

**DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS DEL ORDEN
ULTISOL BAJO DIFERENTES USOS Y PROFUNDIDADES EN
CAAGUAZÚ, PARAGUAY**

DANNY RUBÉN RÍOS VELÁZQUEZ

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción como requisito para la obtención del título de *Magister Scientiae* en Ciencia de Suelo y Ordenamiento Territorial. Programa de Postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Dirección de Postgrado

San Lorenzo, Paraguay

2020

**DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS DEL ORDEN
ULTISOL BAJO DIFERENTES USOS Y PROFUNDIDADES EN
CAAGUAZÚ, PARAGUAY**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: GÉNESIS Y MORFOLOGÍA DE SUELO

DANNY RUBÉN RÍOS VELÁZQUEZ

COMITÉ ASESOR DE TESIS

Orientador: Prof. Ing. Agr. *Dr.* Arnulfo Encina Rojas
Co-Orientadores: Prof. Ing. Agr. *M.Sc.* Carlos Villalba Martínez
Prof. Lic. Geol. *M.Sc.* Higinio Moreno Resquín

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción como requisito para la obtención del título de *Magister Scientiae* en Ciencia de Suelo y Ordenamiento Territorial. Programa de Postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado
San Lorenzo, Paraguay

2020

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado

**DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS DEL ORDEN
ULTISOL BAJO DIFERENTES USOS Y PROFUNDIDADES EN
CAAGUAZÚ, PARAGUAY**

Esta tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Ciencia de Suelo y Ordenamiento Territorial. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA.

Autor: Danny Rubén Ríos Velázquez

Miembros del Comité Asesor de Tesis y Mesa Examinadora:

Prof. Ing. Agr. *Dr.* Arnulfo Encina Rojas

Prof. Ing. Agr. *M.Sc.* Carlos Villalba Martínez

Prof. Lic. *M.Sc.* Geol. Higinio Moreno Resquín

Prof. Ing. Agr. *MSc.* Gustavo Rolón

San Lorenzo, 18 de julio de 2020

DEDICATORIA

A mis padres Daniel Ríos y Mirian Velázquez

A mis hermanos

A mi abuelo Domingo Velázquez (†)

AGRADECIMIENTO

- A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.
- En especial a mi Madre, por cada día hacerme ver la vida de una forma diferente y confiar en mis decisiones, y a mi Padre, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue.
- A la Facultad Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, por brindar el espacio para el desarrollo de esta Maestría.
- Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por la financiación e incentivo otorgado durante el desarrollo de la Maestría
- A la Facultad Ciencias de la Producción (FCP-UNCA) por hacerme participe de su proyecto de investigación.
- Al Ing. Agr. (Dr) Arnulfo Encina Rojas por sus valiosas recomendaciones y apoyo constante para mi desarrollo tanto personal como profesional.
- Al Ing. Agr. Carlos Villalba Martínez por su buena predisposición en todo momento para llegar a finalizar de forma satisfactoria el trabajo de investigación.
- Al Lic. Geol. Higinio Moreno por sus valiosos aportes al trabajo de investigación.
- A la Agroganadera ALTA Foresta propiedad del Ing. Agr. Juan José Zárate, por brindar el espacio físico para realizar el estudio de campo.
- Al plantel docente de la Dirección de Postgrado y del área de Suelo y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, por todo el soporte brindado.
- A mis compañeros de Maestría, funcionarios del departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la FCA/UNA por el apoyo y buena predisposición para conmigo.

**DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS DEL ORDEN
ULTISOL BAJO DIFERENTES USOS Y PROFUNDIDADES EN
CAAGUAZÚ, PARAGUAY**

Autor: DANNY RUBÉN RÍOS VELÁZQUEZ
Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Arnulfo Encina Rojas
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. M.Sc. Carlos Villalba Martínez
Co-Orientador: Prof. Lic. Geol. M.Sc. Higinio Moreno Resquín

RESUMEN

La naturaleza del suelo juega un papel fundamental en la concentración de los micronutrientes y su disponibilidad en el suelo. Los micronutrientes Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cloro (Cl), Molibdeno (Mo) y Níquel (Ni) son considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal debido a que cumplen funciones específicas para las plantas y su deficiencia conlleva a bajos rendimientos en cultivos agrícolas, razón por la cual su asociación con los indicadores de fertilidad de suelos podría ser de gran ayuda para conocer su dinámica en los agroecosistemas. La presente investigación tuvo por objetivo describir la disponibilidad de micronutrientes (Cu, Fe, Zn, Mn y B) en suelos del orden Ultisol bajo diferentes usos y profundidades en el departamento de Caaguazú. El diseño fue cuasi-experimental con la aplicación de estadística descriptiva y un diseño de DBCA cuyo factor principal fue el uso del suelo y la profundidad. Se colectaron muestras de suelo compuestas por cinco usos (Bosque, Siembra Convencional, Pastura, Siembra Directa y Silvopastoril) y seis profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 y 100-150 cm), analizándose la concentración de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn y B). Los resultados obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza y se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para las variables con diferencias significativas. En cuanto al uso fueron identificados los mayores niveles de micronutrientes a excepción del Fe para el uso Bosque seguido por el uso Silvopastoril. Con respecto a la profundidad fueron registrados los mayores niveles para la primera profundidad estudiada 0-5 cm para el Fe ($63,68 \text{ mg dm}^{-3}$), Mn ($182,12 \text{ mg dm}^{-3}$), Zn ($9,58 \text{ mg dm}^{-3}$) y B ($0,37 \text{ mg dm}^{-3}$), no así para el Cu cuyo mayor nivel fue registrado para la profundidad 60-100 cm con un valor medio de $2,31 \text{ mg dm}^{-3}$. Bajo la forma en que se realizó la investigación la concentración de Cu y Fe no registraron diferencia significativa por efecto del uso de suelo, no obstante, por efecto de profundidad se registraron diferencias significativas en la concentración de los micronutrientes estudiados en la camada superficial (0-5cm) con una correlación directa con el contenido de MO para los micronutrientes (Cu, Mn, Zn y B).

Palabras claves: Micronutrientes, usos de suelo, profundidad, Ultisol

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM SOLOS DA ORDEM
ULTISOL SOB DIFERENTES USOS E PROFUNDIDADES EM CAAGUAZÚ,
PARAGUAI**

Autor: DANNY RUBÉN RÍOS VELÁZQUEZ
Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Arnulfo Encina Rojas
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. M.Sc. Carlos Villalba Martínez
Co-Orientador: Prof. Lic. Geol. M.Sc. Higinio Moreno Resquín

RESUMO

A natureza do solo desempenha um papel fundamental na concentração dos micronutrientes e sua disponibilidade no solo. Os micronutrientes Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Boro (B), Cloro (Cl), Molibdênio (Mo) e Níquel (Ni) são considerados essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas porque cumprem funções específicas para as plantas e sua deficiência leva a baixos rendimentos nas lavouras agrícolas, por isso sua associação com indicadores de fertilidade do solo pode ser de grande ajuda para conhecer sua dinâmica nos agroecossistemas. O presente trabalho teve como objetivo descrever a disponibilidade de micronutrientes (Cu, Fe, Zn, Mn e B) em solos da ordem Ultisol sob diferentes usos e profundidades no departamento de Caaguazú. O delineamento foi quase experimental com a aplicação de estatística descritiva e um delineamento DBCA cujo principal fator foi o uso do solo e a profundidade. Amostras de solo foram coletadas compostas por cinco usos (Floresta, Semeadura Convencional, Pastagem, Semeadura Direta e Silvipastoril) e seis profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 e 100-150 cm), analisando a concentração de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias foi feita com o teste de Tukey ($P \leq 0,05$) para as variáveis com diferenças significativas. Em relação ao uso, foram identificados os maiores teores de micronutrientes, exceto Fe para uso floresta seguido de uso silvipastoril. Em relação à profundidade, os maiores níveis foram registrados para a primeira profundidade estudada 0-5 cm para Fe (63,68 mg dm⁻³), Mn (182,12 mg dm⁻³), Zn (9,58 mg dm⁻³) e B (0,37 mg dm⁻³), mas não para o Cu, cujo maior nível foi registrado na profundidade 60-100 cm com valor médio de 2,31 mg dm⁻³. Na forma como a pesquisa foi realizada, a concentração de Cu e Fe não registrou diferença significativa devido ao efeito do uso do solo, porém, devido ao efeito da profundidade, foram registradas diferenças significativas na concentração dos micronutrientes estudados na camada superficial (0 -5cm) com correlação direta com o teor de MO para os micronutrientes (Cu, Mn, Zn e B).

Palavras-chave: Micronutrientes, uso do solo, profundidade, Ultisol

**AVAILABILITY OF MICRONUTRIENTS IN SOILS OF THE ULTISOL
ORDER UNDER DIFFERENT USES AND DEPTHS IN CAAGAUZÚ,
PARAGUAY**

Autor: DANNY RUBÉN RÍOS VELÁZQUEZ
Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. Arnulfo Encina Rojas
Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. M.Sc. Carlos Villalba Martínez
Co-Orientador: Prof. Lic. Geol. M.Sc. Higinio Moreno Resquín

SUMMARY

The nature of the soil plays a fundamental role in the concentration of the micronutrients and their availability in the soil. The micronutrients Copper (Cu), Iron (Fe), Manganese (Mn), Zinc (Zn), Boron (B), Chlorine (Cl), Molybdenum (Mo) and Nickel (Ni) are considered essential for plant growth and development because they fulfill specific functions for plants and their deficiency leads to low yields in agricultural crops, which is why their association with soil fertility indicators could be of great help to know their dynamics in the agroecosystems. The objective of this research was to describe the availability of micronutrients (Cu, Fe, Zn, Mn and B) in soils of the Ultisol order under different uses and depths in Caaguazú department. The design was quasi-experimental with the application of descriptive statistics and a DBCA design whose main factor was land use and depth. Soil samples composed of five uses were collected (Forest, Conventional Sowing, Pasture, No-tillage and Silvopastoral) and six depths (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 and 100-150 cm), analyzing the concentration of micronutrients (Cu, Fe, Mn, Zn and B). The results obtained were subjected to the analysis of variance and a comparison of means with the Tukey test ($P \leq 0.05$) was performed for the variables with significant differences. The results obtained regarding the use were found the highest levels of micronutrients except for Fe for Forest use followed by Silvopastoral use. Regarding depth, the highest levels were recorded for the first depth studied 0-5 cm for Fe (63.68 mg dm⁻³), Mn (182.12 mg dm⁻³), Zn (9.58 mg dm⁻³) and B (0.37 mg dm⁻³), not so for Cu whose highest level was recorded for depth 60-100 cm with an average value of 2.31 mg dm⁻³. Under the way in which the research was carried out, the concentration of Cu and Fe did not register a significant difference due to the effect of land use, however, due to the effect of depth, significant differences were registered in the concentration of the micronutrients studied in the surface layer (0 -5cm) with a direct correlation with the OM content for the micronutrients (Cu, Mn, Zn and B).

Keywords: Micronutrients, land uses, depth, Ultisol

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Características de los suelos correspondientes al orden Ultisol.....	3
2.2 Origen de los micronutrientes del suelo.....	4
2.3 Importancia agronómica de los micronutrientes	5
2.4 Relación entre las propiedades del suelo y micronutrientes	7
2.5 Ciclo de los micronutrientes.....	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Local y época de la investigación	12
3.2 Condiciones climáticas del área de estudio.....	13
3.3 Determinación de los puntos de observación para el levantamiento de muestras de suelos.....	13
3.4 Historial de parcelas estudiadas	14
3.5 Recursos materiales y equipos técnicos	15
3.6 Análisis de las muestras de suelos	16
3.7 Descripción de perfiles de suelos.....	16
3.8 Variables independientes	16
3.9 Variables dependientes.....	17
3.9.1 Concentración de micronutrientes (Cobre, Hierro, Zinc, Manganeso y Boro)17	17
3.9.2 Contenido de Materia Orgánica	17
3.9.3 pH (CaCl ₂) del suelo	17
3.9.4 Textura del suelo	18
3.9.5 Color del suelo	18
3.9.6 Consistencia del suelo	18
3.9.7 Niveles de referencia de los micronutrientes, pH y Materia Orgánica	18
3.9.8 Análisis de datos	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Caracterización morfológica de los perfiles modales estudiados	21
4.2 Descripción del potencial hidrogeno (pH), Materia orgánica y los niveles de micronutrientes según los usos de suelo estudiados	31
4.3 Descripción del potencial hidrogeno (pH), Materia orgánica y los niveles de micronutrientes según las profundidades estudiadas	38

4.4	Concentración de micronutrientes (Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc y Boro) en función al uso y a distintas profundidades.	45
4.5	Distribución de micronutrientes (Fe, Mn, B, Cu, Zn) en el perfil del suelo bajo diferentes usos.	47
4.6	pH del suelo, Porcentaje de Materia Orgánica y Textura del Suelo	50
4.7	Correlación entre los indicadores de fertilidad de suelo y la concentración de micronutrientes.....	53
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
7.	ANEXOS	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los niveles de referencia de micronutrientes.....	19
Tabla 2. Clasificación de los valores de pH.....	19
Tabla 3. Clasificación de los contenidos de MO.....	19
Tabla 4. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso Bosque.....	22
Tabla 5. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso S. Conv.....	25
Tabla 6. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso Pastura.....	26
Tabla 7. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso S. Directa.....	28
Tabla 8. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso Silvopastoril...30	
Tabla 9. Caracterización de valores de pH y MO en distintos usos.....	32
Tabla 10. Caracterización de las concentraciones de Cu y Fe en usos de suelo.....	34
Tabla 11. Caracterización de las concentraciones de Mn y Zn en usos de suelo.....	35
Tabla 12. Caracterización de las concentraciones de B en usos de suelo.....	37
Tabla 13. Caracterización de los valores de pH y MO en profundidad.....	39
Tabla 14. Caracterización de las concentraciones de Cu y Fe en profundidad.....	41
Tabla 15. Caracterización de las concentraciones de Mn y Zn en profundidad.....	43
Tabla 16. Caracterización de la concentración de B en profundidad.....	44
Tabla 17. Concentración de micronutrientes bajo diferentes usos.....	45
Tabla 18. Concentración de micronutrientes en diferentes profundidades.....	46
Tabla 19. Contenido de MO, nivel de pH, componentes de la textura del suelo bajo diferentes usos de suelo.....	50
Tabla 20. Contenido de MO, nivel de pH, componentes de la textura del suelo bajo diferentes profundidades.....	51
Tabla 21. Correlación de Pearson entre indicadores de fertilidad de suelo y micronutrientes.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del área experimental.....	12
Figura 2. Datos climáticos.....	13
Figura 3. Concentración de micronutrientes.....	49

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Cuadro de descripción de perfil.....	67
Anexo 2. Explicación de descripción Morfológica.....	68
Anexo 3. Preparación de calicatas.....	70
Anexo 4. Descripción de perfil modal y toma de muestras.....	70
Anexo 5. Resultados de análisis de suelo en función al uso y profundidades.....	72
Anexo 6. ANAVA de las variables estudiadas.....	73

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ARN	Ácido Ribonucleico
B	Boro
CaCo ₃	Carbonato de Calcio
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico
Cl	Cloro
Cu	Cobre
Fe	Hierro
GPS	Sistema de posicionamiento global
IAA	Ácido Indol Acético
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
N	Nitrógeno
Ni	Níquel
P	Fósforo
pH	Potencial de Hidrogeno
Zn	Zinc

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

%	porcentaje
°C	Grado Celsius
mm	milímetros
m	metro
Kg/ha	kilogramos por hectárea
cm	centímetros
g	gramos
ml	mililitros
mg. dm ⁻³	miligramos por decímetro cúbico

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural único, que sustenta muchas de las economías agrícolas mundiales. Más allá de su rol fundamental en los ecosistemas y la economía, y a diferencia del agua y el aire, es considerado un recurso limitado. Constituyen la base para la producción de alimentos; sin embargo, la degradación global de los suelos representa una amenaza latente. El crecimiento poblacional demandará una mayor producción de alimentos y servicios ambientales, incrementándose la presión sobre los suelos, por lo que se vuelve crítico contar con suelos fértiles, considerando que el mismo proporciona los macro y micronutrientes que las plantas necesitan para poder concluir su ciclo (Gardi et al. 2014; Miretti et al. 2012).

