular, lo cual es más notorio en las hojas las cuales son delgadas, de menor tamaño y con nervaduras poco desarrolladas.

También tiene efectos en la producción de semillas lo cual se aprecia más en poaceas como el trigo en el cual se manifiesta con la reducción en el número de semillas hasta en un 50%(Navarro & García, 2003)

Potasio (K)

Potasio en el suelo. Proviene de la meteorización de rocas con contenido de minerales potásicos (feldespatos, moscovita, biotita, etc.) y también de la descomposición de restos vegetales y animales. Se encuentra en cantidades relativamente altas en el suelo (0.5-3%) la cual varía de acuerdo a la textura del suelo.

El potasio en el suelo puede ser agrupado como: Asimilables, lentamente asimilables y rápidamente asimilables, solamente el 1 a 2% se encuentra en forma asimilable ya sea adsorbido en los coloides (90 %) o en la disolución del suelo (10%), ambos se mantienen en equilibrio, es así, que cuando la planta absorbe potasio a través de las raíces este equilibrio se rompe, entonces el potasio adsorbido al coloide del suelo se desplaza a la disolución, regresando al equilibrio.

Potasio en la planta. Se caracteriza por ser un elemento muy móvil debido a su alta solubilidad en agua. Es absorbido del suelo bajo la forma de ion potasio (K⁺), su concentración en las plantas varia ampliamente de acuerdo a la especie y al tejido al que se haga referencia.

A diferencia del N y P el potasio no presenta función estructural conocida ni forma parte de las biomoléculas, si no que participa de procesos de regulación osmótica, eficiencia fotosintética, y como cofactor enzimático.

La deficiencia de potasio se manifiesta en tejidos viejos ya que debido a su movilidad el potasio es translocado a las partes jóvenes. La deficiencia se manifiesta en plantas con órganos almacenadores poco desarrollados, maduración tardía de semillas, tallos débiles y hojas con moteados cloróticos.

Calcio (ca)

Calcio en el suelo. Tiene como fuente inicial a la roca madre en la que se encuentran como carbonatos (calcita dolomita), fosfatos (fluorapatita, hidroxiapatita, oxiapatita, carbonatoapatita), y sulfatos cálcicos con silicatos alumínicos (feldespatos, anfíboles), los cuales por efecto de la meteorización liberaran calcio (Navarro & García, 2003).

El calcio también se encuentra en el suelo bajo la forma orgánica, en la materia orgánica del suelo o como parte de compuestos húmicos (humatos y fosfohumatos).

El contenido de calcio en el suelo tiene gran variación, desde 0.1% en suelos no calizos hasta 25% en suelos calizos. El calcio liberado por meteorización o a partir de la descomposición de la materia orgánica puede ser adsorbido al coloide del suelo como sucede en suelos de textura fina, o puede ser lixiviado y reprecipitado como compuestos cálcicos secundarios.

Calcio en la planta. Es absorbido como ion calcio (Ca^{+2}) de la solución del suelo y también en forma directa del coloide del suelo. Su distribución en la planta depende de la edad y parte de la planta, en los tejidos jóvenes el calcio se encuentra en el protoplasma y en las membranas celulares mientras que en los tejidos viejos se encuentra en las vacuolas.

En la planta podemos encontrar calcio en forma inorgánica y orgánica. El calcio inorgánico se encuentra bajo la forma de sales solubles (sulfato cálcico) e insolubles (carbonato de calcio), mientras que el calcio orgánico se encuentra como oxalatos, pectatos cálcicos y fitina.

Entre las funciones del calcio resalta la de formar parte de la estructura de la protopectina la cual se encuentra en la lámina media de la pared celular, funcionando como un agente cementante que mantiene unidas las células. También se le atribuye

la regulación en la absorción de nitrógeno, disminución de absorción de agua, promueve un buen desarrollo radicular, etc.

A pesar de su solubilidad el calcio tiene poca movilidad en la planta, acumulándose en los tejidos viejos, por lo cual los síntomas de deficiencia se manifiestan casi siempre en los órganos jóvenes.

Los síntomas generales de la deficiencia de calcio se aprecian en un escaso desarrollo del sistema radicular, hojas con clorosis y necrosis en los bordes.

Magnesio (Mg)

Magnesio en el suelo. Es un elemento abundante, aproximadamente 2.3%, se encuentra en forma de minerales como clorita, vermiculita, montmorillonita, biotina, etc.

Estos minerales junto con la materia orgánica liberan sales de magnesio solubles en agua, y al igual que el calcio puede ser lixiviado, aprovechado por los organismos del suelo, adsorbido a los coloides del suelo, o sedimentado como derivados secundarios de magnesio.

Magnesio en la planta. Es un elemento muy conocido por su importancia en la fotosíntesis, al formar el núcleo de la molécula de clorofila. A pesar de esto el magnesio presente en la clorofila solamente representa el 10-12% del contenido total de la planta (Navarro & García, 2003).

El magnesio es absorbido por la planta bajo la forma de ion magnesio Mg^{2+} , se encuentra ampliamente distribuido en los diferentes órganos de la planta, a pesar de estar muy relacionada con la clorofila, el magnesio puede ser encontrado en órganos sin clorofila como las semillas, constituyendo sustancias de reserva como la fitina (Navarro & García, 2003).

A parte de su rol en la fotosíntesis y en el almacenamiento de sustancias de reserva, el magnesio es un cofactor enzimático en distintas vías metabólicas como la glucólisis, ciclo de los ácidos tricarboxílicos, síntesis de ácidos nucleicos, entre otros. La deficiencia de magnesio es poco común y está relacionada con las interacciones nitrógeno-potasio. Al ser un elemento muy móvil en la planta los primeros signos de deficiencia se señalan en las hojas viejas, las cuales se tornan cloróticas y caen prematuramente.

Sodio (Na)

El sodio es un metal alcalino muy parecido al potasio, por lo que en algunas plantas se absorbe en pequeños porcentajes, pero para otras puede ser tóxico cuando se encuentran en cantidades mayores al 15 % de cationes intercambiables (Kronzucker, Coskun, Schulze, Wong, & Britto, 2013), estos suelos son conocidos como sódicos, lo cuales traen problemas en el balance osmótico e iónico (Allen V. Barker, 2015).

Como nutriente el sodio es requerido en pequeñas cantidades, ya que al ser parecido al potasio, la absorción de este puede ser sustituido en una pequeña proporción por absorción de sodio (L. Bohn, L. McNeal, & A. O'Connor, 2001).

1.2.7 Potencial Hidrogenión (pH).

El pH es una medida de la concentración de iones H^+ , medido como logaritmo negativo, cuyo rango de valores va de 0 a 14. La mayor cantidad de suelos tienen pH comprendidos entre 5 a 7, y son conocidos como suelos ligeramente ácidos, aquellos suelos con valores de pH menores de 5 son conocidos como suelos fuertemente ácidos y aquellos que presentan valores superiores a 7 como suelos alcalinos (figura 3) (Mengel & Ernest A., 2001).

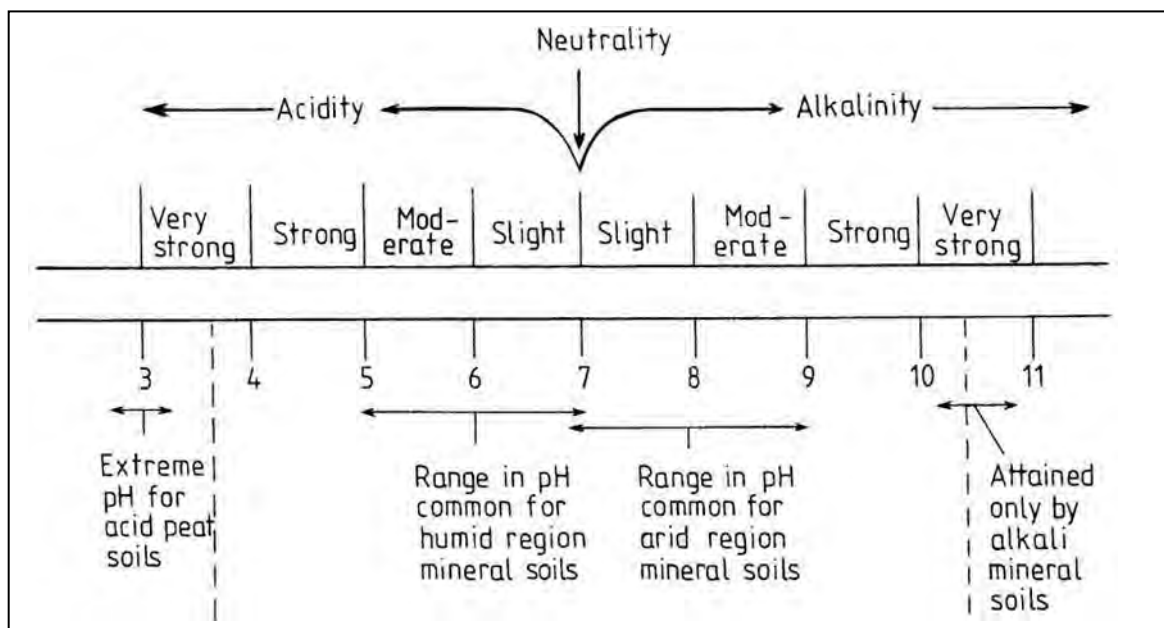


Figura 4. Tipos de suelos de acuerdo al nivel de acides o alcalinidad, obtenido de L. Bohn et al. 2001

1.2.8 Textura.

Esta referida a la distribución del tamaño de partículas en el suelo, según el sistema de clasificación de la USDA (U.S. Department of Agriculture) las partículas mayores a 2mm en diámetro se consideran como grava, entre 2.0mm y 0.05mm como arena, entre 0.05 y 0.002 limo y menores a 0.002 como arcillas. La variación en el contenido de estas partículas en el suelo determina ciertas propiedades como la capacidad de drenaje, la cual es mayor en suelos arenosos, o de textura gruesa.

CAPITULO II. MATERIALES Y METODOS

2.1. AREA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en la parte alta del Parque Nacional del Manu, localidad de Tres cruces, que pertenece al distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo, departamento de Cusco. De acuerdo a la zonificación del Plan Maestro del Parque Nacional del Manu (2013-2018), el sector de Tres Cruces está considerado en la Zona de Uso Turístico y Recreativo (ZUTR), donde está permitido el desarrollo de actividades educativas y de investigación (Figura 4).

ACCESIBILIDAD

El acceso es por vía terrestre Carretera asfaltada, Cusco – Paucartambo y se continua por carretera afirmada Paucartambo - Tres Cruces.

INFORMACIÓN METEREOLÓGICA

Se caracteriza por la presencia constante de lluvias y neblina durante todo el año, los altos niveles de humedad pueden superar el 95% la mayor parte del año (Rapp & Silman, 2012). Las nubes que provienen del Atlántico chocan con la cadena oriental de la cordillera de los andes provocando la precipitación orográfica que alcanza en promedio 2500mm/año, con una estación más lluviosa entre Octubre y Abril (Rapp & Silman, 2012; Zimmermann et al., 2010). El periodo lluvioso comprende desde el mes de octubre a abril siendo el mes enero el mes más lluvioso y la época seca de mayo hasta septiembre siendo el mes de junio el más seco.

La temperatura media anual es de 8.93°C donde el mes más cálido es abril y el mes más frío y junio, julio y agosto los meses más fríos.

Tabla 3. Datos meteorológicos (2016 – 2020) estación meteorológica Acjanaco.
Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI.

Mes	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Julio	7.41	30.14
Agosto	7.68	44.48
Septiembre	8.20	48.16
Octubre	8.83	121.68
Noviembre	9.16	123.54
Diciembre	9.27	153.95
Enero	9.12	243.50
Febrero	9.28	162.00
Marzo	9.34	122.96
Abril	9.21	52.94
Mayo	8.95	34.90
Junio	8.06	23.20
Promedio	8.71	
Total		1161.45

