

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**



**“VARIABILIDAD ESPACIAL DE PROPIEDADES FÍSICAS Y
QUÍMICAS EN UN SUELO AGRÍCOLA EN EL VALLE DEL
MANTARO”**

Presentada por:

FRANCISCO JAVIER MOSQUERA LENTI

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS**

Lima - Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**

**“VARIABILIDAD ESPACIAL DE PROPIEDADES FÍSICAS Y
QUÍMICAS EN UN SUELO AGRÍCOLA EN EL VALLE DEL
MANTARO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

FRANCISCO JAVIER MOSQUERA LENTI

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Manuel Valencia Ramos

PRESIDENTE

Dr. Sady García Bendezú

PATROCINADOR

Mg.Sc. Julio Nazario Ríos

CO-PATROCINADOR

Dr. Constantino Calderón Mendoza

MIEMBRO

Mg.Sc. Luis Tomassini Vidal

MIEMBRO

DEDICATORIA

*A mi padre Alfonso por ser como fue,
inculcando el deseo de conocer lo que nos
rodea en libertad.*

*A mi madre y familia por su comprensión,
a Sandra mi compañera.*

AGRADECIMIENTO

A la escuela de postgrado de Suelos por brindarme la oportunidad de conocer un nuevo campo de estudio.

A mi patrocinador el Doctor Sady García por la paciencia y consejo en el desarrollo de la tesis.

Al proyecto OI-VLIR (Optimization and Implementation of green waste compost applications in sustainable agricultura in the high tropics) por el apoyo para la realización de la tesis.

A los demás miembros del jurado, por sus observaciones y consejos.

Al Ing. Mg. Sc. Julio Nazario y a la Ing. Pilar Galvez por su amistad y años de trabajo compartidos.

A mi hermano Felipe y Nani, por su apoyo y comprensión.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Variabilidad Espacial.....	3
2.2. Variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo.....	4
2.2.1. Contenido y tipo de arcillas.....	4
2.2.2. Densidad aparente.....	5
2.2.3. Humedad gravimétrica.....	6
2.2.4. Color del suelo.....	7
2.3. Variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo.....	10
2.3.1. Capacidad de intercambio catiónico.....	10
2.3.2. Reacción del suelo.....	11
2.3.3. Materia orgánica del suelo.....	13
2.3.4. Fósforo.....	14
2.3.5. Cationes metálicos.....	15
2.3.5.1. Potasio.....	15
2.3.5.2. Calcio.....	16
2.3.5.3. Magnesio.....	17

2.3.6. Microelementos.....	17
2.3.6.1. Hierro.....	18
2.3.6.2. Zinc.....	19
2.3.6.3. Cobre.....	19
2.3.6.4. Manganeso.....	20
2.3.6.5. Boro.....	20
2.4. Relieve.....	21
2.5. Material parental del valle del Mantaro.....	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Ubicación.....	23
3.2. Características generales de la zona de estudio.....	23
3.3. Historial del campo.....	24
3.4. Suelo.....	26
3.5. Distribución de cuadrículas en el área de estudio.....	29
3.6. Determinación de alturas relativas.....	31
3.7. Muestreo en campo.....	34
3.7.1. Densidad aparente y humedad gravimétrica del suelo.....	34
3.7.2. Determinación del color en húmedo y seco.....	34
3.7.3. Determinación de gravosidad.....	34
3.7.4. Análisis de caracterización del suelo.....	35
3.8. Análisis Estadístico.....	36
3.8.1. Análisis de regresión lineal.....	36
3.8.2. Análisis de componentes principales (ACP).....	38

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Correlación entre los parámetros seleccionados y las propiedades químicas analizadas.....	41
4.2. Correlación entre los parámetros seleccionados y las propiedades físicas analizadas.....	46
4.3. Correlación entre los parámetros seleccionados y los micronutrientes analizados.....	48
4.4. Comparación cualitativa entre el color del suelo y la altura relativa de la parcela en estudio.....	53
4.5. Análisis de resultados entre propiedades químicas y microelementos con respecto a la altura relativa.....	55
4.6. Análisis de resultados entre propiedades físicas y materia orgánica con respecto a la altura relativa.....	57
V. CONCLUSIONES	59
VI. RECOMENDACIONES	60
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
VIII. ANEXOS	64

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 : Colores asociados con los componentes minerales y orgánicos del suelo.....	8
Cuadro 2: Caracterización de suelos de la parcela estudiada.....	26
Cuadro 3: Características del perfil del suelo (Sector Aramachay pampa).....	27
Cuadro 4: Coeficientes de correlación lineal (r) entre algunos parámetros evaluados y propiedades químicas.....	42
Cuadro 5: Coeficientes de correlación lineal (r) entre algunos parámetros evaluados y propiedades físicas.....	45
Cuadro 6: Coeficientes de correlación lineal (r) entre algunos parámetros evaluados y el contenido de micronutrientes extractables (ppm).....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista panorámica de la comunidad campesina de Aramachay.....	23
Figura 2: Vistas panorámicas de la parcela en estudio. Izq.: durante la época seca. Der : durante la temporada de lluvias.....	25
Figura 3: Reconocimiento del perfil del suelo en la parcela estudiada: Arriba Izq.: Excavado de calicata, Der: Descripción del perfil. Abajo Izq.: porción de suelo orgánico extraída del horizonte enterrado, Der ; Perfil del suelo.....	28
Figura 4: Detalle del perfil del suelo en la parcela estudiada.....	29
Figura 5: Delimitación de la cuadrícula y altura relativa de muestreo.....	30
Figura 6: Croquis de distribución de las subparcelas en el campo.....	31
Figura 7: Comparación de alturas encontradas con respecto al valor 0 (subparcela # 51) en cm.....	32
Figura 8: Representación gráfica de la altura relativa de las subparcelas dentro del campo en estudio.....	33
Figura 9: Representación esquemática para la interpretación de un gráfico Biplot.....	40
Figura 10: Correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo (MO) en porcentaje y la capacidad de intercambio catiónica (CIC).....	43
Figura 11: Correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo (MO) y el calcio cambiante.....	43
Figura 12: Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y potasio disponible.....	44
Figura 13: Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y el potasio cambiante.....	44
Figura 14: Correlación entre la altura relativa y el contenido de materia orgánica del suelo (MO).....	47
Figura 15: Correlación lineal entre los contenidos de materia orgánica y de zinc extraíble en el suelo.....	49
Figura 16: Correlación lineal entre los contenidos de materia orgánica y de boro extraíble en el suelo.....	50
Figura 17: Correlación lineal entre los contenidos de materia orgánica y de hierro extraíble en el suelo.....	50

Figura 18: Correlación lineal entre el potencial de hidrógeno (pH) y el contenido de hierro extraíble del suelo.....	51
Figura 19: Correlación lineal entre los contenidos de arcilla y de hierro extraíble del suelo.....	52
Figura 20: Correlación lineal entre los contenidos de arcilla y de manganeso extraíble del suelo.....	52
Figura 21 Aproximación de los colores en seco de acuerdo al sistema Munsell en la distribución de las subparcelas en estudio.....	53
Figura 22: Alturas relativas para cada una de las subparcelas analizadas.....	54
Figura 23: Distribución de la altura (altura relativa) con respecto al punto más bajo encontrado....	54
Figura 24: Biplot de análisis de componentes principales para propiedades químicas y microelementos con la altura relativa.....	56
Figura 25: Biplot de análisis de componentes principales para propiedades físicas y materia orgánica con respecto a la altura relativa.....	58

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de suelos: Caracterización, muestras 1-13.....	65
Anexo 2: Análisis de suelos: Caracterización, muestras 14-26.....	66
Anexo 3: Análisis de suelos: Caracterización, muestras 27-39.....	67
Anexo 4: Análisis de suelos: Caracterización, muestras 40-52.....	68
Anexo 5: Análisis de suelos: Caracterización, calicata.....	69
Anexo 6: Análisis de suelos: microelementos, muestras 1-26.....	70
Anexo 7: Análisis de suelos: microelementos, muestras 27-52.....	71

VARIABILIDAD ESPACIAL DE PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS EN UN SUELO AGRÍCOLA EN EL VALLE DEL MANTARO

RESUMEN

Los suelos de regiones montañosas pueden mostrar una gran variabilidad espacial en sus propiedades, la que puede afectar los resultados en experimentaciones de campo. La variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en un suelo de la comunidad campesina de Aramachay (sierra central del Perú) fue evaluada con el fin de establecer las posibles interacciones entre propiedades y el relieve.

El campo en estudio fue subdividido en cuadrículas de 10 m x 10 m resultando 52 intersecciones. Muestras de la capa arable (20 cm) fueron tomadas en cada intersección. El color, la densidad aparente, humedad gravimétrica, pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, fósforo y potasio disponibles, cationes intercambiables y microelementos fueron determinados. Las variables cuantitativas fueron comparadas entre sí para determinar el grado de correlación lineal, y sometidas al análisis multivariado de componentes principales.

Los resultados mostraron una alta variabilidad espacial en la parcela estudiada, con una significativa correlación entre la variación del relieve y los diversos parámetros analizados, encontrándose correlaciones significativas entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, el calcio intercambiable y los contenidos de zinc y hierro. La materia orgánica se incrementó en las partes bajas de la parcela y disminuyó en las partes altas. Variables como la densidad aparente, el potasio extraíble, el potasio intercambiable, el manganeso y en menor grado el pH, estuvieron correlacionados positivamente con la altitud del terreno, encontrándose una disminución para cada uno de estos parámetros conforme la altitud decrece.

Palabras clave: *Variabilidad espacial, propiedades del suelo, correlación lineal, análisis de componentes principales.*

SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES IN AN AGRICULTURAL SOIL IN THE MANTARO VALLEY

ABSTRACT

Soils properties in mountain regions can show high spatial variability, which can affect the results of field research. The spatial variability of soil physical and chemical properties in a plot of the farm community of Aramachay (central Andes of Peru) was evaluated to establish possible interactions between them and landform.

The plot under study was divided in a 10 m x 10 m grid, resulting in 52 intersections. Soil samples were taken from the furrow slice (20 cm depth) at each intersection. Soil color, bulk density, gravimetric moisture content, pH, cation exchange capacity, organic matter content, available P (Olsen) and K (ammonium acetate), exchangeable cations and micronutrients, were analyzed. All quantitative variables were compared in pairs to determine the linear correlation and subjected to multivariate principal component analysis.

Results showed a high spatial variability in the plot, with a significant correlation between the landform variation and most parameters analyzed. Significant correlations were found between soil organic matter and cation exchange capacity, exchangeable calcium and the contents of zinc and iron. Soil organic matter increased in the lower parts of the plot and decreased in the upper parts. Variables such as bulk density, available potassium, exchangeable potassium, manganese and, to a lesser extent soil pH, were positively correlated with the terrain altitude, decreasing according to the altitude decrease.

Key words: *Spatial variability, soil properties, linear correlation, principal component analysis.*

I. INTRODUCCIÓN

Los estudios realizados en variabilidad espacial en el Perú son escasos y dirigidos esencialmente al rendimiento de ciertos cultivos, y en algunos casos a la clasificación de tierras, mientras que en latinoamérica existe una cierta tendencia hacia una mayor comprensión de dicha variabilidad principalmente en países como Uruguay, Argentina y Chile.

Es así que las propiedades físicas y químicas de los suelos de la región perteneciente a los valles interandinos del Perú, y su relación con la topografía, han sido aún, muy poco investigadas, teniendo el presente estudio como objetivo evaluar la variación espacial de las propiedades físicas y químicas en la capa arable de un suelo agrícola del valle del Mantaro, y determinar las interrelaciones significativas entre dichas propiedades y su relación con el relieve.

La sierra peruana caracterizada por un régimen hídrico marcadamente estacional con lluvias concentradas entre los meses de diciembre a marzo, es altamente susceptible a la erosión hídrica del suelo, especialmente apreciada como erosión laminar y por surcos; de otro lado el tipo de manejo en cuanto a la fertilización y las técnicas empleadas en los diferentes cultivos provocan directa e indirectamente, variaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas que, finalmente, repercuten tanto en la fertilidad como en la pérdida del suelo de la capa arable.

Se busca por tanto el desarrollo de prácticas agronómicas, que logren altos rendimientos con el menor impacto ambiental, como es la fertilización sitio-específica, que implica la evaluación de las relaciones espaciales de las propiedades de un suelo y su efecto sobre el rendimiento de un cultivo dado (Moreno, 2011).

El conocimiento de la variabilidad en áreas reducidas tanto en campos de cultivo como en zonas naturales, permite optimizar la utilización de recursos o acceder a dinámicas susceptibles de ser explicadas mediante modelos analíticos. Es por eso que se propone un trabajo de investigación del tipo exploratorio con los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas en un suelo agrícola en el valle del Mantaro y su relación con la topografía.

Objetivos específicos

- Evaluar la distribución espacial de ciertas propiedades físicas y químicas en la capa arable del suelo como son: color, densidad aparente, humedad gravimétrica, potencial de iones hidrógeno, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, fósforo y potasio disponibles, cationes cambiabiles y microelementos.
- Determinar las posibles correlaciones entre algunas de estas propiedades con el microrrelieve del terreno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Variabilidad espacial

El suelo es un cuerpo natural continuo que cubre la superficie terrestre, cuyas características difieren de un lugar a otro. Esto indica que en suelos vecinos se pueden encontrar diferencias graduales (Fernández, 2007). Tanto la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas como la variabilidad en cuanto a los rendimientos de un cultivo dado, son temas reconocidos desde hace varios años por los especialistas. Estas variaciones espaciales y su distribución son susceptibles de ser estudiadas a través de técnicas que permiten delimitar áreas de manejo homogéneas.

La variabilidad espacial de los suelos presenta dos componentes fundamentales: uno aleatorio y otro sistemático, teniendo en cuenta la fuente de error que produce la variación. Upchurch y Edmonds (1992), citados por (Fernández, 2007), definen la variabilidad sistemática, como aquella que puede ser atribuida a causas conocidas, entendibles y predecibles, mientras que cuando la variabilidad no puede relacionarse a causas conocidas, se le conoce como variabilidad aleatoria.

La variabilidad en rendimiento de algunos cultivos, puede explicarse por los componentes texturales y su variación con el componente topográfico (Bravo, 2011), siendo así que el rendimiento de los cultivos también varía espacialmente. Determinar cuándo y dónde las variaciones en las propiedades del suelo causan fluctuaciones en los rendimientos es un desafío que enfrenta la agricultura de precisión, entendiéndose esta como aquella agricultura que busca optimizar la gestión de una parcela desde el punto de vista agronómico, medioambiental y económico.

En general existe la tendencia a cambiar el sistema tradicional de aplicación de insumos, desde aquella que se hace bajo la suposición de que los terrenos presentan un potencial de rendimiento homogéneo, por otra suposición de mayor precisión, en que el aprovechamiento de los insumos se hace basado en el conocimiento de la variabilidad de respuestas dentro de un mismo lote, lo que podría permitir maximizar la respuesta económica en cada lugar (Bravo, 2011).

2.2. Variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo

2.2.1. Contenido y tipo de arcillas

El comportamiento químico, físico y aún biológico de los suelos se encuentra íntimamente ligado a la naturaleza de las arcillas presentes en el suelo. Características físicas y químicas tales como la estructura, permeabilidad, poder de retención de agua, erodabilidad, capacidad de intercambio catiónico, fijación y disponibilidad iónica, entre otros, dependen en gran medida de los minerales que constituyen la porción arcillosa del suelo (Iñiguez, 1970).

Es de esperar que al aumentar el contenido de minerales arcillosos de los suelos se obtenga un efecto de estabilización de la materia orgánica y un aumento en su contenido, debido a la presencia en muchos casos de radicales funcionales que conllevan a la adsorción y estabilización de sustancias húmicas (Fassbender, 1987).

Se considera además que la cantidad y tipo de arcillas en el suelo influye en la absorción y fijación de elementos como el fósforo y el potasio, siendo la reserva de potasio cambiante y no intercambiable dependiente de la cantidad y calidad de minerales arcillosos presentes en el suelo.

La fracción arcilla es definida como partículas de un tamaño menor de 2 μm , pero el uso de esta definición implica limitaciones ya que la fracción limo contiene minerales secundarios y posee cierta actividad fisicoquímica, y la fracción arcilla incluye minerales primarios de actividad muy reducida y casi nula (Dixon, 1992).

Las arcillas al estar formadas por capas en arreglos laminares de varios elementos químicos, como el oxígeno, el silicio y el aluminio en forma de capas de tetraedros de silicio y octaedros de aluminio, pueden mantener electrostáticamente iones como el potasio debido a las cargas eléctricas negativas situadas en la superficie o bordes de las láminas. La fuerza con que los iones de K son mantenidos, varía con el tipo de arcilla y la posición del ion en la misma (Conti, 2004).

2.2.2. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es un importante indicador de características del suelo como son: la porosidad, el grado de aireación y la capacidad de infiltración.

Los factores que la afectan son principalmente tres: la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica. Es así que suelos con texturas arenosas tienden a tener densidades mayores que suelos más finos; mientras que en suelos bien estructurados los valores son menores.

Los valores promedio de densidad aparente (g/cm^3) para rocas y minerales comprenden valores promedio de 2.65 g/cm^3 , para la fracción arena valores entre $1.7 - 1.9 \text{ g/cm}^3$, para un suelo de textura franca de $1 - 1.3 \text{ g/cm}^3$, y en el caso de suelos ricos en humus una densidad comprendida entre $0.8 - 0.9 \text{ g/cm}^3$. (Donoso, 1994)

El tamaño de los poros que generan las partículas de arcilla es extremadamente pequeño respecto al generado por partículas de arena, pero existe considerablemente mayor cantidad de poros en una muestra de textura arcillosa que en una muestra arenosa.

Las partículas de arcilla son generalmente planas y tienden a empaquetarse en forma desordenada. En este sentido son más eficientes en ocupar una unidad de volumen las partículas esféricas (forma aproximada de arenas y limos), resultando así en un empaquetamiento más denso que el de las partículas planas. Una gran proporción de limo, que no promueve la agregación, provoca un aumento de la densidad aparente al taponar los poros generados entre las partículas de arena; en cambio un incremento en las proporciones de arcilla y materia orgánica aumenta el volumen de pequeños poros y promueve la agregación, favoreciendo la estructuración y provocando una disminución de la densidad aparente (Sposito, 2008).