Los suelos presentan una amplia variabilidad en cuanto a los contenidos totales de micronutrientes y difieren en su habilidad para aportarlos en niveles suficientes para el desarrollo óptimo de los cultivos. Algunos micronutrientes como Fe, Cu, B, Mn, Zn, Cl, Mo y Ni son nutrientes esenciales requeridos en cantidades pequeñas por las plantas; concentraciones insuficientes en el suelo determinan déficit y niveles excesivos promueven toxicidad (Kabata y Pendias 2001; Blanco et al. 2017).

Los micronutrientes (Fe, Cu, B, Mn, Zn, Cl, Mo y Ni) tienen gran importancia en los procesos biológicos de la planta. La escasa disponibilidad de los mismos puede afectar negativamente el rendimiento y calidad de las cosechas, situación que podría afectar directamente la rentabilidad y nivel de ingreso del productor, por lo tanto, a su calidad de vida y la de su familia.

Con la expansión de la agricultura mecanizada a suelos marginales, acompañado de las altas productividades registradas en los últimos tiempos lo cual conlleva a altas tasas de extracción y exportación y el uso de fuentes de fertilización

carentes de micronutrientes, el uso de correctivos agrícolas por sobre todo en suelos del orden Ultisol caracterizados por niveles de saturación de bases por debajo del 35% y presencia de acidez que afectan en la disponibilidad de micronutrientes, es clave conocer la dinámica de los micronutrientes en los agroecosistemas para mantener la productividad de los cultivos.

Varios estudios perciben que la disminución de la fertilidad del suelo está ampliamente extendida en las regiones tropicales y sub tropicales y que es causada por una reposición inadecuada de nutrientes y grandes pérdidas en comparación con los ecosistemas. Aunque esto ha sido reconocido durante algunas décadas, existe la necesidad de datos sobre la disponibilidad de nutrientes en relación a los sistemas agrícolas empleados de manera a comprender y diseñar sistemas de cultivo sostenibles (Hartemink 2004; López et. al 1995, Rasche et al. 2016).

Considerando los aspectos recién mencionados, así como la escasa información disponible respecto de los micronutrientes en suelos bajo diferentes usos, esta investigación tiene por objetivo general describir la disponibilidad de micronutrientes (Cu, Fe, Zn, Mn y B) en suelos del orden Ultisol bajo diferentes usos y profundidades, en el distrito de Coronel Oviedo, departamento de Caaguazú. Los objetivos específicos fueron: Describir morfológicamente los perfiles de suelos en función al uso a que fueron destinados, determinar la concentración de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn y B) como consecuencia del uso de suelo, determinar la concentración de micronutrientes a distintas profundidades y relacionar la disponibilidad de los micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, B) con algunos parámetros de fertilidad de suelo (materia orgánica, pH, porcentaje de arcilla).

La hipótesis planteada fue que la concentración de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn y B) en el suelo varían en función del sistema de uso empleado: Bosque, S. Convencional, Pastura, Siembra Directa y Silvopastoril. Así mismo, que existe una variación de la concentración de micronutrientes del suelo a lo largo del perfil considerando el uso de suelo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características de los suelos correspondientes al orden Ultisol

Los Ultisoles son suelos del trópico con poca materia orgánica que poseen bajo pH que desencadena en baja CIC y poca fertilidad, además de altos niveles de aluminio y poco fósforo disponible. El manejo para mejorar estas características se da con el uso de enmiendas, incorporación de materia orgánica, fertilización fosforada, y uso de plantas tolerantes al bajo pH y bajo contenido fósforo cambiante (Gunal y Ransom 2006).

Los suelos de esta orden se caracterizan por la presencia de un horizonte enriquecido con arcilla iluviada de horizontes superficiales, conocido como horizonte argílico, que se encuentra a cierta profundidad en el perfil del suelo, a menos que este haya sido erosionado y se encuentre expuesto en la superficie, con una saturación de bases inferior al 35%, que está ligada a la distribución y cantidad de lluvia durante el año por lo que los suelos correspondientes a este orden se ubican en zonas donde llueve más y durante casi todo el año (Alvarado y Forsythe 2005; Sánchez y Rubiano 2015).

Los Ultisoles de la Región Oriental del país, tiene un horizonte argílico o Kándico, pero sin Fragipán, y una saturación de bases (por la suma de cationes) de menos que 35% en una de las siguientes profundidades: 1) si el horizonte superficial es arenoso o arenoso con 35% o más de fragmentos de rocas, esa saturación en bases debe cumplirse a la profundidad de 125cm, a partir del límite superior del Argílico o 180cm de profundidad desde la superficie del suelo, o inmediatamente arriba del contacto con la roca si el suelo es menos profundo de 2 metro; 2) si tienen un Fragipán, (camada endurecida y quebradiza, de alta densidad y de textura francosa), la saturación en bases debe cumplirse a los 75cm debajo del límite superior del Fragipán, o a los dos metros

desde la superficie del suelo, o en el contacto lítico, paralítico o petroférico. No se ha reconocido la presencia de Fragipán (López et al. 1995).

2.2 Origen de los micronutrientes del suelo

Los suelos difieren bastante en cuanto a la concentración de elementos que contienen, dado que cada tipo de suelo presenta una serie de propiedades que interfieren en su comportamiento. La obtención de determinadas cantidades de uno u otro elemento está muy condicionada por la dinámica del sistema edáfico, por el material de partida, el clima, la vegetación y la ubicación geográfica (Davies, Ma et al., citado por Sande et al. 2007).

Las concentraciones de micronutrientes y origen de los mismos también dependen en gran medida de la composición química del material original, así como de las condiciones climáticas de cada región (Chatzistathis 2014).

Según Miretti et al. (2012), los micronutrientes muestran un panorama más complejo que los macronutrientes debido a varios factores, entre los que se destacan: su baja concentración total presente en el suelo y una muy baja proporción de ese total en formas disponibles para las raíces, su deficiencia repercute negativamente en la producción, pero en forma menos definida que los macronutrientes, cada micronutriente posee propiedades específicas por lo que las generalizaciones son poco efectivas, numerosos factores edáficos afectan la disponibilidad para los cultivos, destacándose las modificaciones en el pH y el contenido de materia orgánica, los procesos de óxido reducción y de intercambio catiónico.

Para White y Zasoski (1999), los suelos varían ampliamente en su contenido de micronutrientes observándose una deficiencia para Sudamérica y en su capacidad para suministrar micronutrientes en cantidades suficientes para el desarrollo del cultivo. Agrawal et al. (2016) sostienen que el material parental y los procesos geoquímicos y pedogénicos determinan los niveles totales de micronutrientes en suelos. Sin embargo, los niveles totales rara vez son indicativos de la disponibilidad

para las plantas, porque la disponibilidad depende del tipo de suelo, pH, contenido de materia orgánica, superficies de adsorción y otras condiciones físicas, químicas y biológicas en la rizósfera.

El suelo presenta una heterogeneidad y su variabilidad espacial, horizontal y vertical, dependen de los factores de formación del suelo y están directamente relacionadas al manejo de los mismos, incidiendo en las propiedades físicas y químicas (Souza et al. 2007).

El uso continuo del suelo sin las prácticas de conservación generan una pérdida paulatina de la calidad de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Hirzel et al. 2016). Por lo que, el uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan principalmente el grado y la dirección de los cambios en su calidad considerando el contenido de micronutrientes como un parámetro (Quiroga y Funaro 2004).

El Fe es el cuarto elemento más abundante en la geósfera, solo inferior al oxígeno, silicio y aluminio. El contenido de Fe en los suelos varía de 1 a 20%, promediando 3,2%, pero su concentración normal en las plantas es solo de 0,005%. Entre los minerales que contienen Fe más importantes se encuentran la hematita, magnetita, biotita, siderita, goethita, granodiorita, pirita, vivianita, cromita, cubanita, germanita, etc. (Graham y Welch 2000; Zuo y Zhang 2008).

2.3 Importancia agronómica de los micronutrientes

Los micronutrientes son tan esenciales para el metabolismo y crecimiento de las plantas como los macronutrientes, siendo el análisis foliar una herramienta valiosa para detectar deficiencias de micronutrientes antes de que aparezcan síntomas macroscópicos, otras herramientas de diagnóstico utilizadas para evaluar las deficiencias de micronutrientes son el análisis del suelo, la respuesta del crecimiento de las plantas anuales y la observación visual de los síntomas (Chatzistathis 2014).

Según Prochnow et al. (2009), los micronutrientes son considerados indispensables para la producción óptima, debido a que permite demostrar el máximo potencial de los genotipos utilizados hoy en día. El mismo autor sostiene que los micronutrientes poseen funciones como, por ejemplo: el B síntesis de almidón, Cu actividad de peroxidasas y catalasas, Cl desdoblamiento de la molécula de agua en la fotosíntesis, Fe para la fotosíntesis, respiración y síntesis de ADN, Mn síntesis de clorofila, Mo síntesis de la enzima reductasa de nitrato, Ni funcionamiento de ureasa y el Zn en la síntesis de triptófano y lípidos.

El Fe juega un papel importante en la síntesis de clorofila, sin ser parte de su molécula, por lo que se encuentra involucrado en el proceso fotosintético. Además, participa en la molécula de Fe-proteínas catalasa, citocromo a, b, c, hiperoxidasa, se encuentra en las enzimas nitrito y nitrato reductasa, que son responsables de la transformación de NO_3^- en NH_4^+ , en la reducción de $\text{SO}_4^{(2-)}$, así como en la nitrogenasa, que es la enzima responsable de la captura atmosférica de N_2 . El síntoma más característico de la deficiencia de Fe es la clorosis de las plantas (Kabata y Pendias 2001; Therios 1996).

El Mn es parte de la molécula del complejo del fotosistema II (PSII), de la isoforma de las superóxido desmutasas y de las fosfatasas ácidas. Además, es un activador de las enzimas del metabolismo de carbohidratos, del ciclo de Krebs, así como de algunas otras enzimas, como la cisteína desulfasa, la glutamil transferasa, etc. consideradas de importancia para el desarrollo de la fotosíntesis. El mismo actúa como activador de aproximadamente 35 enzimas, cataliza reacciones de oxidación y reducción, descarboxilaciones, hidrolizados entre otras (Therios 1996; Voyiatzis y Petridou 2003; Kusunoki 2007).

El Zn juega un papel crucial en la biosíntesis de triptófano, que es la etapa previa de la síntesis de IAA (auxina), posee influencia directa en el crecimiento de la planta y la producción de biomasa. La concentración de IAA se reduce significativamente en tejidos vegetativos que padecen deficiencia de Zn. Además, es parte de algunas enzimas metálicas como las anhidrasas, deshidrogenasas, proteinasas

y peptidasas, además el Zn está involucrado en el metabolismo de carbohidratos, ácidos nucleicos y lípidos (Kabata y Pendias 2001; Therios 1996).

Según Kabata y Pendias (2001), el Cu está involucrado en la oxidación, la fotosíntesis, el metabolismo de proteínas y carbohidratos, mientras que también está posiblemente involucrado en la fijación simbiótica de N₂ y el metabolismo de la pared celular.

El B desempeña un papel en la transferencia de azúcares a lo largo de las membranas celulares, así como en la síntesis de ARN y ADN. También participa en el proceso de división celular, así como en la síntesis de pectina, en la síntesis de flavonoides, la utilización de fosfatos y la producción de polifenoles, mientras que también es un componente de los fosfogluconatos (Kabata y Pendias 2001; Therios 1996).

2.4 Relación entre las propiedades del suelo y la disponibilidad de micronutrientes

Estudios anteriores han demostrado que la disponibilidad de micronutrientes está muy influenciada por el microambiente del suelo, así como por las propiedades del mismo, entre las que se destacan el pH, CaCO₃, materia orgánica y P disponible. Igualmente, los sistemas de cultivo y las prácticas de fertilización son considerados factores que pueden influir en la disponibilidad de micronutrientes (Christensen et al. 1951; Jenne 1968; Shuman citado por Wei et al. 2006; Chatzistathis 2014).

La materia orgánica influye directamente en la disponibilidad de micronutrientes mientras que el efecto del P disponible, CaCO₃ y el pH influyen a través de su interacción con la materia orgánica, demostrando la importante influencia de la materia orgánica en la disponibilidad de micronutrientes (Zhang et al. 2001; Wei et al. 2006).

La materia orgánica del suelo ha sido de particular interés en estudios de adsorción de metales pesados por suelos, debido a su impacto significativo en la

capacidad de intercambio catiónico (CIC) y, más importante, en la tendencia de los cationes de metales de transición a formar complejos estables ligados a compuestos orgánicos (Elliott et al. 1986). Los suelos ricos en materia orgánica son más susceptibles a la deficiencia de micronutrientes que los pobres, considerando que las superficies cargadas negativamente de macromoléculas orgánicas adsorben cationes de micronutrientes que usualmente ocurren con Cu y forman complejos organometálicos fuertes, que pueden no ser absorbido por las plantas (Alifragis 2008).

La cantidad de materia orgánica del suelo afecta la unión de los metales pesados y la distribución en la solución del suelo (Lo et al. 1992). La capacidad de adsorción de la materia orgánica controla la disponibilidad de Zn en algunos de los suelos estudiados por Catlett et al. (2002). De acuerdo con McBride et al. (1997), el contenido de materia orgánica a menudo, pero no siempre, es un parámetro variable estadísticamente significativo para predecir la solubilidad del metal a partir de las propiedades del suelo. Al menos para el Cu, la materia orgánica sólida limita la actividad del metal libre, mientras que la materia orgánica disuelta promueve la solubilidad del metal en suelos bien envejecidos con respecto al contaminante del metal.