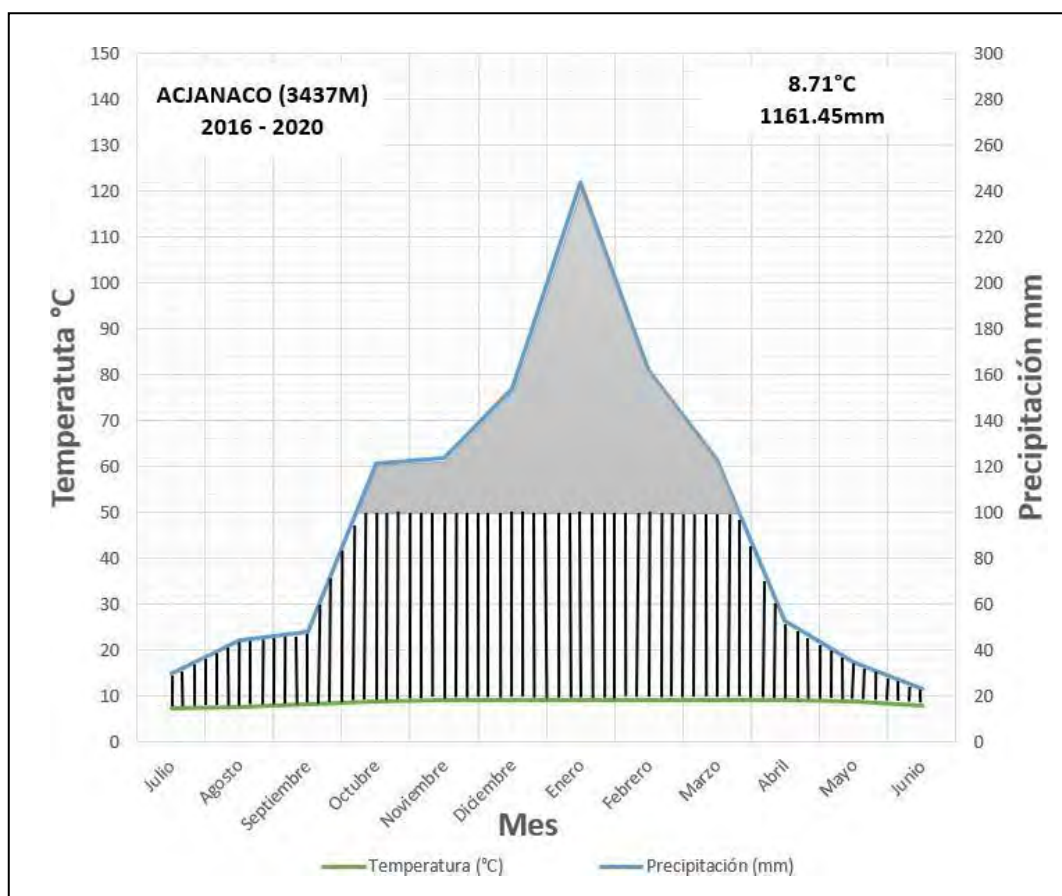


Figura 5. Climatograma de la estación meteorológica de Acjanaco (2016 - 2020),

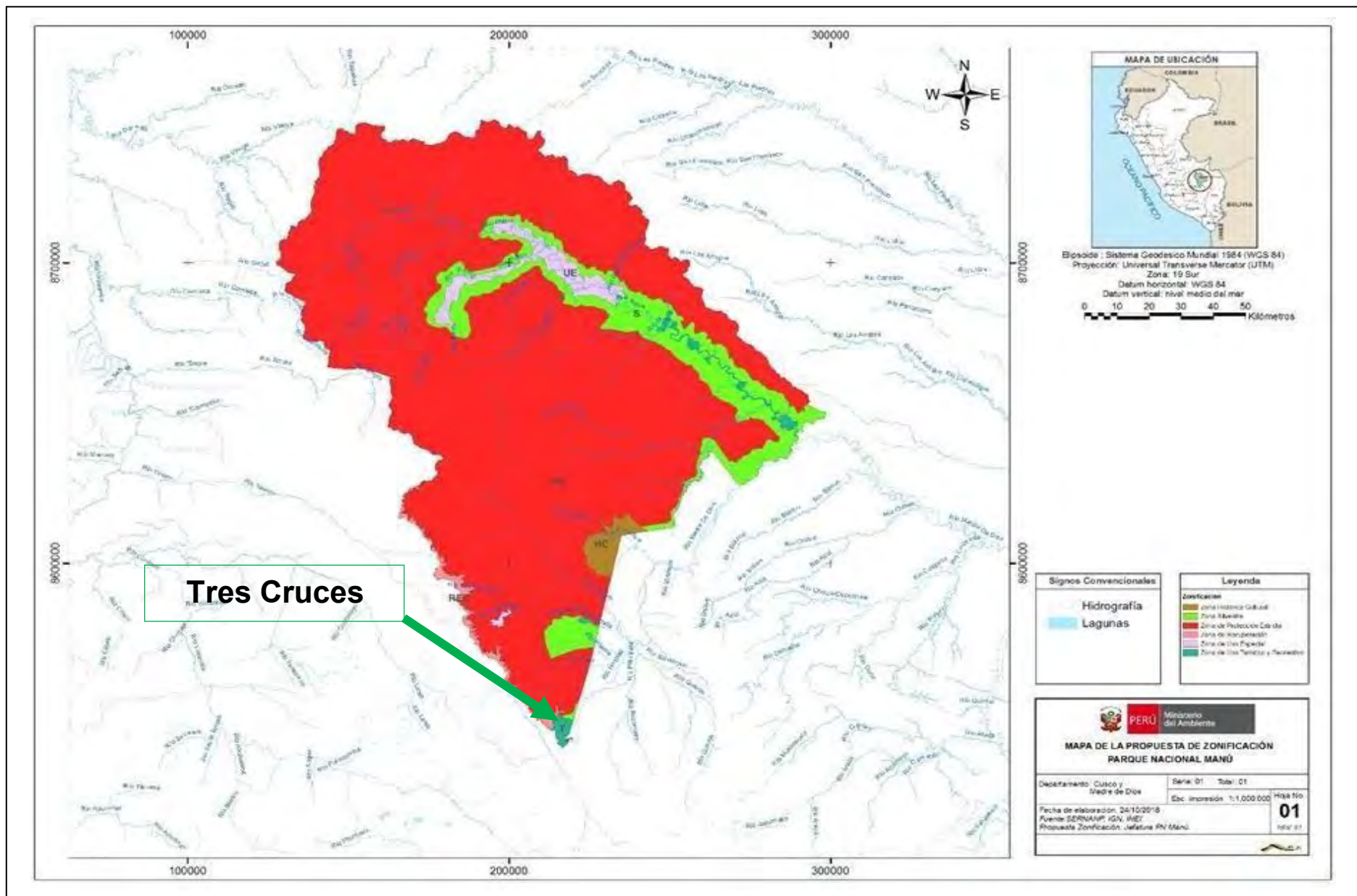


Figura 6. Ubicación de área de estudio (indicado en el círculo rojo), en la localidad de Tres Cruces, distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo, departamento de Cusco. Fuente: Plan Maestro del Parque Nacional del Manu, 2019-2023.

FLORA

El estudio abarcó tres diferentes formaciones vegetales que conforman el ecotono de línea arbórea, los cuales presentan distintos tipos de vegetación:

Bosque. Las especies más abundantes corresponden a las familias Clusiaceae, Melastomataceae, Cunoniaceae, Symplocaceae.

Matorral. Presenta pocas especies arbóreas como Clethra y la mayoría arbustivas de las familias Escalloniaceae, Myrsinaceae, Ericaceae y Loranthaceae.

Pajonal. Carece de especies arbóreas y arbustivas, tiene como familias más abundantes a Asteraceae, Poaceae y Pterydophyta (Zimmermann et al., 2010)

FAUNA

Entre las especies de mamíferos nativos se tiene: Hippocamelus antisensis (taruca), Odocoileus peruvianus (venado gris), Lagidium punensis (vizcacha), Conepatus rex rex (zorrino), Mustela frenata (hurón), Dusicyon culpaeus andinus (zorro), Felis jacobita (oscollo), entre las especies de anfibios: Bufo spinolosus (sapo común), Gastrotheca marsupiata (k'ayra), Pleurodema marmorata (k'ayra), especies de reptiles: Liolaemus multiformis (lagartija sucullucu) y Liolaemus ornatus (lagartija común) (PNM, 2013).

2.2. MATERIALES

MATERIAL DE CAMPO:

- Muestreador de barreno circular de suelo.
- Bolsas ziploc.
- Marcadores indelebles.
- Cuaderno de campo.
- GPS.
- Cinta marcadora.
- pH metro de suelos.
- Cámara fotográfica.

MATERIALES DE LABORATORIO:

- Papel filtro N° 42
- Reactivos químicos
- Mortero
- Tubos de ensayo de diferentes medidas.
- Tubos de centrifuga.
- Frascos de vidrio de diferentes medidas
- Probetas de distintas capacidades.
- Cubetas de espectrofotómetro.
- Placa de 96 pocillos.
- Fiolas de distintas capacidades.
- Pipetas Pasteur de vidrio.
- Tubos falcón.
- Gradillas.
- Literatura especializada
- Tamiz
- Cintas pH metricas.
- Filtros para jeringa.
- Guantes de nitrilo.
- Bolsas ziploc.
- Hidrometro ASTM152H.

EQUIPOS DE LABORATORIO:

- Analizador de carbono y nitrógeno LECO.
- Espectrofotómetro.
- Espectro fotómetro UV de microplatos.
- Equipo de absorción atómica.
- Balanza analítica.
- pH metro.
- Centrífuga.
- Bomba de vacío.
- Agitador.
- Vortex.
- Horno.
- Campana de extracción de gases.
- Micropipetas.
- Pipeta repetidora.
- Pipeta multicanal.

REACTIVOS:

- Catalizador de combustión COMID.
- EDTA para calibración.
- Nitrato de potasio.
- Sulfato de potasio.
- Hidróxido de sodio.
- Ácido salicílico.
- Ácido sulfúrico.
- Fosfato de potasio.
- Molibdato de amonio tetrahidratado.
- Alcohol polivinil.
- Verde malaquita.
- Cloruro de potasio.
- Acetato de amonio.
- Ácido acético.
- Amoniaco.
- Oxido de lantano.

- Cinta de magnesio.
- Carbonato de calcio.
- Cloruro de sodio.

2.3. METODOS

2.3.1. SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.

La colecta de muestras se realizó en dentro de cinco parcelas de monitoreo de la sucesión vegetal en la línea arbórea (Figura 7), pertenecientes al laboratorio de ciencias ecosistémicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, cuyas coordenadas se indican en la tabla 4. En cada parcela se tomó dos muestras del bosque, dos muestras del matorral y dos muestras del pajonal, obteniendo seis muestras por cada parcela y un total de 30 muestras.



Figura 7. Mapa de ubicación de los cinco puntos de muestreo distribuidos en la localidad de Tres Cruces, Parque nacional del Manu.

Tabla 4. Coordenadas de los sitios de estudio en el sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM).

Parcela	Coordenadas UTM		Altitud
	E	N	
TRU1	19S 216895	8548440	3529
TRU2	19S 216771	8548481	3532
TCR1	19S 216146	8547718	3610
TCR2	19S 216282	8547354	3564
CLU1	19S 216054	8546191	3404

2.3.2. MÉTODO DE COLECTA.

La colecta de suelo se realizó con un core muestreador de suelos de 3.5 cm de diámetro (Webster, 2008) el cual fue introducido en el suelo con la ayuda de una comba, obteniendo “cores” o columnas verticales de suelo de aproximadamente 30 cm de profundidad, de las cuales se colectó únicamente el horizonte “A”, que comprende en promedio los primeros 15 centímetros superficiales en el pajonal, mientras que en el matorral y bosque se encuentran por debajo del horizonte “O”. Las muestras se colocaron en bolsas ziploc debidamente rotuladas, para luego ser transportadas al laboratorio.

2.3.3. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.

Previo a los análisis, las muestras fueron secadas en horno o estufa de secado, a una temperatura igual o menor de 60°C (Webster, 2008) durante 5 días o hasta tener un peso constante, luego fueron molidas con un mortero y tamizadas con tamiz N°10 de 2 mm de poro (Webster, 2008), y se almacenaron en bolsas ziploc para su posterior análisis.

Los métodos utilizados para los análisis (Tabla 5) fueron elegidos de acuerdo a la reproducibilidad del método y a la instrumentación del laboratorio de bioanalítica en la sección química de la Facultad de Ciencias, de la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde se llevó a cabo los distintos procedimientos.

Tabla 5. Métodos y equipos utilizados para en el análisis de suelos.

Carbono y nitrógeno	Combustión	TruMac CN
Nitratos	Ácido salicílico	Espectrofotómetro
Fosfatos	Verde malaquita	Espectrofotómetro lector de multiplacas
Cationes intercambiables	Acetato de amonio	Absorción atómica
pH	ASTM	pH metro de laboratorio
Textura	Hidrómetro	Hidrómetro AST152H

Determinación de contenido de carbono y nitrógeno por método de combustión (Leco corporation. 2010).

Para este método se utilizó el equipo “TruMac CN” el cual combustiona muestras de suelo las cuales fue previamente secadas, molidas y tamizadas con el propósito de tener una muestra homogénea. Para la combustión el equipo presenta un horno el cual alcanza una temperatura de 1350 °C, el carbono y nitrógeno son convertidos en dióxido de carbono y óxido nitroso respectivamente, los cuales luego de atravesar por distintos filtros llegan a dos detectores, uno de infrarrojo para el carbono que se encuentra en forma de CO₂ y otro de termoconductividad para el nitrógeno.

Determinación colorimétrica de Nitratos (Cataldo, Haroon, Schrader, & Youngs, 1975)

Este método está basado en el color amarillo que produce la reacción de nitrato con ácido salicílico en medio alcalino, la intensidad del color amarillo que se desarrolle indicara el contenido de nitratos presente en solución de 0.5M K₂SO₄ (Baillie, Anderson, & Ingram, 1990), obtenida de la extracción de muestra fresca o seca de suelo. La cuantificación se realiza a partir de una curva de calibración con

concentraciones conocidas de nitratos, las cuales junto con las muestras son leídos con un espectrofotómetro.

Reactivos.

- Sulfato de magnesio (K_2SO_4) 0.5M
- Hidróxido de sodio 4M.
- Ácido salicílico 5%.
- Estándar de nitrato 0, 2, 4, 6, 8 y 10 $\mu\text{g/ml}$ $N-NO_3^-$.

Procedimiento.

- Se colocó en un tubo de ensayo 10 g de suelo con 20 ml de extractante K_2SO_4 0.5M y se agitó 30 min en un shaker.
- Se centrifugó durante 15 minutos a 3000 rpm.
- Se pipeteó 5ml de cada estándar y muestra en tubos de ensayo nuevos y se agregó 1ml de ácido salicílico, se mezcló inmediatamente y se dejó reposar por 30 min.
- Se añadió 10ml de hidróxido de sodio, para luego mezclar bien y dejar 1 hora hasta que obtuvo coloración.
- Con el uso de un espectrofotómetro se leyó la absorbancia de las muestras y estándares a 410 nm.

Determinación colorimétrica de fósforo por método de verde malaquita (D'Angelo, Crutchfield, & Vandiviere, 2001).

Se fundamenta en la formación de complejos de verde malaquita con fosfomolibdato en condiciones ácidas, dando como resultado una coloración azul verdosa oscura, la cual es leída en un espectrofotómetro de multiplacas (96 pocillos) a una longitud de onda de 630nm y comparada con una curva de calibración.

Reactivos.

- Reactivo 1.- 14.2 mmol/l molibdato de amonio tetrahidratado en 3.1M H_2SO_4 .
- Reactivo 2.- Verde malaquita 0.35g/l de polivinil alcohol acuoso (3.5g/l)
- Estándar de fosfato 1, 0.5, 1, y 1.5 $\mu\text{g/ml}$

Procedimiento.

- En tubos falcon se colocó 0.4g de muestra de suelo más 10 ml de 1M KCl y se agitó en shaker durante dos horas.

- Se centrifugó durante 15 minutos a 3000 rpm
- En una placa de microplatos se pipeteó 200ul de extracto de cada muestra y estandar.
- Se agregó 40ul de reactivo 1, para luego agitarlo durante 10 minutos en shaker orbital.
- Se agregó 40ul de reactivo 2 y agitó 20 minutos en shaker orbital.
- Se leyó la absorbancia de las muestras y estándares en un lector de microplatos a 630nm.

Determinación de cationes intercambiables por absorción atómica (Baillie et al., 1990).

Se basa en la lectura directa por absorción atómica de solución de acetato de amonio con contenido de cationes intercambiables (extracción) el cual contiene lantano al 2% para evitar el exceso de ionización.

Reactivos.

- Acetato de amonio 1M pH 7.
- Oxido de lantano.

Procedimiento.