2.2.3. Humedad gravimétrica

La humedad del suelo es un factor ecológico de importancia fundamental, en especial aquella fracción de humedad que el sistema radicular de las plantas es capaz de utilizar y que tiene un rol indispensable en los procesos fisiológicos (Pavez, 2004).

La humedad gravimétrica del suelo, permite estimar la capacidad de retención de humedad que tiene un determinado suelo en un momento dado.

Dentro de los factores que influyen en el contenido de humedad de un suelo, se encuentran: la textura, la profundidad, el contenido de materia orgánica, la actividad biológica, el clima, la topografía y la cobertura del suelo, entre otros. Todos estos factores permiten una capacidad de retención de humedad, que a su vez puede o no proporcionar una mejora estructural.

Por otro lado, los sistemas de labranza de conservación o labranza mínima demuestran un incremento sustancial en la capacidad de retención de humedad del suelo con respecto a los sistemas de labranza convencional (Linn, Doran, 1984), lo que está asociado al incremento del contenido de carbono orgánico y a la mayor presencia de microporos en el suelo, que tienen un efecto directo sobre la humedad gravimétrica.

La incorporación de materia orgánica, el barbecho y la mayor actividad microbiana en el suelo debido a prácticas de conservación, no sólo mejoran la estructura del suelo, sino que permiten una mayor retención de humedad con las consiguientes mejoras en los cultivos y en el control de la erosión.

2.2.4. Color del suelo

El color del suelo permite una aproximación a ciertas características fundamentales en los suelos, como son: el contenido de materia orgánica, la humedad, la probable presencia de óxidos o hidróxidos, así como la evidencia de ciertos fenómenos de formación de los suelos. Ciertos minerales como los óxidos de hierro influyen en el grado y naturaleza de ciertos cambios inducidos por la humedad en el color del suelo (Bedidi, 1992).

El sistema de colores de Munsell es el de mayor uso para la clasificación de suelos. Considera como fundamentos el matiz (Hue), considerando 5 matices básicos: Rojo (R), Amarillo (Y), Verde (G), Azul (B) y Púrpura (P), así como los cinco matices combinados de los anteriores. Cada uno de los matices tiene diferentes tonalidades que se especifican mediante números entre 0 y 10. La claridad (Value) y la pureza (Chroma), se expresan en una escala lineal (Ovalle, 2003).

El color del suelo puede ser utilizado como una clave del contenido de ciertos minerales en el suelo, como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Colores asociados con los componentes minerales y orgánicos del suelo

Componente	Formula	Munsell	Color
Goethita	FeOOH	10YR 8/6	Amarillo
Goethita	FeOOH	7.5YR 5/6	Pardo fuerte
Hematita	Fe ₂ O ₃	5R 3/6	Rojo oscuro
Hematita	Fe ₂ O ₃	10R 4/8	Rojo
Lepidocrocita	FeOOH	5YR 6/8	Amarillo rojizo
Lepidocrocita	FeOOH	2.5YR 4/6	Rojo
Ferrihidrita	Fe (OH) ₃	2.5YR 3/6	Rojo oscuro
Glauconita	K(Si _x Al _{4-x})(Al,Fe,Mg)O ₁₀ (OH) ₂	5Y 5/1	Gris
Maghemita	Fe _{2.67} O ₄	2.5YR-5YR	Rojo
Sulfurode hierro	FeS	10YR 2/1	Negro
Pirita	FeS ₂	10YR 2/1	Negro(metálico)
Jarositita	K Fe ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂	5Y 6/4	Olivo pálido
Humus	---	10YR 2/1	Negro
Calcita	CaCO ₃	10YR 8/2	Pardo muy pálido
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	10YR 8/2	Pardo muy pálido
Yeso	CaSO ₄ .2H ₂ O	10YR 8/3	Pardo muy pálido
Cuarzo	SiO ₂	10YR 6/1	Gris

Fuente: modificado del NRCS-USDA (2002) (Natural Resources Conservation Services).

Sobre la base del origen de los pigmentos del suelo y su relación con determinadas condiciones ambientales, la variedad de colores básicos es la siguiente:

Color negro: Se asocia a la presencia de materia orgánica que se descompone en humus, dando la coloración negra al suelo. Este color ha sido asociado con niveles altos de materia orgánica en el suelo, condiciones de buena fertilidad, en especial presencia de cationes tales como el Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺, colateralmente tiene asociado otras condiciones físicas relacionadas con la materia orgánica, tal como la presencia de una buena estructuración del suelo y alta actividad biológica.

En otras oportunidades, cuando hay acumulación de Na^+ , por ser este un agente dispersante, el suelo aún con muy bajos niveles de materia orgánica, adquiere la coloración negra, pero tiene como condición asociada una muy mala condición estructural.

En general este color está asociado a la presencia de materia orgánica altamente descompuesta acompañada de carbonatos de calcio o magnesio, o de otros cationes como el sodio y el potasio.

Color rojo: Se asocia a procesos de alteración de los materiales parentales bajo condiciones de alta temperatura, baja actividad de agua, rápida incorporación de materia orgánica, alta liberación de hierro de las rocas (que es indicativo de condiciones de alta meteorización y se asocia a niveles bajos de fertilidad del suelo), pH ácido y ambientes donde predominan los procesos de oxidación.

En términos generales se asocia con la presencia de óxidos de Fe, como es el caso de la hematita.

Color amarillo a marrón amarillento claro: Por lo general es indicativo de meteorización bajo ambientes aeróbicos (oxidación), ocurre como en el caso de la goethita, donde cristales grandes de este mineral confieren una pigmentación amarilla al suelo, mientras que cristales pequeños de este mineral presentan tonalidades de color marrón. En general se asocia con la presencia de óxidos hidratados de Fe.

2.3. Variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo

2.3.1. Capacidad de intercambio catiónico

Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo que a su vez mantienen un equilibrio dinámico con la solución suelo para mantener la estabilidad del sistema. Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se unen a la superficie de las partículas, quedando débilmente retenidos para así poderse intercambiar en la solución del suelo.

En el suelo son varios los materiales que pueden intercambiar cationes. Los principales intercambiadores son las arcillas y la materia orgánica (ambos con propiedades coloidales).

Los orígenes para la carga eléctrica negativa en las arcillas, responsable de la capacidad de cambio de cationes incluyen a la sustitución isomórfica dentro de la red, la disociación de los hidroxilos (OH) de las capas basales, la existencia de bordes por ruptura de los cristales de arcilla (superficies descompensadas) y los enlaces de Van Der Waals. En el caso de la materia orgánica, las causas de intercambio son: la disociación de los grupos hidroxilos (OH), y la disociación de los grupos carboxilos (COOH).

En las arcillas además de estar en su superficie, los iones pueden encontrarse entre las láminas. Los cationes que frecuentemente ocupan las posiciones de cambio en los suelos son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{+2} y Zn^{2+} .

En los suelos ácidos predominan: H^+ y Al^{3+} mientras que en los suelos alcalinos predominan las bases, fundamentalmente el Na^+ y en los suelos neutros el Ca^{2+} .

De otro lado los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH. A pH bajos los hidrogeniones están fuertemente retenidos en la superficie de las partículas, pero a pH altos, los hidrógenos de los grupos carboxílicos primero y de los radicales hidroxilos después, se disocian y los H^+ pueden ser cambiados por cationes.

2.3.2. Reacción del suelo

En regiones donde las precipitaciones son intensas se produce un lavado de bases cambiables en el suelo. La percolación remueve los elementos que le confieren alcalinidad al suelo, tendiendo a la acidez. Este proceso que ocurre lenta pero sostenidamente en el tiempo, determina el reemplazo de estas bases por los cationes ácidos en la capa arable del suelo.

Los factores que influyen en el pH del suelo son:

- **La naturaleza del material parental:** tipo de minerales que lo conforman.
- **El complejo adsorbente:** depende de si se encuentra saturado con cationes de reacción básica (como el Ca^{+2} , Mg^{+2}) o de reacción ácida (H^{+} o Al^{+3}). Ya que bajo condiciones ácidas, el aluminio se encuentra soluble y en equilibrio con la solución del suelo como Al^{+3} contribuyendo a la acidez del suelo por su hidrólisis.
- **La materia orgánica.** El humus contiene grupos activos que se comportan como ácidos débiles liberando iones hidrógeno. La descomposición de los residuos orgánicos produce dióxido de carbono (CO_2), el cual se combina con agua para formar ácido carbónico. La disociación de este ácido débil, proporciona otra fuente de acidificación del suelo. El factor biótico: los residuos de la actividad orgánica que son de naturaleza ácida.

Por lo general se ha encontrado que en suelos ácidos a valores de pH menores de 5.0; se produce una acumulación de materia orgánica que se debe a diferentes razones; por un lado, el pH influye en el contenido y composición de los microorganismos del suelo, siendo las condiciones ácidas limitantes de la acción microbiana y de la microflora del suelo, en cambio favorecen la reproducción de hongos; resultando una menor eficiencia en la mineralización y humificación con la consecuente acumulación de la materia orgánica.

De otro lado, la reacción del suelo, determina la saturación del complejo de intercambio; ya que bajo condiciones ácidas se incrementa el aluminio cambiante, que además tiene un efecto estabilizante de los complejos órgano-minerales y a su vez, se producen deficiencias en Ca y Mg para los microorganismos llevando igualmente a una acumulación de carbono.

La acidificación del suelo es un proceso dinámico que engloba la acción de factores naturales (edáficos, climáticos y biológicos) y antropogénicos, que se traducen en un incremento de la acidez natural del suelo. Se ha establecido que los fenómenos naturales de declinación de la fertilidad y acidificación del suelo pueden ser acelerados con la práctica de la agricultura. Así, una agricultura intensiva, muy extractiva y sin reposición de bases, unida a la utilización masiva de fertilizantes de reacción ácida, ha agudizado y acelerado la manifestación de este fenómeno natural en los suelos.

Este proceso que también se da espontáneamente durante la pedogénesis; en que los minerales que constituyen las rocas dejan de ser estables cuando quedan sometidos, en la corteza terrestre a condiciones distintas a aquellas en las cuales se formaron (temperatura, presión, etc.), cambiando lentamente a estados químicos más estables.

Existen por tanto diversos factores naturales y antrópicos que condicionan la magnitud e intensidad del proceso de acidificación de los suelos (Sadzawka, 1999).

2.3.3. Materia orgánica del suelo

Está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo y representan la fracción químicamente más activa del suelo. En el horizonte Ap de suelos cultivados, el edafón constituye entre el 10 – 15 % de la materia orgánica.

El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable, alcanzando desde trazas en los suelos desérticos, hasta valores de 90 a 95 % en suelos turbosos.

El horizonte A de suelos explotados agrícolamente presentan por lo general valores entre 0.1 y 10 % de materia orgánica, cuyo contenido decrece con la profundidad en el perfil del suelo (Fassbender, 1987).

Las fuentes de carbono encontradas en los suelos incluyen: restos vegetales y animales recién depositados en el suelo, la fracción húmica en su proceso de mineralización y de humificación; así como formas inertes de carbono elemental, tales como el carbón y el grafito que algunas veces están en los suelos en grandes cantidades.

La importancia de la materia orgánica del suelo está dada por su influencia en la estructura del suelo, suministro de nutrientes, relación carbono / nitrógeno y el aporte de sustrato para los microorganismos. Así, la materia orgánica influye significativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Betancourt, 1999).

Igualmente, la materia orgánica influye sobre el color, cambiándolo a tonalidades pardo oscuras o negruzcas; la formación de agregados, favoreciéndola; la plasticidad y cohesión, reduciéndola; la capacidad de retención del agua, aumentándola; la capacidad de intercambio catiónico, incrementándola; el intercambio de aniones, especialmente fosfatos y sulfatos, incrementándolo; la disponibilidad de N, P y S, favoreciéndola a través de los procesos de mineralización; la regulación del pH a través del aumento de su capacidad tampón; incrementando la producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento, importante para la vida microbiana del suelo; participando en procesos pedogenéticos debido a sus propiedades de peptización, coagulación y formación de quelatos, entre otros.

Asimismo, los microorganismos como parte de la materia orgánica, desempeñan el rol de síntesis y degradación. Algunos microorganismos son autotrófos capaces de generar nueva materia orgánica a partir de CO₂, mientras que otros son organótrofos que participan en la biodegradación y reciclado de materia orgánica e inorgánica. De este modo, participan íntimamente en reacciones biogeoquímicas y en el caso de muchos elementos, son los únicos agentes biológicos capaces de generar estados de oxidación necesarios para las plantas (Brock, 1993).

2.3.4. Fósforo

A diferencia del nitrógeno y del azufre que son también elementos que se absorben en forma aniónica, el fósforo se diferencia en cuanto a su movilidad por ser un elemento poco móvil. La concentración de P total en el suelo varía entre 0.2 a 1.5 g/kg de suelo. Esta cantidad tiene poca relación con la disponibilidad de P para las plantas. Sólo un porcentaje muy bajo (entre 0.1 y 0.3 ppm) se encuentra realmente en solución, plenamente disponible para plantas y microorganismos.

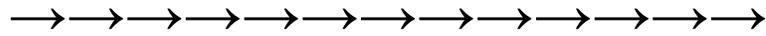
En la disponibilidad del fósforo influyen el pH del suelo, presencia de Fe, Al y Mn solubles, minerales de Ca y Mg solubles, cantidad y descomposición de materia orgánica y la actividad microbiana. En los suelos ácidos el P es fijado por compuestos de aluminio, hierro y manganeso; y en suelos alcalinos por el calcio, afectando su biodisponibilidad.

El fósforo presente en el suelo también se puede clasificar por su origen, como:

- **Fósforo orgánico:** puede representar alrededor del 50 al 60 % del total. Está presente en los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo. Los compuestos fosfatados más importantes de la materia orgánica son nucleoproteínas, fosfolípidos y azúcares fosfato. La mineralización es lenta y por vía microbiana. Este proceso está regido por la relación C/P de la materia orgánica, cuyo valor crítico es de aproximadamente 200.
- Al encontrarse en el humus del suelo, en diferentes niveles de estabilización, se distingue entre ellas sustancias más accesibles o lábiles (ácidos fúlvicos) y otras de menor accesibilidad o no lábiles (huminas), correspondiendo la siguiente relación:

Estructura del humus y accesibilidad de nutrientes

Huminas Ácidos húmicos Ácidos fúlvicos



Disponibilidad de nutrientes (N, P, S, etc)

- **Fósforo inorgánico:** Puede representar alrededor del 40 al 50 % del fósforo en el suelo. Se presenta como parte de los minerales primarios como en el caso de la apatita, como fósforo lábil adsorbido en las arcillas, fósforo en solución, aprovechable por las plantas como H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} , como fósforo no lábil (poco disponible) representado por fósforo precipitado y/o ocluido (Kuo, 1996).

Los principales procesos de salida de fósforo del suelo incluyen la extracción por el cultivo y las pérdidas por la erosión, la escorrentía y la lixiviación (Azabache, 2003).

2.3.5. Cationes metálicos

2.3.5.1. Potasio

El contenido promedio de potasio en el suelo es de alrededor de 19 g/kg. Las principales fuentes de potasio son: la meteorización de minerales (relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis), el contenido de minerales arcillosos (fuente principal de K en el suelo), la mineralización de los residuos orgánicos y la incorporación por el uso de fertilizantes.

El potasio en el suelo puede encontrarse como ión en la solución suelo como K^+ adsorbido (intercambiable), en la forma de K fijado (no intercambiable), así como K estructural (no intercambiable).

El potasio de la solución suelo más el K intercambiable es comúnmente denominado K “disponible” y se mide al evaluar la fertilidad del suelo.

Los análisis químicos muestran que el contenido de K total del suelo no es un índice de fertilidad para los cultivos ya que los suelos contienen K en diferentes formas. Una parte es extraíble por reactivos muy suaves tales como el agua o soluciones salinas diluidas y otra parte puede extraerse solamente con reactivos fuertes como por ejemplo el ácido nítrico (Conti, 2004).

Numerosas investigaciones demostraron que estas formas extremas difieren en la facilidad con la que las plantas pueden extraerlas.

2.3.5.2. Calcio

La mayor cantidad del calcio nativo del suelo se encuentra asociado a feldspatos, piroxenos, anfíboles y minerales arcillosos (Fassbender, 1987).

Los suelos en regiones húmedas pueden presentar un pH ácido en la capa arable, debido a la remoción de Ca y otros cationes por excesivo lavaje. Conforme el agua conteniendo CO₂, percola a través del suelo, el H⁺ formado desplaza el Ca²⁺ (y otros cationes básicos) del complejo de cambio, haciendo al suelo gradualmente ácido, como se sintetiza en la siguiente reacción:



El contenido de calcio depende principalmente del material parental, contenido de arcilla, materia orgánica, así como del grado de meteorización y lixiviación. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aún a valores bajos de pH.

Normalmente las cantidades de Ca²⁺ presente en los suelos excede las necesidades de los cultivos. Una parte importante es adsorbida por los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo, ocupando en promedio entre el 70 a 80 % de las posiciones de cambio de los coloides en suelos calcáreos.

Las formas más frecuentes encontradas en los suelos son: carbonatos, fosfatos, sulfatos, y algunos silicatos, y pueden estar unidos a los ácidos húmicos formando humatos.

2.3.5.3. Magnesio

El magnesio en el suelo proviene de la meteorización de rocas conteniendo minerales primarios como la biotita, hornablenda, dolomita, olivino y serpentina. Se le encuentra también en minerales secundarios como las arcillas clorita, illita, montmorillonita y vermiculita (Azabache, 2003).

Su contenido varía desde 1 g/kg en suelos arenosos de regiones húmedas a 40 g/kg en suelos de textura fina de zonas áridas, formados de material parental alto en Mg.

Durante la meteorización de los minerales, el Mg es liberado a la solución suelo, donde puede perderse por percolación, ser absorbido por organismos vivos, adsorberse al complejo de cambio o precipitar como minerales secundarios.

A su vez, el Mg^{2+} cambiante normalmente varía entre 4 a 20 % de la capacidad de intercambio catiónico (Azabache, 2003).

2.3.6. Microelementos

Los microelementos o micronutrientes aunque son de amplia distribución en los suelos, en muchos casos pueden estar ausentes o en bajo contenido, debido a que la roca madre de la cual se forma el suelo carece de ellos (Bidwell, 1993).

Están considerados como microelementos: hierro, zinc, cobre, manganeso, boro, cloro y molibdeno.