Según Kasmaei y Fekri (2012), el tipo de materia orgánica desempeña un papel muy importante en la extractabilidad y solubilidad del metal, específicamente, la extractabilidad de Cu aumentó con el tratamiento de estiércol de aves de corral y disminuyó con el tratamiento de compost de pistacho, en comparación con el suelo de control.

En suelos arenosos ácidos lixiviados, donde los cationes de micronutrientes se filtran de las capas superiores a las más profundas del suelo, la disponibilidad de micronutrientes se reduce significativamente. Por el contrario, es menos probable que los suelos con alto contenido de arcilla (textura fina) tengan bajos niveles de micronutrientes disponibles en la planta (Alifragis 2008).

La humedad y la temperatura del suelo afectan la disponibilidad de micronutrientes y la absorción por parte de las plantas. La escasez de humedad del suelo afecta negativamente la solubilidad de micronutrientes. Por otro lado, el exceso de humedad del suelo puede conducir a la prevalencia de condiciones anaerobias y reductoras. Bajo estas condiciones del suelo, la solubilidad de algunos micronutrientes (como la de Mn) aumenta (conversión de Mn^{4+} , no disponible para plantas, a Mn^{2+} , que es soluble, disponible para plantas,), mientras que la de otros, como Zn, disminuye (conversión de Zn^{2+} a Zn^+ que es la forma que no puede ser absorbida por las plantas) (Chatzistathis 2014).

El exceso de humedad en el suelo favorece la lixiviación de micronutrientes desde las capas superiores a las más profundas, especialmente en suelos de textura gruesa. Finalmente, las bajas temperaturas del suelo afectan negativamente la absorción de micronutrientes por las plantas, especialmente cuando se combinan con ambientes húmedos (Alifragis 2008), Miyasaka y Grunes (1997) encontraron que el aumento de la temperatura del suelo de 8 °C a 16 °C aumentaba en dos veces la concentración de Cu, Zn y Mn en las hojas de trigo de invierno.

Según Wei et al. (2006) la disponibilidad de Zn, Mn y Fe se correlacionan positivamente con la materia orgánica del suelo y P disponible. Los mismos autores destacaron una correlación positiva entre $CaCO_3$ con Zn y Mn disponible, pero una correlación negativa entre $CaCO_3$ y Fe. Sin embargo, para el Cu disponible la correlación fue negativa con P disponible y $CaCO_3$.

Beltrán et al. (2016), sostienen que una rotación de gramíneas y leguminosas favorece a una mayor acumulación de Zn y Mn en los primeros 5 cm superficiales del suelo en comparación al monocultivo de soja, estando positivamente correlacionado con mayores contenidos de materia orgánica, a diferencia del Cu y Fe que no presentaron una diferencia significativa en cuanto a la acumulación de la misma en relación a la profundidad.

Wei et al. (2006) pudieron distinguir que la materia orgánica del suelo ejerce un efecto significativo y directo sobre la disponibilidad de Zn, Mn y Fe, pero tiene poca influencia sobre el Cu disponible. Además, bajo las condiciones en la que fue realizado el experimento pudieron constatar que los efectos de P disponible, CaCO_3 y el pH sobre la disponibilidad de micronutrientes fueron indirectos, considerando la materia orgánica del suelo como principal factor directo.

Algunos factores edáficos como una reacción moderadamente alcalina en los suelos calcáreos y las texturas gruesas con una baja capacidad de intercambio catiónico y un escaso contenido de materia orgánica limitan la disponibilidad de micronutrientes (Ron y Loewi 2006).

El pH es el factor más importante que influye en la disponibilidad de micronutrientes en los suelos. En suelos fuertemente alcalinos, el pH alto favorece la formación de formas de micronutrientes insolubles, es decir, aquellos que no pueden ser absorbidos por las plantas. En general, a medida que aumenta el pH del suelo, la disponibilidad de la mayoría de los micronutrientes disminuye, con la excepción de Mo. La disponibilidad de Mn, Fe y Zn es máxima en un rango de pH de 5 a 6.5 y mínimo en suelos alcalinos, la deficiencia de Mo es un problema nutricional en suelos ácidos (Prochnow et al. 2009).

El pH elevado ocasiona una retención de los micronutrientes, fijándolos en formas no disponibles para las plantas (Fancelli 2006), sin embargo, dicha disponibilidad se ve favorecida en suelos con pH más ácidos y contenidos de arcilla o materia orgánica elevados (Prochnow et al. 2009; Roca et al. 2007).

En lo que respecta a la profundidad, en un trabajo realizado por Teixeira et al. (2003), se pudo observar mayor tenor de carbono orgánico, cobre, manganeso y zinc en los primeros 5 cm del suelo bajo el sistema de siembra directa, y un comportamiento contrario en lo que respecta al hierro.

Los niveles de micronutrientes potencialmente geodisponibles y su distribución son una compleja función dependiente de los procesos geológicos de erosión, sedimentación y pedogénicos, los que afectan a los materiales parentales con una intensidad gobernada por los factores pedogénicos (Blanco et al. 2006).

2.5 Ciclo de los micronutrientes

Se entiende por ciclo de nutrientes la transferencia de elementos entre el suelo, las plantas y la atmósfera. En un ecosistema natural y equilibrado, esta transferencia es autosostenible y cíclica. Los distintos elementos tienen diferentes ciclos de vida. Mediante procesos de transformación, estos elementos se crean, almacenándose en el suelo en formas inorgánicas u orgánicas. Si las condiciones lo permiten, algunos elementos son consumidos por los organismos que, al morir y descomponerse, devuelven los elementos a la tierra para que el proceso pueda continuar (Gardi et al. 2014).

3.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Local y época de la investigación

La investigación se realizó en la compañía San Antonio; Distrito de Coronel Oviedo; Departamento de Caaguazú, Región Oriental del Paraguay. El área de estudio está ubicada entre las coordenadas 25° 26' 16.62" latitud Sur y 56° 18' 23.90" longitud Oeste sobre un suelo correspondiente al orden Ultisol según Mapa de Reconocimiento de Suelos de la Región Oriental del Paraguay (López et al. 1995).

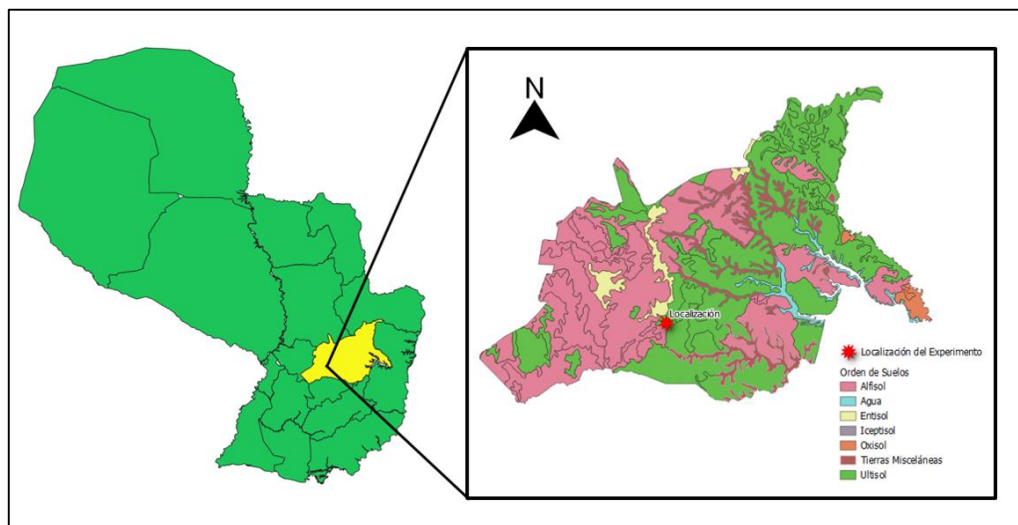


Figura 1. Ubicación del experimento en el departamento de Caaguazú, en orden de suelo correspondiente a Ultisol según López et al. (1995).

El periodo de duración del estudio fue desde el mes de noviembre 2018 al mes de marzo 2019

3.2 Condiciones climáticas del área de estudio

El clima del área de estudio se caracteriza por ser cálido y templado, con una cantidad significativa de lluvia durante gran parte del año. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Cfa (Subtropical sin estación seca). La temperatura media y precipitación media anual fue de 22.1°C y 1509 mm en el distrito de Coronel Oviedo durante el periodo de ejecución del trabajo de campo de la investigación (Dirección Nacional de Aeronáutica Civil 2019).

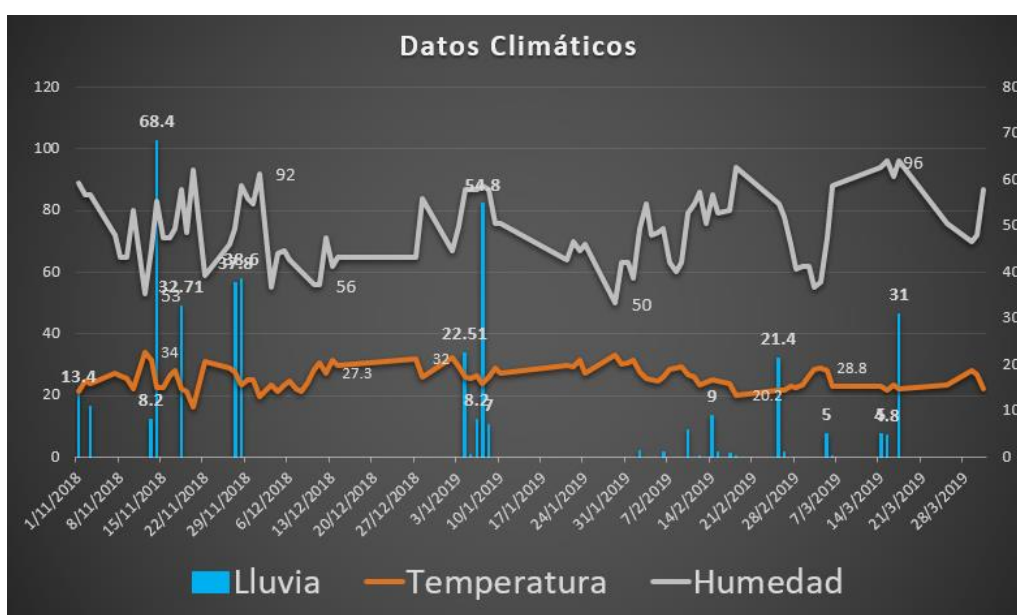


Figura 2. Datos climáticos registrados en los periodos de noviembre del 2018 a marzo del 2019, durante la ejecución del experimento a campo en el distrito de Coronel Oviedo departamento de Caaguazú. Fuente: DINAC (2019)

3.3 Determinación de los puntos de observación para el levantamiento de muestras de suelos

Para la determinación de los puntos de observación fueron considerados los sistemas de uso del suelo, siendo los mismos: Bosque, Convencional, Pastura, Siembra Directa y Silvopastoril.

Los puntos de observación fueron ubicados mediante materiales existentes (imágenes satelitales, mapas de uso de suelos, etc.) y verificados en el terreno. Los suelos para cada uso fueron lo más similares posibles (físicamente, profundidad,

color), ocuparon similar posición fisiográfica y similar geoforma perteneciendo al mismo orden del suelo, es decir al orden Ultisol (Soil Taxonomy USDA).

Una vez identificados los puntos de observación, representados por el perfil modal, se procedió a la descripción de los perfiles modales y a la extracción de las muestras de suelos. Las mismas fueron recolectadas con pala a profundidades determinadas; posteriormente las muestras de suelo se depositaron en bolsas de polietileno debidamente codificadas con rótulos, detallando la profundidad de extracción, el uso de suelo, el número de perfil pertinente, localización, compañía, distrito, departamento, etc.

Para la extracción de las muestras de suelo se prepararon un total de cinco calicatas a partir de los suelos modales (una calicata para cada tratamiento, es decir una calicata para el uso Bosque, Convencional, Pastura, Siembra Directa y Silvopastoril respectivamente) correspondiente al orden Ultisol.

Cada calicata (pozo o fosa que se realiza en el suelo para observar el perfil del suelo) fue de 1.6m de profundidad, 1.5m de ancho y 2,5m de largo, que además de ser utilizado para describir morfológicamente el suelo, facilitó la extracción de las muestras de suelo para los análisis laboratoriales.

3.4 Historial de parcelas estudiadas

Siembra Convencional: es utilizada para la siembra de pasturas, en donde durante 9 años fue sembrado el cultivo de maíz y sorgo. En diciembre de 2017 fue realizado una doble arada y subsolado para implantación de pastura aruana. Se realizó una aplicación de cal agrícola de fuente calcítica a razón de 1 400 kg por hectárea calculada a través de la capacidad tampón del suelo, al momento de la siembra de la pastura se realizó la fertilización de base con la formulación 15-15-15 (N-P₂O₅-K₂O), a una dosis de 150 kg/ha. Durante el periodo de ejecución de trabajo de investigación la parcela se encontraba con la pastura mencionada para alimentación de ovejas.

Pastura: fue implantada en el 2007 el género *Brachiaria Brizantha*, en la actualidad ingresan a este potrero la categoría denominada novillos, no se han realizado prácticas de fertilización y corrección del pH hasta el momento de la ejecución del trabajo de campo realizado.

Siembra Directa: La superficie cultivada corresponde a 25 hectáreas, en la misma se realiza siembra de maíz para producción de forraje para la alimentación animal, en los años 2014 y 2015 se realizaron rotaciones con leguminosas y gramíneas. En los años 2017 y 2018 se realizaron siembra de maíz transgénico R2. En la parcela se realizó una fertilización con la aplicación de 200 kg/ha de la formulación química 4-30-10 (N-P₂O₅-K₂O), en esta parcela la remoción de suelo no se realiza hace 10 años y no se observaron láminas de compactación. En el lugar no ingresan animales, en los primeros años la cosecha fue realizada con una maquinaria denominada picadora de forrajes y en el 2018 las dos cosechas se realizaron con cosechadoras por la densidad de siembra utilizada y el tiempo de acción de esta máquina.

Sistema Silvopastoril: está conformado por plantaciones de Eucaliptos (*Eucalyptus* sp. variedad 998/9). y *Brachiaria Brizantha*. La implantación forestal fue establecida en el 2011 con fines de reforestación y resguardo animal, en el año 2014/15 fue implantada la pastura *Brachiaria Brizantha* con fines de alimentación animal. En el periodo 2017/18 se realizó en la misma una fertilización química, aplicando P₂O₅ a una dosis de 60 kg/ha, por la alta extracción de las pasturas en relación con las leguminosas. El ingreso de animales se realiza en épocas de mucho calor y muy bajas temperaturas.

3.5 Recursos materiales y equipos técnicos

Los recursos materiales y equipos técnicos utilizados durante la investigación fueron los siguientes: lápiz, bolígrafos, plancheta, borrador, calculadora, mesa, silla, carpeta, software informático, balanza eléctrica, cinta métrica, estacas, hilo, machete, papel diario, pala, azada, bolsa plástica, navaja, pizeta, GPS, computadora, tinta para impresora, cámara fotográfica, impresora, reactivos y equipos de laboratorio de suelos.