- En un tubo falcon de 50 ml se pesó 2 g de suelo seco y tamizado.
- Añadió 40 ml de 0.5M acetato de amonio y agita en un shakere durante 30 minutos.
- Se filtró la muestra con filtro Whatman número 42.
- Añadió 2 ml de óxido de lantano al 1%.
- Se mezcló bien y analizó en el equipo de absorción atómica.
-

Medición de pH

Estas mediciones se realizaron en laboratorio, con muestras previamente secas molidas y tamizadas en laboratorio, para lo cual se utilizó un pH metro Knick 766.

Procedimiento.

- En tubos falcon de 50 ml se colocó 5 g de muestra seca y tamizada de suelo y 10 ml de agua destilada.

- Se removió y mezcló bien durante 10 minutos, para luego dejarlo reposar por 20 minutos y volver a remover 2 minutos.
- Se calibró el pH metro y se realizó las medidas en el sobrenadante.

Determinación de Textura por método de hidrómetro.

Conocido también como método para la determinación de tamaño de partícula por sedimentación (ASTM D7928-17). El método se basa en varias mediciones de la densidad de una suspensión de suelo, tomadas en distintos intervalos de tiempos de sedimentación, con la ayuda de un hidrómetro ASTM 152-h.

Reactivos:

- Alcohol amílico.
- Peroxido de hidrogeno, 30%.
- Hexametfosfato de sodio.

Procedimiento:

- Se pesó 50 gramos de suelo, previamente secado y tamizado, en un vaso Erlenmeyer.
- Se añadió 125ml de agua y removió hasta mojar bien el suelo.
- Se añadió 20 ml de peróxido de hidrogeno y se agitó bien, en caso de formación de burbujas se adicionó una o más gotas de alcohol amílico.
- Se colocó en baño maría de agua hirviente para completar la reacción, luego se dejó enfriar.
- Se añadió 2 g de hexametfosfato de sodio y agua hasta alcanzar un volumen de 250 ml.
- Se agitó durante 18 horas o de un día a otro, y luego el contenido fue transferido a un cilindro de sedimentación o probeta de 1000 ml de capacidad.
- Se aforó un cilindro de sedimentación (blanco) a 1000ml con 2 gr de hexametfosfato de sodio y agua.
- Se agitó el contenido del cilindro de sedimentación con muestra con un émbolo e inició las mediciones con el hidrómetro ASTM 152H.

- Se anotaron las mediciones a los 40 segundos y 5 horas, la medición del cilindro sin muestra a las 5 horas y la temperatura.

2.3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS ENTRE LAS FORMACIONES VEGETALES

Para el procesamiento de datos de datos se realizó primeramente un análisis de Shapiro-Wilk con la ayuda del programa SPSS Statistics 25, para poder determinar si los datos obtenidos presentaban distribución normal. Luego se utilizó el software R studio versión 3.4.3 para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y comparar los resultados obtenidos en las tres formaciones vegetales estudiadas. Finalmente, en aquellos resultados que mostraron diferencia significativa se realizó la prueba de Tukey para identificar las formaciones vegetales distintas.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3. RESULTADOS

Se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS statistic 25 (Tabla 6) y mediante las gráficas de cuantiles (Figura 8, 9 y 10) las cuales fueron realizadas con el software r studio. Los niveles de significancia en el primer caso, son mayores a 0.05, por lo cual los datos tienen una distribución normal. En el caso de las gráficas de cuantiles la línea roja indica la tendencia de cuantiles teóricos y los puntos indican la tendencia de los cuantiles de los datos obtenidos en este trabajo, por lo cual, el grado de coincidencia de estos, indicara la normalidad de los datos, observando de manera gráfica que nuestros datos corresponden a una distribución normal.

Tabla 6. Resultados obtenidos en la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS Statistic 25.

Variable	Ecosistema	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl.	Sig.
Na (ug/g)	Bosque	0,924	10	0,395
	Matorral	0,986	10	0,998
	Pajonal	0,924	10	0,390
Mg (ug/g)	Bosque	0,840	10	0,044
	Matorral	0,964	10	0,834
	Pajonal	0,934	10	0,488
Ca (ug/g)	Bosque	0,565	10	0,000
	Matorral	0,947	10	0,597
	Pajonal	0,916	10	0,328
K (ug/g)	Bosque	0,838	10	0,042
	Matorral	0,960	10	0,782
	Pajonal	0,911	10	0,290
N-NO3 (ug/g)	Bosque	0,943	10	0,590
	Matorral	0,898	10	0,151
	Pajonal	0,862	10	0,080
P (ug/g)	Bosque	0,729	10	0,002
	Matorral	0,590	10	0,000
	Pajonal	0,874	10	0,111
N (%)	Bosque	0,951	10	0,685
	Matorral	0,924	10	0,325
	Pajonal	0,881	10	0,134
C (%)	Bosque	0,929	10	0,433
	Matorral	0,877	10	0,081
	Pajonal	0,941	10	0,562
C/N	Bosque	0,856	10	0,069
	Matorral	0,922	10	0,302
	Pajonal	0,948	10	0,645
pH	Bosque	0,945	10	0,606
	Matorral	0,983	10	0,994
	Pajonal	0,954	10	0,710

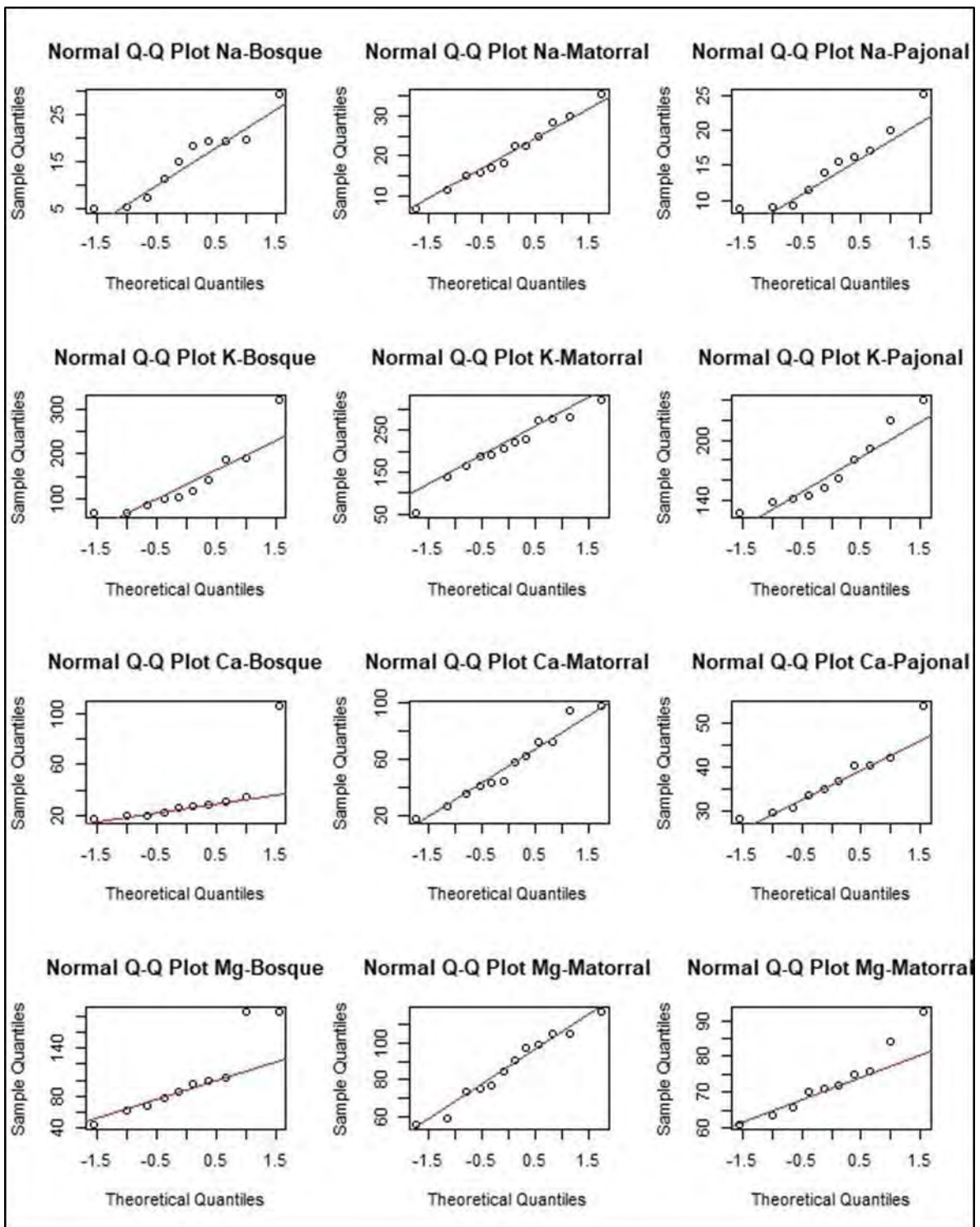


Figura 8. Gráfica de cuantiles para cationes intercambiables en las tres formaciones vegetales evaluadas, done: Na = sodio, K = Potasio, Ca = Calcio y Mg = Magnesio.

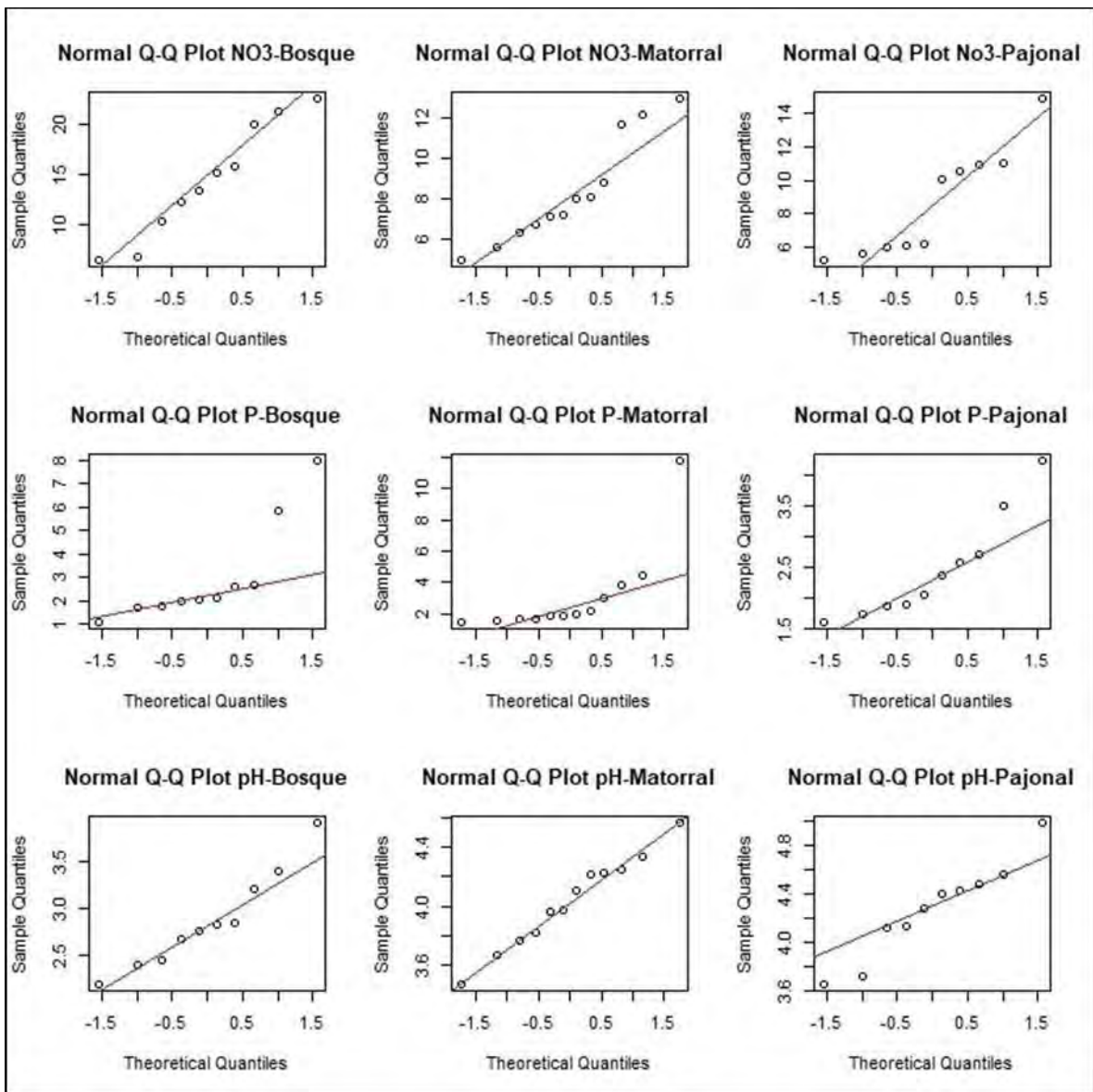


Figura 9. Gráfica de cuantiles para nitrógeno y fósforo asimilable en las tres formaciones vegetales evaluadas, donde: NO3 = Nitratos y P = Fósforo.