Los factores más importantes que influyen en la disponibilidad de los micronutrientes son el pH y la materia orgánica. La materia orgánica del suelo está dotada de propiedades complejantes para cationes, formando combinaciones con los iones metálicos como quelatos, siendo éstos complejos órgano-metálicos estables, donde el metal es insertado en una molécula complejante o quelatadora que adopta una forma en anillo en torno al ion metálico.

Los compuestos orgánicos del suelo con poder quelatante son numerosos: sustancias bioquímicas provenientes de organismos vivos (ácidos orgánicos, polifenoles, aminoácidos, proteínas, polisacáridos) así como polímeros complejos (ácidos húmicos y fúlvicos).

Dentro de estos, los complejos insolubles intercambiables corresponden sobre todo a los ácidos húmicos, los que son compuestos orgánicos heterogéneos, subproducto del metabolismo microbiano (Sposito, 2008).

El mayor interés de los fenómenos de quelatación proviene de que los microelementos metálicos pueden ser mantenidos en solución, en estado asimilable, en aquellos casos, en que debido a las condiciones del pH del suelo, estarían formando precipitados insolubles.

2.3.6.1. Hierro

La concentración de hierro en el suelo varía ampliamente, de 7 a 550 g/kg. La mayor parte se encuentra en minerales primarios, arcillas, óxidos e hidróxidos.

Las mayores deficiencias de Fe se encuentran en suelos alcalinos y calcáreos de regiones áridas.

En general, todo suelo contiene óxidos de hierro, aunque sea en pequeñas cantidades, ya sea recubriendo minerales primarios y secundarios o infiltrados en agregados de arcilla, alterando la carga eléctrica y modificando las propiedades de superficie de las partículas (Acevedo, 2004).

Las adiciones de materia orgánica a suelos bien drenados pueden mejorar la disponibilidad de Fe, debido a que pueden suministrar agentes quelatantes que ayudan a mantener la solubilidad de los micronutrientes.

De otro lado, los cristales de óxido de Fe, presentan una mayor área superficial que otros microelementos, lo cual aumenta la capacidad de adsorción de fosfatos del suelo.

Los contenidos de arcilla y materia orgánica influyen también en la disponibilidad del Fe. En los suelos arcillosos, existe una tendencia a retener el Fe (Sposito, 2008).

Por otra parte, la formación de óxidos de hierro en el suelo es afectada por la materia orgánica y las bacterias. El hierro forma quelatos metálicos con la materia orgánica y algunas bacterias participan en el ciclo del hierro.

La distribución de hierro extraíble depende de la presencia de la materia orgánica. Los ácidos húmicos del suelo son fuertemente adsorbidos o acomplejados con el hierro a pH mayor de 3.

Por tanto el hierro debería ser el catión principal que se uniera a la carga negativa de la materia orgánica y de las arcillas, sin embargo el Fe tiende a hidrolizarse dentro de innumerables formas: como policationes, hidróxidos y óxidos (Acevedo, 2004).

2.3.6.2. Zinc

El zinc en los suelos varía de 10 a 300 mg/kg con un promedio de 50 mg/kg. Las condiciones del suelo mayormente asociadas con deficiencias de Zn son: textura arenosa, pH neutro o básico, alto contenido de P disponible y subsuelo expuesto debido a erosión o nivelación.

Las formas del Zn en el suelo son: en solución; adsorbido en superficies de arcillas, materia orgánica, carbonatos, óxidos, acomplejado orgánicamente, substituyendo al Mg en las capas de arcilla y en minerales primarios y secundarios.

El contenido de Zn en la solución suelo es muy bajo, con más de la mitad acomplejada por materia orgánica, su solubilidad es dependiente del pH, disminuyendo cuando este se incrementa (Azabache, 2003).

2.3.6.3. Cobre

Los sulfuros son la principal fuente de suministro de cobre a los suelos, siendo los más comunes el sulfuro cuproso (Cu_2S), el sulfuro férrico-cuproso (FeCuS_2) y el sulfuro cúprico (CuS).

En la fase sólida del suelo se encuentra en su forma cúprica Cu (II), formando parte de las estructuras cristalinas de minerales primarios y secundarios.

Se encuentra en menor porcentaje en la materia orgánica y también fijado como catión intercambiable al complejo coloidal arcilloso.

En la solución suelo se encuentra fundamentalmente como Cu^{2+} y formando complejos estables con las sustancias húmicas del suelo (Betancourt, 1999).

2.3.6.4. Manganese

El manganeso es liberado a través de la meteorización de rocas primarias, se combina con O_2 y SiO_2 para formar varios minerales secundarios. El Mn está presente en los suelos en concentraciones que van desde 20 a 3000 mg/kg con un promedio de 600 mg/kg (Azabache, 2003).

El Mn en los suelos se presenta como óxidos e hidróxidos recubriendo las partículas del suelo y mezclado con óxidos de Fe. Se encuentra como Mn^{2+} en solución e intercambiable, enlazado orgánicamente, y como diferentes minerales.

Los principales procesos en este ciclo son de óxido reducción y complejación con quelatos orgánicos naturales. El reciclaje continuo de materia orgánica contribuye significativamente a la presencia de Mn soluble. Existen el suelo proveniente de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfatos.

Debido a sus diferentes grados de oxidación (II, III y IV) y la propiedad de pasar con facilidad de unas formas a otras, el comportamiento del Mn en el suelo es complejo.

Las formas en que se puede presentar en el suelo son: como ion manganeso Mn^{+2} en la solución suelo, intercambiable y disponible para las plantas, óxidos e hidróxidos o asociados a hidróxidos de hierro, sales poco solubles (fosfatos de Mn (II) y Mn (III)) y como carbonatos de Mn (II) sobre todo en suelos calizos y alcalinos, así como también formando parte de compuestos orgánicos.

2.3.6.5. Boro

El boro es el único elemento no metálico entre los micronutrientes. La concentración total de B en los suelos varía de 2 a 200 mg/kg, y frecuentemente varía de 7 a 80 mg/kg, aunque estos valores varían dependiendo del tipo de roca madre, en promedios entre 3 y 10 mg/kg, considerando rocas ácidas, básicas y sedimentarias (Fassbender, 1987).

El B existe en el suelo en cuatro formas principales: en rocas y minerales, adsorbido sobre superficies de arcilla y óxidos de Fe y Al, combinado con materia orgánica y como ácido bórico (H_3BO_3) y $B(OH)_4^-$ en la solución suelo (Azabache, 2003).

El contenido de B en el suelo depende de los materiales originarios, por lo que el boro que forma parte de estos minerales y no se encuentra disponible para la planta, al menos en el corto plazo.

El B se encuentra en la solución suelo como ácido bórico, formando complejos con Ca o unido a compuestos orgánicos solubles.

2.4. Relieve

El relieve como conformación de la superficie terrestre, está constituido por diferencias de altitud de las diversas zonas que presenta, considerando según las diferencias de desnivel tres clases de relieve: macrorrelieve (desniveles de centenares de metros que definen la configuración de un territorio), mesorrelieve (variación de altitud de algunos metros en superficies muy extensas) y microrrelieve (diferencias de nivel en superficies muy reducidas de sólo metros de distancia), aunque el criterio para establecer límites en las distintas clase, varía según los autores.

De otro lado el relieve como factor de formación del suelo (Jenny, 1941), influye en diferentes aspectos relacionados como son la pendiente y la exposición a la radiación.

Debido a su relación con la exposición e inclinación del suelo, que a su vez afecta el microclima y determina también en parte el grado de erodabilidad, el relieve de un terreno ejerce una influencia directa en muchos factores físicos como químicos.

Así, por efecto de la erosión se depositan en el fondo de los valles las capas superficiales de los suelos de las zonas altas que provocan un aumento del contenido de carbono, se da también una disminución de este contenido en la zona alta de las colinas. Este efecto se ha comprobado mediante el estudio de catenas en suelos tropicales (Di Pietro, 1986)

Diversos estudios sostienen la relación entre la materia orgánica y el relieve, por ejemplo en un estudio realizado en Paraguay, donde se explica que los mayores contenidos de materia orgánica obedecen principalmente a dos causas:

Primero, a la posición fisiográfica que está ocupando el suelo, ubicado en una zona de depresión; y segundo, que esta zona de depresión aunque en su extensión tenga pendiente muy ligera, no sufre prácticamente el arrastre de sedimentos, sino más bien, actúa como

lugar de depósito de los materiales orgánicos y sedimentos minerales transportados por el flujo de agua desde las partes más altas. Debido a que los suelos que ocupan posiciones más elevadas experimentan una pérdida gradual de sedimentos orgánicos e inorgánicos, principalmente de las capas superiores, los que son depositados progresivamente en las zonas de depresión y/o acumulación, aumentando así su contenido de materia orgánica (Encina, 1999).

2.5. Material parental del valle del Mantaro

En este sector del valle del Mantaro, se han diferenciado tres formaciones bien caracterizadas: Chambará, Aramachay y Condorsinga (Martínez, 1978).

Los suelos analizados en el presente estudio derivan de rocas pertenecientes a la formación Aramachay, la cual es reconocible por sus afloramientos menos resistentes a la erosión, donde sus estratos están generalmente limitados por superficies de estratificación planas y paralelas. Conformada por limonitas fosfáticas, intercaladas con lutitas silíceas, que con el intemperismo adquieren coloración verduzca y esquistos de color marrón rojizo.

De otro lado, el tope de la formación está conformado por un grupo macizo de areniscas de 10 metros de espesor.

Así, la formación Aramachay, se encuentra entre los bancos calcáreos del Triásico y Liasico superior. Formado principalmente por lutitas negras, calizas y lodos bituminosos con esquistos y material rico en fosfatos, vanadio, selenio y otros minerales. La sedimentación parece haber tenido lugar en un medio marino de condiciones euxínicas (condiciones reductoras anaeróbicas).

En la región central se ha encontrado amonitas, clasificados en la familia Arietitidae, pertenecientes al Jurásico Inferior (Grose, 1989).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El trabajo de investigación se ejecutó en la parcela agrícola del Sr. Juan Paitán Huaylinos, ubicada en la comunidad campesina de Aramachay, distrito de Sincos, provincia de Jauja, departamento de Junín (Figura 1). La ubicación geográfica es 11° 54' 45.7" Latitud Sur, 75° 24' 44.0" Longitud Oeste. La altitud es de 3707 m.s.n.m. el área de la parcela es de 5200 m².



Figura 1: Vista panorámica de la comunidad campesina de Aramachay

3.2. Características generales de la zona en estudio

La comunidad campesina de Aramachay, se encuentra en la margen derecha del Valle del Mantaro. La altitud varía entre 3700 a 3780 m.s.n.m.

La zona en estudio presenta un clima templado cálido con invierno seco (Cw), de acuerdo a la clasificación climática de Köppen-Geiger (Kottek, 2006).

De acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica semiautomática instalada en la comunidad, la precipitación acumulada anual entre los años 2005 – 2008 tuvo un promedio de 706 mm (García, 2011).

Las precipitaciones son marcadamente estacionales, con una estación lluviosa entre octubre y marzo y una estación seca entre abril y septiembre. Aproximadamente 83 % de la precipitación anual corresponde a la época lluviosa (Ibíd.).

La temperatura promedio anual es de 9,8 °C, con oscilaciones medias mensuales de 8.1 a 11.8 °C en los meses de julio y noviembre, respectivamente. Los promedios de temperaturas mínimas y máximas mensuales son de 2.2 y 19.7 °C.

La humedad relativa media anual varía entre 61 y 68 %, pero puede variar a través del día entre 29 a 93 %. El brillo solar alcanza 2000 horas durante el año. La integral de luz calculada a partir de los datos del SENAMHI, varía entre 17 a 21 MJ/m²/día, indicando alta disponibilidad de energía para la agricultura.

La zona de vida de acuerdo a la clasificación de Holdridge, corresponde a estepa montana subhúmeda con clima frío.

En base al mapa ecológico del Perú corresponde a la zona de vida de bosque húmedo-montano tropical con un promedio anual de 750 mm de precipitación y 9° C de temperatura.

La litología de la zona corresponde a areniscas calcáreas de color negro y depósitos calcáreos y depósitos fosfatados que datan del jurásico, que son característicos de la formación Aramachay (Grose, 1989). También se presentan depósitos geológicos fluvioglaciares del Cuaternario.

3.3. Historial del campo

Al momento de muestreo, el campo se encontraba cultivado con quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Huancayo, la cual fue sembrada el 16 de octubre de 2005. El área sembrada fue de 4820 m² (Figura 2). Las campañas anteriores incluyeron los cultivos de papa y cebada. Durante el muestreo del suelo la quinua se encontraba en etapa de llenado de granos.



Figura 2: Vistas panorámicas de la parcela en estudio. Izq: durante la época seca. Der: durante la temporada de lluvias

3.4. Suelo

La capa arable del suelo (0–25 cm) es de textura Franco Arcillosa. Los resultados del análisis químico efectuado a una muestra antes de la campaña se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Caracterización de suelos de la parcela estudiada

Característica	Unidad	Valor	Clasificación
Arena	%	32	--
Limo	%	38	--
Arcilla	%	30	--
Clase textural	--	--	Franco arcilloso
pH _(1:1)	--	5.1	Fuertemente ácido
CE _(1:1)	dS m ⁻¹	0.5	No salino
CaCO ₃	%	0.0	No calcáreo
Materia orgánica	%	2.5	Medio
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹	27.3	Alto
Potasio disponible	mg kg ⁻¹	109	Medio
CIC	cmol _c kg ⁻¹	23.68	Muy alta
Ca ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	17.20	Normal
Mg ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	2.26	Normal
K ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0.38	Escaso
Na ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0.15	Escaso
Al ³⁺ + H ⁺	cmol _c kg ⁻¹	0.40	Bajo
PSB	%	98.04	Elevado
PAC	%	1.96	Bajo

Fuente: LASPAF-UNALM, 2006 (Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes)

La clasificación del suelo se realizó de acuerdo al sistema de taxonomía del suelo, edición número 12, para lo cual se realizó la respectiva calicata (figura 3), cuyos resultados se observan en el Cuadro 3 (Perfil modal).

Las características reconocidas en campo, así como los análisis de caracterización, indican un perfil de suelo enterrado ya que presenta un horizonte con características de epipedón en el tercer horizonte (Ab) al presentar una estructura granular fina y una coloración más oscura, además de un alto contenido de materia orgánica (15.6 %).

El suelo enterrado está presente por debajo de los 50 cm por lo que se procede a clasificar los horizontes por encima de éste.

Cuadro 3: Características del perfil del suelo (Sector Aramachay pampa)

Horizonte	Profundidad (cm)	Características
Ap	0 – 25	Franco Arcilloso; color pardo (10YR ⁵ / ₂) en húmedo; estructura granular fina moderada, consistencia friable en húmedo, contenido medio de materia orgánica (2.0), con abundante cantidad de raíces finas y medias, reacción fuertemente ácida (5.15), no calcáreo, no salino y no sódico. Límite claro al:
C	25 – 70	Franco arcilloso; color gris oscuro (10YR ³ / ₁) en húmedo; masivo, consistencia firme en húmedo, contenido medio de materia orgánica (2.7), reacción fuertemente ácida (5.45), con pocas raíces finas. Límite abrupto al:
Ab	70 – 90	Franco; color negro (10YR ² / ₁) en húmedo; estructura granular fina moderada, consistencia firme en húmedo y ligeramente adhesiva en mojado, contenido muy alto de materia orgánica (15.6), reacción moderadamente ácida (5.71), sin raíces. Limite abrupto al:
Bb	90 – 120	Arcilloso; color pardo grisáceo (10YR ⁴ / ₃) en húmedo. Estructura en bloques subangulares medios, moderados a masivo, consistencia adhesiva en mojado, contenido medio de materia orgánica (2.6), reacción moderadamente ácida (5.82), sin raíces.



Figura 3: Reconocimiento del perfil del suelo en la parcela estudiada: Arriba Izq: Excavado de calicata, Der: Descripción del perfil. Abajo Izq: porción de suelo orgánico extraída del horizonte enterrado, Der : Perfil del suelo



Figura 4: Detalle del perfil del suelo en la parcela estudiada

Así tomando como base la edición número 12 del Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), el epipedón encontrado es un epipedón **Ocrico** a pesar de presentar características similares al epipedón **Mollico**, pero con la diferencia de tener coloraciones más claras ($10YR^{5/2}$) en húmedo.

Se ha mencionado que en suelos aluviales enterrados, los contenidos de materia orgánica son frecuentes, cuando provienen de ambientes yesíferos (Laya, 1990).

Por tanto el orden corresponde a un **Entisols**. El suborden corresponde a un **Orthents**. Como Gran Grupo se clasifica como un **Ustorthents**, al tener un régimen de humedad ústico y como subgrupo corresponde a un **Typic Ustorthents**.

3.5. Distribución de cuadrículas en el área de estudio

La parcela se dividió en 52 subparcelas, en cuadrículas de 10 x10 metros, haciendo un total de 5200 m². Para hacer la cuadrícula respectiva, se procedió a alinear cañas de carrizo a lo largo y ancho del terreno y hacer las proyecciones, realizando las mediciones correspondientes (Figura 5).



Figura 5: Delimitación de la cuadrícula y altura relativa de muestreo.
Izq: Delimitación de la cuadrícula de muestreo. Der: Determinación de la altura relativa

La distribución de las 52 subparcelas de 10 x 10 metros cada una puede observarse en la Figura 6.

	49	42	35	28	21	14	7
	48	41	34	27	20	13	6
	47	40	33	26	19	12	5
	46	39	32	25	18	11	4
	45	38	31	24	17	10	3
52	44	37	30	23	16	9	2
51	43	36	29	22	15	8	1
				50			

Figura 6: Croquis de distribución de las subparcelas en el campo

3.6. Determinación de alturas relativas

Para ello se utilizó el principio de los vasos comunicantes. En el área de estudio una vez delimitada cada una de las cuadrículas, se empleó una manguera transparente a la cual se le añadió aproximadamente la mitad del volumen de agua. El diferencial de altura se comparó con el valor más bajo obtenido, obteniendo de esta manera las correspondientes alturas relativas para cada cuadrícula (Figura 7).

	294	315	360	388	420	448	476
	240	263	314	354	384	417	442
	126	151	212	269	293	309	330
	42	65	123	160	183	197	217
	9	33	74	91	103	127	154
21	21	39	60	149	72	105	131
0	3	22	36	112	62	65	132
				32			

Figura 7: Comparación de alturas encontradas con respecto al valor 0 (subparcela # 51) en cm.