3.6 Análisis de las muestras de suelos

Las muestras extraídas de los distintos sistemas de manejo y profundidades fueron remitidas al laboratorio de suelos de la Empresa Agronómico, ubicado en el Edificio Azar, 2do piso, Av. Paraná en el Centro Comercial Paraná Country Club Hernandarias – Paraguay.

Las mismas fueron secadas al aire libre, molidas y tamizadas con un tamiz de 2 mm de diámetro para luego ser realizadas las determinaciones químicas (MO, pH, CIC, SB, concentración de micronutrientes) y físicas (porcentaje de arcilla) pertinentes para su posterior análisis.

3.7 Descripción de perfiles de suelos

La descripción de los perfiles de suelos fue realizada según la guía para la descripción de Soil Survey Staff (2006) y el manual básico para la descripción de perfiles de suelo (Encina et al. 2005) a través de observaciones de calicatas, las cuales fueron realizadas para cada uso de suelo estudiado. Posteriormente los datos fueron asentados en planillas de campos (anexo 1, anexo 2). Para determinar el color del suelo se empleó la carta de colores de suelos Munsell.

3.8 Variables independientes

Las variables independientes fueron los usos del suelo y las profundidades. Los usos de suelo estudiados fueron: Bosque, Convencional, Pastura, Siembra Directa y Silvopastoril.

Las profundidades y extracción de muestras de suelos fueron recolectadas de los cinco usos de suelo a seis profundidades distintas (0-5cm; 5-15cm; 15-30cm; 30-60cm; 60-100cm y 100-150 cm respectivamente), obteniéndose un total de 30 muestras.

3.9 Variables dependientes

3.9.1 Concentración de micronutrientes

Para la determinación de la concentración de micronutrientes en el suelo fue considerada la metodología publicada por Da Silva et al. (1998) que consistió en pesar 5 g de Tierra Fina Secada al Aire (TFSA), al cual se le adicionó 20 ml de la solución extractora (Mehlich 1), una vez adicionada la solución extractora, se procedió a agitar las muestras por 15 minutos, las muestras luego de ser agitadas fueron filtradas por gravedad usando papel filtro Whatman No. 42 y finalmente se determinó la concentración de Cu, Fe, Zn y Mn, por Espectrofotometría de Absorción Atómica

La concentración de B disponible en el suelo fue determinada mediante extracción con agua caliente presurizada, y mediante la utilización de Azometina-H como reactivo colorimétrico (Raij et al. 2001)

3.9.2 Contenido de Materia Orgánica

La materia orgánica se determinó por el método de Walkley- Black 1947 modificado con la utilización de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, la titulación fue realizada con sulfato ferroso.

Para determinar el contenido de MO, primeramente, el carbono orgánico del suelo fue oxidado con una solución de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. El exceso de dicromato de potasio se determinó mediante titulación con una solución estándar de sulfato ferroso y la cantidad de carbono oxidado se calculó de la cantidad de dicromato reducido. La materia orgánica del suelo finalmente se estimó multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por el factor 1.724, expresado en porcentaje.

3.9.3 pH (CaCl₂) del suelo

La actividad del ión H⁺ en el suelo se determinó mediante la medición del pH en el sobrenadante de la suspensión de suelo, la misma se determinó en cloruro de calcio

utilizando 0.01 mol L^{-1} , las lecturas posteriormente se realizaron mediante la utilización de un peachímetro de la marca Quimis®.

3.9.4 Textura del suelo

Para determinar la textura del suelo fue utilizado el método del densímetro de Bouyoucos para medir la densidad de la partícula, siendo el Hexametafosfato de sodio el reactivo para evitar que las partículas de arcilla floculen y permanezcan dispersas en la solución (Camargo et al. 1986).

Una vez determinado el porcentaje de arena, limo y arcilla, se asignó la clase textural correspondiente de acuerdo con el triángulo de textura del USDA.

3.9.5 Color del suelo

El color del suelo fue determinado directamente en el campo, tanto en condición seco y húmedo, comparando la muestra de suelo (terrón) de cada horizonte genético con las opciones de colores de la tabla de colores de Munsell.

3.9.6 Consistencia del suelo

Se determinó en húmedo y en mojado mediante el método del rollo y por presión directa sobre los agregados estructurales según metodología del Instituto Agustín Codazzi (sf).

3.9.7 Niveles de referencia de los micronutrientes, pH y Materia Orgánica

A continuación, en la Tabla 1 se detallan la clasificación de los niveles de cada uno de los micronutrientes estudiados (Cu, Zn, Fe, Mn y B), donde se detallan los niveles de los mismos los cuales se clasifican en alto, medio y bajo.

Tabla 1. Clasificación de los niveles de referencia de micronutrientes.

Nivel	Cu	Zn	Fe	Mn	B
mg dm ⁻³				
Alto	> 0,8	> 1,2	> 12	> 5	> 0,6
Medio	0,21-0,8	0,61 – 1,2	4,1 -12	1,21 -5	0,21 – 0,6
Bajo	< 0,2	< 0,6	< 4	< 1,2	< 0,2

Fuente: adaptado de Raij et al. por Rasche et al. (2016). Extractores: Cu, Zn, Fe, Mn= Melich⁻¹; B= Agua caliente.

En la Tabla 2 se detallan los valores de pH con sus respectivas descripciones, los cuales según el valor de pH pueden ser considerados extremadamente ácido, fuertemente ácido, medianamente ácido, ligeramente ácido y neutro.

Tabla 2. Clasificación de los valores de pH

Valor de pH	Descripción
< 4.5	Extremadamente Acido
4.5 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6	Medianamente ácido
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido
6.6 - 7.3	Neutro

Fuente: adaptado de SSS (2006). Extractor: pH= CaCl₂

En la Tabla 3 se describen los contenidos de materia orgánica y la descripción correspondiente la cual puede ser considerada como baja, media y alta, según el contenido de MO registrado.

Tabla 3. Clasificación de los contenidos de materia orgánica en porcentajes.

Contenido de MO (%)	Descripción
< 2	Bajo
2 - 3	Medio
>3	Alto

Fuente: adaptado de Cubilla et al. (2012).

3.9.8 Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron ordenados en una tabla de Excel® para su posterior análisis en el programa informático Infostat® versión libre 2014. Para probar los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianza las variables dependientes fueron sometidas a la prueba de normalidad Shapiro Wilk, siendo transformadas las variables que no cumplieron dicho supuesto.

Con los resultados obtenidos mediante la utilización del programa informático Infostat® versión libre 2014 se realizó un análisis descriptivo obteniéndose medidas resumen según uso de suelo y profundidad. A continuación, se realizó un ANAVA, según un diseño en bloques, considerando como factor principal el uso del suelo y el factor bloque profundidad, y finalmente se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Con la finalidad de facilitar la comprensión se realizó un gráfico de distribución de la concentración de micronutrientes en el perfil del suelo considerando los usos estudiados con el programa Sigmaplot ®.

Además, se realizó una correlación pareada (Correlación de Pearson) entre indicadores de fertilidad de suelo y los micronutrientes evaluados, utilizando el programa Statistical Analysis System, versión 9.2 (SAS Institute INC., 2007)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización morfológica de los perfiles modales estudiados

Al realizar el muestreo y descripción de los perfiles modales se encontró que los suelos destinados a los distintos usos estudiados poseen los siguientes horizontes genéticos: A; E y B.

El Horizonte A: es el horizonte con máxima acumulación de materia orgánica o humus en relación al horizonte inferior, el tono de color más oscuro en relación a los horizontes inferiores, mayor contenido de raíces finas o medianas en tamaño, máxima actividad biológica (Encina 2005).

El horizonte E: Según FAO et al. (1999) son horizontes minerales cuya principal característica es la pérdida de arcilla silicatada, hierro, aluminio, o alguna combinación de éstos, dejando una concentración de partículas de arena y limo, y en los cuales toda o buena parte de la estructura de roca original ha desaparecido.

El horizonte B: son las capas que se encuentran bajo el horizonte A se compone de una mezcla variable de partículas minerales, pero carece de la materia orgánica. Bajo el subsuelo se encuentra el material parental, que generalmente se ve poco afectado por los factores formadores del suelo (Gardi et al. 2014).

A continuación, en la Tabla 4 se puede observar que para el uso bosque fueron identificados 3 horizontes genéticos. El Horizonte genético A que presenta dos sub capas divididas en A1 y A2 que se caracterizan por poseer una profundidad de 0-23 cm y 23-63 cm respectivamente, con una coloración marrón rojizo lo cual se da por

el proceso de brunificación según Bienes (2009) y Mallqui (2011).

Tabla 4. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso bosque. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

BOSQUE													
Horizonte Genético	Prof. cm	Color		Estructura			Consistencia			Poros	Raíces	Inclusiones	Textura
		Seco	Húmedo	Tipo	Clase	Grado	Seco	Húmedo	Mojado				
A1	0-23	7,5 YR 4/3	7,5 YR 3/4	bsa	p	d	b	fr	npl/n p	ab/gr	p/m	nso	aF
A2	23-63	5 YR 4/6	5 YR 5/8	bsa	p	d	d	mfr	npl/n p	ab/gr	p/m	nso	aF
E	63-91	7,5 YR 5/8	7,5 YR 5/6	bsa	p	d	b	fr	npl/n p	ab/gr	p/m	nso	a
B1	91-112	2,5 YR 3/4	2,5 YR 3/4	bsa	pm	f	md	ef	mpl/ mp	ab/m	mp/f	nso	Aa
B2	112-150	2,5 YR 2,5/4	2,5 YR 2,5/4	bsa	pm	f	md	ef	pl/p	ab/m	mp/f	nso	Aa

bsa: bloque subangular p: pequeño pm: pequeño-mediano d: débil f: fuerte b: blando md: muy dura fr: friable mfr: muy friable ef: extremadamente firme npl: no plástico mpl: muy plástico pl: plástico np: no pegajoso p: pegajoso ab: abundante gr: grande m: mediano. Fuente: adaptado de Encina (2005).

El horizonte A contiene la mayor parte de la materia orgánica del suelo de ahí la tonalidad más oscura, donde la capa A1 cuya profundidad corresponde a 0-23 cm, presenta un color marrón (7,5 YR 4/3) en estado seco y en estado húmedo presenta un color marrón oscuro (7,5 YR 3/4); para la capa A2 cuya profundidad es de 23-63 cm presentó un color rojo amarillento (5 YR 4/6) en estado seco y húmedo (5 YR 5/8).

La estructura de la capa A1 como también de la capa A2 presentan una estructura del tipo bloque subangular y estos tipos indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento de agua por la acumulación de arcilla, cuya clase es pequeña con un tamaño de 10 a 20 mm, cuyo grado es débil.

La consistencia en la capa A1 en estado seco es blanda por lo que representa a un suelo bien aireado, es fácil de penetrar, la retención de agua es buena y se laboreo bien y en estado húmedo es friable lo cual se desmenuza con cierta facilidad, en estado mojado la consistencia es no plástica y no pegajosa no puede ser moldeado por el bajo porcentaje de arcillas, en cuanto a la porosidad es abundante y grandes siendo de tamaños mayores a 5 mm, es decir que tiene una buena aireación e infiltración, no se observan inclusiones, la presencia de raíces es poca de 1 a 3 % mientras que el tamaño

es de 2 a 5 mm, la textura es arenosa franco con una relación porcentual de arena limo arcilla de 80, 15 y 5% respectivamente.

La consistencia en la capa A2 en estado seco fue débil, en estado húmedo muy friable y en estado mojado no plástico y no pegajoso, mientras que las características de los poros, raíces inclusiones y textura fueron similares a las observadas en la capa A1.

Con relación al horizonte E con una profundidad de 63-91 cm, la misma presenta un color marrón fuerte en estado seco (7,5 YR 5/8) y húmedo (7,5 YR 5/6), con una estructura de bloque subangular pequeño y débil. La consistencia en estado seco es blanda, en húmedo es friable y en estado mojado no presenta plasticidad y pegajosidad. Los poros son abundantes y grandes, las presencias de raíces es poca y de tamaño medio, no se observa inclusiones y la textura del suelo es arenosa, haciendo referencia a lo mencionado por la FAO et al (1999) quienes mencionan que el horizonte se caracteriza por las pérdidas de arcilla dejando la concentración de partículas de arena y limo.

Para el horizonte B se observa dos subdivisiones según Cuadro 1, la capa B1 presente a una profundidad de 91-112 cm, con una coloración marrón rojizo (2,5 YR 3/4) oscuro en estado seco y húmedo, presentando bloques subangulares muy pequeñas (2 a 5 mm) y de grado fuertes, con una consistencia muy dura en estado seco, extremadamente firme en húmedo, muy plástica y muy pegajosa en mojado. Los poros son abundantes y de tamaño medio, mientras que la presencia de raíces fue de muy poca y de grosor fino, no presenta inclusiones y la textura correspondiente es un arcillo arenoso.

La capa B2 se identificó a una profundidad de 112 a 150 cm en el perfil del suelo, cuya tonalidad en estado seco y húmedo fue Marrón rojizo oscuro (2,5 YR 2,5/4). La estructura observada corresponde a bloques subangulares, de tamaño muy pequeñas y grado fuerte, una consistencia muy dura en estado seco, extremadamente firme en húmedo, plástica y pegajosa en mojado. Los poros son abundantes y de

tamaño medio, mientras que la presencia de raíces fue de muy poca y finas, con ausencia de inclusiones y textura arcillo arenoso, conforme a lo mencionado por Encina (2005), el horizonte B se caracteriza por la acumulación de arcilla, razón por la cual las texturas identificadas corresponden a texturas con un porcentaje superior al 20% de arcilla.

Tabla 5. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso convencional. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

SISTEMA CONVENCIONAL													
Horizonte Genético	Prof. cm	Color		Estructura			Consistencia			Poros	Raíces	Inclusiones	Textura
		Seco	Húmedo	Tipo	Clase	Grado	Seco	Húmedo	Mojado				
A1	0-18	7,5 Y R 5/2	7,5 YR 5/4	bsa	p	d	b	fr	npl/n p	ab/ gr	ab/f	nso	aF
A2	18-51	7,5 Y R 5/4	7,5 YR 5/6	bsa	p	d	b	fr	npl/n p	ab/ gr	c/f	nso	aF
E	51-76	7,5 Y R 5/4	7,5 YR 5/6	bsa	p	d	b	mf	npl/n p	ab/ gr	c/f	nso	a
EB	76-91	7,5 Y R 4/6	7,5 YR 5/4	bsa	p	m	b	f	dpl/d p	ab/ gr	c/f	nso	aF
B1	91-107	5 Y R 4/6	7,5 YR 4/6	bsa	m	f	d	f	pl/p	ab/ m	p/f	nso	Aa
B2	107-150	2,5 Y R 4/6	2,5 YR 3/6	bsa	mg	f	d	f	pl/p	ab/ m	p/f	nso	Aa

bsa: bloque subangular p: pequeño pm: pequeño-mediano d: débil f: fuerte b: blando md: muy dura fr: friable mfr: muy friable ef: extremadamente firme npl: no plástico mpl: muy plástico pl: plástico np: no pegajoso p: pegajoso ab: abundante gr: grande m: mediano. Fuente: adaptado de Encina (2005).