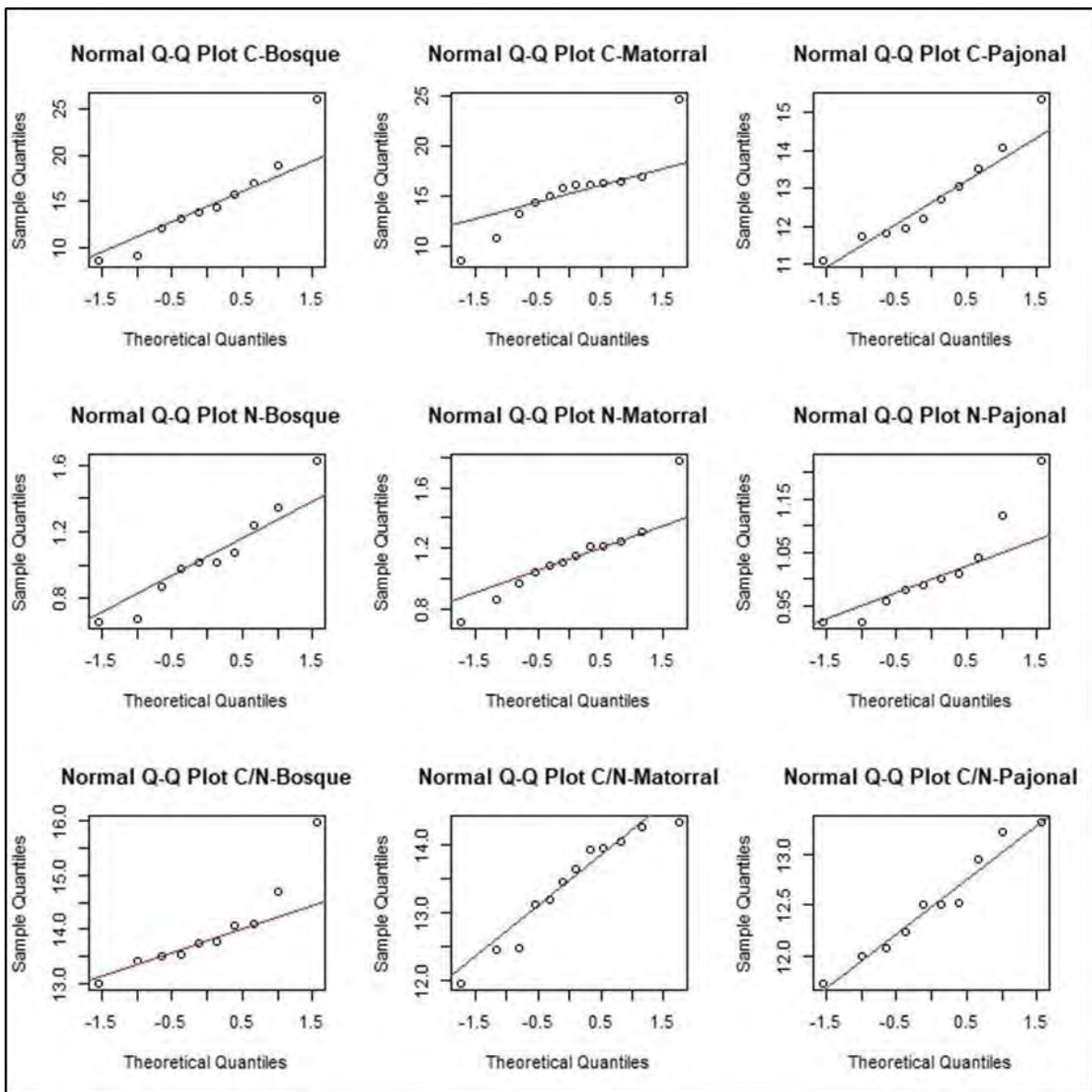


Figura 10. Gráfica de cuantiles para carbono y nitrógeno en las tres formaciones vegetales evaluadas, done: C = Carbono, N = Nitrógeno y C/N = Relación carbono nitrógeno

3.1. ANÁLISIS DE NUTRIENTES.

Desde una perspectiva de disponibilidad de nutrientes, se pudo observar, que algunos de estos nutrientes mostraron valores bajos, como es el caso del contenido de nitrógeno asimilable en forma de nitrato (NO_3^-), fósforo asimilable y el catión (Ca^{2+}) con valores promedio de 10.3, 2.86 y 42.6 $\mu\text{g/g}$ respectivamente (Figura 11).

Respecto al contenido porcentual de carbono y nitrógeno, mostraron valores altos, sobre todo de carbono el cual corresponde a un promedio de 14.40 %, típico de este tipo de ecosistemas. Los otros nutrientes como Na, K, Mg, N se mantuvieron dentro de las concentraciones de 180, 16 y 90 $\mu\text{g/g}$ respectivamente (Figura 11).

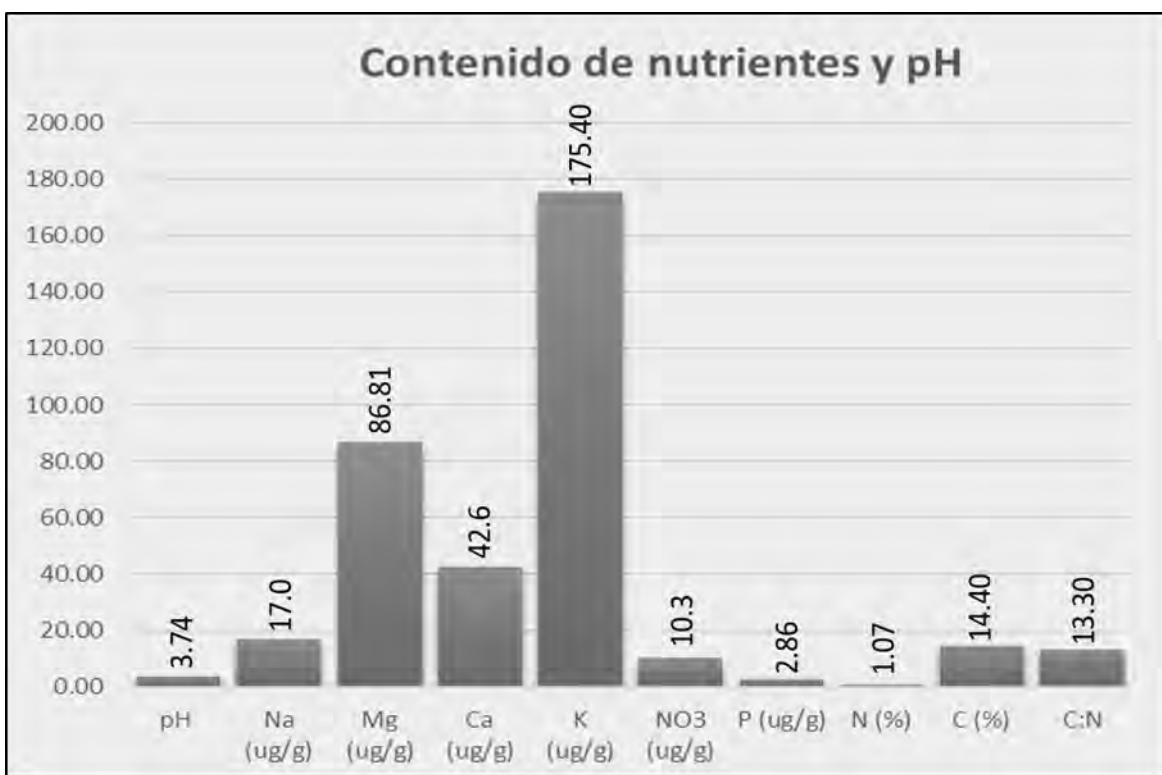


Figura 11. Valores de contenido de nutrientes y pH promedio obtenido para los suelos analizados

3.2. TEXTURA Y POTENCIAL HIDROGENIÓN

El análisis de pH muestra que estos suelos tienen valores muy bajos de pH que corresponde a pH muy ácidos, con un valor promedio de 3.74 (Figura 11), mientras que la textura representada en contenido porcentual de arena, limo y arcilla fue muy variable, como se muestra en la tabla 6, pero en promedio se obtuvo que los suelos de bosque son franco limosos, el suelo del matorral franco y el del pajonal franco limoso (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido porcentual de arena limo y arcilla y sus las respectivas texturas para los suelos de las tres formaciones vegetales estudiadas.

	Promedio Arena %	Promedio Limo %	Promedio Arcilla %	Textura
Bosque	29.8	52.6	17.6	Franco limoso
Matorral	42.6	43.8	13.6	Franco
Pajonal	35.8	50.4	13.8	Franco limoso

3.3. COMPARACIÓN DE NUTRIENTES ENTRE FORMACIONES VEGETALES

Se utilizó la prueba ANOVA para determinar las diferencias de las variables evaluadas entre las tres formaciones vegetales estudiadas (Bosque, matorral y pajonal). A continuación, se detallan los resultados de cada variable de acuerdo a cada formación vegetal (Tabla 8).

3.3.1. CARBONO Y NITROGENO

El análisis del contenido total de carbono (C) y nitrógeno (N) expresado en porcentaje de peso seco de suelo, arrojó que no existen diferencias significativas entre las formaciones vegetales estudiadas, con una significancia $p=0.2442$ para Carbono ($F=0.2442$) y $p=0.8857$ para nitrógeno ($F=0.04854$)

Sin embargo, el análisis de varianza realizado para la relación C/N mostró que al menos una de las tres formaciones vegetales muestra diferencias significativas ($F=10.468$) con un valor de significancia $p=0.00038$, donde el promedio más alto corresponde al bosque seguido del matorral y finalmente el pajonal, con valores de 13.77, 13.55 y 12.51 respectivamente. Las comparaciones realizadas con la prueba de Tukey indican que, respecto a la relación C/N, el pajonal tiene diferencias significativas con el matorral y bosque con valores de significancia $p=0.002$ y $p=0.0003$ respectivamente (Figura 12).

Tabla 8. Promedio, numero de muestras (N), desviación estándar (DE) y error estándar (EE) para los datos de las diferentes variables medidas en las formaciones vegetales de bosque, matorral y pajonal.

	Formación vegetal	Prom	n	sd	es
C%	Bosque	14.88	10	5.03	1.59
	Matorral	15.38	10	3.86	1.22
	Pajonal	12.74	10	1.28	0.40
N%	Bosque	1.05	10	0.29	0.09
	Matorral	1.14	10	0.26	0.08
	Pajonal	1.02	10	0.09	0.03
C/N	Bosque	13.98	10	0.84	0.27
	Matorral	13.40	10	0.77	0.24
	Pajonal	12.51	10	0.52	0.16
P (ug/g)	Bosque	3.00	10	2.17	0.69
	Matorral	3.10	10	2.89	0.91
	Pajonal	2.45	10	0.84	0.27
N-NO₃⁻ (ug/g)	Bosque	14.39	10	5.75	1.82
	Matorral	8.29	10	2.64	0.83
	Pajonal	8.67	10	3.24	1.02
Na (ug/g)	Bosque	15.05	10	7.69	2.43
	Matorral	20.71	10	8.10	2.56
	Pajonal	14.63	10	5.29	1.67
K (ug/g)	Bosque	137.94	10	77.23	24.42
	Matorral	211.15	10	73.61	23.28
	Pajonal	169.94	10	37.62	11.90
Ca (ug/g)	Bosque	32.93	10	26.42	8.36
	Matorral	54.67	10	26.14	8.27
	Pajonal	36.91	10	7.68	2.43
Mg (ug/g)	Bosque	100.94	10	48.06	15.20
	Matorral	86.49	10	19.20	6.07
	Pajonal	73.06	10	9.52	3.01
pH	Bosque	3.28	10	0.18	0.06
	Matorral	3.51	10	0.20	0.06
	Pajonal	3.52	10	0.19	0.06
% Arena	Bosque	29.8	10	7.79	2.46
	Matorral	42.60	10	14.33	4.53
	Pajonal	35.8	10	7.59	2.40
% Limo	Bosque	52.6	10	4.7	1.49
	Matorral	43.8	10	12.55	3.97
	Pajonal	50.4	10	7.63	2.41
% Arcilla	Bosque	17.6	10	3.58	1.13
	Matorral	13.6	10	3.44	1.09
	Pajonal	13.8	10	1.09	0.34

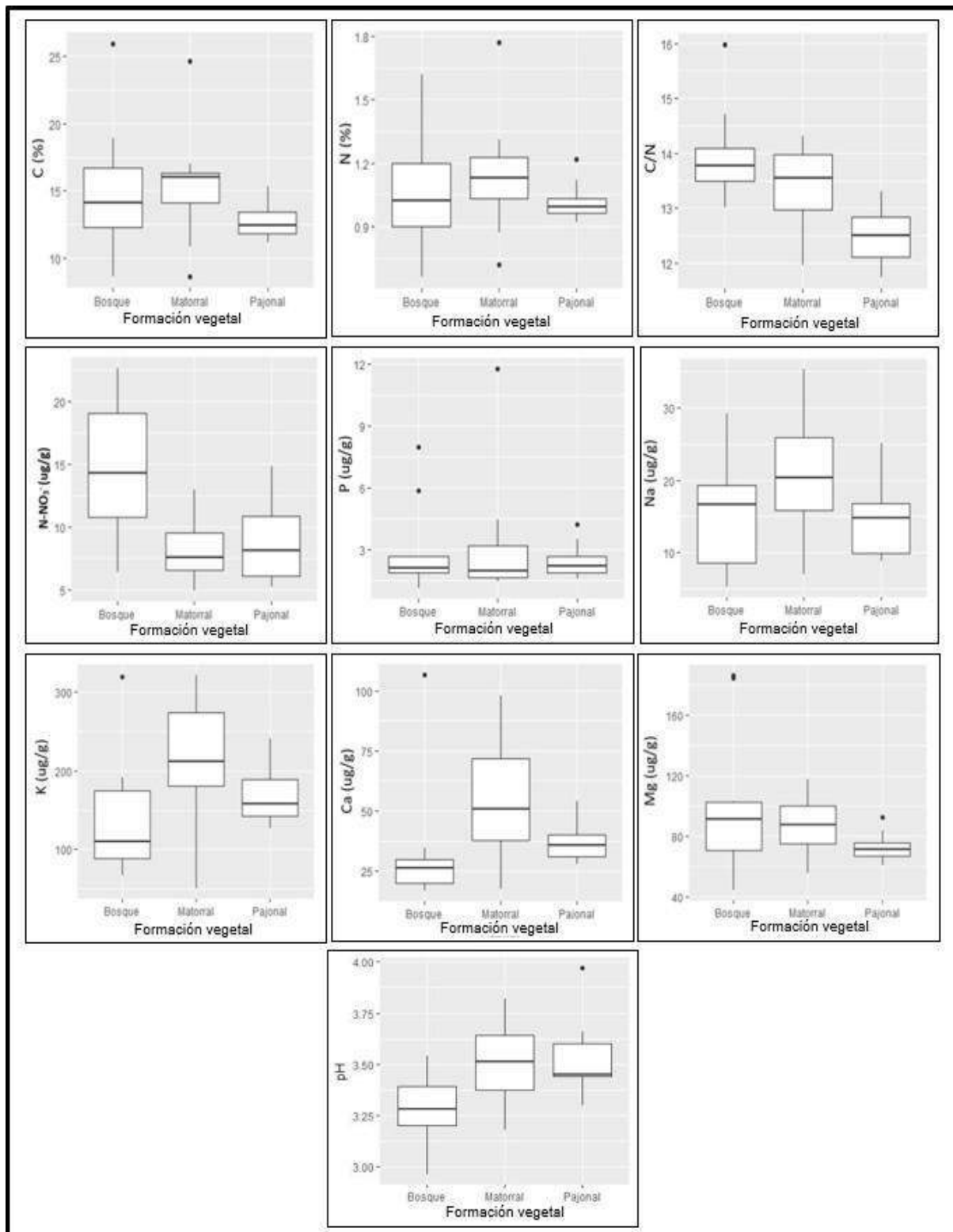


Figura 12. Resultados del análisis de ANOVA representados en Box Plot realizado con el software Rstudio ($p < 0.05$)

3.3.2. NITRATOS (NO₃-)

La concentración de N-NO₃⁻ medida en ug/g de suelo seco, resultó ser significativamente distinta entre las formaciones vegetales estudiadas (F=7.51) con un valor de significancia p=0,002354, donde se observa que el bosque presenta el contenido más alto de N-NO₃⁻ (14.39 ug/g) seguido del pajonal y matorral que muestran valores similares de 8.13 ug/g y 7.58 ug/g respectivamente (Tabla 8). Con la prueba de Tukey se determinó que, la concentración de N-NO₃⁻ en el suelo de bosque es significativamente distinta a los suelos de matorral y pajonal mientras que estos dos últimos no presentaron dicha variación (Figura 12).