Leyenda :

0– 50 cm	
50 –100 cm	
100 – 250 cm	
250 – 400 cm	
+ de 400 cm	

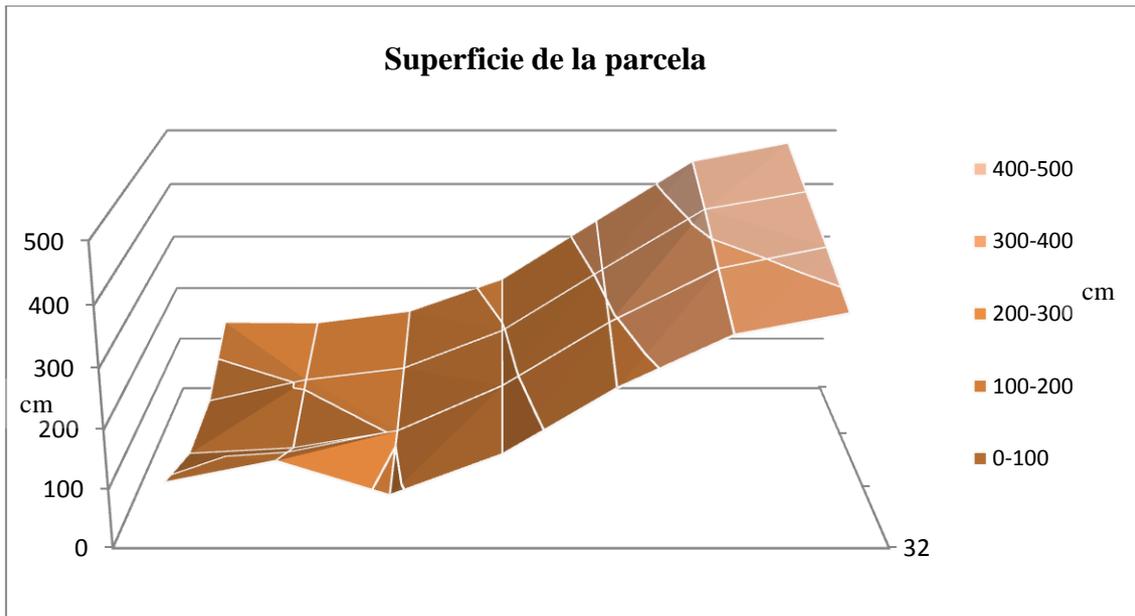


Figura 8: Representación gráfica de la altura relativa de las subparcelas dentro del campo en estudio

A su vez, como se observa en las Figura 7 y Figura 8, la parcela en estudio presenta un relieve ondulado, con la subparcela 51, mostrando el valor base de altura relativa (valor cero) y con la subparcela 7 con la máxima altura con respecto al valor 0 del punto 51. La subparcela 7 presenta una diferencia de 476 centímetros (4.76 m) con respecto al punto de menor altura.

Este relieve característico en la parcela experimental, estaría ejerciendo una presión de variabilidad sobre algunos de los parámetros físicos y químicos en estudio.

3.7. Muestreo en campo

Las diferentes metodologías utilizadas para la determinación de propiedades físicas y químicas del suelo se detallan a continuación:

3.7.1. Densidad aparente y humedad gravimétrica del suelo

La determinación de la densidad aparente fue realizada mediante el método del cilindro (Blake, 1986). Una muestra de suelo húmedo fue tomada de la capa arable del suelo en un punto de cada cuadrícula, empleando un cilindro metálico de 100 cm³ de volumen. El suelo extraído con el cilindro fue pesado en húmedo, secado a estufa a 105 °C por 48 horas y luego vuelto a pesar obteniéndose el peso seco del suelo. La densidad aparente (g cm⁻³) fue obtenida dividiendo la masa del suelo seco a estufa sobre el volumen del cilindro.

El contenido de humedad gravimétrica en las muestras anteriores fue determinado por la pérdida en peso (agua) expresada en porcentaje sobre la base de peso seco.

3.7.2. Densidad de color en húmedo y seco

El color del suelo en húmedo fue determinado en cada punto de la cuadrícula empleando la tabla de colores de suelo de Munsell. Para la determinación de otras propiedades físicas y químicas, las muestras de suelo fueron tomadas de la capa arable (hasta 25 cm) colocadas en bolsas herméticas de plástico y llevadas al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la UNALM (LASPAF-UNALM). En laboratorio, las muestras fueron secadas al aire, luego de lo cual se determinó el color en seco.

3.7.3. Determinación de gravosidad

Luego del secado, el suelo fue desestructurado, molido, pesado y tamizado con malla de 2 mm de diámetro. Las fracciones mayores de 2 mm (gravilla y grava) fueron pesadas y su porcentaje fue calculado respecto al peso original de la muestra seca. La fracción fina del suelo fue sometida al análisis de caracterización.

3.7.4. Análisis de caracterización del suelo

El análisis fisicoquímico del suelo se realizó empleando los métodos seguidos por el LASPAF de la UNALM. Así el pH del suelo fue determinado mediante un potenciómetro digital en extracto acuoso de suelo y agua en relación 1:1. La conductividad eléctrica fue determinada en el extracto de saturación del suelo. La textura fue determinada de acuerdo al método de Bouyoucos. El contenido de carbonato de calcio por el método gaso-volumétrico mediante reacción con HCl.

La materia orgánica del suelo fue determinada por digestión vía húmeda o método de Walkley y Black modificado (Walkley, 1947); el fósforo disponible se determinó por extracción del suelo empleando la solución extractante de Olsen (NaHCO_3 0.5M) y posterior colorimetría con el reactivo amino-naftol-sulfónico (Kuo, 1996). El potasio disponible se determinó por espectrofotometría de absorción atómica del extracto obtenido mediante solución extractante de acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1M).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue determinada empleando la saturación de acetato de amonio y posteriormente mediante destilación de Kjeldahl. Los cationes cambiables fueron obtenidos en el extracto anterior mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Los microelementos metálicos (cobre, hierro, manganeso y zinc) fueron extraídos mediante la solución extractante de Hunter y posteriormente determinados por espectrofotometría de absorción atómica. El boro extraíble fue extraído en agua caliente y determinado por colorimetría empleando curcumina.

De esta manera, con las muestras de suelo obtenidas en campo, se determinó el valor de las variables consideradas para su posterior análisis estadístico.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se hizo mediante el método de regresión lineal, así como también mediante el análisis de componentes principales y su representación a través de gráficos de tipo biplot.

3.8.1. Análisis de regresión lineal

El análisis de regresión lineal se aplicó para la comparación de pares de propiedades físicas y/o químicas; y entre propiedades físicas o químicas con la altura relativa y pendiente, para lo cual se observaron los valores absolutos del límite de acción en base a la desviación estándar para riesgo de error del tipo I con 0.05 y con 0.01 (Neter, 1967).

En este caso por el número de muestras a tomar (52) el riesgo de error tipo I será:

Para 0.05:

$\rho = 0$, si $-0.254 \leq r \leq +0.254$; en otra forma se concluye que $\rho \neq 0$

Para 0.01:

$\rho = 0$, si $-0.330 \leq r \leq +0.330$ en otra forma se concluye que $\rho \neq 0$

Los intervalos de confianza, representan el rango de valores (calculado en la muestra) en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro con una probabilidad determinada (en este caso del 95% y 99 %).

La probabilidad de que el verdadero valor del parámetro se encuentre en el intervalo utilizado se denomina nivel de confianza y se denota como $1 - \alpha$.

En el caso de los parámetros analizados, un error del tipo I, significaría que la correlación entre dos parámetros por más que diera un resultado significativo, estaría errada, esto es que la hipótesis planteada (existencia de correlación significativa) es incorrecta.

Las correlaciones obtenidas se realizaron entre propiedades químicas, físicas y de relieve, considerando estos parámetros como base de las comparaciones:

- Contenido de materia orgánica del suelo (% MO)
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Potencial de iones hidrógeno (pH)
- Porcentaje de arcilla (% arcilla)
- Densidad aparente
- Altura relativa

A su vez cada uno de estos parámetros se contrastó con las propiedades químicas:

- Contenido de materia orgánica del suelo (% MO)
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Potencial de iones hidrógeno (pH)
- Conductividad eléctrica (C.E)
- Fósforo disponible (P)
- Potasio disponible (K)
- Calcio intercambiable (Ca^{2+})
- Magnesio intercambiable (Mg^{2+})
- Potasio intercambiable (K^+)
- Sodio intercambiable (Na^+)

Con las siguientes propiedades físicas y de relieve:

- Porcentaje de arcillas (% de arcillas)
- Densidad aparente (Da)
- Porcentaje de humedad gravimétrico (% Hg)
- Porcentaje de gravosidad (% gravas)
- Altura relativa

Con los siguientes micronutrientes:

- Zinc (Zn)
- Boro (B)
- Cobre (Cu)
- Hierro (Fe)
- Manganeso (Mn)

Luego de contrastar estos parámetros, se procedió a considerar aquellas interacciones con una correlación significativa para buscar probables relaciones de causa y efecto entre ellas.

Sin embargo, en muchos casos la variabilidad espacial de las propiedades químicas y físicas de los suelos se analizan bajo el supuesto de que las propiedades son aleatoriamente distribuidas y son independientes una de la otra, sin embargo, mayormente esto no es así, ya que los valores de las mismas pueden depender fuertemente entre sí (Di Pietro, 1986).

3.8.2. Análisis de componentes principales (ACP)

El ACP es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Esto es, que ante un conjunto de datos con muchas variables, el objetivo es reducirlas a un menor número, perdiendo la menor cantidad de información posible.

Por lo general, cuando se recoge información de una serie de datos, lo que ocurre con frecuencia es que se toma el mayor número de variables posibles (Fernández., 2011), esto en la mayoría de los casos resulta ser una situación muy complicada de poder exponerse. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. El ACP se aplicó para complementar los resultados obtenidos mediante la correlación lineal. Siendo el ACP una aplicación del análisis estadístico multivariado nos permite obtener información más exacta de la interacción entre las diversas variables utilizadas.

El ACP como técnica de ordenación y de reducción permite examinar un mayor número de datos de forma que puedan presentarse de manera conjunta, construyendo un número reducido de variables sintéticas, de tal manera que estas nuevas variables contengan una alta proporción de la información contenida en el conjunto de variables originales. Como el ordenamiento de las variables se da en un espacio de menor dimensión, se les denomina técnicas de ordenamiento. Las técnicas de ordenación multivariada y reducción de dimensión, permiten obtener gráficos de pocas dimensiones (comúnmente dos) para datos multivariados correspondientes a espacios de mayor dimensión (Varela, 2002)

Es importante resaltar el hecho de que el ACP considera las variables con una mayor correlación, buscando contener en las nuevas variables sintéticas el mayor número posible de información, siendo el primer componente el que presenta el más alto contenido de datos relevantes y el segundo componente una menor proporción, pero, considerando ambas componentes, la cantidad de información analizada llega a abarcar una alto nivel de información (Husson, 2011).

Los resultados del análisis de componentes principales fueron representados mediante diagramas Biplot. El biplot es una representación gráfica de datos multivariados que de manera similar a un diagrama de dispersión (el cual muestra la distribución conjunta de dos variables), representa tres o más variables.

El biplot aproxima la distribución de una muestra multivariante en un espacio de dimensión reducida, normalmente de dos dimensiones, y superpone sobre la misma, representaciones de las variables sobre las que se mide la muestra.

Esta representación de las variables es normalmente hecha con vectores, los cuales coinciden con las direcciones con las que mejor se muestra los cambios individuales de cada variable. El prefijo “bi” se refiere a la superposición de individuos y variables es una misma representación.

El biplot, como se observa en la figura 9, se interpreta de la siguiente manera:

- La longitud del vector aproxima la variabilidad de cada variable.
- La distancia entre puntos estima la disimilaridad entre éstos
- El coseno del ángulo entre vectores se aproxima a la correlación entre variables
- Las proyecciones sobre cada vector, nos permiten ordenar los puntos para esta variable.

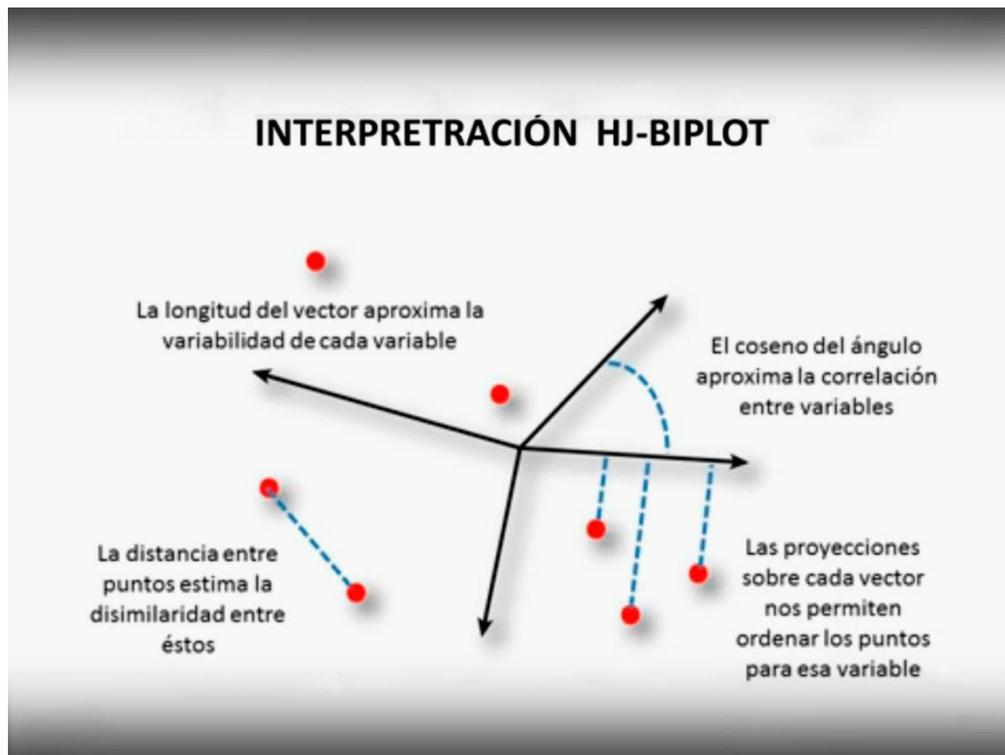


Figura 9: Representación esquemática para la interpretación de un gráfico Biplot

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Correlación entre los parámetros seleccionados y las propiedades químicas analizadas

Los resultados de correlación entre los parámetros seleccionados (contenido de materia orgánica del suelo, capacidad de intercambio catiónico, potencial de iones hidrógeno, contenido de arcilla en el suelo, densidad aparente, altura relativa) y las propiedades químicas, se muestran en el cuadro 4. Como puede observarse, las correlaciones con un menor intervalo de confianza ($1 - \alpha = 95 \%$) están con un asterisco, mientras que aquellos con un mayor intervalo de confianza ($1 - \alpha = 99 \%$) están con doble asterisco.

En los resultados obtenidos se observa una alta correlación positiva entre el contenido de materia orgánica del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y el calcio cambiabile.

Otras correlaciones significativas positivas se encontraron tanto en el contenido de arcillas, con los cationes calcio y magnesio, así como entre la altura relativa y el potasio tanto cambiabile como disponible.

Algunos resultados se resumen a continuación:

Como se mencionó anteriormente, se encontró una alta correlación entre el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo (figura 10), lo cual revela la contribución significativa de la materia orgánica del suelo en la capacidad de intercambio catiónico, siendo el calcio el catión que se encuentra en mayor proporción en los sitios de cambio, así como en la materia orgánica del suelo (figura 11). Por esto tanto para la materia orgánica como para las arcillas del suelo, los contenidos de calcio fueron relevantes (cuadro 4). En el caso del pH, se presentó una correlación significativa tanto con la conductividad eléctrica como con el K disponible y con los cationes cambiabiles K y Na; siendo una correlación positiva para el K tanto disponible como cambiabile (figura 12 y 13) y negativa para la conductividad eléctrica (C.E) y el Na cambiabile (cuadro 4).

Cuadro 4: Coeficientes de correlación lineal (r) entre algunos parámetros evaluados y propiedades químicas

Parámetro analizado	Materia orgánica	CIC	pH	C.E	P disponible	K disponible	Cationes cambiabiles			
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Materia orgánica	1	0.679**	- 0.113	0.109	- 0.076	- 0.075	0.482**	- 0.079	0.148	0.079
CIC		1	0.077	0.099	- 0.107	- 0.245	0.623**	0.202	- 0.078	0.046
pH			1	- 0.476**	0.017	0.483**	0.036	0.221	0.310*	- 0.297*
Arcilla		0.094	0.123	- 0.003	- 0.022	- 0.055	0.379**	0.459**	0.053	0.224
Densidad aparente			- 0.007	0.0003	0.044	0.063	- 0.209	0.099	0.148	0.004
Altura Relativa			0.209	- 0.289*	0.099	0.438**	- 0.185	0.213	0.461**	- 0.118

Error Tipo I con $p < 0.05$ *

Error Tipo I con $p < 0.01$ **

La altura relativa, mostró por otro lado, correlaciones positivas tanto para el K disponible como con el cambiante, siendo su correlación negativa con la conductividad eléctrica (C.E), como se observa también en el cuadro 4.