En el perfil correspondiente al uso convencional (Tabla 5) se observa que el horizonte A se encuentra subdividido en capas, la capa A1 posee un espesor de 0-18 cm, registrando una coloración marrón (7,5 YR 5/2) en seco y en húmedo (7,5 YR 3/4); la estructura es del tipo bloque subangular pequeña y grado débil, con una consistencia blanda en seco, friable en húmedo y no plástica, no pegajoso en mojado; los poros son abundantes y grandes, con presencia de raíces abundantes y finas; ausencia de inclusiones y textura arena franca.

La capa A2 se encuentra comprendido entre los 18-51cm de profundidad del perfil estudiado, presentando una coloración marrón (7,5 YR 5/4) y marrón fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo. En lo que se refiere a estructura, consistencia, poros, inclusiones y textura del suelo las mismas fueron similares al horizonte A1, en cambio la presencia de raíces fue común y de grosor fino con un 3 a 5 % de presencia para la presente capa.

El horizonte E ubicada a una profundidad de 51-76 cm en el perfil del suelo, presentó una coloración Marrón (7,5 YR 5/4) en estado seco y marrón fuerte (7,5 YR 5/6); estructura del tipo subangular pequeña y grado débil. La consistencia para el horizonte genético identificado fue de blanda en seco, muy friable en húmedo y no plástica, no pegajoso en mojado, con poros abundantes y grandes, con presencia de raíces comunes y de grosor fino, ausencia inclusiones y textura arenosa.

El horizonte de transición EB observada a una profundidad de 76 a 91 cm en el perfil del suelo, presentó una coloración marrón fuerte (7,5 YR 4/6) en seco y marrón (7,5 YR 5/4) en húmedo; estructura del tipo bloque subangular pequeña y grado moderada, con una consistencia blanda en seco, friable en húmedo y débilmente plástica pegajoso en mojado; poros abundantes y grandes; presencia de raíces comunes y de grosor fino; sin inclusiones y textura areno franco.

En la capa B1 registrado a una profundidad comprendida entre los 91cm y 107 cm en el perfil del suelo, se observó un color rojo amarillento (5 YR 4/6) en seco y marrón fuerte (7,5 YR 4/6) en húmedo, dicha coloración se debe al proceso de óxido reducción de Fe y Mn, según lo mencionado por autores como Encina (2005) y Dos Santos et al (2013), con estructura del tipo bloques subangulares de tamaño medianos. La consistencia es dura en estado seco, friable en húmedo y plástica pegajoso en mojado; los poros del perfil son abundantes y de tamaño medio; la presencia de raíces es poca y las que se encuentran son finas; con ausencia de inclusiones y textura arcillo arenoso.

Respecto a la capa B2 el cual se encuentra a una profundidad comprendida entre los 107 a 150 cm de profundidad del perfil estudiado, se caracteriza por presentar

una coloración roja (2,5 YR 4/6) en estado seco y rojo oscuro (2,5 YR 3/6) en húmedo; con una estructura del tipo bloque subangular muy grande y grado fuerte. La consistencia registrada para dicha capa es dura en estado seco, friable en húmedo y plástica pegajoso en mojado; con poros abundantes y de tamaño medio; presencia de raíces pocas y grosor fino; ausencia de inclusiones y textura arcillo arenosa.

Estas descripciones morfológicas coinciden con lo mencionado por López et al (1995) para suelos destinados a uso convencional, además de coincidir con lo que reporta (Bernal y Hernández 2017) quienes indican que una actividad agrícola intensiva con laboreo, modifican las propiedades morfológicas de los suelos, razón por la cual en el perfil estudiado se observan varias capas a diferencia de los demás perfiles estudiados.

Tabla 6. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso pastura. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

PASTURA													
Horizonte Genético	Profundidad (cm)	Color		Estructura			Consistencia			Poros	Raíces	Inclusiones	Textura
		Seco	Húmedo	Tipo	Clase	Grado	Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-29	5 Y R 5/4	7,5 YR 4/4	bsa	pm	d	b	fr	npl/np	ab/gr	c/f	nso	aF
E	29-48	7,5 Y R 4/4	7,5 YR 4/4	bsa	pm	d	b	fr	npl/np	ab/gr	p/f	nso	Fa
B1	48-71	2,5 Y R 4/6	2,5 YR 3/4	bsa	mg	f	d	f	pl/p	ab/gr/m	p/f	carbón	FAa
B2	71-74	2,5 Y R 2,5/4/4	2,5 YR 2,5/4	bsa	mg	f	d	ef	pl/p	ab/m	mp/mf	nso	FAa
B3	74-150	2,5 Y R 2,5/4	2,5 YR 2,5/4	bsa	g	f	d	ef	mpl/mp	ab/m	mp/mf	nso	FAa

bsa: bloque subangular p: pequeño pm: pequeño-mediano d: débil f: fuerte b: blando md: muy dura fr: friable mfr: muy friable ef: extremadamente firme npl: no plástico mpl: muy plástico pl: plástico np: no pegajoso p: pegajoso ab: abundante gr: grande m: mediano. Fuente: adaptado de Encina (2005).

En la Tabla 6, se aprecia la caracterización morfológica del perfil correspondiente al uso pastura, donde el horizonte A se encuentra desarrollado desde

la superficie hasta 29 cm de profundidad del perfil, presentado una coloración marrón rojizo (5 YR 5/4) en estado seco y marrón (7,5 YR 4/4) en húmedo; con estructura del tipo bloque subangular de clase muy pequeña y grado débil, consistencia blanda en seco, friable en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado. Con poros abundantes y grandes, con presencia de raíces comunes y de grosor fino; ausencia de inclusiones, textura areno franca.

El horizonte E se encuentra desde los 29 cm a 48 cm de profundidad del perfil del suelo bajo uso pastura, se caracteriza por presentar un color marrón (7,5 YR 4/4) en estado seco y húmedo; con estructura del tipo bloques subangulares, clase muy pequeñas y grado débil, la consistencia en estado seco es blanda, en húmedo es friable, mientras que en mojado se observa que es no plástica y no pegajosa. Los poros son abundantes y grandes, la presencia de raíces fue poca y de grosor fino; no presenta inclusiones y la textura fue franco arenoso.

Con respecto al horizonte B se observa que la misma se subdivide en tres capas (Tabla 6), correspondiente a la capa B1 presente a una profundidad comprendida entre los 48 cm a 71 cm de profundidad, con una coloración roja (2,5 YR 4/6) en estado seco y Marrón rojizo oscuro (2,5 YR 3/4) en húmedo, estructura del tipo bloques subangulares muy grande y grado fuerte; con una consistencia dura en estado seco, firme en húmedo, plástica y pegajoso en mojado. Los poros de este horizonte se caracterizan por ser abundantes, con tamaños grandes y medianos, se observa poca presencia de raíces siendo estas de grosor fino, presenta inclusiones correspondientes a carbonillas, y textura franco arcilloso arenoso.

La capa B2 se encuentra comprendida entre los 71 y 74 cm de profundidad en el perfil del suelo, con una coloración en estado seco y húmedo denominado marrón rojizo oscuro (2,5 YR 2,5/4), con estructura del tipo bloques subangulares muy grande y grado fuerte; la consistencia es dura en estado seco, extremadamente firme en húmedo, plástica y pegajoso en mojado; presencia de poros abundante de tamaño medio; con muy pocas raíces y las presentes de grosor muy finas, ausencia de inclusiones y textura franco arcilloso arenoso.

La capa B3 comprendida entre los 74 y 150 cm de profundidad se caracteriza por presentar un color marrón rojizo oscuro (2,5 YR 2,5/4) en estado seco y húmedo, con estructura del tipo bloques subangulares grandes y grado fuerte, la consistencia es dura en estado seco, extremadamente firme en húmedo, muy plástica y muy pegajosa en mojado; con poros abundantes y de tamaño mediano; muy poca presencia de raíces y de grosor muy finas; ausencia de inclusiones y textura franco arcilloso arenoso.

Tabla 7. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso siembra directa. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

SIEMBRA DIRECTA													
Horizonte Genético	Prof. cm	Color		Estructura			Consistencia			Poros	Raíces	Inclusiones	Textura
		Seco	Húmedo	Tipo	Clase	Grado	Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-25	7,5 Y R 5/2	7,5 YR 4/3	bsa	p	d	b	fr	npl/n p	ab/ gr	c/f	nso	aF
E	25-95	7,5 Y R 5/4	7,5 YR 5/4	bsa	p	d	b	fr	npl/n p	ab/ gr	p/f	carbón	a
EB	95-120	7,5 Y R 4/4	7,5 YR 4/4	bsa	m	m	b	fr	dpl/d p	ab/ gr	p/f	carbón	a
B	120-150	2,5 Y R 3/4	2,5 YR 2,5/4	bsa	g	f	d	f	pl/p	ab/ m	p/f	nso	Fa

bsa: bloque subangular p: pequeño pm: pequeño-mediano d: débil f: fuerte b: blando md: muy dura fr: friable mfr: muy friable ef: extremadamente firme npl: no plástico mpl: muy plástico pl: plástico np: no pegajoso p: pegajoso ab: abundante gr: grande m: mediano. Fuente: adaptado de Encina (2005).

En la Tabla 7 se observa la descripción morfológica del perfil correspondiente al uso de siembra directa, en el cual se registraron los horizontes genéticos: A, E, B y un horizonte de transición EB. El horizonte A se encuentra desde la superficie del suelo hasta los 25 cm de profundidad, caracterizándose por presentar una coloración marrón en estado seco (7,5 YR 5/2) y húmedo (7,5 YR 4/3); con estructura del tipo bloque subangular, clase pequeña y grado débil; la consistencia es blanda en estado seco, friable en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado; con presencia abundante de poros de tamaños grandes con una textura franco arenoso, lo cual garantiza una buena oxigenación e infiltración de agua en dicho horizonte. Las raíces presentes son comunes y finas es decir que se observa 5 a 10 raíces por área.

El horizonte E presente a partir de los 25 cm hasta 95 cm de profundidad en el perfil se caracterizó por presentar una coloración marrón (7,5 YR 5/4) en estado seco y húmedo; estructura del tipo bloque subangular, tamaño pequeño y grado débil; con consistencia blanda en estado seco, friable en húmedo, no plástico y pegajoso en mojado; poros abundantes y grandes; pocas presencias de raíces de grosor fino; se visualiza inclusiones de tipo carbón y la textura es arenosa, es decir presente un mayor porcentaje de arena en relación al horizonte superior.

Para el horizonte de transición EB cuya presencia se encuentra a partir de los 95 cm a 120 cm de profundidad en el perfil del suelo, se registró un color marrón (7,5 YR 4/4 n) en el suelo tanto en estado seco y húmedo; una estructura del tipo bloque subangular, de tamaño mediano y grado moderado; consistencia blanda en seco, friable en húmedo, débilmente plástico y débilmente pegajoso en mojado; abundantes y grandes poros; pocas raíces y de grosor finas; inclusiones de tipo carbón al igual que el horizonte E.

Con respecto al horizonte B que observado a una profundidad comprendida a partir de 120 cm hasta los 150 cm de profundidad en el perfil del suelo, se visualizó que la misma presenta un color marrón rojizo de tonalidad oscura en estado seco (2,5 YR 3/4) y en húmedo (2,5 YR 2,5/4), coloración debida al proceso de reducción del Fe y Mn; misma estructura pero de tamaño grande y grado fuerte; con consistencia dura en estado seco, firme en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; ausencia de inclusiones y textura del suelo correspondiente a franco arenoso, lo cual indica un aumento de arcilla en relación a las demás texturas de los horizontes superiores observados.

Tabla 8. Descripción morfológica del perfil correspondiente al uso silvopastoril. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

SILVOPASTORIL													
Horizonte Genético	Profundidad (cm)	Color		Estructura			Consistencia			Poros	Raíces	Inclusiones	Textura
		Seco	Húmedo	Tipo	Clase	Grado	Seco	Húmedo	Mojado				
A1	0-10	7,5 Y R 5/4	7,5 YR 5/4	bsa	pm	d	b	fr	npl/n p	ab/ gr	p/m	carbón	aF
A2	10-45	7,5 Y R 4/4	5 YR 4/6	bsa	pm	d	b	fr	npl/n p	ab/ gr	p/m	carbón	aF
E	45-60	7,5 Y R 5/8	5 YR 5/8	bsa	p	d	b	fr	npl/n p	ab/ gr	p/m	carbón	aF
B1	60-79	5 Y R 4/6	2,5 YR 3/6	bsa	mg	f	d	f	pl/p	ab/ m	mp/ m	carbón	Fa
B2	79-150	2,5 Y R 3/6	10 R 3/6	bsa	mg	f	d	ef	mpl/ mp	ab/ m	mp/ m	nso	Aa

bsa: bloque subangular p: pequeño pm: pequeño-mediano d: débil f: fuerte b: blando md: muy dura fr: friable mfr: muy friable ef: extremadamente firme npl: no plástico mpl: muy plástico pl: plástico np: no pegajoso p: pegajoso ab: abundante gr: grande m: mediano. Fuente: adaptado de Encina (2005).

En la Tabla 8 se logra observar la descripción morfológica del perfil correspondiente al uso silvopastoril, mediante el cual se logra caracterizar los horizontes genéticos: A, E y B con sus respectivas subdivisiones A1, A2, B1 y B2, siendo la capa A1 la que se encuentra ubicada desde los 0 cm hasta los 10 cm de profundidad en el perfil del suelo estudiado, registrándose un color marrón (7,5 YR 5/4) en estado seco y húmedo, con una estructura del tipo subangular, de tamaño muy pequeño y grado débil; consistencia blanda en seco, friable en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado, con abundantes poros grandes y escasa presencia de raíces, con presencia de inclusiones correspondientes a carbón, producto de la combustión de raíces, debido a prácticas de quema para habilitar superficies de cultivos realizadas en tiempos remotos y una textura areno franca.

La capa A2 ubicada a partir los 10 cm hasta los 45 cm de profundidad del perfil del suelo, presentó una tonalidad marrón (7,5 YR 4/4) en estado seco y rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; estructura del tipo bloque subangular, muy pequeña y grado débil; consistencia blanda en estado seco, friable en húmedo, no plástica y pegajosa en

mojado; poros abundantes y grandes; pocas raíces y de tamaño medio, inclusión tipo carbón con una textura areno franco.