3.3.3. FOSFORO

El fósforo fue el nutriente más escaso ya que, muestra valores bajos de 3.0 ug/g en bosque, 3.1 ug/g en matorral y 2.45 ug/g en pajonal respecto a los otros nutrientes (Tabla 8). Las comparaciones realizadas entre el contenido de P entre las tres formaciones vegetales, resultaron en diferencias no significativas (F=0.2667) con significancia de p=0.767.

3.3.4. CATIONES INTERCAMBIABLES

En el análisis de los cationes intercambiables, se obtuvo que solamente los iones Ca (F=3.4128) y K (F=3.4133) mostraron diferencias significativas en al menos una de las formaciones vegetales estudiados, con valores de significancia p=0.0466 y p=0.047. (Figura 12).

Según la prueba de Tukey para los iones Ca y K, el suelo de bosque es distinto al matorral, siendo este último el que presenta la mayor concentración de estos iones, con valores de 50.96 ug/g y 212 ug/g de Ca y K respectivamente, mientras que en el bosque estos valores son 26.22 ug/g para el Ca y 110 ug/g para K, Y en el pajonal 36.91 ug/g de Ca y 169.9 ug/g para el K (Tabla 8)

3.3.5. POTENCIAL HIDROGENION (pH)

El análisis estadístico de los datos obtenidos para pH, arrojo que existen diferencias significativas en al menos un hábitat ($F= 4.95$) con un valor de significancia $p= 0.014$. La prueba de Tukey nos indica que, desde el punto de vista del pH, el suelo de bosque es el que tiene los valores de pH más bajos (2.8), siendo una formación vegetal muy distinta al matorral y pajonal que tiene pH más altos (4.04 y 4.34 respectivamente) (Tabla 8)

3.3.6. TEXTURA

La textura de estos suelos no presentó diferencias significativas entre las formaciones vegetales comparadas ya que según los resultados de la prueba de ANOVA se obtuvo valor $P=0.1919$ para el contenido de arena, $P=0.3032$ para el contenido de limo y $P= 0.09056$ para el contenido de arcilla (Figura 13). Como resultado de la medición del contenido de arena, limo y arcilla se pudo obtener que, en promedio, los suelos de bosque presentan textura franco limosa, los suelos de matorral tienen suelos francos y los suelos de pajonal textura franco limosa (Tabla 7).

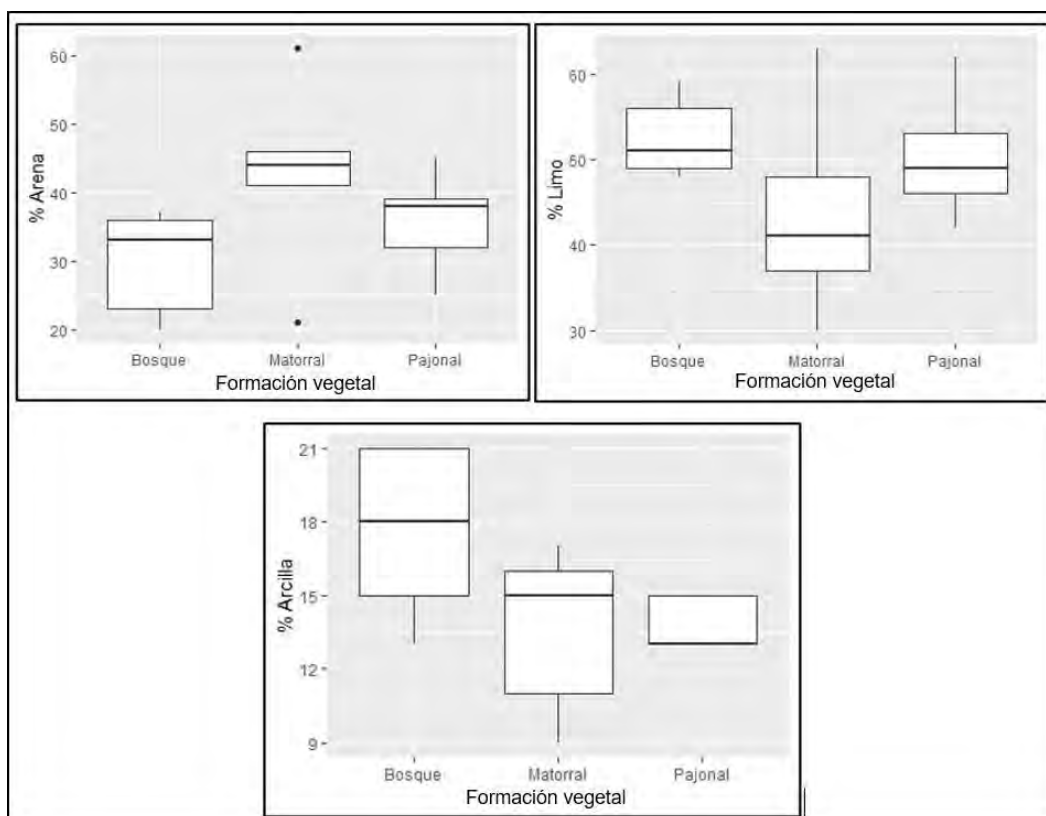


Figura 13. Resultados del análisis de ANOVA representados en Box Plot para el contenido de arena, limo y arcilla. ($p<0.05$)

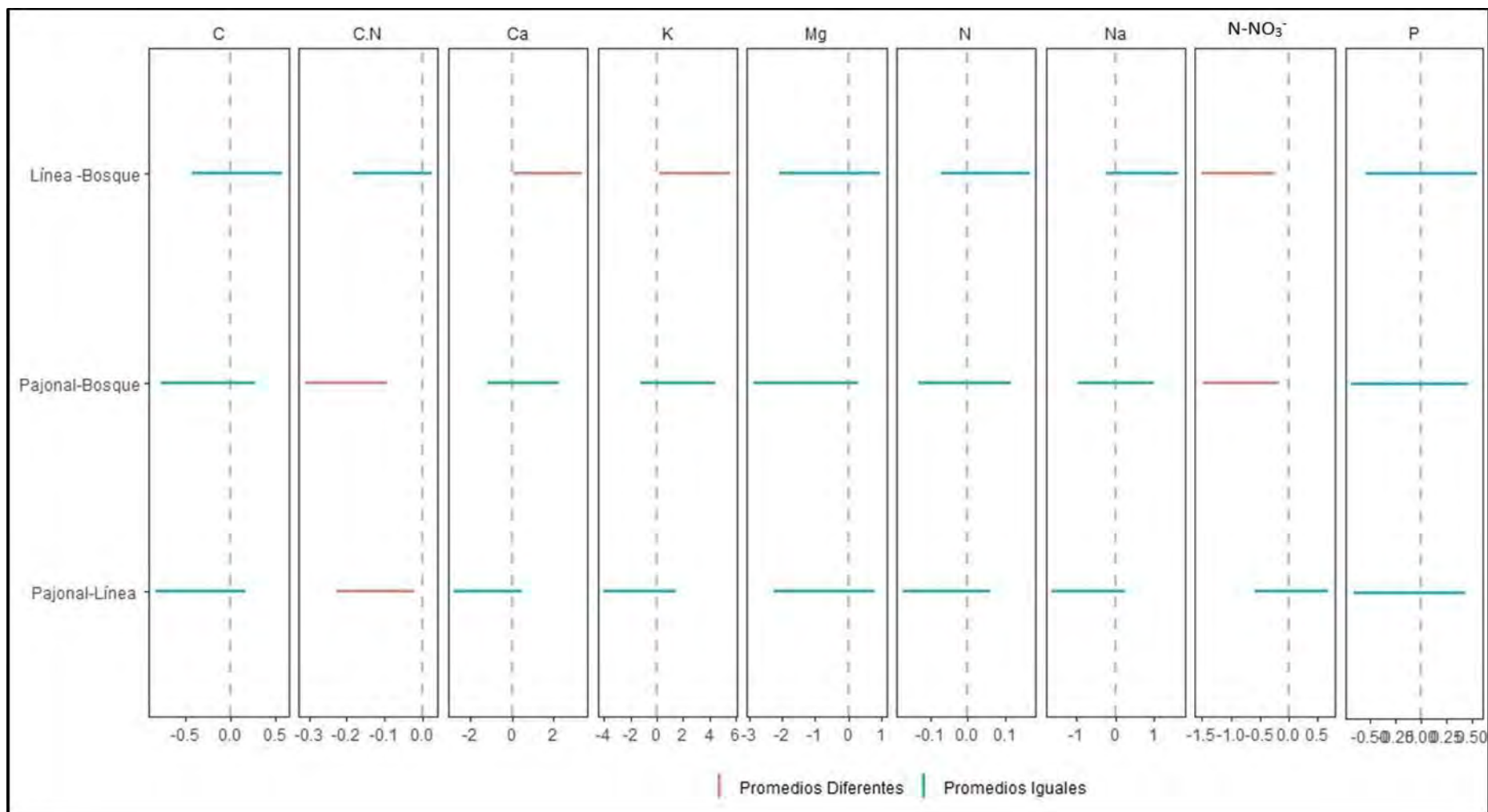


Figura 14. Análisis de Tukey para las variables medidas, Comparación de las diferentes variables entre formaciones vegetales realizada con la prueba de Tukey, que muestra la diferencia de medias. Las líneas rojas indica a las formaciones vegetales con diferencias significativas y las líneas azules muestra formaciones vegetales iguales.

4.1. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio, apoyan parcialmente la hipótesis planteada ya que solamente 5 parámetros (C/N, NO₃⁻, Ca, K y pH) de los 11 evaluados, muestran diferencias entre las formaciones vegetales comparadas. Esto puede deberse al hecho de que algunas propiedades son más dinámicas que otras, siendo por lo general las propiedades físicas las más estáticas, las químicas y biológicas dinámicas y muy dinámicas respectivamente (Moscatelli et al., 2017).

CARBONO (C)

Las diferencias no significativas que se encontraron en el contenido de carbono para las tres formaciones vegetales comparadas, son distintos a los resultados reportados por Zimmermann et al. 2010, quienes, en su estudio de stock de carbono en la parte alta del Parque Nacional del Manu, a una elevación entre los 2994 y 3860 msnm, encontraron diferencias significativas en la concentración de carbono entre el bosque y pajonal, los valores encontrados por Zimmermann en la concentración de carbono del bosque (24.47%), son más altos que los reportados en el presente estudio (14.88%) (Tabla 9). Estas diferencias encontradas en ambos estudios pueden deberse a las diferencias en los criterios de muestreos.

En el estudio realizado por Zimmermann *et al.* 2010, se realizaron muestreos diferentes profundidades (0-10cm, 10-30cm, 30-50cm, 50-70cm, 70-90cm), mientras que el presente estudio se tomó únicamente el horizonte "A" del suelo, que se encuentra por debajo de la capa orgánica u horizonte "O". Esta capa orgánica está ausente el pajonal, es muy delgada en el matorral (2-5cm), y de mayor profundidad en el bosque (20 cm en promedio), lo cual podría explicar las diferencias significativas encontradas por Zimmeman, al incluir en las muestras analizadas los 20 cm orgánicos pertenecientes al horizonte "O"

Ponette-González *et al.* 2016, también realizaron estudios de la química del suelo en el ecotono de línea arbórea de la cordillera oriental, concluyendo que no existe diferencias significativas en la concentración de carbono de suelo superficial entre las formaciones vegetales de bosque, matorral y pajonal, que presentan valores de 21.15%, 18.41% y 18.83% respectivamente, resultados similares a los encontrados en el presente estudio.

Müller *et al.* 2016 estudio las propiedades del suelo que podrían afectar la línea arbórea, en sus resultados encontró que la concentración de carbono en el suelo, disminuye ligeramente con la elevación, descartando diferencias significativas. Los resultados encontrados en el presente estudio muestran el mismo comportamiento en la concentración de carbono.

NITÓGENO (N)

Ponette-González *et al.* 2016, también realizaron mediciones de concentración de nitrógeno total en suelos, obteniendo valores de 1.35%, 0.89% y 0.73% para el bosque, matorral y pajonal respectivamente, los cuales no mostraron diferencias significativas. Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio ya que tampoco se encontraron diferencias significativas (Tabla 9)

RELACION CARBONO NITROGENO (C/N)

Como ya describimos anteriormente este parámetro guarda relación con muchas variables sobre todo la descomposición de la materia orgánica o mineralización, en este estudio los suelos de bosque y matorral mostraron los valores más altos en la relación C/N, respecto al pajonal. Los valores encontrados se encuentran en un rango alto aunque ligeramente inferior al encontrado por Zimmermann *et al.* 2010. Estos valores altos podrían significar deficiencia de nitrógeno lo cual conllevaría a una mayor tasa de inmovilización de nitrógeno y por consiguiente menor tasa de mineralización sobre todo en los bosques que muestran los valores más altos (Bengtsson, Bengtson, & Månsson, 2003; Janssen, 1996)

NITRATOS (N-NO₃⁻)

Los bajos niveles N-NO₃⁻ (entre 8 y 14.28ppm) que se encontró, puede deberse a la alta hidrosolubilidad del NO₃⁻, que sumada con los altos niveles de precipitación que caracterizan la zona de estudio provocando la pérdida de este nutriente por lixiviación. Estos bajos niveles también fueron reportados para este tipo de ecosistema por Ponette-González *et al.* 2016 (Tabla 9), quien también encontró mayor contenido de amonio (N-NH₄⁺) que de nitrato por lo cual sería una fuente alterna asimilable para las plantas.

La diferencia encontrada entre las formaciones vegetales, podría ser una respuesta al contenido de materia orgánica representado por el horizonte "O" el cual es muy profundo en los suelos de bosque, poco profundo en el matorral y está ausente en el pajonal. Esta gruesa capa orgánica es una fuente continua de nitrógeno orgánico disuelto el cual gracias a los microorganismos del suelo se transforma a amonio y nitrato mediante los procesos de amonificación y nitrificación respectivamente (Jones, Shannon, Murphy, & Farrar, 2004).