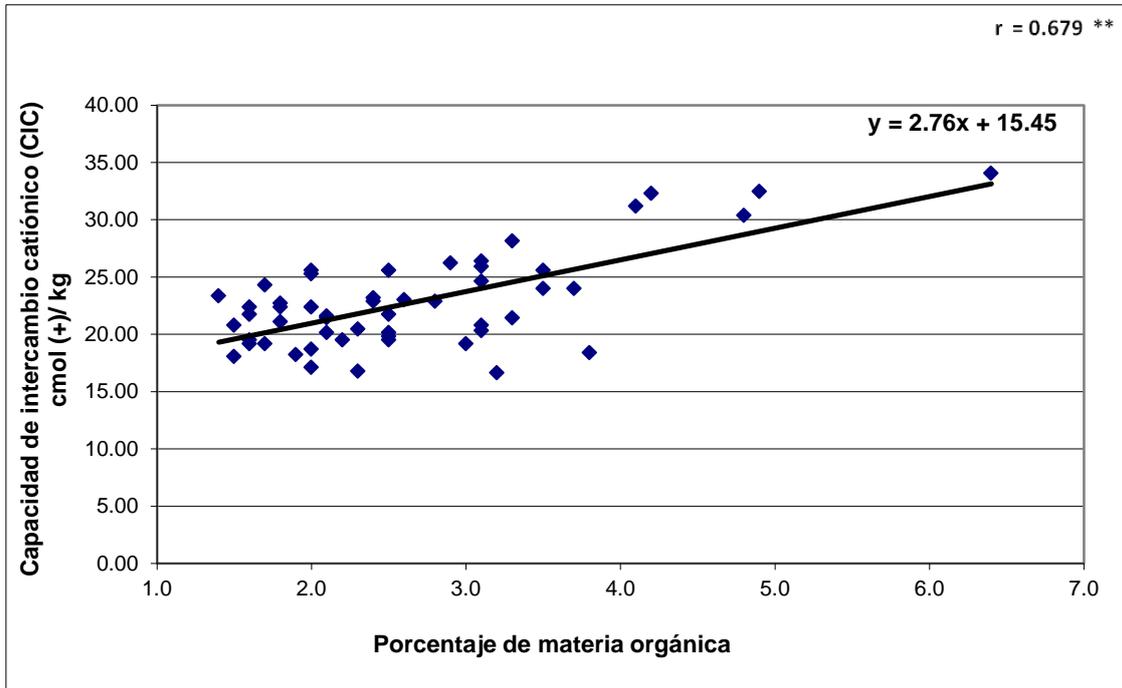


Figura 10: Correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo (MO) en porcentaje y la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

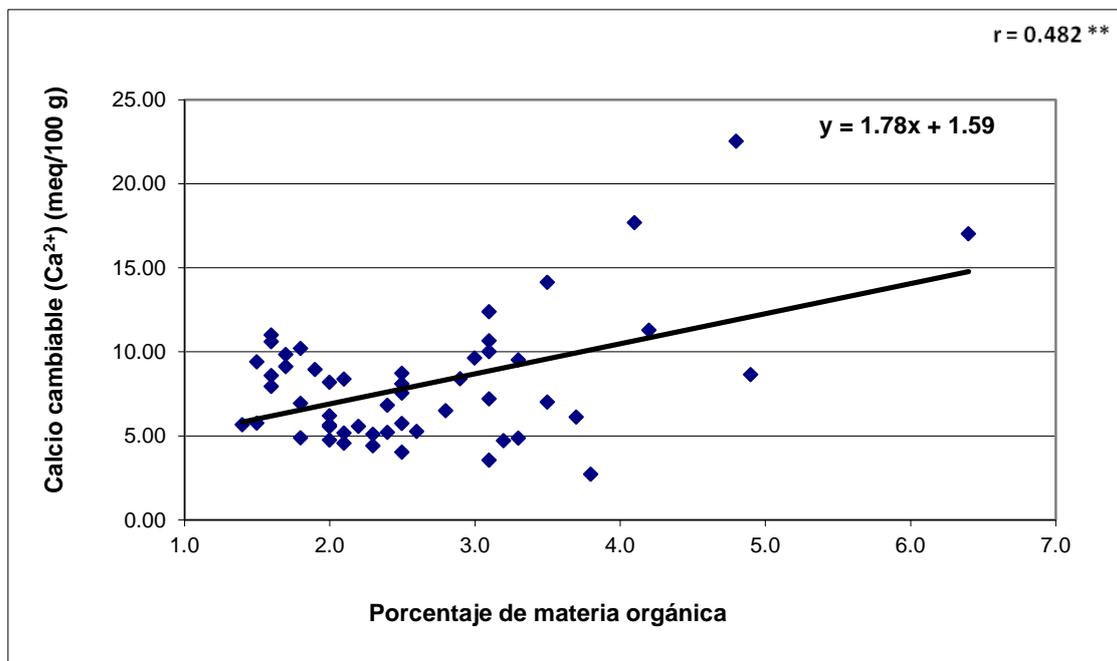


Figura 11: Correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo (MO) y el calcio cambiante.

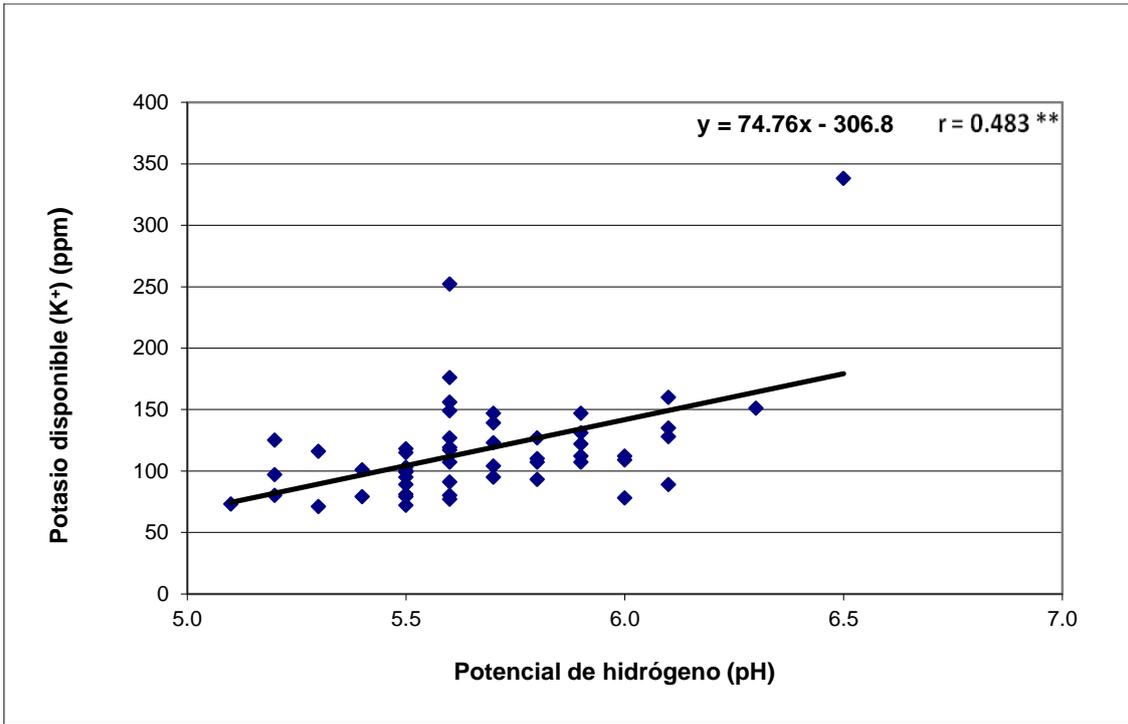


Figura 12: Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y potasio disponible.

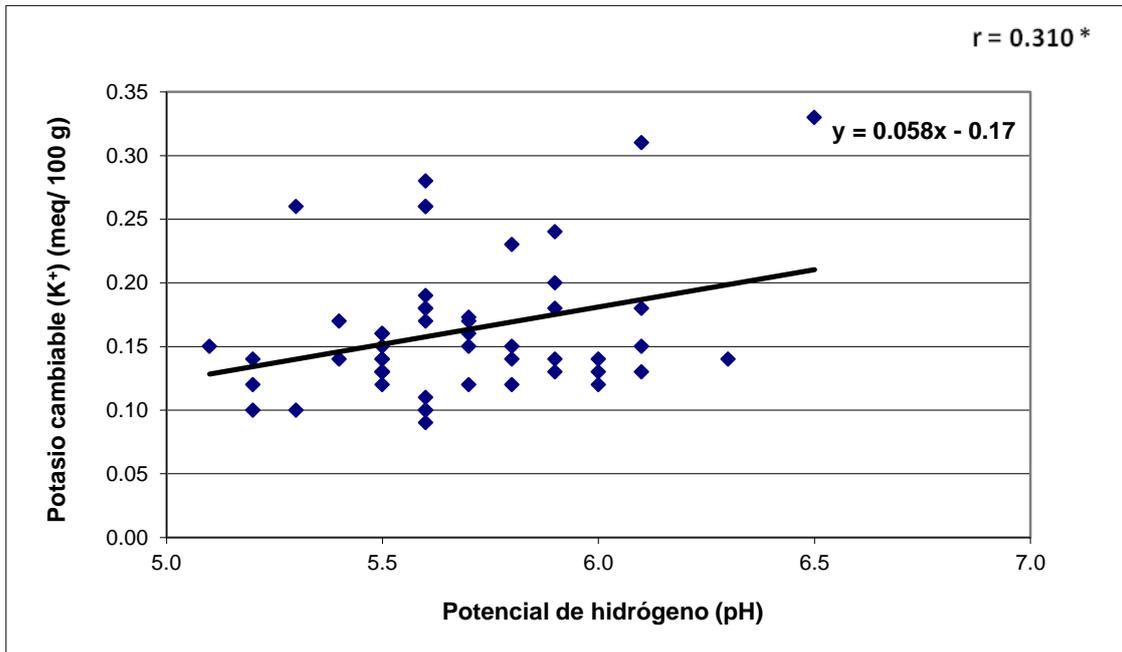


Figura 13: Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y el potasio cambiante.

Tanto el K disponible como cambiante mostraron una correlación positiva con la altura relativa de la parcela en estudio, pero no se encontró ninguna correlación de este elemento con ninguna de las partículas del suelo (arcilla, limo y arena), ni tampoco con la materia orgánica y el porcentaje de humedad.

En el caso del Ca y el Mg, sí se encontró una correlación positiva con el contenido de arcillas, como se puede observar en el cuadro 4. Ambos cationes suelen estar contenidos en las arcillas y su liberación depende de condiciones de humedad y variaciones en el pH.

En cuanto al K y P disponible, ninguno de estos elementos mostraron correlaciones significativas en relación a los coloides que aportan la capacidad de intercambio catiónico (materia orgánica y arcillas), aunque sus contenidos en general en el suelo hayan sido muy altos (mayores de 14 ppm) en el caso del fósforo y en general medio y bajos (menores de 200 ppm) para el potasio.

Cuadro 5: Coeficientes de correlación lineal (r) entre algunos parámetros evaluados y propiedades físicas

Parámetro analizado	Arcilla	Densidad aparente	Humedad Gravimétrica	Porcentaje Gravosidad	Altura Relativa
Materia orgánica	- 0.294 *	- 0.379 **	0.041	- 0.477 **	- 0.469 **
CIC	0.094	- 0.467 **	0.006	- 0.378 **	- 0.491 **
pH	0.123	- 0.007	- 0.091	- 0.004	0.209
Arcilla	1	0.145	0.304 *	0.228	0.236
Densidad aparente	0.145	1	0.200	0.325 *	0.421 **
Altura Relativa	0.236	0.421 **	0.047	0.398 **	1

Error Tipo I con $p < 0.05$ *

Error Tipo I con $p < 0.01$ **

4.2. Correlación entre los parámetros seleccionados y las propiedades físicas analizadas

En relación al contenido de MO y la altura relativa (fig.14) también se observó una correlación inversa significativa (cuadro 5), debido probablemente a una mayor acumulación de MO en la parte baja de la parcela por transporte de materiales que discurren a través de la pendiente.

Así, parámetros como la densidad aparente y el porcentaje de gravosidad, también presentaron una correlación negativa significativa con la altura relativa (cuadro 5), ya que conforme el contenido de materia orgánica va incrementándose a medida que se va acumulando en las zonas más bajas de la parcela, también la densidad aparente va disminuyendo por el desplazamiento de las partículas del suelo y la materia orgánica en sus diferentes estados de descomposición, con la consiguiente disminución de peso por unidad de volumen.

Las gravas siendo más densas van siendo depositadas en las zonas más altas de la parcela en contraste con la materia orgánica que va discurriendo a través de la gradiente.

En relación al contenido de arcillas se puede apreciar una correlación positiva con el porcentaje de humedad gravimétrica, lo que concuerda con una mayor capacidad de las arcillas de adsorber el agua del medio ambiente a largo plazo a diferencia de la materia orgánica que no llega a retenerla tan eficientemente en este caso.

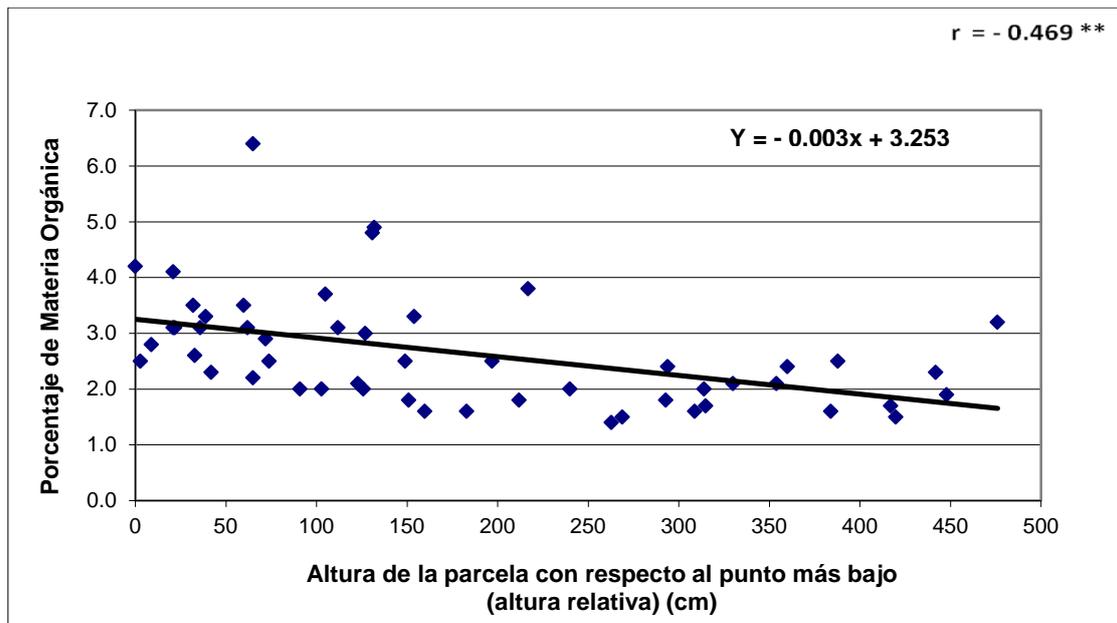


Figura 14: Correlación entre la altura relativa y el contenido de materia orgánica del suelo (MO)

4.3. Correlación entre los parámetros seleccionados y los micronutrientes analizados

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro 6, se encontró que el incremento en el contenido de materia orgánica del suelo se relaciona con el aumento de micronutrientes como el Zn, B y Fe (fig. 15, 16 y 17). Dichas correlaciones, muestran una fuerte dependencia con los contenidos de materia orgánica del suelo debido probablemente a la retención que ofrece la materia orgánica por dichos cationes.

Cuadro 6: Coeficientes de correlación lineal (r) entre algunos parámetros evaluados y el contenido de micronutrientes extraíbles (ppm)

Parámetro analizado	Zn	B	Cu	Fe	Mn
Materia orgánica	0.618 **	0.307 *	0.01	0.542 **	- 0.003
CIC	0.567 **	- 0.053	- 0.128	- 0.039	- 0.534 **
pH	- 0.014	- 0.018	- 0.096	- 0.347 **	- 0.230
Arcilla	- 0.052	0.118	- 0.057	- 0.526 **	- 0.341 **
Densidad aparente	- 0.479 **	0.294 *	0.006	- 0.045	0.303 *
Altura relativa	- 0.521 **	0.06	- 0.178	- 0.164	0.389 **

Error Tipo I con $p < 0.05$ *

Error Tipo I con $p < 0.01$ **

Se observa además, un descenso en el contenido de microelementos como el Fe y Mn en relación al incremento en el porcentaje de arcillas (figuras 19, 20).

A su vez los contenidos de Zn en el suelo no sólo presentan los valores más altos de correlación con la materia orgánica sino que indican un aporte significativo en la capacidad de intercambio catiónico, a diferencia del B, Cu y Fe; mientras que el Mn presenta una correlación significativa negativa, como se puede observar en el cuadro 6.

Esta alta correlación del zinc (figura 15), debe estar sujeta a la formación de complejos estables (quelatos) con componentes de la materia orgánica del suelo, como son las fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos (Sposito, 2008).

Como se observa en las figuras 16 y 17, se aprecia una correlación significativa tanto para el boro como para el hierro con respecto al contenido de materia orgánica del suelo.

En el caso del boro la materia orgánica es la principal fuente de este micronutriente, siendo el humus en suelos ácidos, la principal fuente de éste. A su vez, la materia orgánica del suelo suministra agentes quelatantes que ayudan a mantener la solubilidad del hierro. Estos quelatos provienen no sólo de la degradación de la materia orgánica y residuos de plantas, sino también de los exudados de las raíces (Fassbender, 1987).

En relación al hierro y el pH, la correlación negativa es consecuencia de la mayor disponibilidad del Fe en suelos con pH menores a 6.5, lo que fue observado en campo (figura 18).