El horizonte E, ubicado desde los 45 cm hasta los 60 cm de profundidad en el perfil del suelo registró un color marrón fuerte (7,5 YR 5/8) en estado seco y rojo amarillento (5 YR 5/8) en húmedo; estructura de tipo bloque subangular pequeña y grado débil; consistencia blanda en estado seco, friable en húmedo, no plástica y no pegajosa en mojado; poros abundantes y grandes; escasa presencia de raíces de tamaño mediano; inclusión de tipo carbón y una textura denominada areno franco.

Respecto a la capa B1 comprendida entre los 60 cm y 79 cm de profundidad, se observa una coloración del suelo rojo oscuro (2,5 YR 3/6) en estado seco como también en húmedo (10 R 3/6); estructura del tipo bloques subangulares muy grandes y grado fuerte; consistencia dura en estado seco, firme en húmedo, plástica y pegajosa en mojado; poros abundantes y grandes; escasa presencia de raíces de tamaño mediano; con inclusiones de tipo carbón y de textura franco arenosa.

Por otro lado, la capa B2 comprendida entre los 79 cm y 150 cm de profundidad del perfil presenta una tonalidad de rojo oscuro (2,5 YR 3/6) en estado seco y en húmedo (10 R 3/6); conformado por bloques del tipo subangulares, tamaño muy grandes y grado fuerte; cuya consistencia en estado seco es dura, en húmedo extremadamente dura y en mojado muy plástica y muy pegajosa, con presencia abundantes de poros de tamaño mediano; raíces muy pequeñas y de tamaño medio, y ausencia de inclusiones y textura arcillo arenoso.

4.2 Descripción del potencial hidrogeno (pH), Materia orgánica y los niveles de micronutrientes según los usos de suelo estudiados

En la Tabla 9 se observan los valores del potencial hidrogeno (pH) que indica el nivel de acidez del suelo, con valores que oscilan de 4,78 a 5,18 considerados fuertemente ácidos según Tabla 2, para los usos S. Convencional, Silvopastoril, Pastura y Siembra Directa. No obstante, el uso Bosque registró un valor de pH (5,72) considerado medianamente ácido en relación a los demás usos estudiados.

Tabla 9. Caracterización de los valores de pH y materia orgánica en distintos usos de suelo. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

Usos	Valores de pH					Materia orgánica (%)				
	M	Min	Max	DE	CV	M	Min	Max	DE	CV
Bosque	5,72	5,37	6,07	0,24	4,13	1,41	0,34	4,63	1,68	118,92
S. Convencional	4,87	4,48	5,10	0,25	5,09	0,71	0,29	1,30	0,43	60,89
Silvopastoril	4,81	4,28	5,55	0,44	4,78	0,83	0,43	1,70	0,47	56,33
Pastura	5,18	5,02	5,39	0,14	2,73	0,89	0,41	2,16	0,66	74,94
Siembra Directa	4,78	4,50	4,91	0,15	3,09	0,73	0,34	1,80	0,56	76,75

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractor pH = CaCl₂

Con respecto a los datos obtenidos se puede observar en la Tabla 9 que los valores de pH por debajo de cinco fueron observados para los usos S. Convencional, Silvopastoril y Siembra Directa y valores por encima de cinco para los usos Bosque y Pastura.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Quichimbo (2015) en un estudio sobre los efectos de las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo donde observó que el valor de pH se ve influenciado por el cambio de cobertura, registrándose para coberturas sin alteración un valor de pH ligeramente más elevado que las coberturas más antropizadas.

Grove y Blevins (1988), Edwards et al. (1992) citado por Moreira et al. (2017) sostienen que los monocultivos o cultivos de Pastura reduce el valor de pH y esto en consecuencia aumenta el contenido de micronutrientes objeto de estudio del presente trabajo.

Quichimbo et al. (2015) registró datos similares observando una disminución del valor del pH con el cambio de cobertura, esta disminución según Portal (2003) de alguna manera se debe por la extracción de bases realizado por los cultivos y por el lavado de las mismas.

En cuanto a la materia orgánica se visualiza que el suelo correspondiente al uso bosque presenta el mayor contenido de materia orgánica con un valor promedio de 1,41%, mientras que para los demás usos en estudio se registraron contenidos de materia orgánica inferiores al 1%, contenidos considerados bajo (Tabla 3). Los usos de Pastura (0,89%) y Silvopastoril (0,83%) registraron los valores más próximos al observado para el uso Bosque, mientras tanto para los usos Convencional y Siembra Directa se registraron contenidos por debajo del 0,8 % de materia orgánica.

Según la FAO (2002) los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra lo cual se registró en un trabajo realizado por Bogado (2013) y se verifica en el presente trabajo donde el mayor contenido de materia orgánica el cual se relaciona con el contenido de carbono orgánico del suelo se registró para el uso Bosque, seguido por el de Pastura y Silvopastoril.

Volverás y Amézquita (2009), en un trabajo realizado pudo observar que el uso intensivo del suelo por largos periodos genera una pérdida del contenido de materia orgánica lo cual se pudo verificar en el trabajo realizado en donde fueron identificados los contenidos más bajos de materia orgánica para los usos destinados a agricultura.

Así mismo Beltrán et al. (2016), sostienen que el uso del suelo provoca una disminución del contenido de materia orgánica de los suelos, razón por la cual es importante un buen manejo de los mismos considerando la importancia de la materia orgánica para mejorar las propiedades del suelo, considerando lo mencionado por dichos autores se puede referir que los mayores contenidos se observan en suelos destinados a usos que provocan un mayor resto de materia seca al suelo, lo cual se registró para los usos pastura y silvopastoril, usos que se caracterizan por producir una gran cantidad de materia seca proveniente de la pastura.

Tabla 10. Caracterización de las concentraciones de cobre y hierro en distintos usos de suelo. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

Usos	Cu (mg dm ⁻³)					Fe (mg dm ⁻³)				
	M	Min	Max	DE	CV	M	Min	Max	DE	CV
Bosque	2,46	1,58	3,64	0,69	27,91	33,20	23,70	56,10	12,38	37,28
S. Convencional	1,55	1,05	2,07	0,39	25,38	21,07	15,20	33,90	6,91	32,80
Silvopastoril	2,14	0,93	3,95	1,00	46,78	31,98	15,00	51,50	15,45	48,32
Pastura	1,85	1,29	3,06	0,66	35,52	65,83	26,70	182,00	59,88	90,95
Siembra Directa	1,76	1,27	2,35	0,41	23,17	37,58	18,30	105,00	34,43	91,62

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractores: Cu y Fe = Melich⁻¹

Para los niveles de concentración de cobre en el suelo se observa en la Tabla 10 una media de 1,55 a 2,46 mg dm⁻³ donde la mayor concentración se registró para el uso bosque considerado prístino. No obstante, para los usos destinados a S. convencional y Siembra Directa se registraron medias de 1,55 y 1,76 mg dm⁻³ respectivamente.

El nivel máximo de Cu fue registrado para el uso Silvopastoril (3,95 mg dm⁻³), mientras que el valor mínimo fue registrado para el uso S. Convencional (2,07 mg dm⁻³) con un coeficiente de variación superior al 30% para los usos correspondientes a Silvopastoril (46,78%) y Pastura (35,52%).

Con respecto a la concentración de Hierro en la Tabla 10 se observa una media que osciló entre 21,07 (S. Convencional) a 65,83 (Pastura) mg dm⁻³. La variabilidad observada fue muy alta para los usos de suelo estudiados ya que los valores del coeficiente de variación superan el 30%, acentuándose dicha variación para los usos Pastura y Siembra Directa.

La concentración máxima de Hierro fue registrada para el uso destinado a Pastura (182,00 mg dm⁻³) valor muy superior a los valores máximos registrados para los demás usos estudiados, mientras tanto la concentración mínima fue registrada para el uso destinado a Silvopastoril (15,00 mg dm⁻³)

Resultados similares referentes a la concentración de Fe fueron registrados por Paris et al. (2020) en un cultivo de Macadamia en donde el coeficiente de variación

fue similar al obtenido para los usos Bosque, Convencional y Silvopastoril, no así para los usos Pastura y Siembra Directa, cuya variación puede estar relacionada con valores máximos registrados de 182,00 y 105,00 mg dm⁻³ respectivamente.

Considerando un trabajo realizado por Rasche et al. (2016) el cual cuenta con un cuadro de interpretación de micronutrientes adaptado de Rajj et al. (Tabla 1), se puede observar que las concentraciones medias registradas de cobre y hierro son calificadas como Alta.

Vázquez (2005) sostiene que la fuente principal de micronutrientes es la materia orgánica por lo que la concentración de Cu en los distintos usos de suelo está relacionada con el nivel de MO registrados en los distintos usos empleados, además Shuman (1988) citado por Beltrán et al. (2016) sostiene que la concentración de Cu es afectada por los niveles de MO debido a que dicho elemento es muy sensible a generar quelatos, de ahí que la mayor concentración de Cu fue registrada para los usos Bosque y Sistema Silvopastoril.

Vukasinovic et al. (2015) y Folletty Pettersson citado por Moreira et al. (2017) sostienen que la acumulación de MO y agua puede disminuir la reacción redox del suelo y de esa manera aumentar la disponibilidad de Fe.

Tabla 11. Caracterización de los niveles de Manganeso y Zinc en distintos usos de suelo. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

Usos	Mn (mg dm ⁻³)					Zn (mg dm ⁻³)				
	M	Min	Max	DE	CV	M	Min	Max	DE	CV
Bosque	117,94	21,60	241,08	83,98	71,21	7,35	2,36	15,47	4,81	65,51
S. Convencional	111,67	31,74	189,48	63,04	56,46	4,98	3,09	6,21	1,26	25,35
Silvopastoril	100,50	14,40	187,98	62,69	62,38	5,60	2,61	10,94	3,19	56,91
Pastura	81,77	7,86	166,26	63,69	77,89	4,09	2,25	7,83	2,18	53,35
Siembra Directa	67,06	17,22	125,82	43,93	58,59	4,39	2,48	7,47	2,03	46,22

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractor: Mn y Zn = Melich⁻¹

A continuación, en la Tabla 11 se registraron las concentraciones de Mn y Zn para los distintos usos de suelos estudiados. Para el micronutriente Mn se registró una concentración que osciló de 67,06 (Siembra Directa) a 117,94 (Bosque) mg dm^{-3} . La concentración mínima fue registrada para el uso Pastura con una concentración de 7,86 mg dm^{-3} , mientras tanto el valor máximo registrado corresponde al uso Bosque con una concentración de 241,08 mg dm^{-3} . Para todos los casos se observa una variación considerada alta, es decir por encima del 30%, acentuándose para los usos Pastura (77,89%) y Bosque (71,21%) respectivamente.

El micronutriente Zn registró una concentración media que vario de 4,09 mg dm^{-3} para el uso destinado a Pastura y 7,35 mg dm^{-3} para el uso destinado a Bosque el cual es considerado prístino. Con lo que respecta al valor máximo el mismo fue registrado en el uso Bosque (15,47 mg dm^{-3}) y el valor mínimo para el uso Pastura (2,25 mg dm^{-3}), registrándose un CV por debajo de los 30% para el uso correspondiente a S. Convencional.

Teixeira et al. (2003) y Motschenbacher et al. (2014) sostienen que la disponibilidad de algunos micronutrientes entre ellos el Mn y Zn, está altamente relacionado con el aumento de MO en el suelo superficial, la cual se ve afectado por el uso al cual es destinado el suelo, lo cual se refleja en los valores obtenidos de dichos micronutrientes donde las mayores concentraciones de sus medias se registran para los usos Bosque y Silvopastoril usos donde se registraron mayores contenidos de MO.

Miretti et al. (2012), en un trabajo realizado encontraron que el Zinc registró bajo coeficiente de variación, resultado que no coincide con lo encontrado en el presente trabajo el cual se puede deber al número de repeticiones analizados, no obstante dichos autores sostienen que se encuentran mayores niveles de Zinc en condiciones prístinas correspondiente al uso bosque en relación a lotes con larga historia agrícola con reducciones de hasta un 50%, porcentaje de reducción registrados para los usos en estudio en relación al uso bosque.

Conforme al cuadro de Raij et al. adaptado por Rasche et al (2016), las concentraciones medias registradas para los micronutrientes Mn y Zn son considerados niveles altos con valores por encima a 5 mg dm^{-3} para el Mn y valores por encima de $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ para el Zn.

Tabla 12. Caracterización de los niveles de Boro en distintos usos de suelo. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020

Usos	B				
	M	Min	Max	DE	CV
Bosque	0,35	0,16	0,52	0,13	37,56
S. Convencional	0,20	0,13	0,26	0,05	24,17
Silvopastoril	0,31	0,16	0,58	0,16	50,38
Pastura	0,19	0,07	0,39	0,11	55,06
Siembra Directa	0,15	0,08	0,27	0,07	47,37

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractor: B= Agua Caliente

Respecto a la concentración de boro dentro de los diferentes usos de suelo en estudio, el cual se aprecia en la Tabla 12, se observa que la media varía de 0,15 (Siembra Directa) a $0,35 \text{ mg dm}^{-3}$ (Bosque), con un valor mínimo registrado para el uso Pastura ($0,07 \text{ mg dm}^{-3}$) y un valor máximo para el uso Silvopastoril ($0,58 \text{ mg dm}^{-3}$), con niveles de variación por encima del 50% para los usos Silvopastoril y Pastura.

Los resultados obtenidos presentan el mismo patrón de comportamiento que el mencionado por Miretti et al (2012), quienes registraron menores niveles de dicho elemento en suelos destinados a agricultura, lo cual se observó en el presente trabajo donde los menores niveles de boro se registraron en usos destinados a la agricultura, el cual se debe a la extracción de dicho elemento por parte de los cultivos y menores niveles de MO registrados en los mismos.

El mismo autor registró la menor desviación estándar para el Boro con valores que oscilan de 0,1 a 0,3 valores que coinciden con el trabajo realizado donde la desviación estándar media observada fue de 0,1.

Al igual que los demás micronutrientes estudiados la materia orgánica es normalmente la fuente principal de boro aprovechable en el suelo, que queda disponible al ocurrir la mineralización, de ahí la variación de concentración de Boro en función a los usos de suelo.

De acuerdo a la clasificación de micronutrientes mencionada en el trabajo de Rasche et al (2016) donde se observa una tabla de interpretación de micronutrientes adaptada por Raij et al.(1996) (Tabla 1), en los usos de suelo estudiados la concentración de los micronutrientes como cobre, hierro, manganeso y zinc poseen niveles clasificadas como “alto”, por otro lado, la concentración de boro en el uso de bosque y silvopastoril presenta valores clasificados como “medio” y niveles considerado “bajo” para los usos de sistema convencional, pastura y siembra directa con valores por debajo a 0.2 mg dm^{-3} .

Englobando los resultados obtenidos se puede afirmar que el uso de bosque registró los niveles más elevados en relación a los demás usos, posiblemente relacionado con la intrínseca variabilidad del mismo al poseer mayor diversidad de factores que contribuyen al ciclo biogeoquímico del suelo.

Del mismo modo, Quichimbo (2015) determinó que la cobertura correspondiente a bosque refleja propiedades tanto físicas como químicas distintas a los otros tipos de coberturas, lo que estaría en función de su formación bioclimática y la extracción de nutrientes realizada por usos destinadas a la agricultura.