FOSFORO.

(Ponette-González et al., 2016) Encontró valores significativamente bajos en la concentración de fósforo del pajonal respecto al matorral y bosque, lo cual es contrastante con los valores obtenidos en el presente estudio ya que no se encontró diferencia significativa, con concentraciones bajas (3 ug/g) ya que el fósforo es un nutriente muy escaso en los ecosistemas edáficos (Mengel & Ernest A., 2001).

Esteban Suarez R. 2001 reporta valores Bajos de fósforo en los pastizales de paramo en Ecuador, encontrando puntos con alto contenido los cuales correspondían a zonas con incendios recientes. En este trabajo se encontraron algunos puntos altos en contenido de fósforo, pero no se evidenció señales de quema reciente.

CATIONES INTERCAMBIABLES.

Los datos disponibles acerca de los cationes intercambiables para este tipo de ecosistemas en distintas regiones muestran patrones muy variables incluso dentro de la misma región (Álvarez Arteaga et al., 2008; Müller et al., 2016; Ponette-González et al., 2016), ya que están muy relacionados con el material parental presente (Navarro & García, 2003), el cual es muy heterogéneo en este tipo de ecosistemas.

Sin embargo algunos resultados son comparables sobre todo respecto a la abundancia de estos cationes, en este estudio se encontraron valores comparable a los resultados encontrados por (Ponette-González *et al.* 2016) en la parte alta del Parque Nacional del Río Abiseo, a excepción del Ca el cual muestra valores bajos en nuestros resultados, que pueden ser el reflejo del tipo de roca presente y la acidez del suelo ya que el Ca es un nutriente escaso en suelos con alto nivel de acidez, lo cuales son

más ácidos en nuestra área de estudio que en la parte alta del Parque Nacional Río Abiseo, como veremos más adelante.

El sodio es otro elemento muy variable como se aprecia en los datos obtenidos en este estudio (Tabla 8), esto se debe principalmente al hecho de que el sodio es un elemento ampliamente distribuido en distintos tipos de roca y materia orgánica (L. Bohn et al., 2001),

POTENCIAL HIDROGENION.

En general los valores de pH obtenidos indican que son suelos muy ácidos, sobre todo en los bosques donde el pH llega a valores de 3.28, lo cual podría indicar la alta presencia de compuestos húmicos en estos suelos, ya que el H⁺ adsorbido por los compuestos húmicos se disocia más fácilmente llevando el pH a valores más ácidos (L. Bohn et al., 2001) a la vez estos niveles de acidez en los suelos están relacionados con la poca abundancia de Ca⁺ y Na⁺ lo que es apreciable en nuestros resultados (Tabla 7)

Ponette-González *et al.* 2016, encontró valores similares entre las tres formaciones vegetales estudiadas, estos valores son más elevados en comparación con el presente estudio (Tabla 09), lo cual puede ser un efecto de las altas concentraciones de Ca⁺ que encontró en su área de.

TEXTURA.

La textura mostró poca variación entre las distintas formaciones vegetales mostradas, los cuales se encuentran dentro del grupo de los suelos franco y franco limosos ya que este parámetro es poco dinámico a través del tiempo (Moscatelli et al., 2017)

Tabla 9. Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio con trabajos realizados en áreas similares (Ponette-González et al. 2016) o iguales (Zimmermann et al. 2010).

	Formación vegetal	Presente estudio	Zimmermann et al. 2010	Ponette-González et al. 2016
C%	Bosque	14.88	24.47	45.89
	Matorral	15.38	14.28	45.94
	Pajonal	12.74	10.19	45.59
N%	Bosque	1.05	1.4	1.35
	Matorral	1.14	0.89	0.89
	Pajonal	1.02	0.73	0.73
C/N	Bosque	13.98	17.2	-----
	Matorral	13.40	15.9	-----
	Pajonal	12.51	13.9	-----
N-NH₄⁻ (ug/gr)	Bosque	X	X	48.83
	Matorral	X	X	56.17
	Pajonal	X	X	69.66
N-NO₃⁻ (ug/gr)	Bosque	14.28	X	7.54
	Matorral	7.58	X	8.83
	Pajonal	8.13	X	10.34
Na (ug/gr)	Bosque	15.05	X	68.4
	Matorral	20.71	X	80.9
	Pajonal	14.63	X	90.1
K (ug/gr)	Bosque	137.94	X	208
	Matorral	211.15	X	152.4
	Pajonal	169.94	X	133.5
Ca (ug/gr)	Bosque	32.93	X	1684
	Matorral	54.67	X	1468.2
	Pajonal	36.91	X	1441.7
Mg (ug/gr)	Bosque	100.94	X	194.10
	Matorral	86.49	X	120.14
	Pajonal	73.06	X	89.21
pH	Bosque	3.28	X	4.3
	Matorral	3.51	X	4.4
	Pajonal	3.52	X	4.5

CONCLUSIONES.

1. Se determinó, que los suelos del ecotono de línea arbórea la parte alta del Parque Nacional del Manu tienen bajo contenido de nutrientes como nitratos, fosfatos y calcio, con valores promedio de 10.3, 2.85 y 42.6 ppm respectivamente. Mientras que los otros nutrientes tienen concentraciones normales.
2. Los suelos del ecotono de línea arbórea, tienen un valor promedio de pH de 3.74 lo cual representa niveles muy ácidos, mientras que la textura de estos suelos está comprendida entre suelos franco limosos y francos.
3. Dentro de los nutrientes comparados entre las formaciones vegetales de bosque, matorral y pajonal en el ecotono de línea arbórea, solamente la relación C/N, contenido de N-NO₃⁻ y contenido de iones Ca y K presentaron diferencias significativas entre los suelos de las tres formaciones vegetales. La relación C/N fue similar en los suelos de bosque y matorral, en ambos casos altos, mientras que el pajonal muestra los valores más bajos. El contenido de N-NO₃⁻ fue mayor en el suelo de bosque (14.28 ug/g), en comparación con el matorral y pajonal que muestran valores similares (7.58 ug/g y 8.13 ug/g respectivamente). Los cationes intercambiables Ca y K muestra patrones similares de concentración en las tres formaciones vegetales, ambos cationes, Ca y K, son más abundantes en el matorral (50.96 ug/g y 212.10ug/g respectivamente), y disminuyen en los suelos de pajonal y bosque, cuyos valores no mostraron diferencias. El pH de los suelos de bosque presentó niveles más altos de acidez más ácidos (2.8) al ser comparado con el matorral y pajonal (4.04 y 4.34 respectivamente).

RECOMENDACIONES

- Se sugiere continuar realizando mediciones de parámetros nutricionales y fisicoquímicas en suelos de línea arbórea, ya que la cantidad de información disponible aun es escasa para poder inferir patrones y predicciones en la dinámica del ecotono de línea arbórea.
- Realizar mediciones en campos complementarios como bioquímica y genómica que podrían ayudar a complementar y obtener mejores interpretaciones sobre los resultados obtenidos.
- Realizar estudios experimentales que puedan ayudar a entender la dinámica de los suelos en estos ecotonos.
- Afianzar los conocimientos en las diferentes técnicas utilizadas ya que ayudan a identificar posibles errores en la obtención de datos.
- Establecer más experimentos en campo ya que la observación in situ es la base para comprender los procesos ecológicos.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Allen V. Barker, D. J. P. (2015). *Handbook of plant nutrition-Taylor et Francis* (2nd Editio).
- Álvarez Arteaga, G., García Calderón, N. E., Krasilnikov, P. V., Sedov, S. N., Targulian, V. O., & Velázquez Rosas, N. (2008). Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juárez, Southern Mexico. *Geoderma*, 144(3–4), 593–612.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.025>
- Bader, M. Y., Van Geloof, I., & Rietkerk, M. (2007). High solar radiation hinders tree regeneration above the alpine treeline in northern Ecuador. *Plant Ecology*, 191(1), 33–45. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9212-6>
- Baillie, I. C., Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1990). Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. *The Journal of Ecology*, 78(2), 547.
<https://doi.org/10.2307/2261129>
- Barber, J., & Andersson, B. (1992). Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. *Trends in Biochemical Sciences*, 17(2), 61–66.
[https://doi.org/10.1016/0968-0004\(92\)90503-2](https://doi.org/10.1016/0968-0004(92)90503-2)
- Bengtsson, G., Bengtson, P., & Månsson, K. F. (2003). Gross nitrogen mineralization-, immobilization-, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 143–154.
[https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00248-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00248-1)
- Bubb, P., May, I., Miles, L., & Sayer, J. (2004). Cloud forest agenda.
- Cataldo, D. A., Haroon, M. H., Schrader, L. E., & Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.
<https://doi.org/10.1080/00103627509366547>
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009). *Los bosques montanos de los Andes tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y su vulnerabilidad a efectos del cambio climático. Serie Investigación y Sistematización #5. Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION., Quito, Ecuador.*
- D'Angelo, E., Crutchfield, J., & Vandiviere, M. (2001). Rapid, sensitive, microscale determination of phosphate in water and soil. *Journal of Environmental Quality*, 30(6), 2206–2209. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2206>
- Esteban Suarez R., G. M. (2001). Vegetation Structure and Soil Properties in Ecuadorian Paramo Grasslands with Different Histories of Burning and Grazing. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 33(2), 158–164.
<https://doi.org/10.2307/1552216>

- Janssen, B. H. (1996). Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil*, 181(1), 39–45. <https://doi.org/10.1007/BF00011290>
- Jenny, H., & Amundson, R. (1994). *Factor of Soil Formation, A System of Quantitative Pedology*.
- Jones, D. L., Shannon, D., Murphy, D. V., & Farrar, J. (2004). Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(5), 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.01.003>
- Köhler, L., Gieger, T., & Leuschner, C. (2006). Altitudinal change in soil and foliar nutrient concentrations and in microclimate across the tree line on the subtropical island mountain Mt. Teide (Canary Islands). *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 201(3), 202–214. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2005.07.003>
- Körner, C. (2012). *Alpine Treelines: Functional Ecology of the Global High Elevation Tree Limits*.
- Körner, C., & Paulsen, J. (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31(5), 713–732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2003.01043.x>
- Kronzucker, H. J., Coskun, D., Schulze, L. M., Wong, J. R., & Britto, D. T. (2013). Sodium as nutrient and toxicant. *Plant and Soil*, 369(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1801-2>
- L. Bohn, H., L. McNeal, B., & A. O'Connor, G. (2001). *Soil Chemistry* (3rd ed.).
- Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. <https://doi.org/10.1007/s13142-013-0222-3>
- Mengel, K., & Ernest A., K. (2001). *Principles of plant nutrition*. (T. Appel, H. Kosegarten, E. A. Kirkby, & K. Mengel, Eds.), *Nature* (5 th, Vol. 278). <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Moscattelli, M. C., Bonifacio, E., Chiti, T., Cudlín, P., Dinca, L., Gömöryova, E., ... Broll, G. (2017). Soil properties as indicators of treeline dynamics in relation to anthropogenic pressure and climate change. *Climate Research*, 73(1–2), 73–84. <https://doi.org/10.3354/cr01478>
- Müller, M., Schickhoff, U., Scholten, T., Drollinger, S., Böhner, J., & Chaudhary, R. P. (2016). How do soil properties affect alpine treelines? General principles in a global perspective and novel findings from Rolwaling Himal, Nepal. *Progress in Physical Geography*, 40*Little i*(1), 135–160. <https://doi.org/10.1177/0309133315615802>
- Navarro, S., & García, G. (2003). *Química Agrícola. Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 2).
- Osman, K. T. (2013). *Soils: Principles, properties and management. Soils: Principles, Properties and Management* (Vol. 9789400756). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5663-2>

- Ponette-González, A. G., Ewing, H. A., Fry, M., & Young, K. R. (2016). Soil and fine root chemistry at a tropical Andean timberline. *Catena*, *137*, 350–359. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.014>
- Rapp, J. M., & Silman, M. R. (2012). Diurnal, seasonal, and altitudinal trends in microclimate across a tropical montane cloud forest. *Climate Research*, *55*(1), 17–32. <https://doi.org/10.3354/cr01127>
- Rehm, E. (2015). Factors Affecting Current and Future Treeline Locations and Dynamics in the Peruvian Andes. *FIU Electron Ic Theses and Dissertations*, 1836. <https://doi.org/10.25148/etd.FI15032158>
- Saint, J. (2010). Nitrogen in Soil and Plant Tissue. LECO Corporation.
- Stadtmüller, T. (1987). *Bosques nublados en el trópico humedo-stadmuller.PDF* (Elizabeth).
- Sullivan, P. F., Ellison, S. B. Z., McNow, R. W., Brownlee, A. H., & Sveinbjörnsson, B. (2015). Evidence of soil nutrient availability as the proximate constraint on growth of treeline trees in northwest Alaska. *Ecology*, *96*(3), 716–727. <https://doi.org/10.1890/14-0626.1>
- Teramura, A. H., & Sullivan, J. H. (1994). Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. *Photosynthesis Research*, *39*(3), 463–473. <https://doi.org/10.1007/BF00014599>
- Wang, R., Wang, X., Jiang, Y., Cerdà, A., Yin, J., Liu, H., ... Li, M. H. (2018). Soil properties determine the elevational patterns of base cations and micronutrients in the plant-soil system up to the upper limits of trees and shrubs. *Biogeosciences*, *15*(6), 1763–1774. <https://doi.org/10.5194/bg-15-1763-2018>
- Webster, R. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis - Edited by M.R. Carter & E.G. Gregorich. *European Journal of Soil Science*, *59*(5). https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01052_5.x
- Weih, M., & Karlsson, P. S. (2001). Growth response of Mountain birch to air and soil temperature: Is increasing leaf-nitrogen content an acclimation to lower air temperature? *New Phytologist*, *150*(1), 147–155. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00078.x>
- Zimmermann, M., Meir, P., Silman, M. R., Fedders, A., Gibbon, A., Malhi, Y., ... Zamora, F. (2010). No differences in soil carbon stocks across the tree line in the Peruvian Andes. *Ecosystems*, *13*(1), 62–74. <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9300-2>

ANEXOS

Anexo 1. Solicitud de permiso de ingreso al Parque Nacional del Manu.

"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

Cusco, 21 de marzo del 2019

Señor:
Ing. John Flórez
Jefe del Parque Nacional del Manu.
Ciudad. -

Asunto: Solicito autorización de ingreso a la zona de Tres Cruces.