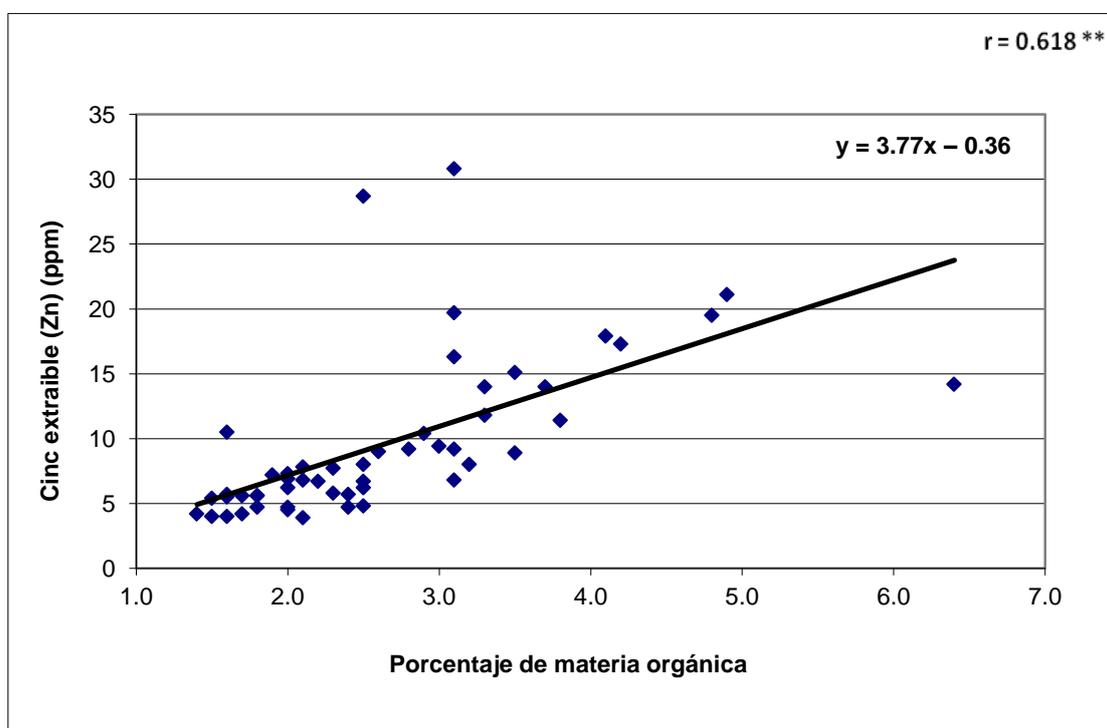


Figura 15: Correlación lineal entre los contenidos de materia orgánica y de zinc extraíble en el suelo

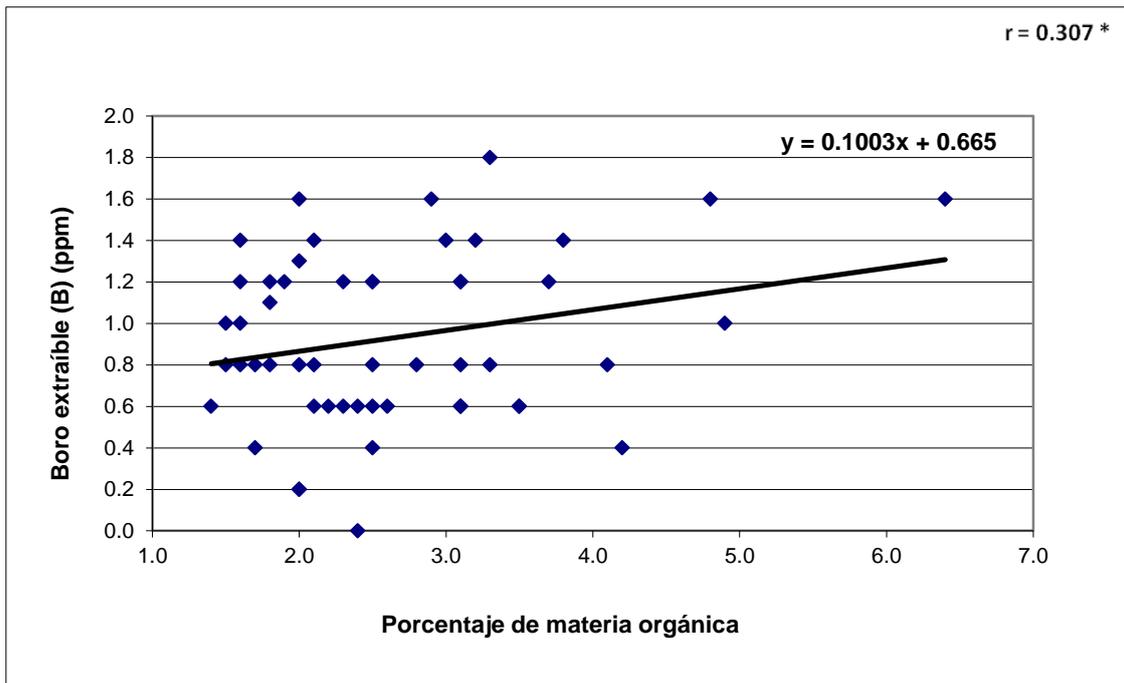


Figura 16: Correlación lineal entre los contenidos de materia orgánica y de boro extraíble en el suelo

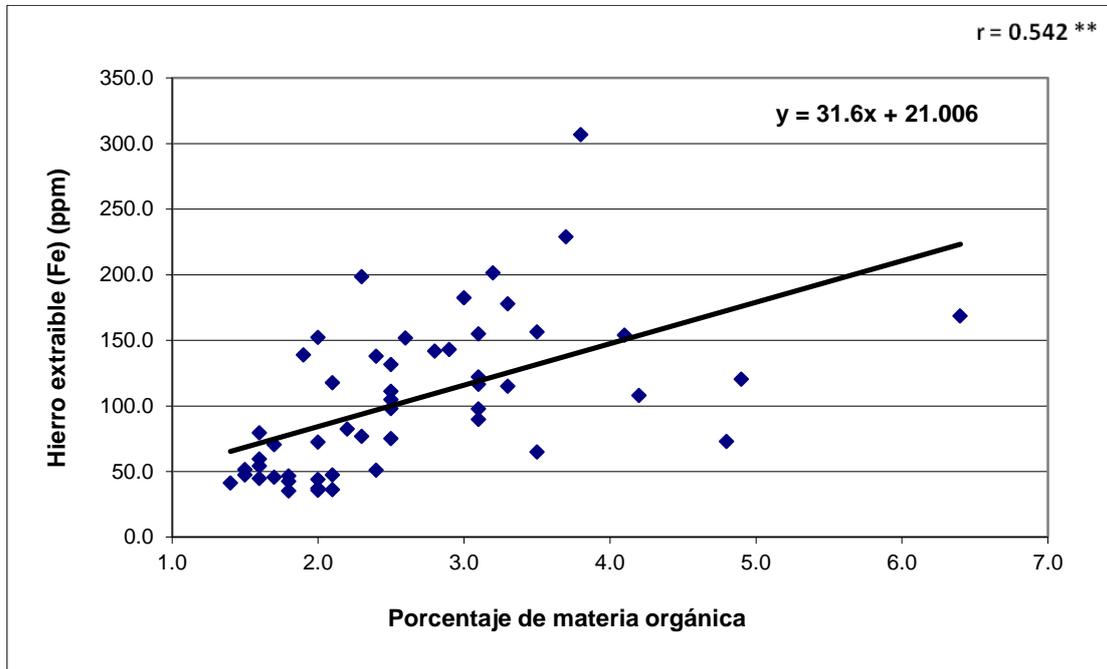


Figura 17: Correlación lineal entre los contenidos de materia orgánica y de hierro extraíble en el suelo

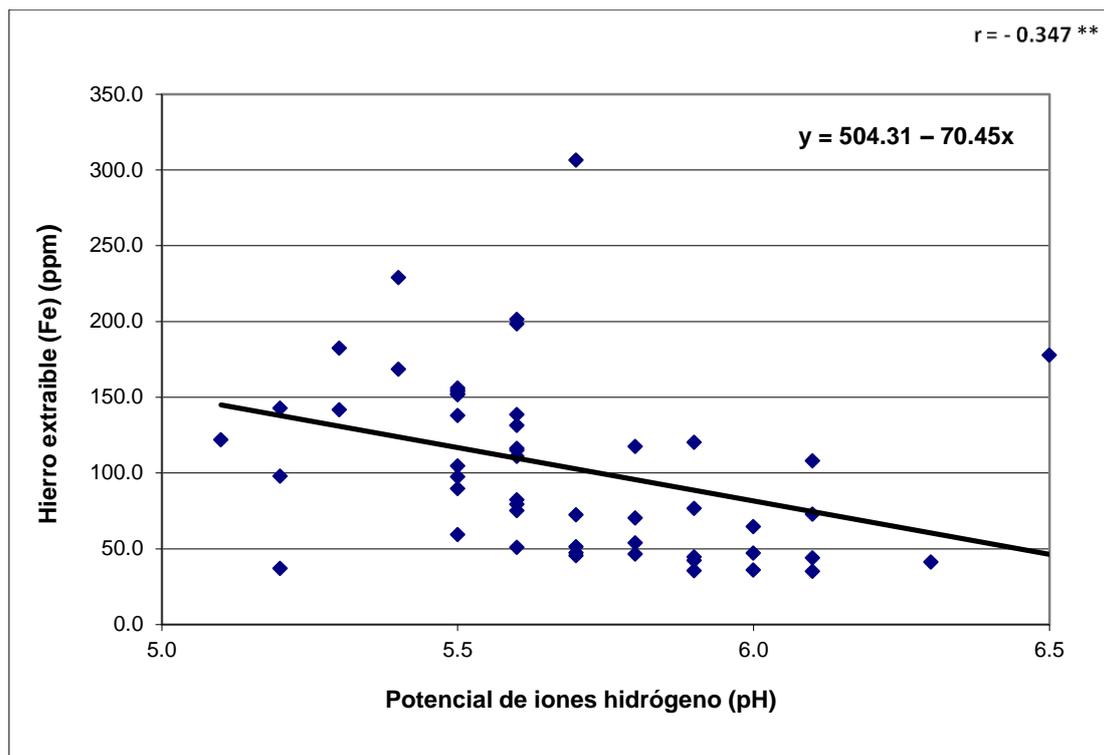


Figura 18: Correlación lineal entre el potencial de hidrógeno (pH) y el contenido de hierro extraíble del suelo

La correlación negativa entre los contenidos de arcilla y de los micronutrientes hierro y manganeso, se puede apreciar en las figuras 19 y 20 respectivamente. Esta correlación negativa también se presenta entre la materia orgánica y los contenidos de arcilla como se observó anteriormente en el cuadro 5.

Esto podría deberse a una menor disponibilidad de dichos micronutrientes por el tipo de arcilla encontrada en la parcela en estudio.

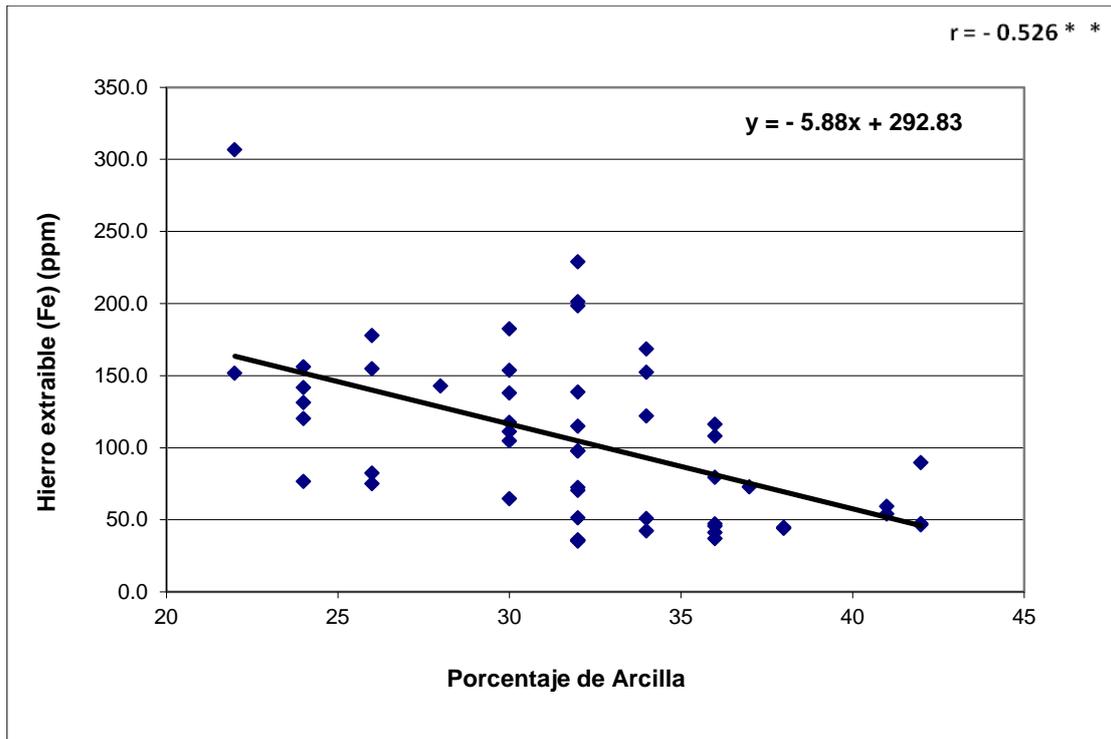


Figura 19: Correlación lineal entre los contenidos de arcilla y de hierro extraíble del suelo

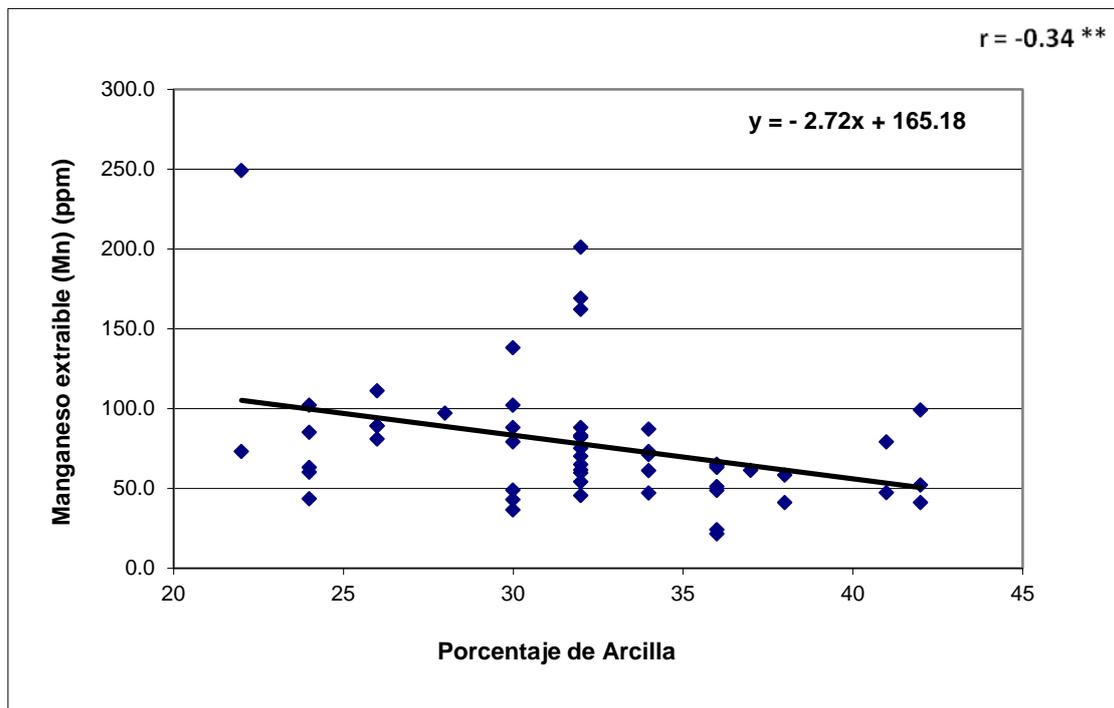


Figura 20: Correlación lineal entre los contenidos de arcilla y de manganeso extraíble del suelo

4.4. Comparación cualitativa entre el color del suelo y la altura relativa de la parcela en estudio.

Con respecto al color del suelo, si bien no son datos cuantitativos, se pudo encontrar una tendencia con relación a la materia orgánica y la altura relativa, observándose un gradiente (figura 21 y 22), desde colores más claros en la zona alta de la parcela hasta colores mucho más oscuros en la zona baja, precisamente donde está el mayor contenido de materia orgánica del suelo.



Figura 21 Aproximación de los colores en seco de acuerdo al sistema Munsell en la distribución de las subparcelas en estudio

Leyenda:

-  10 YR 3/1
-  10YR 3/2
-  10YR 4/1
-  10YR 4/2
-  10YR 4/3
-  10YR 4/4
-  10YR 5/3
-  10YR 5/4

En la figura 23, se observa el relieve ondulado con la pendiente, teniendo la zona más baja los colores más oscuros y la zona alta los colores más claros (Ovalle, 2003).

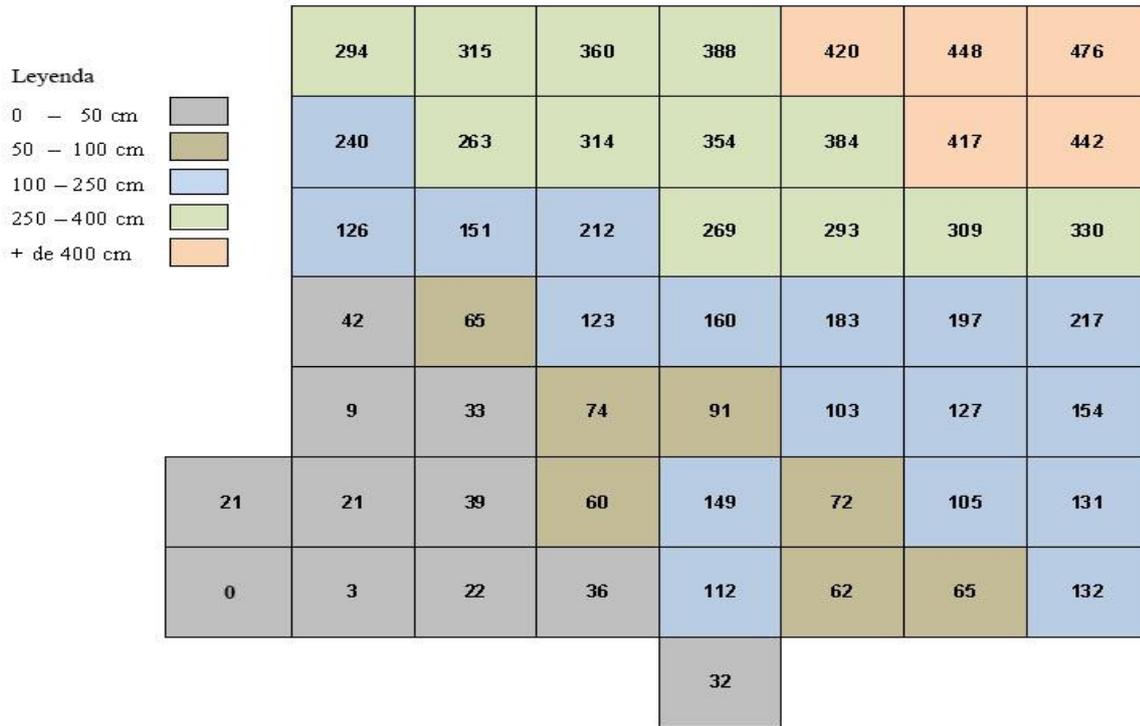


Figura 22: Alturas relativas para cada una de las subparcelas analizadas

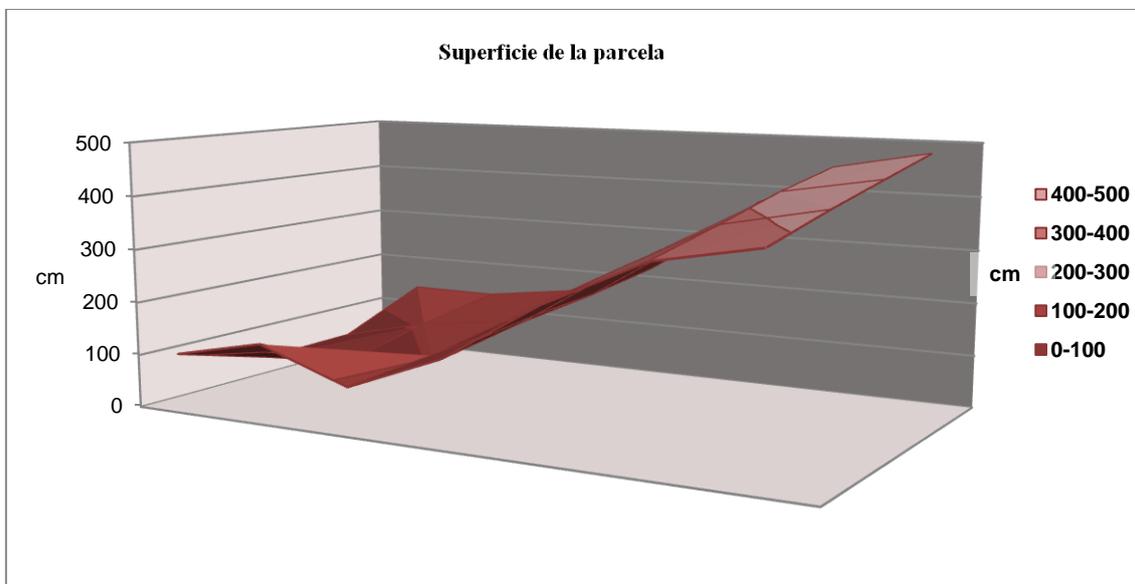


Figura 23: Distribución de la altura (altura relativa) con respecto al punto más bajo encontrado

4.5. Análisis de resultados entre propiedades químicas y microelementos con respecto a la altura relativa.

Como se observa en la figura 24, el gráfico Biplot que muestra los componentes de la altura relativa de la parcela en estudio, presenta correlaciones tanto con los macronutrientes y micronutrientes, así como con propiedades químicas como el potencial de iones hidrógeno (pH) y la capacidad de intercambio catiónico.