4.3 Descripción del potencial hidrogeno (pH), Materia orgánica y los niveles de micronutrientes según las profundidades estudiadas

El resumen de la estadística descriptiva de las variables potencial hidrogeno (pH), Materia orgánica y los niveles de micronutrientes presentes en los perfiles de estudio en función a las distintas profundidades estudiadas se detallan en las tablas 13, 14 y 15 respectivamente.

Tabla 13. Caracterización de los valores de pH y contenido de materia orgánica a distintas profundidades. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

Profundidades (cm)	Niveles de pH					Materia orgánica (%)				
	M	Min	Max	DE	CV	M	Min	Max	DE	CV
0-5	5,11	4,72	5,88	0,51	10,06	2,32	1,30	4,63	1,33	57,30
5-15	4,82	4,28	5,65	0,58	11,99	1,21	0,91	1,90	0,40	32,73
15-30	4,98	4,49	5,71	0,45	9,13	0,64	0,53	0,77	0,10	15,27
30-60	5,09	4,76	5,66	0,34	6,74	0,39	0,31	0,55	0,10	24,91
60-100	5,22	4,83	6,07	0,49	9,42	0,43	0,29	0,55	0,12	27,51
100-150	5,21	4,82	5,55	0,29	5,60	0,50	0,41	0,60	0,09	18,29

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractor: pH= CaCl₂

En la Tabla 13 se observa que los valores de pH del suelo estuvieron dados por medias consideradas como fuertemente ácido con valores que oscilan de 4,82 a 5,22, registrándose el menor valor para la profundidad 5-15 cm y la más elevada para la profundidad 60-100 cm.

El valor mínimo de pH fue registrado para la profundidad 5-15 cm (4,28), mientras que el valor máximo fue registrado para la profundidad 60-100 cm (6,07), con una desviación estándar que varía de 0,29 a 0,51 y un coeficiente de variación por debajo del 12%.

El coeficiente de variación para la variable pH es considerada baja, en función a la clasificación de Wilding (1985), quien indica dicha situación para valores de CV de 2 a 15%, lo cual se registró en el presente trabajo, coincidiendo dichos valores con los obtenidos por Hernández et al. (2003) y Zarazúa et al. (2007) quienes registraron valores de CV por debajo del 15%.

Teixeira et al. (2003) en un trabajo realizado a una profundidad de 0-20 cm, registraron un aumento de valores de pH para la capa superficial (0-5 cm), lo cual lo relacionaron con la cantidad de carbono orgánico mantenido en la superficie, además el mismo sostiene que la adición de restos culturales promueve una disminución del Al⁺³ considerado tóxico, que se refleja en aumentos de los valores de pH.

Respecto al nivel de materia orgánica se observa una moderada acumulación de materia orgánica en la región superficial (0-5 cm) con un valor de 2,32% considerada media, mientras que para las profundidades de 5 a 150 cm se registraron contenidos de MO considerados bajo con valores por debajo del 1,5%. La tendencia observada es que el nivel de materia orgánica disminuye en profundidad con valores de 0.43 y 0.50% para las profundidades 60 -100 cm y 100 -150 cm respectivamente.

El nivel mínimo del contenido de MO (0,29%) fue registrado a la profundidad 60-100 cm, mientras que el mayor contenido de MO fue registrado para la profundidad superficial 0-5cm con un valor promedio de 4,63%. Otro aspecto importante a considerar es que el mayor coeficiente de variación fue registrado para las profundidades 0-5 (CV 57,30%) y 5-15 cm (CV 32,73%).

Benavides et al (2015), en un trabajo realizado referente al nivel de materia orgánica encontraron los mayores niveles para las profundidades 0-15 cm, lo cual coincide con los datos obtenidos, dichos autores sostienen que esto se debe a la actividad biológica de los microorganismos (hongos y bacterias) en la capa superficial del suelo que segregan sustancias carbonadas que permiten mayor estructuración de los suelos, aumentos en la porosidad, infiltración, aireación y retención de la humedad

Teixeira et al. (2003), Miretti et al. (2012) y Beltrán et al. (2016) obtuvieron resultados similares donde los mayores contenidos de materia orgánica se registraron en las capas superficiales específicamente en la profundidad 0-5cm.

Tabla 14. Caracterización de las concentraciones de cobre e hierro a distintas profundidades. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

Profundidades (cm)	Cu (mg dm ⁻³)					Fe (mg dm ⁻³)				
	M	Min	Max	DE	CV	M	Min	Max	DE	CV
0-5	1,41	1,05	1,64	0,24	17,32	63,86	18,30	182,00	67,96	106,42
5-15	2,02	1,17	3,95	1,13	55,82	30,68	15,00	78,30	26,86	87,54
15-30	2,07	1,55	2,61	0,40	19,27	21,38	15,20	31,10	6,35	29,71
30-60	2,20	1,66	3,06	0,57	25,98	22,96	17,00	27,20	4,35	18,94
60-100	2,31	1,71	3,64	0,76	32,76	34,42	23,50	43,50	8,38	24,35
100-150	1,70	0,93	2,41	0,66	38,75	54,30	33,90	105,00	29,08	53,56

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractor: Cu y Fe= Melich⁻¹

En la Tabla 14 se presenta un resumen estadístico con la media, valor mínimo y máximo, desviación estándar y coeficiente de variación de la concentración de cobre e hierro a distintas profundidades. La concentración promedio de Cu aumenta ligeramente hasta los 100 cm de profundidad, con valores que oscilan de 1,41 mg dm⁻³ (0-5cm) a 2,31 mg dm⁻³ (60-100cm), con un coeficiente de variación por debajo del 20% para las profundidades 0-5 y 15-30cm con una desviación estándar de 0,24 y 0,40 respectivamente. El valor mínimo (0,93 mg dm⁻³) se observó en la profundidad 100-150cm y el valor máximo (3,95 mg dm⁻³) para la profundidad 5-15cm.

Warrick y Nielsen citado por Paris et al. (2020) en un trabajo similar registraron valores de coeficiente de variación considerados regulares (12 < CV < 62%) para atributos químicos, rango dentro del cual se encuentran el CV registrado para el micronutriente Cu en las distintas profundidades estudiadas, dichos autores sostienen que valores elevados de variación indican alta heterogeneidad cercana a la media lo cual se corrobora en la Tabla 14.

Teixeira et. al. (2003), Paris et al. (2020) y Vukasinovic et al. (2015) registraron mayores concentraciones en capas superficiales 0-5 cm, lo cual no se observa en el presente trabajo, esto según los mismos autores puede deberse a que la concentración de Cu es afectada por los niveles de MO, debido a que el Cu es sensible a generar quelatos con MO, que en algunos casos se adhieren a la MO formando quelatos lo cual

de alguna manera incidiría en las concentraciones de Cu registrados. No obstante, Alcantar y Trejo (2012) sostiene que la deficiencia de cobre se relaciona con la formación de complejos muy estables de metal con la materia orgánica, cuya estabilidad se incrementa cuanto mayor es el contenido de nitrógeno y/o azufre en la materia orgánica.

Para el micronutriente Fe se registró la mayor concentración ($63,86 \text{ mg dm}^{-3}$) en la profundidad 0-5 cm, disminuyendo la concentración de dicho micronutriente hasta los 60 cm para luego aumentar el nivel de dicho elemento hasta los 150 cm de profundidad (Tabla 14). Roca et al. (2007) en un trabajo realizado encontraron que los aumentos del Fe en profundidad muestran una correlación positiva con el contenido de arcilla en el suelo.

La concentración de Fe registra un valor mínimo ($18,30 \text{ mg dm}^{-3}$) y un valor máximo (182 mg dm^{-3}) para la profundidad superficial (0-5cm), razón por la cual en dicha profundidad se observa una desviación estándar de 67,96 con un coeficiente de variación de 106,42% el cual se encuentra fuera del rango considerado como regular según Warrick y Nielsen citado por Paris et al. (2020).

Vukasinovic (2015) en un trabajo realizado observaron una similar distribución de Fe en el perfil del suelo con un leve aumento a partir de los 60 cm de profundidad, pero con un menor CV al registrado en la presente investigación.

Tabla 15. Caracterización de los niveles de Mn y Zn a distintas profundidades. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

Profundidades (cm)	Mn (mg dm ⁻³)					Zn (mg dm ⁻³)				
	M	Min	Max	DE	CV	M	Min	Max	DE	CV
0-5	182,12	125,82	241,08	41,79	22,95	9,58	6,21	15,47	3,72	38,84
5-15	148,49	109,98	191,46	30,56	20,58	7,03	5,34	10,32	1,98	28,18
15-30	111,12	74,52	144,72	26,24	23,61	5,17	4,00	6,12	0,94	18,16
30-60	71,54	42,66	86,52	18,02	25,19	4,23	2,86	6,09	1,43	33,88
60-100	42,89	16,68	57,42	17,81	41,52	3,11	2,26	3,75	0,64	20,51
100-150	18,56	7,86	31,74	8,90	47,92	2,56	2,25	3,09	0,33	12,76

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractor: Mn y Zn= Melich⁻¹

En la Tabla 15 se puede observar que tanto para el Mn como el Zn se observa una mayor concentración para la capa superficial (0-5 cm) con una media de 182,12 y 9,58 mg dm⁻³ respectivamente.

La concentración de Mn registra un valor mínimo (7,86 mg dm⁻³) en la profundidad 100-150cm y un valor máximo (241,08 mg dm⁻³) para la profundidad 0-5cm. Para las profundidades superficiales 0-30 cm se registran las mayores desviaciones estándares con valores superiores a 20, mientras que el CV registrado se encuentra dentro de los rangos considerado regulares para parámetros químicos.

Con respecto a la concentración del micronutriente Zn el valor mínimo (2,25 mg dm⁻³) se registra en la profundidad 100-150cm y el valor máximo (15,47 mg dm⁻³) para la capa superficial 0-5cm. La desviación estándar registrada varía de 0,33 a 3,72 registrándose la mayor desviación para la camada 0-5cm y niveles de CV (12 -38%) consideradores regulares.

Teixeira et al. (2003) y Vukasinovic (2015) registraron la mayor concentración de Zn en camadas superficiales (0-5cm) resultados que coinciden con el presente trabajo. Madrigal-Soteno et al. (2016) y Jaitz et al. (2011) sostienen que la mayor acumulación en camadas superficiales se debe a que dicho micronutriente guarda relación con el contenido de MO.

Beltrán et al (2016), sostienen que la concentración de Zn se encuentra directamente correlacionada con los niveles de MO, mientras que la solubilidad de Mn es afectada además de los niveles de MO de los quelatos de Cu producidos cuya descomposición aumenta la actividad redox y beneficia a la solubilidad del Mn.

Tabla 16. Caracterización de los niveles de Boro a distintas profundidades. Coronel Oviedo, Caaguazú, 2020.

Profundidades (cm)	Boro				
	M	Min	Max	DE	CV
0-5	0,37	0,26	0,52	0,11	29,17
5-15	0,26	0,17	0,44	0,11	43,55
15-30	0,20	0,12	0,26	0,06	28,21
30-60	0,13	0,07	0,16	0,05	37,06
60-100	0,20	0,13	0,31	0,07	36,28
100-150	0,29	0,09	0,58	0,20	68,34

M: media, Min: mínimo, Max: máximo, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%). Extractor: B= Agua Caliente.

En la Tabla 16 se observa un análisis descriptivo del micronutriente B el cual registró la mayor media (0,37 mg dm⁻³) en la capa superficial (0-5 cm) demostrando similar comportamiento a los demás micronutrientes estudiados a diferencia del Cu. La desviación estándar registrada para dicho elemento varía de 0,06 a 0,2 con niveles de coeficiente de variación por encima del 25%.

Según Alcantar y Trejo (2012) uno de los factores que regulan el aprovechamiento del Boro en el suelo es el contenido de MO del suelo y la velocidad de descomposición del mismo el cual se acumula en mayor cantidad en las capas superficiales.

Según la clasificación de micronutrientes (Tabla 1) se observó que en todas las profundidades evaluadas la concentración de los micronutrientes Cu, Fe, Mn y Zn poseen valores clasificadas como “alto”, en cambio la concentración de B en las distintas profundidades en estudio estuvo dado por valores clasificados como “bajo”

para la profundidad 30-60 y 60-100cm y “medio” para las demás profundidades estudiadas que abarcan capas superficiales.

Lobo et al. (2013) y Roca et al. (2007), encontraron resultados similares a la presente investigación en donde registraron mayores niveles de micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn) para las primeras profundidades estudiadas (0-30 cm) coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, a excepción del Cu cuyo mayor nivel fue registrado para la profundidad 60-100 cm.

Con respecto al elevado coeficiente de variación registrado Garzón et al (2010) y Oliveira et al. (2009), sostienen que dichos valores son razonables y dentro de un rango regular, considerando que los cationes en el suelo presentan un comportamiento común, bajo producción agrícola

4.4 Concentración de micronutrientes en función al uso y a distintas profundidades.

Tabla 17. Concentración de micronutrientes en el suelo bajo diferentes usos. Coronel Oviedo; Caaguazú, 2020.

Uso del suelo	Cu	Fe	Mn (mg dm ⁻³)	Zn	B
Pastura	1,85 a	65,83 a	81,77 bc	4,09 b	0,19 bc
S. Directa	1,76 a	37,58 a	67,06 c	4,39 b	0,15 c
Bosque	2,46 a	33,20 a	117,94 a	7,35 a	0,35 a
Silvopastoril	2,14 a	31,98 a	100,50 ab	5,60 ab	0,31 ab
S. Convencional	1,55 a	21,07 a	111,67 a	4,98 ab	0,20 bc
CV %	30,25	80,25	17,53	28,35	32,4

CV: coeficiente de variación; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Zn: Zinc; B: Boro; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Extractores: Cu, Fe, Mn, Zn = Melich⁻¹; B= Agua Caliente.

La concentración de micronutrientes (Mn, Zn y B) considerando los distintos usos de suelo presentaron una diferencia significativa ($p < 0,05$) (Anexo 7), siendo mayor concentración de estos minerales en el uso de bosque nativo considera prístino en

relación a los demás usos. En cuanto al Cu y Fe la concentración en los distintos usos de manejo no se observó una diferencia significativa ($p < 0,05$) (Tabla 17).

Miretti et al. (2012) registraron resultados similares a los obtenidos donde los suelos en condición prístina (Bosque) presentan concentraciones más elevadas de micronutrientes.

Urricarriet y Lavado (1999) determinaron que el uso agrícola prolongado disminuía significativamente la concentración de Zn y B, lo cual se observa en la Tabla 17, donde las concentraciones de dichos elementos presentan diferencia significativa por el uso de suelo.

Tabla 18. Concentración de micronutrientes en el suelo bajo diferentes profundidades en el Distrito de Coronel Oviedo; Departamento de Caaguazú, Paraguay, 2020.