Es grato dirigirme a usted para expresarle un saludo cordial, e informarle que en el marco del proyecto: **Bosques Montanos Tropicales y Cambio Climático: Impactos micro ambientales, bióticos y humanos en la línea arbórea**, de acuerdo a la Resolución del Jefe del Parque Nacional del Manu N° 15-2018-SERNANP-PNM-JEF, se está realizando la instalación y el monitoreo de parcelas para evaluación de plántulas en bosques aledaños a la zona de Tres Cruces, por esta razón solicitamos nos pueda conceder autorización de ingreso los días 25 y 26 de marzo del 2019, a las siguientes personas:

Rudy Saul Cruz Chino DNI 46980169
Alex Nina Quispe DNI 42851346
Darcy Fernando Galiano Cabrera DNI 40837070
Norma Salinas Revilla DNI 23963740
Percy Chambi Porroa DNI 41398661 (Conductor)

Sin otro particular, me despido de usted, deseándole éxito en su gestión.


Atentamente,



Norma Salinas Revilla

*Dr. Norma Salinas
Senior Researcher
Laboratorio de Ciencias Ecosistemicas
Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables
Telef. 051-626 2000 anexo 4222-4212*

Anexo 2. Permiso de investigación Parque Nacional del Manu

	PERU	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado	Parque Nacional del Manu
---	------	-------------------------	---	--------------------------

AUTORIZACION ESPECIAL N°01-2019-SERNANP-JPNM/INV

A petición de Norma Salinas Revilla mediante Carta s/n del 21 de marzo del 2019 y de acuerdo a la RESOLUCION DEL JEFE DEL PARQUE NACIONAL DEL MANU N° 15- 2018 –SERNANP – PNM-JEF otorgado a la Sra. Norma Salinas Revilla, investigador principal de la investigación *"Bosques Montanos Tropicales y Cambio Climático: Impactos micro ambientales, bióticos y humanos en la línea arbórea"*, se autoriza ingresar al sector de Tres Cruces, ubicado al interior del Parque Nacional del Manu, con el objetivo de cumplir las actividades de la investigación indicada, por el período comprendido entre el 25 y 26 de marzo de 2019, a las siguientes personas:

NOMBRES Y APELLIDOS	NACIONALIDAD	DNIPASAPORTE/CE	CARGO
Norma Salinas Revilla	Peruano	23963740	Responsable
Alex Nina Quispe	Peruano	42851348	Colaborador
Darcy Fernando Galiano Cabrera	Peruano	40837070	Asistente
Rudy Saul Cruz Chino	Peruano	46980169	Asistente
Percy Orlando Chambi Porroa	Peruano	41398661	Asistente

El responsable y equipo se compromete a:

- Visitar sólo zonas autorizadas.
- No realizar actividades de fotografía y/o filmación con fines comerciales.
- No efectuar actividades de caza, pesca o recolección de especies silvestres de flora y/o fauna que no estén autorizadas por la jefatura del ANP.
- No ingresar armas de fuego.
- Prever todo lo relacionado al transporte (movilidad y combustible), logística de campo y alimentación.
- Acatar las disposiciones que emita la Jefatura, Especialista y el personal guardaparque del PARQUE NACIONAL DEL MANU.
- Otorgar las facilidades a las inspecciones que se efectúen por el personal guardaparque.
- No extraer materiales culturales, ni recolectar restos arqueológicos del ANP.



Es requisito indispensable el portar y presentar la presente autorización en el Puesto de Vigilancia y Control de Acjanaco, así como en los lugares donde sean requeridos dentro del ANP.

Debido a la geografía accidentada de la zona la cual determina un alto riesgo para la seguridad e integridad personal, el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNANP – Parque Nacional del Manu no se responsabiliza por accidentes o daños a los que pudieran estar expuestos el personal que integra el equipo de Investigación.

El incumplimiento de cualquiera de los puntos enumerados en las normas será causal para la anulación de la autorización concedida, la aplicación de las sanciones correspondientes y la negación de futuros ingresos de la persona considerada en el presente documento.

Se expide la presente de conformidad a la Ley 26834 Ley de Áreas Naturales Protegidas y su respectivo Reglamento D.S. 038-2001-AG.

Cusco, 22 de marzo de 2019


 MINISTERIO DEL AMBIENTE
 Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
 SERNANP

 Il. Ernesto J. Álvarez Leiva
 JEFE DEL PARQUE NACIONAL DEL MANU

CC. Arch

Av. Cinco Los Chachacomos N° F2-4
 URB. LANTAS VERDE
 San Jerónimo Cusco - Perú

Telefax: (084) 274500
 e-mail: emorez@sermanp.gob.pe
pnmanu@sermanp.gob.pe

Anexo 3. Fotografías del área de estudio que muestra las tres formaciones vegetales.

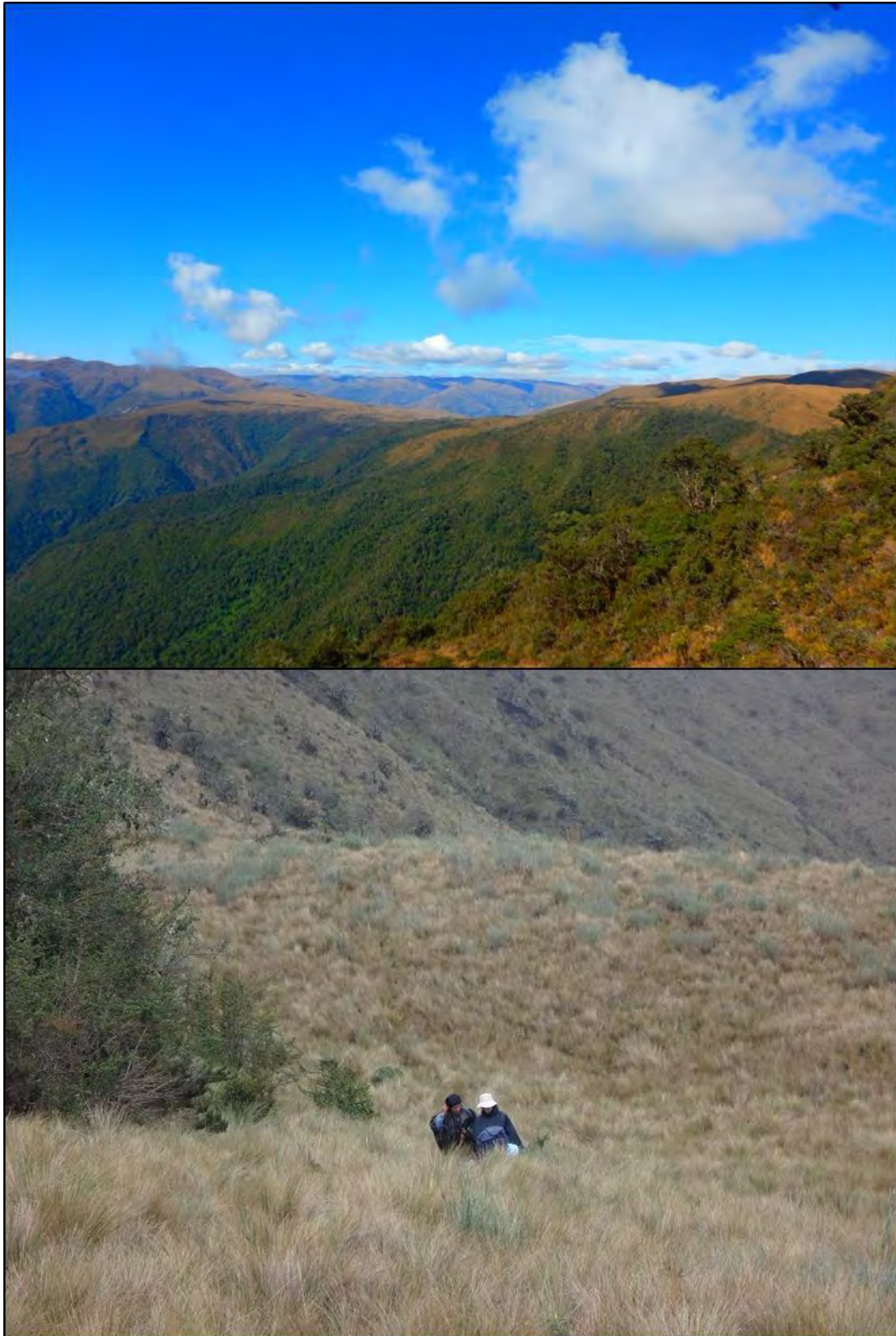


Figura 15. Línea arbórea en la localidad de Tres Cruces en el Parque Nacional del Manu



Figura 16. Matorral y pajonal en la localidad de Tres cruces.



Figura 17. Colecta de muestras utilizando el muestreador de barreno.

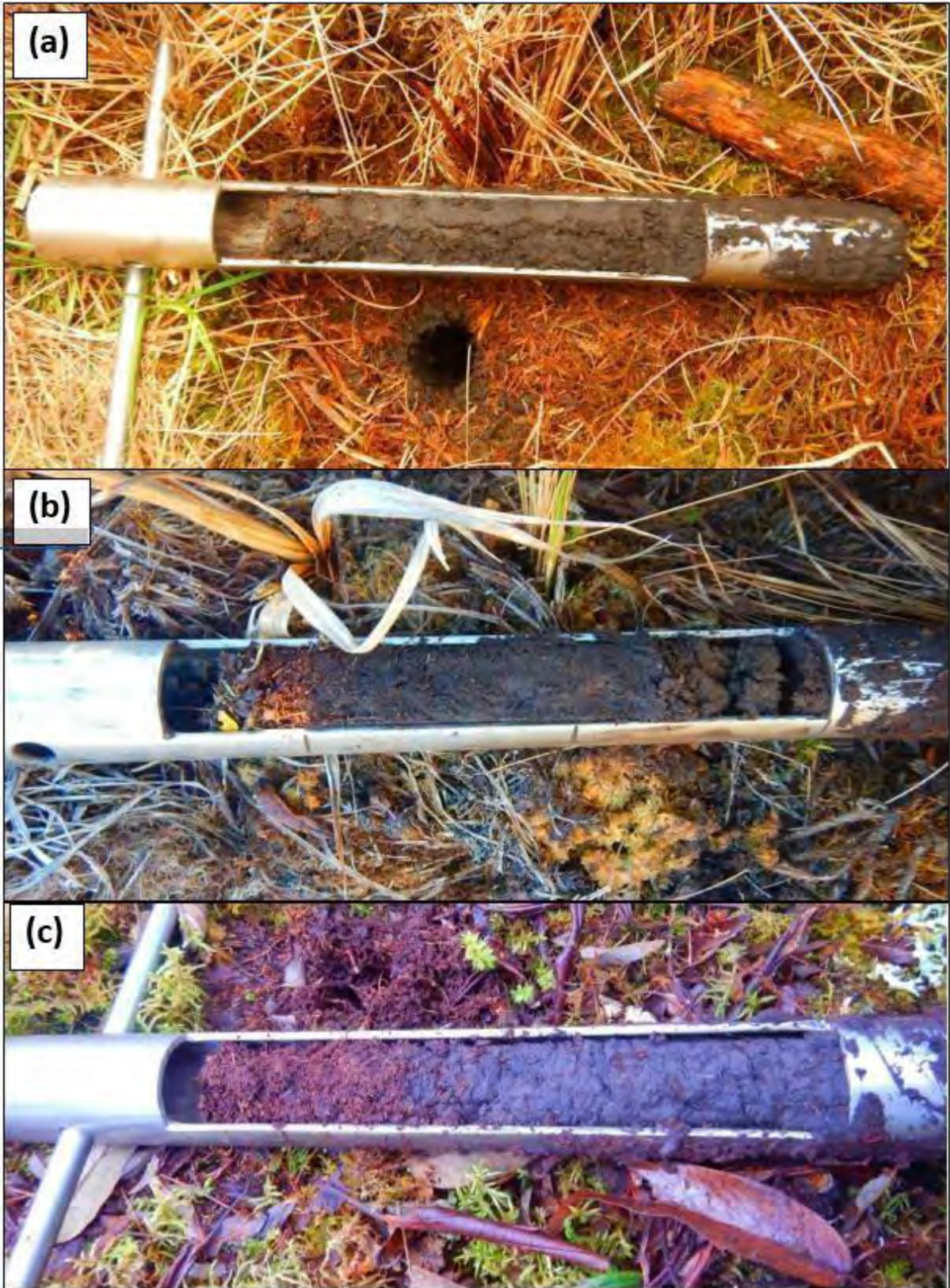


Figura 18. Muestras colectadas en las tres formaciones vegetales. (a) perfil de suelo de pajonal donde se aprecia únicamente el horizonte "A". (b) Perfil de suelo del matorral, coloración más oscura del horizonte "A" y un pequeño horizonte "O". (c) Perfil de suelo del bosque, donde se aprecia un mayor grosor del horizonte "O"