Los valores para la altura relativa correspondieron a la siguiente descripción:

Altitud baja: <160 cm 

Altitud media: 160 – 330 cm 

Altitud alta: >330 cm 

En base al gráfico, se aprecia una alta correlación entre la zona de menor altitud (círculos azules y sus correspondientes proyecciones sobre cada vector o variable), con cationes cambiables como el sodio y el calcio, así como con micronutrientes extraíbles como el zinc, cobre y hierro, coincidiendo con los valores de correlación negativos para cada caso, no significativos excepto para el zinc, como se observó anteriormente en los cuadros 4 y 6, indicando así el gráfico un alto grado de correlación para la segunda componente que incluye dichos cationes y la menor altitud relativa. Esto es que a medida que la altitud fue menor, se encontró un mayor contenido de dichos cationes; caso contrario con cationes como el fósforo y potasio disponibles, así como con el potasio cambiable y el manganeso, con valores positivos y significativos de correlación en todos los casos, excepto para el fósforo disponible (resultados no significativos), como se observó en los cuadros 4 y 6, donde para las zonas de mayor altitud relativa de la parcela, se encontraron concentraciones mayores de dichos cationes.

En el caso de las propiedades químicas analizadas, se observa en el gráfico una alta correlación entre la capacidad de intercambio catiónico y cationes cambiables como el Ca y el Mg, y con micronutrientes como el Zn, coincidiendo en todos los casos con valores de correlación positivos y significativos en el caso del Ca y el Zn, como se observa en los cuadros 4 y 6, lo que en el gráfico biplot se puede observar además como el coseno de los ángulos agudos formados.

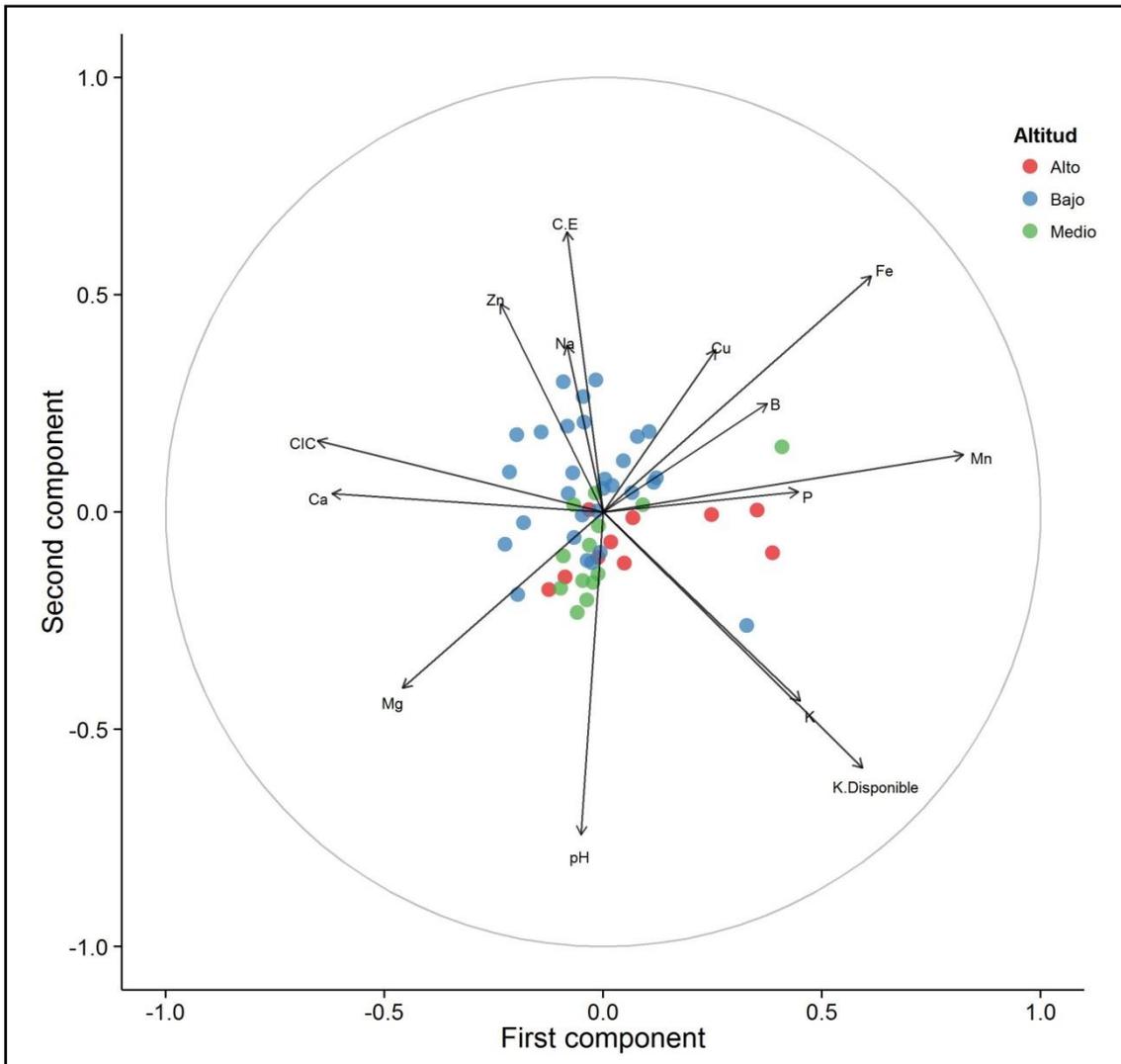


Figura 24: Biplot de análisis de componentes principales para propiedades químicas y microelementos con la altura relativa

Se puede también observar que la CIC se incrementa conforme la altitud es menor, tal como se indica para dicha correlación en el cuadro 5.

En el caso del pH, se aprecia una correlación positiva con la altura, observándose un incremento desde la zona baja hacia la zona media correspondiendo con los valores de correlaciones encontradas, aunque no significativos, con cierta tendencia, así como una correlación negativa con la conductividad eléctrica (cuadro 4).

4.6. Análisis de resultados entre propiedades físicas y materia orgánica con respecto a la altura relativa.

El biplot de correlación entre propiedades físicas (Figura 25), indica cómo la altura relativa de la parcela en estudio muestra correlaciones tanto con las propiedades físicas como con los componentes texturales del suelo, con la humedad gravimétrica y los porcentajes de gravosidad, así como con el contenido de materia orgánica del suelo.

El gráfico muestra que los contenidos de materia orgánica y de limo fueron mayores en la parte más baja de la parcela, mientras que la arena y la grava se incrementaron en la zona más alta.

La densidad aparente del suelo se incrementó en la parte alta de la parcela, correlacionando positivamente con el contenido de arena y la gravosidad y en forma inversa con el contenido de materia orgánica, como se observó en el cuadro 5.

La humedad gravimétrica muestra una correlación positiva con el contenido de arcilla, e inversa con el contenido de arena, sin embargo mostró escasa correlación con el contenido de materia orgánica (cuadro 5).

Solo observando los componentes texturales, se observa un probable contenido de arena constante mientras que los porcentajes de arcilla y limo están inversamente relacionados.

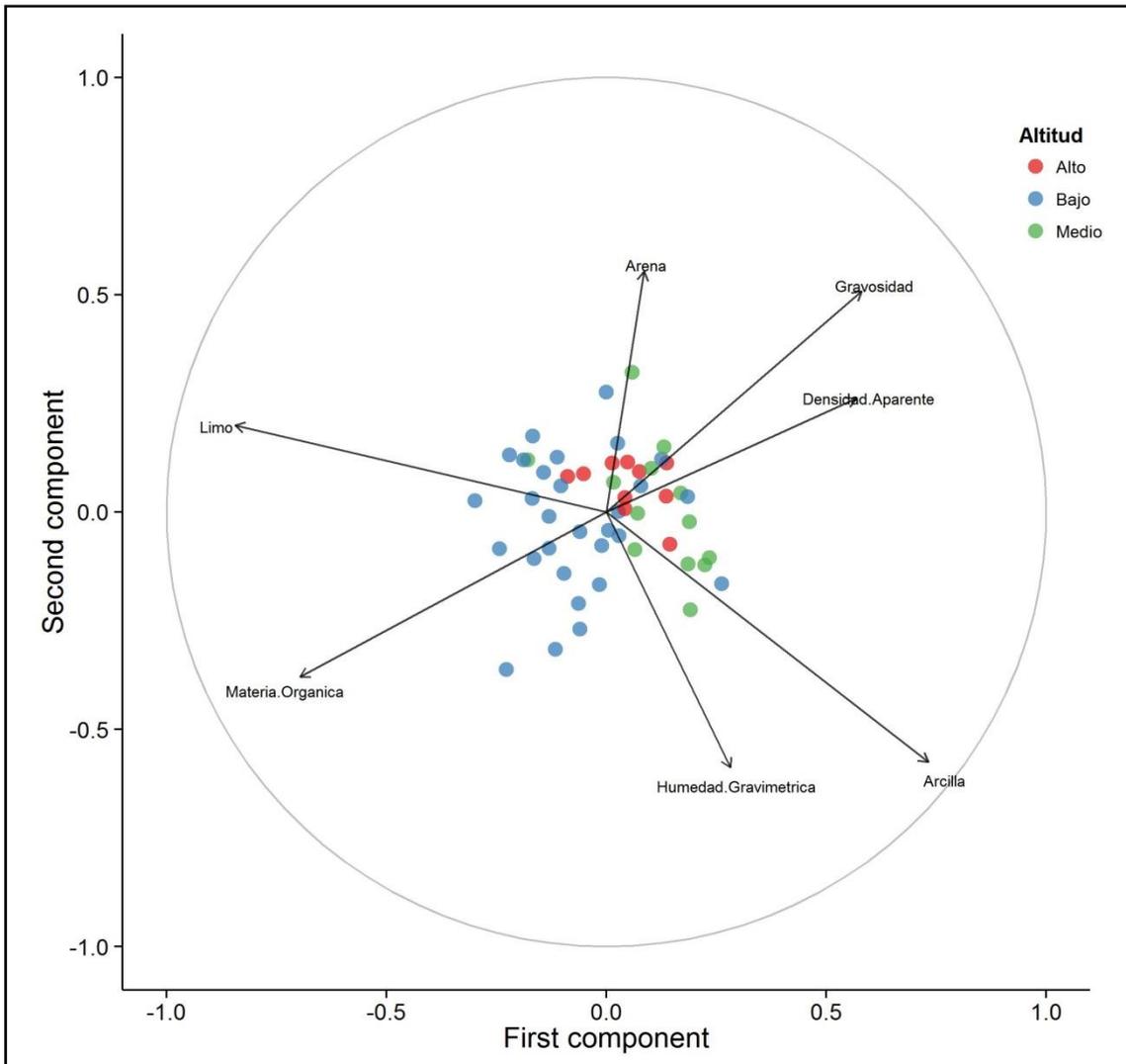


Figura 25: Biplot de análisis de componentes principales para propiedades físicas y materia orgánica con respecto a la altura relativa

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir:

- La parcela en estudio presenta una alta variabilidad espacial en relación a varios de los factores químicos, físicos y relacionados con el relieve.
- La materia orgánica del suelo mostró la mayor influencia en la variabilidad espacial del suelo, con respecto al resto de variables analizadas, relacionándose con el aumento tanto de la CIC, con las concentraciones de calcio cambiante; así como con las concentraciones de micronutrientes como el Zn, B y Fe.
- La erosión originó el transporte de coloides en el suelo, incrementando el contenido de materia orgánica en la parte baja de la parcela, dejando la grava y arena; lo que a su vez se manifiesta en una menor densidad aparente en las zonas bajas debido a la acumulación de materia orgánica.
- El contenido de arcilla influyó en el porcentaje de humedad gravimétrica, así como en las concentraciones de calcio y magnesio intercambiables.
- Las correlaciones encontradas indicaron contenidos de Fe, B y Zn con una fuerte dependencia a las concentraciones de materia orgánica del suelo.
- Tanto el K disponible como el cambiante se incrementaron en la parte alta de la parcela; donde se encontró además los mayores contenidos de arcillas.
- Estos resultados mostraron una mayor dependencia de la capacidad de almacenamiento de nutrientes con respecto al contenido de materia orgánica que al contenido de arcillas.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la distribución espacial de propiedades que presenten correlaciones significativas antes y después de una cosecha, para poder considerar el nivel de extracción del cultivo.
- Realizar similares investigaciones en zonas no intervenidas y en parcelas no empleadas para cultivo, para observar la dinámica sin intervención humana.
- Incluir en los análisis estudios microbiológicos para tener una visión directa de la contribución biótica a los diferentes procesos.
- Analizar a nivel de subparcelas la variación espacial en campos de cultivos de alta producción para optimizar el uso de insumos y/o modificar el sistema de labranza en caso sea necesario.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, S. O. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, 485-497.
- Azabache, A. L. (2003). *Fertilidad de suelos para una agricultura sostenible*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Bedidi, A. B. (1992). Moisture effects on visible spectral characteristics of lateritic soils. *Soil Science*, 129-140.
- Betancourt, Y. P. (1999). Materia orgánica y caracterización de suelos en proceso de recuperación con coberturas vegetativas en zonas templadas de México. *Terra Latinoamericana*, 139-148.
- Bidwell, R. (1993). *Fisiología Vegetal*. (2ª ed.). México D.F: AGT Editor S.A.
- Blake, G. H. (1986). Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *SSSA-ASA* , 363-375.
- Bravo, C. C. (2011). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* L.) en una parcela experimental de los llanos centrales venezolanos. *X Jornada de Investigación en la zona no saturada del suelo* (págs. 79-84).
- Brock, T. D. (1993). *Microbiología*. (6ª ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Conti, M. E. (2004). *Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Di Pietro, L. M. (1986). Variabilidad espacial de parámetros físicos y químicos de un suelo de pergamino. *Ciencia del suelo* , 99-106.
- Dixon, J. W. (1992). *Minerals in soil environments*. Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc.
- Donoso, C. (1994). *Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente*. Chile: Editorial universitaria.
- Encina R, A. M. (1999). Moreno A, Gerardo P, Relación del contenido de materia orgánica con el relieve del terreno. *Investigación Agraria* , 38-42.
- Fassbender, H. W. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura.
- Fernández. (2007). Influencia de la variabilidad espacial del suelo sobre parámetros de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Monay, Estado Trujillo. *Agricultura Andina* , 39-51.
- Fernández. (2011). *Componentes principales*. Madrid: Facultad de ciencias económicas y empresariales- Universidad autónoma.

- García, S. J. (2011). *Evaluating the biophysical resource management strategies of the agro-ecosystems in farm communities of the Mantaro Valley, central Andes of Peru*. Tesis PhD .Bélgica. ISBN 978-90-8826-186-2: Bioingeniería.KatholiekeUniversiteit Leuven.
- Grose, L. T. (1989). *Phosphorites in the Mantaro Phosphate Field, central Andes, Peru*. In *Phosphate deposits of the world. Volume 2: Phosphate rock resources*, 131-136. Notholt, A. J. G., Sheldon, R. P., and Davidson, D. F., eds: . Cambridge: Cambridge University Press.
- Husson, F. (2011). *Exploratory multivariate analysis by example using R*. Boca Raton, London, New York: CRC Press. Boca Raton, London, New York: CRC Press.
- Iñiguez, A. C. (1970). Los minerales de arcilla en los suelos zonales ubicados entre los ríos Paraná y Salado. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 3-41.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. Mc Graw Hill. New York: Mc Graw Hill.
- Kottek, M. G. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *MeteorologischeZeitschrift* 15(3) , 259-263.
- Kuo, S. (1996). *Phosphorus*. In: Sparks, D.L., Ed., *Methods of Soil Analysis: Part 3, SSSA Book Series No. 5*.Madison: SSSA and ASA, , 869-919.
- Laya, H. V. (1990). Caracterización de la materia orgánica de un suelo yesífero con horizonte enterrado (Ab) (Soria, España) . *Ciencia del suelo* , 223-227.
- Linn, D.M, Doran, J.W. (1984). Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Science Society of American Journal* 48 , 794-799.
- Martínez, V. A. (1978). *Estudio de la geología regional de los valles del mantaro y tarma*. Lima: Ministerio de agricultura y alimentación.
- Moreno, M. T. (2011). Variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelos agrícolas de la provincia de Quebec, Canada. *Revista de la facultad de agronomía de la universidad del zulia* , 223-241.
- Neter, J. W. (1967). *Fundamentos de estadística*.New York: Mc Graw Hill.
- Ovalle, V. F. (2003). *El color del suelo: definiciones e interpretación*. Maracay: Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela.
- Pavez, A. S. (2004). *Análisis del comportamiento temporal del contenido de humedad, en suelos sometidos a obras de conservación (zanjas de infiltración y subsolado) en áreas de las regiones VI, VII y VIII*. Talca: Universidad de Talca. Facultad de ciencias forestales.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena -Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Sadzawka, R. A. (1999). *Acidificación de los suelos y los procesos involucrados*. Osorno, Chile: Instituto de investigaciones agropecuarias.