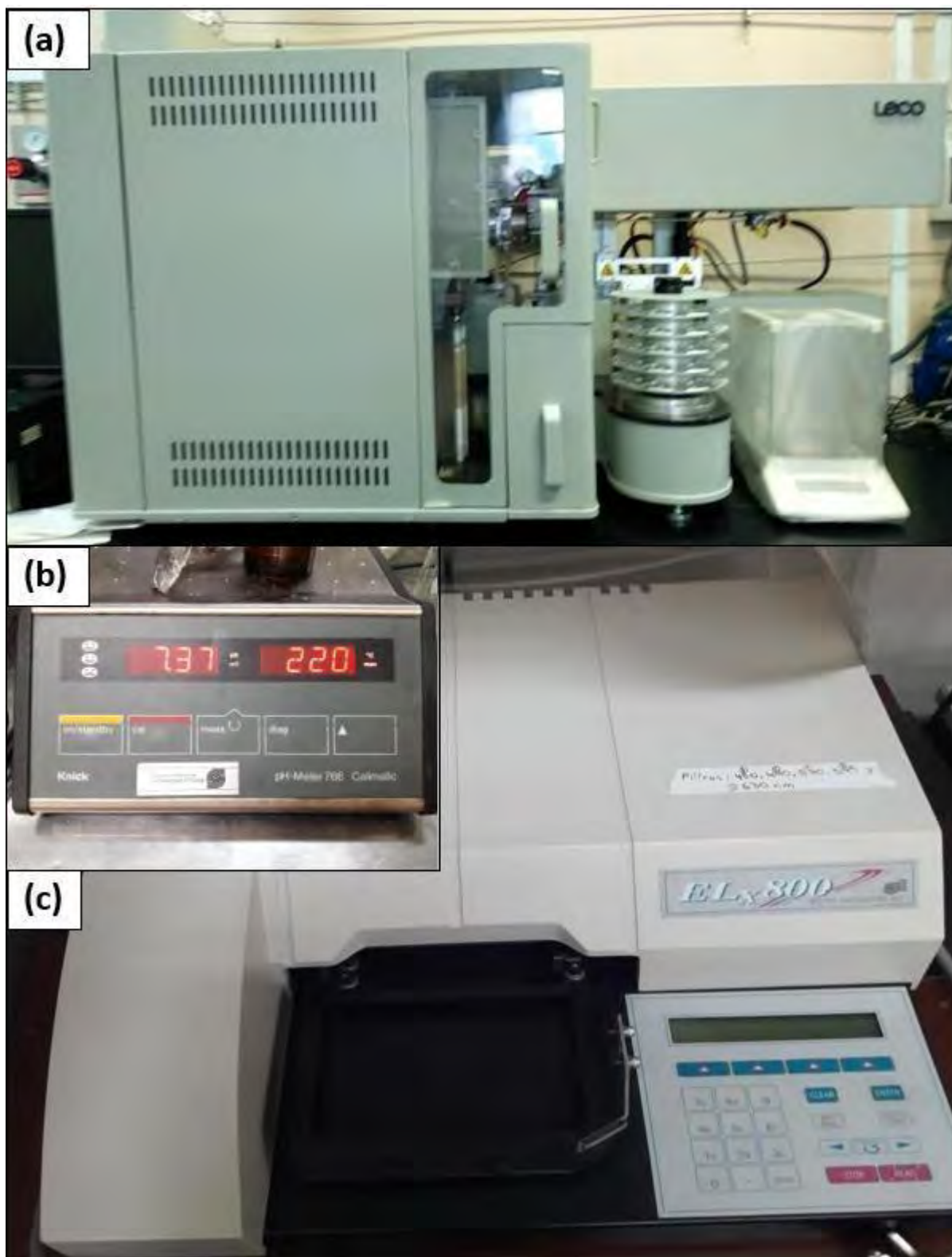


Figura 19. Instrumentos utilizados para los análisis de laboratorio. (a) analizador de carbono y nitrógeno TruMac CN. (b) pHmetro de laboratorio de la marca Knick. (c) Espectrofotometro con lector de multiplatos.

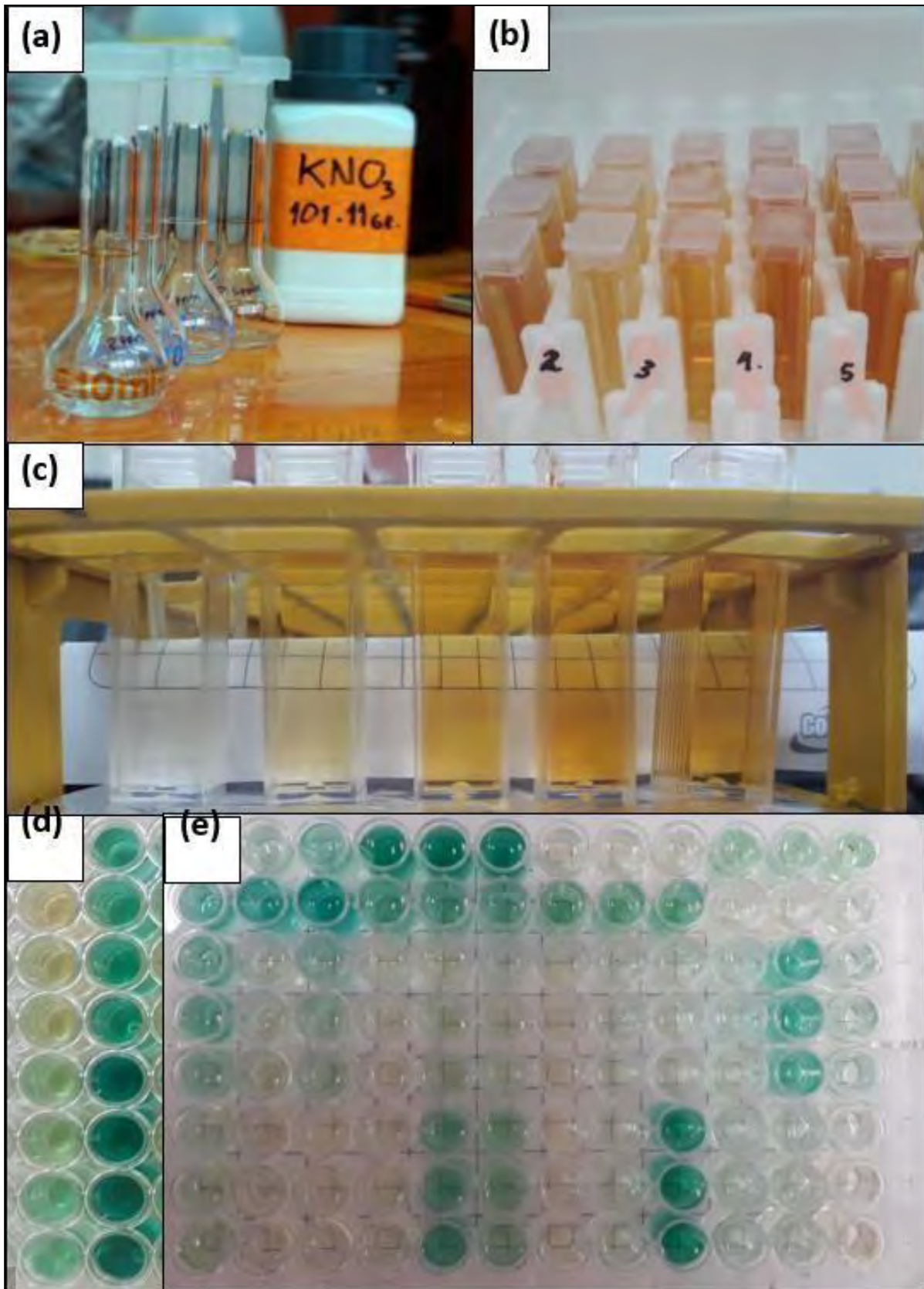


Figura 20. (a y c) preparación de curva de calibración para análisis de nitratos. (b) muestras listas para lectura de absorbancia en espectrofotómetro (nitratos). (d) Curva de calibración para el análisis de P. (e) Muestras preparadas para análisis de P.

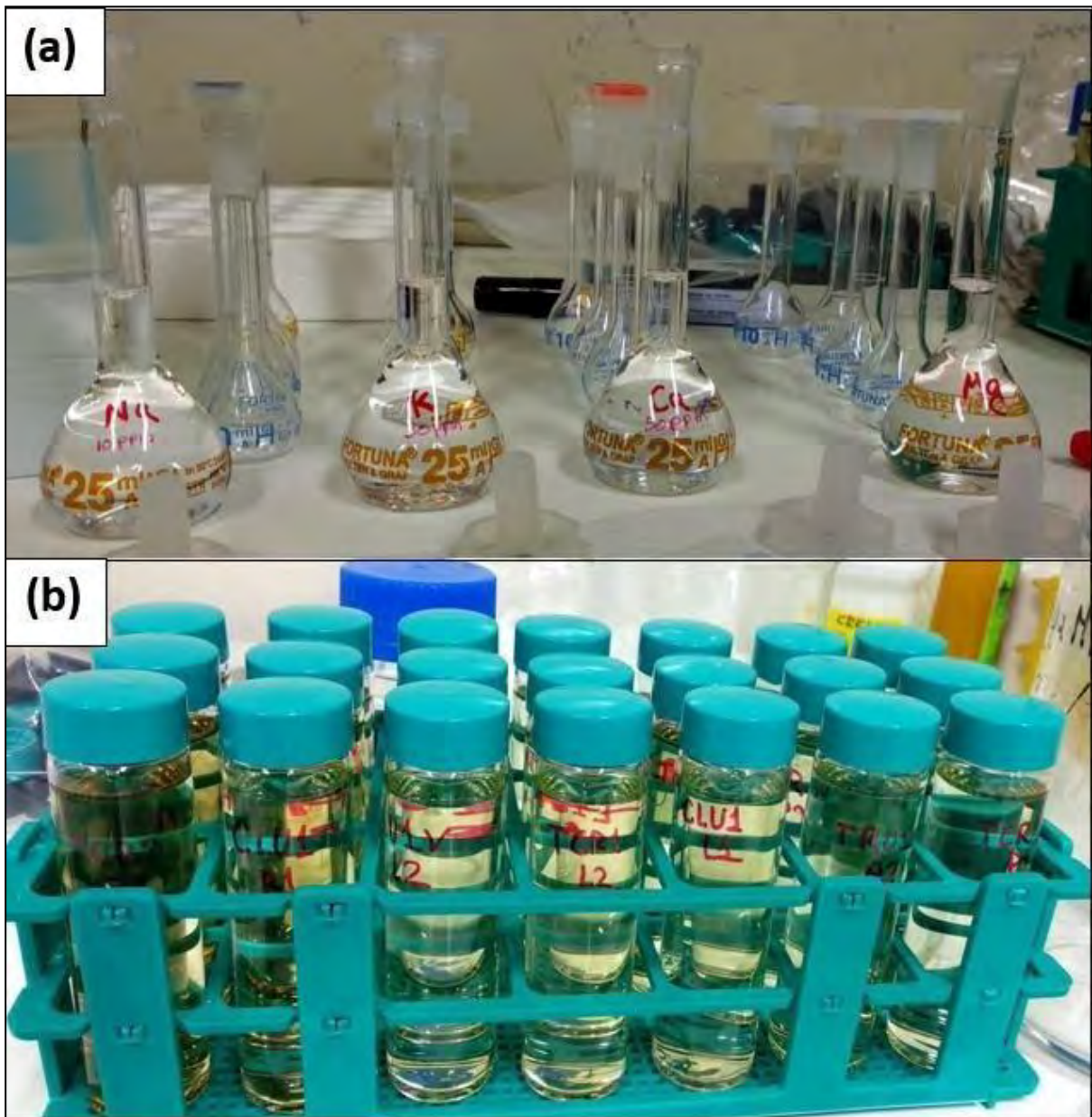


Figura 21. (a) Preparación de estándares de calibración para los análisis de Na, K, Ca y Mg. (b) muestras para análisis de cationes intercambiables con absorción atómica.

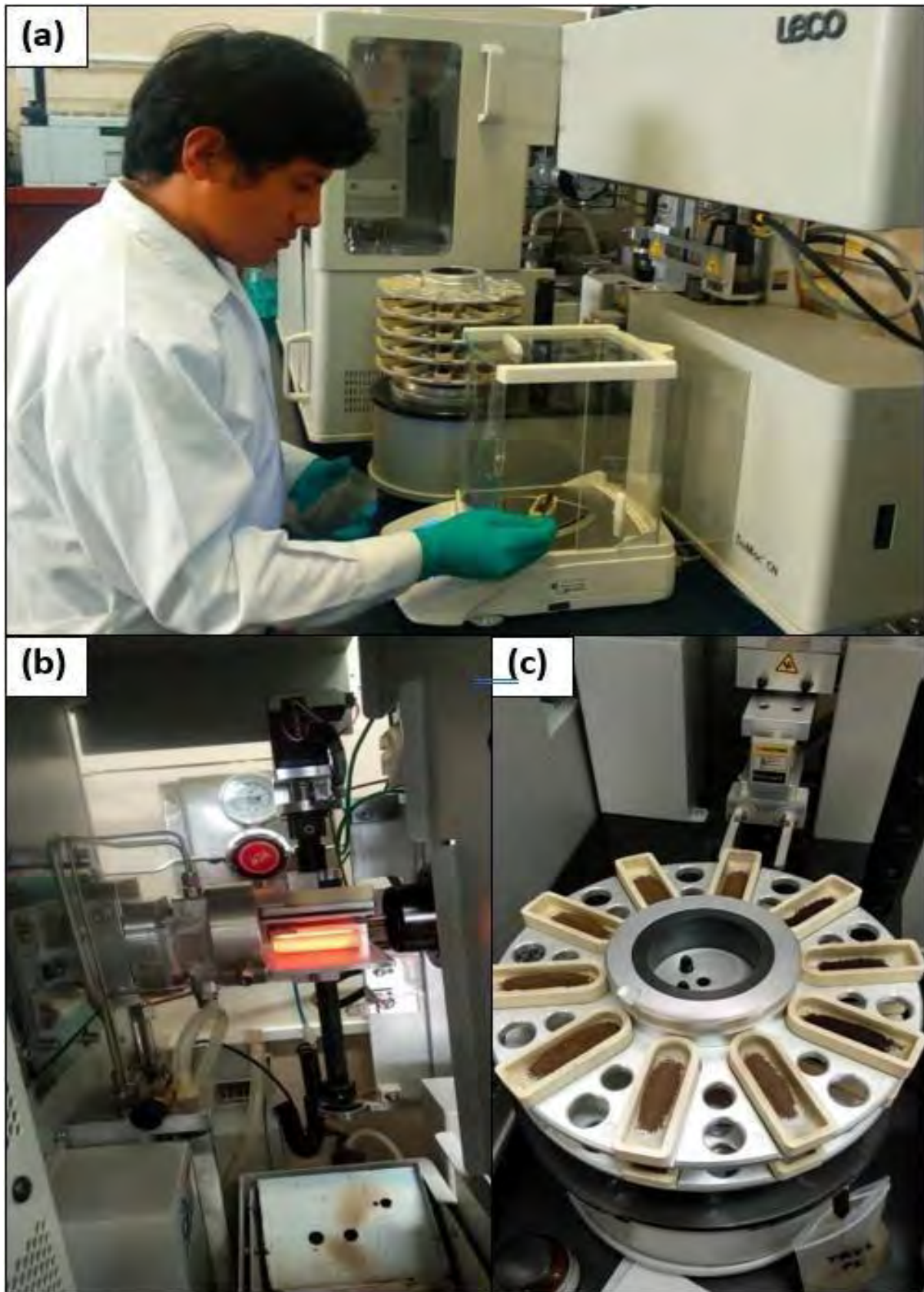


Figura 22. (a) Colocación de muestra seca de suelo en el carrusel del analizador de carbono y nitrógeno TruMac CN. (b) Extracción de cubeta después de la combustión en el horno del analizador de carbono y nitrógeno. (c) Carrusel portador de muestras del analizador de carbono y nitrógeno



Figura 23. Análisis de cationes intercambiables en el equipo de absorción atómica.