- SENAMHI - Ministerio de Energía y Minas. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2003). *Atlas de energía solar del Perú. 1-31*. Lima, Perú: Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy. Washington D.C.*: Washington D.C: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Sposito, G. (2008). *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, Inc.
- Varela, N. M. (2002). *Los métodos biplot como herramienta de análisis de interacción de orden superior en un modelo lineal/bilineal*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determination of organic carbon in soils - effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science* , 251-257.
- Williams, R. A. (1992). Comparison of methods to estimate soil water characteristics from soil texture, bulk density, and limited data. *Soil Science* , 172-183.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante
: INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCION SUSTENTABLE

Departamento

: JUNIN

Distrito

: SINCOS

Referencia

: H.R. 11634-057C-06

Provincia

: JAUJA

Predio

: COMUNIDAD ARAMACHAY

Fecha

: 04-07-06

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cambiabiles					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Campo							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			

3168	1	5.9	0.40	0.00	4.9	32.1	131	30	46	24	Fr.	32.48	8.64	0.70	0.24	0.12	0.30	10.00	9.70	30
3169	2	6.1	0.17	0.00	4.8	25.4	160	21	42	37	Fr.Ar.	30.40	22.54	1.88	0.31	0.11	0.00	24.84	24.84	82
3170	3	6.5	0.24	0.00	3.3	41.4	338	32	42	26	Fr.	21.44	4.86	0.63	0.33	0.06	0.00	5.88	5.88	27
3171	4	5.7	0.21	0.00	3.8	44.9	139	36	42	22	Fr.	18.40	2.72	0.42	0.17	0.10	0.30	3.71	3.41	19
3172	5	5.8	0.16	0.00	2.1	31.2	110	30	40	30	Fr.Ar.	20.16	4.56	0.68	0.12	0.09	0.30	5.75	5.45	27
3173	6	5.6	0.16	0.00	2.3	53.4	252	32	36	32	Fr.Ar.	16.80	4.42	0.56	0.28	0.10	0.40	5.76	5.36	32
3174	7	5.6	0.20	0.00	3.2	51.7	176	32	36	32	Fr.Ar.	16.64	4.72	0.60	0.26	0.10	0.30	5.98	5.68	34
3175	8	5.4	0.41	0.00	6.4	24.4	79	24	42	34	Fr.Ar.	34.08	17.02	0.98	0.14	0.10	0.40	18.64	18.24	54
3176	9	5.4	0.31	0.00	3.7	38.0	101	28	40	32	Fr.Ar.	24.00	6.13	0.43	0.17	0.10	0.40	7.23	6.83	28
3177	10	5.3	0.38	0.00	3.0	37.0	116	30	40	30	Fr.Ar.	19.20	9.64	1.13	0.26	0.09	0.40	11.52	11.12	58
3178	11	5.5	0.31	0.00	2.5	44.9	115	34	36	30	Fr.Ar.	19.52	8.10	1.06	0.15	0.06	0.30	9.67	9.37	48
3179	12	5.6	0.30	0.00	1.6	36.0	119	30	34	36	Fr.Ar.	19.52	8.60	1.10	0.19	0.11	0.40	10.40	10.00	51
3180	13	5.8	0.25	0.00	1.7	48.3	127	32	36	32	Fr.Ar.	19.20	9.13	0.90	0.23	0.10	0.30	10.66	10.36	54

A = arena ; A.Fr. = arena franca ;Fr.A. = franco arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = franco Limoso ; L = limoso ; Fr.Ar.A. = franco arcillo arenoso ;Fr.Ar. = franco arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco arcillo limoso ;Ar.A. = Arcillo Arenoso ;Ar.L. = arcillo limoso ; Ar. = Arcilloso

ANEXO 2

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCION SUSTENTABLE

Departamento :

JUNIN

Provincia :

JAUJA

Distrito :

SINCOS

Predio :

COMUNIDAD ARAMACHAY

Referencia :

H.R. 11634-057C-06

Fecha :

04-07-06

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Campo							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			

3181	14	5.6	0.28	0.00	1.9	44.9	149	32	36	32	Fr.Ar.	18.24	8.95	0.90	0.26	0.12	0.30	10.53	10.23	56
3182	15	5.5	0.23	0.00	3.1	29.2	79	40	18	42	Ar.	26.40	12.40	0.73	0.16	0.40	0.40	14.09	13.69	52
3183	16	5.2	0.78	0.00	2.9	35.0	80	32	40	28	Fr.Ar.	26.24	8.40	0.75	0.10	0.11	0.30	9.66	9.36	36
3184	17	5.5	0.25	0.00	2.0	35.0	81	30	36	34	Fr.Ar.	18.72	6.20	0.73	0.13	0.28	0.40	7.74	7.34	39
3185	18	5.8	0.25	0.00	1.6	23.4	93	27	32	41	Ar.	22.40	11.00	1.36	0.14	0.06	0.40	12.96	12.56	56
3186	19	5.8	0.30	0.00	1.8	34.1	107	26	32	42	Ar.	21.12	10.20	1.28	0.15	0.10	0.40	12.13	11.73	56
3187	20	5.9	0.31	0.00	1.6	34.1	112	30	32	38	Fr.Ar.	19.20	10.60	1.18	0.18	0.09	0.30	12.35	12.05	63
3188	21	5.7	0.27	0.00	1.5	38.0	95	28	40	32	Fr.Ar.	18.08	5.76	0.61	0.15	0.05	0.40	6.97	6.57	36
3189	22	5.1	0.49	0.00	3.1	48.3	73	28	38	34	Fr.Ar.	24.64	10.67	1.00	0.15	0.45	0.50	12.77	12.27	50
3190	23	5.2	0.46	0.00	2.5	48.3	97	30	38	32	Fr.Ar.	21.76	5.75	0.68	0.12	0.07	0.60	7.22	6.62	30
3191	24	5.7	0.48	0.00	2.0	31.2	104	30	38	32	Fr.Ar.	17.12	5.56	0.75	0.12	0.25	0.50	7.18	6.68	39
3192	25	5.5	0.66	0.00	1.6	44.9	118	27	32	41	Ar.	21.76	7.95	1.23	0.16	0.10	0.50	9.94	9.44	43
3193	26	5.7	0.32	0.00	1.5	31.2	123	26	32	42	Ar.	20.80	9.40	1.25	0.16	0.10	0.40	11.31	10.91	52

A = arena ; A.Fr. = arena franca ;Fr.A. = franco arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = franco Limoso ; L = limoso ; Fr.Ar.A. = franco arcillo arenoso ;Fr.Ar. = franco arcilloso ;
Fr.Ar.L. = Franco arcillo limoso ;Ar.A. = Arcillo Arenoso ;Ar.L. = arcillo limoso ; Ar. = Arcilloso

ANEXO 3

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante

: INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCION SUSTENTABLE

Departamento

: JUNIN

Distrito

: SINCOS

Referencia

: H.R. 11634-059C-06

Provincia

: JAUJA

Predio

: COMUNIDAD ARAMACHAY

Fecha

: 07-07-06

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Campo							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			

3194	27	6.0	0.16	0.00	2.1	16.4	112	30	38	32	Fr.Ar.	21.60	8.39	1.13	0.14	0.12	0.00	9.78	9.78	45
3195	28	5.6	0.23	0.00	2.5	22.1	127	32	42	26	Fr.	20.16	7.55	1.08	0.18	0.10	0.90	9.81	8.91	44
3196	29	5.5	0.32	0.00	3.1	25.0	89	22	46	32	Fr.Ar.	20.32	10.02	0.65	0.13	0.07	0.60	11.47	10.87	53
3197	30	5.5	0.28	0.00	3.5	28.8	95	30	46	24	Fr.	24.00	7.01	0.73	0.13	0.09	0.50	8.46	7.96	33
3198	31	5.6	0.29	0.00	2.5	35.5	107	32	44	24	Fr.	19.84	4.03	0.55	0.11	0.07	0.60	5.36	4.76	24
3199	32	6.0	0.18	0.00	2.1	29.8	109	28	36	36	Fr.Ar.	21.44	5.18	0.75	0.13	0.07	0.00	6.13	6.13	29
3200	33	6.1	0.20	0.00	1.8	29.8	135	30	38	32	Fr.Ar.	22.72	4.89	0.75	0.15	0.08	0.00	5.87	5.87	26
3201	34	6.1	0.27	0.00	2.0	66.2	128	24	38	38	Fr.Ar.	25.28	8.20	1.48	0.18	0.08	0.00	9.94	9.94	39
3202	35	5.5	0.23	0.00	2.4	24.0	103	28	42	30	Fr.Ar.	22.88	6.82	1.03	0.13	0.08	0.50	8.56	8.06	35
3203	36	5.6	0.71	0.00	3.1	41.3	80	24	40	36	Fr.Ar.	25.92	7.21	0.48	0.09	0.06	0.50	8.34	7.84	30
3204	37	5.6	0.19	0.00	3.3	42.5	117	26	42	32	Fr.Ar.	28.16	9.53	0.75	0.18	0.09	0.50	11.05	10.55	37
3205	38	5.5	0.24	0.00	2.6	31.7	100	34	44	22	Fr.	23.04	5.26	0.63	0.14	0.08	0.50	6.61	6.11	27
3206	39	5.6	0.29	0.00	2.2	32.7	91	32	42	26	Fr.	19.52	5.58	0.88	0.10	0.07	0.50	7.13	6.63	34

A = arena ; A.Fr. = arena franca ;Fr.A. = franco arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = franco Limoso ; L = limoso ; Fr.Ar.A. = franco arcillo arenoso ;Fr.Ar. = franco arcilloso ;

Fr.Ar.L. = Franco arcillo limoso ;Ar.A. = Arcillo Arenoso ;Ar.L. = arcillo limoso ; Ar. = Arcilloso

ANEXO 4

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante

: INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCION SUSTENTABLE

Departamento

: JUNIN

Provincia : JAUJA

Distrito

: SINCOS

Predio : COMUNIDAD ARAMACHAY

Referencia

: H.R. 11634-059C-06

Fact.: Pendiente

Fecha : 07-07-06

Número de Muestra		pH (1:1) (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cambiabiles					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Campo							Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
								%	%	%			me/100g							
3207	40	5.9	0.17	0.00	1.8	40.8	122	26	40	34	Fr.Ar.	22.40	6.93	0.93	0.14	0.07	0.40	8.47	8.07	36
3208	41	6.3	0.15	0.00	1.4	35.5	151	22	42	36	Fr.Ar.	23.36	5.66	0.70	0.14	0.06	0.00	6.56	6.56	28
3209	42	5.7	0.18	0.00	1.7	38.4	147	26	38	36	Fr.Ar.	24.32	9.84	1.58	0.17	0.10	0.30	11.99	11.69	48
3210	43	5.6	0.25	0.00	2.5	45.9	77	26	44	30	Fr.Ar.	25.60	8.73	0.46	0.10	0.09	0.50	9.88	9.38	37
3211	44	5.5	0.26	0.00	4.1	39.4	72	26	44	30	Fr.Ar.	31.20	17.69	1.25	0.14	0.09	0.60	19.77	19.17	61
3212	45	5.3	0.62	0.00	2.8	30.8	71	30	46	24	Fr.	22.88	6.51	0.68	0.10	0.08	0.70	8.07	7.37	32
3213	46	5.9	0.23	0.00	2.3	44.2	107	32	44	24	Fr.	20.48	5.10	1.01	0.13	0.06	0.40	6.70	6.30	31
3214	47	5.2	0.14	0.00	2.0	23.1	125	28	36	36	Fr.Ar.	22.40	4.75	0.61	0.14	0.09	0.90	6.49	5.59	25
3215	48	5.9	0.17	0.00	2.0	47.6	147	32	36	32	Fr.Ar.	25.60	5.64	0.81	0.20	0.07	0.50	7.22	6.72	26
3216	49	5.6	0.20	0.00	2.4	26.9	156	28	38	34	Fr.Ar.	23.20	5.21	0.91	0.17	0.07	0.60	6.96	6.36	27
3217	50	6.0	0.13	0.00	3.5	25.0	78	26	44	30	Fr.Ar.	25.60	14.14	1.26	0.12	0.09	0.00	15.61	15.61	61
3218	51	6.1	0.20	0.00	4.2	49.3	89	26	38	36	Fr.Ar.	32.32	11.28	0.78	0.13	0.09	0.00	12.28	12.28	38
3219	52	5.5	0.19	0.00	3.1	54.4	99	34	40	26	Fr.	20.80	3.56	0.42	0.12	0.08	0.70	4.88	4.18	20

A = arena ; A.Fr. = arena franca ;Fr.A. = franco arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = franco Limoso ; L = limoso ; Fr.Ar.A. = franco arcillo arenoso ;Fr.Ar. = franco arcilloso ;
Fr.Ar.L. = Franco arcillo limoso ;Ar.A. = Arcillo Arenoso ;Ar.L. = arcillo limoso ; Ar. = Arcilloso

ANEXO 5

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCION SUSTENTABLE

Departamento : JUNIN

Distrito :
SINCOSProvincia :
JAUJAPredio:
Comunidad
Aramachay

Muestra		C.E.								Clase	CIC	Cambiabiles					Suma	Suma	%
Campo	pH	(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla	Textural		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	de	de	Sat. De
	(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		me/100g					Cationes	Bases	Bases	
SE-1	5.15	0.42	0.0	2.0	30.7	112	29	39	33	Fr.Ar.	24.05	20.3	2.88	0.24	0.29	0.20	23.87	23.67	98
SE-2	5.45	0.36	0.0	2.7	24.6	64	32	38	30	Fr.Ar.	28.00	23.73	2.11	0.33	0.13	1.70	28.00	26.30	94
SE-3	5.71	0.19	0.0	15.6	11.7	52	50	30	20	Fr.	71.20	66.53	3.35	0.16	0.15	1.00	71.19	70.19	99
SE-4	5.82	0.18	0.0	2.6	20.6	92	20	22	58	Ar.	29.76	26.19	2.46	0.16	0.15	0.80	29.76	28.96	97

ANEXO 6

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCION SUSTENTABLE
 Departamento : JUNIN
 Provincia : JAUJA
 Distrito : SINCOS
 Predio : COMUNIDAD ARAMACHAY
 Factura : Pendiente
 Referencia : H.R. 11634-057C-06
 Fecha : 04-07-06

Número de Muestra		B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
Lab	Campo					
3168	1	1.0	4.5	120.1	43.5	21.1
3169	2	1.6	3.7	72.8	61.2	19.5
3170	3	1.8	5.3	177.7	89.0	14.0
3171	4	1.4	6.1	306.5	249.0	11.4
3172	5	1.4	4.4	117.5	88.0	6.8
3173	6	1.2	4.6	198.3	162.0	7.7
3174	7	1.4	6.3	201.2	169.0	8.0
3175	8	1.6	3.2	168.4	47.0	14.2
3176	9	1.2	5.5	228.8	83.0	14.0
3177	10	1.4	6.0	182.3	102.0	9.4
3178	11	1.2	4.3	104.6	138.0	8.0
3179	12	1.0	4.3	79.4	63.0	10.5
3180	13	0.8	3.6	70.3	75.0	5.6
3181	14	1.2	6.2	138.6	201.0	7.2
3182	15	1.2	5.1	89.6	41.0	19.7
3183	16	1.6	4.5	142.8	97.0	10.4
3184	17	1.6	7.7	152.2	73.0	7.3
3185	18	1.4	13.5	53.9	47.3	5.5
3186	19	1.2	2.5	46.4	52.1	4.7
3187	20	0.8	2.3	44.6	41.1	4.0
3188	21	0.8	2.8	51.3	70.0	4.0
3189	22	1.2	3.3	121.9	87.0	9.2
3190	23	1.2	2.8	97.8	88.0	6.2
3191	24	0.8	3.0	72.3	82.0	6.2
3192	25	1.2	3.1	59.3	79.0	5.7
3193	26	1.0	4.0	47.3	99.0	5.4

ANEXO 7

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCION SUSTENTABLE
 Departamento : JUNIN
 Provincia : JAUJA
 Distrito : SINCOS
 Predio : COMUNIDAD ARAMACHAY
 Factura : Pendiente
 Referencia : H.R. 11634-059C-06
 Fecha : 07-07-06

Número de Muestra		B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
Lab	Campo					
3194	27	0.6	2.3	36.0	64.9	3.9
3195	28	0.4	3.2	75.0	111.0	4.8
3196	29	0.8	5.2	97.5	54.0	16.3
3197	30	0.6	4.6	156.1	102.0	8.9
3198	31	0.8	4.6	131.3	85.0	6.7
3199	32	0.8	3.6	47.1	64.0	7.8
3200	33	1.1	4.1	35.1	61.4	5.6
3201	34	1.3	3.1	43.9	58.3	6.9
3202	35	0.6	4.7	137.8	79.0	5.7
3203	36	0.6	7.0	116.2	51.1	30.8
3204	37	0.8	3.3	114.9	59.6	11.8
3205	38	0.6	5.3	151.6	73.0	9.0
3206	39	0.6	4.2	82.3	89.0	6.7
3207	40	0.8	5.0	42.3	61.0	5.6
3208	41	0.6	2.5	41.1	24.0	4.2
3209	42	0.4	4.1	45.5	65.0	4.2
3210	43	0.6	8.2	111.0	36.5	28.7
3211	44	0.8	3.3	153.7	48.8	17.9
3212	45	0.8	4.5	141.7	63.0	9.2
3213	46	0.6	4.6	76.6	60.0	5.8
3214	47	0.2	2.9	37.0	48.7	4.5
3215	48	0.2	2.4	35.5	45.5	4.7
3216	49	0.0	2.5	50.8	71.0	4.7
3217	50	0.6	4.5	64.6	42.8	15.1
3218	51	0.4	3.2	107.9	21.4	17.3
3219	52	0.6	5.5	154.7	80.8	6.8