Profundidades (cm)	Cu	Fe	Mn (mg dm ⁻³)	Zn	B
0-5	1,41 a	63,68 a	182,12 a	9,58 a	0,37 a
5-15	2,02 a	30,68 a	148,49 b	7,03 ab	0,26 abc
15-30	2,07 a	21,38 a	111,12 c	5,17 bc	0,20 bc
30-60	2,20 a	22,96 a	71,54 d	4,23 bc	0,13 c
60-100	2,31 a	34,42 a	42,89 de	3,11 c	0,20 bc
100-150	1,70 a	54,3 a	18,56 e	2,56 c	0,29 ab
CV %	31,6	80,25	17,53	28,35	32,4

CV: coeficiente de variación; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Mn: Manganeseo; Zn: Zinc; B: Boro; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Extractores: Cu, Fe, Mn, Zn = Melich⁻¹; B= Agua Caliente.

Con respecto a las concentraciones de micronutrientes determinada en distintas profundidades hasta los 150 cm de profundidad del perfil (Tabla 18), se observa que los micronutrientes (Mn, Zn y B) presentan la mayor disponibilidad en los primeros centímetros de profundidad estudiado (0-5cm) difiriendo estadísticamente de manera significativa con las demás profundidades ($p > 0,05$).

Resultados similares observaron Castillo y Fernández (2002), quienes determinaron mayor disponibilidad de Fe, Cu, Mn y Zn en un Ultisol de la provincia de Misiones (Argentina) a una profundidad de 0-10 difiriendo estadísticamente.

Según Torri et al. (2010) y Teixeira et al (2003), los micronutrientes tienden a acumularse en el horizonte superficial debido a su baja movilidad y una relación con el contenido de MO registrado en capas superficiales. Se exceptúa el B y el Cl, que presentan una elevada movilidad, y son susceptibles de lixiviarse, particularmente en suelos de textura gruesa y/o con bajo nivel de materia orgánica.

Estévez et al. (1998) citado por Roca et al (2007), sostienen que la mayor disponibilidad de los micronutrientes en los primeros centímetros está relacionado a los ciclos orgánicos.

4.5 Distribución de micronutrientes en el perfil del suelo bajo diferentes usos.

En la Figura 3 se observa la distribución de micronutrientes en el perfil del suelo, donde la tendencia es una mayor acumulación en la camada superficial (0-5cm) para el micronutriente Fe, Mn, Zn, mientras tanto la tendencia que se observa para el micronutriente Cu es una mayor concentración para la profundidad 5-100cm y para el B una pequeña tendencia que vuelve a amentar a partir de los 60 cm.

El nivel de Hierro (Fe) correspondiente a los distintos usos de suelo y profundidades, muestran una ligera diferencia de concentración, en la capa superficial (0-5cm) en relación al uso, donde el uso correspondiente a pastura registra una concentración de 180 mg dm^{-3} , concentración muy superior a la registrada para los demás usos con un valor que varía de 20 a 60 mg dm^{-3} . Para las demás profundidades se observan que las concentraciones de Fe para los usos estudiados registran un comportamiento similar a diferencia del uso destinado a Sistema Convencional. Donde en la profundidad 60-100 cm se observa un valor superior a los demás usos con una concentración de 100 mg dm^{-3} .

En la Figura 3B se observa la distribución de la concentración de Mn en donde los usos estudiados presentan la misma tendencia de ir disminuyendo en profundidad. En la camada superficial (0-5cm) los usos bosque, siembra directa y silvopastoril registran mayores concentraciones (150-250 mg dm⁻³) mientras que el uso sistema convencional registra la menor concentración. Roca et al. (2007) sostiene que esto se debe a que los usos inciden en el contenido de MO y el mismo en la concentración de dicho micronutriente.

La concentración de B en el perfil del suelo (Figura 3C) se observan mayores concentraciones en la capa superficial con un ligero aumento a partir de los 60 cm de profundidad para los usos silvopastoril, siembra directa, bosque y pastura no así para el uso destinado a sistema convencional donde se observa una ligera disminución en profundidad.

Con respecto al micronutriente Cu no se observa una tendencia de su distribución independientemente al tipo de uso, pero observa un ligero aumento hasta los 60 cm de profundidad para casi todos los usos a excepción del uso silvopastoril el cual muestra un valor atípico en la profundidad 5-15cm el cual difiere a los demás a usos estudiados (Figura 3D).

Finalmente, en la Figura 3E se observa la distribución de la concentración de Zn en el perfil del suelo el cual tiende a disminuir en profundidad, registrándose una mayor concentración para el uso destinado a Bosque el cual es considerado prístino. A partir de los 100 cm de profundidad se observa que la concentración de Zn es similar para todos los usos estudiados con valores de 2-4 mg dm⁻³.

Roca et al. (2007), Moreira et al (2017), Mireti (2012), sostienen que los micronutrientes se encuentran relacionados con el contenido de MO, cuyo contenido disminuye en suelos destinado a una agricultura intensiva y por ende disminuye en la concentración de dichos elementos. Además, los mismos sostienen que el Zn y B son los más afectados por el uso del suelo de ahí la importancia de su monitoreo más aún

que considerando los valores críticos (Tabla 1) se registraron valores medio a bajo para el micronutriente B.

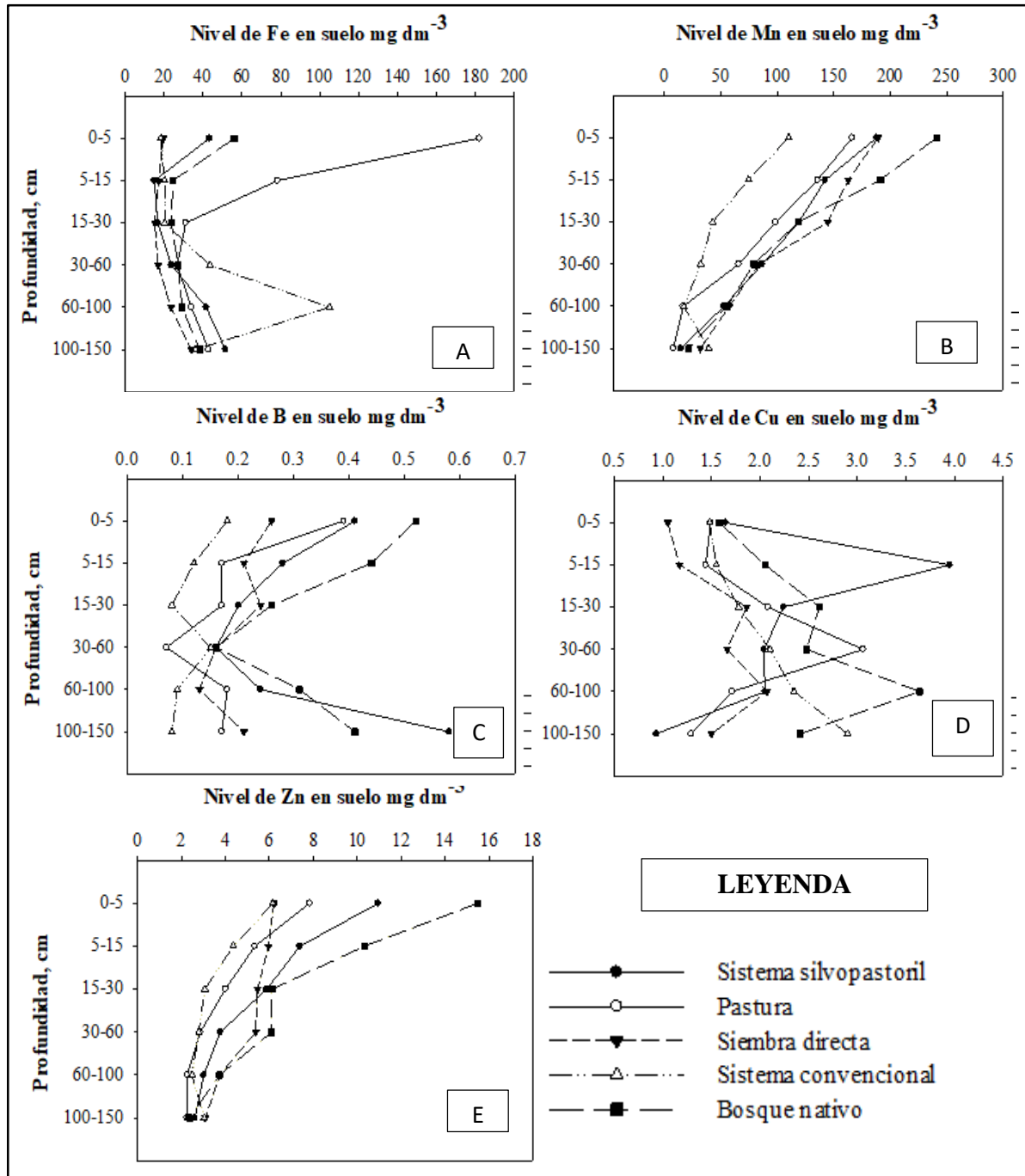


Figura 3. Concentración de micronutrientes en suelos bajo diferentes usos y a distintas profundidades: 3A) Hierro; 3B) Manganeso; 3C) Boro; 3D) Cobre y 3E) Zinc

4.6 pH del suelo, Porcentaje de Materia Orgánica y Textura del Suelo

El nivel de materia orgánica, porcentaje de arena, limo y arcilla no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes usos de suelo, en cambio para el pH del suelo se observó una diferencia significativa con valor de 5,72 para el uso Bosque valor que difiere estadísticamente de manera significativa con los valores de pH registrados en los demás usos investigados. (Tabla 19).

Tabla 19. Contenido de Materia Orgánica, nivel de pH y componentes de la textura del suelo bajo diferentes usos en el Distrito de Coronel Oviedo; Departamento de Caaguazú, Paraguay, 2020.

Uso del suelo	MO%	pH	Arena	Limo (%)	Arcilla
Bosque	1,41 a	5,72 a	80,21 a	8,3 a	11,49 a
Pastura	0,89 a	5,18 b	79,00 a	10,37 a	13,64 a
Silvopastoril	0,83 a	4,81 b	79,00 a	7,34 a	13,66 a
S. Directa	0,73 a	4,78 b	85,01 a	8,04 a	6,96 a
S. Convencional	0,71 a	4,87 b	81,33 a	12,65 a	6,02 a
CV %	59,2	4,81	7,96	37,65	60,27

CV: coeficiente de variación; MO%: Porcentaje de Materia Orgánica; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Extractores: pH= CaCl₂; Textura: Bouyoucus

Según la Tabla 19 el porcentaje de materia orgánica fue 0,71 y 1,41%, en este sentido el uso de bosque nativo tuvo mayor porcentaje de materia orgánica lo cual es un indicador de un sistema integral en la conservación de suelo. De este modo se observa que el sistema convencional resultó con el menor porcentaje de materia orgánica lo que se traducen en serias limitaciones para la producción agrícola.

Similares resultados reportaron Arteaga et al. (2016), donde se observó disminuciones de materia orgánica bajo manejo intensivo, implicando en una menor incorporación de residuos de origen orgánico al sistema, lo que ocasiona una reducción paulatina en dichas características.

A su vez Fernández et al. (2016), en un trabajo evaluando el estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y

monocultivo, en términos de materia orgánica obtuvo un menor porcentaje en el sistema convencional de monocultivo. Por el contrario, en el Bosque se obtuvieron los porcentajes superiores de esta variable, coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo donde el mayor nivel de MO se registró para el uso bosque con 1.41 %

En relación con el potencial de hidrógeno (pH) del suelo (Tabla 19), se observa que el uso de bosque nativo resulto menos acida a diferencia de los demás usos con un valor de 5,72 siendo un valor cercano a la neutralidad, en cambio el uso de siembra directa presento un valor de 4,78 siendo el que presentó mayor acidez en el suelo.

Weil y Brady (2016) sostienen que la capacidad para absorber los elementos minerales de cualquier vegetación influye de forma directa las características de los suelos en donde estas se desarrollan, y el pH afecta directamente la asimilación de los elementos del suelo.

Los diferentes usos de suelos bajo estudio (Tabla 19), presentan una textura arenosa franca según diagrama textural de la USDA (2017) donde el contenido de arena varia de 85,01 a 79 %, el contenido de limo varia de 12,65 a 8,04 % y la fracción de arcilla varia de 13,66 a 6,02 %.

Tabla 20. Contenido Materia Orgánica, pH y componentes de la textura del suelo bajo diferentes profundidades en el Distrito de Coronel Oviedo; Departamento de Caaguazú, Paraguay, 2020.

Profundidades (cm)	MO%	pH	Arena	Limo (%)	Arcilla
0-5	2,32 a	5,11 a	85,84 a	9,31 a	4,86 b
5-15	1,21 b	4,82 a	85,1 a	8,54 a	6,36 b
15-30	0,64 b	4,98 a	82,91 a	12,23 a	4,86 b
30-60	0,39 b	5,09 a	82,93 a	11,84 a	5,23 b
60-100	0,43 b	5,22 a	78,67 ab	8,41 a	12,92 b
100-150	0,50 b	5,21 a	66,42 b	5,70 a	27,88 a
CV %	59,2	4,81	7,96	37,65	60,27

CV, coeficiente de variación; MO%, Porcentaje de Materia Orgánica; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Extractores: pH= CaCl₂; Textura: Bouyoucus

En la Tabla 20 se observa las variables estudiadas en las seis profundidades donde, el contenido de materia orgánica, las partículas de arena y arcilla presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), mientras que el potencial hidrogeno (pH) y el tamaño de las partículas de la fracción de limo no presenta diferencias significativas en profundidad.

Con relación al contenido de materia orgánica se observa que el contenido de MO disminuye en profundidad, registrándose el mayor nivel (2,32%) para la profundidad de 0-5 cm, valor que difiere significativamente a los demás valores registrados en las demás profundidades estudiadas. Resultados similares fueron observados por Fernández et al. (2016), donde a medida que se avanza en profundidad, la materia orgánica disminuye paulatinamente para todos los sistemas estudiados y donde el mayor aporte para dicha variable ocurre en la superficie.

El potencial hidrogeno (pH) del suelo, presento una ligera variación respecto a la profundidad, la cual fue de 4,82 a 5,22 siendo la profundidad de 5-15 cm la más acida seguido por la profundidad de 15-30 cm.

Garzón et al. (2010), Hurtado et al. (2009) y Camacho et al. (2008), en trabajos realizados registraron que el pH fue el parámetro que obtuvo menor variabilidad en diferentes tipos de suelo y a distintas profundidades, lo cual se pudo observar en el presente trabajo en donde los valores de pH para todas las profundidades bajo estudio no presentan una diferencia significativa entre ambas, no así para los usos en donde el pH del uso Bosque registro un valor con diferencia significativa a los demás usos.

Las fracciones correspondiente a arena, limo y arcilla que componen la textura del suelo en función a la profundidad mostraron ligeros cambios a medida que la profundidad aumento donde el porcentaje de arena fue disminuyendo, cuyas medias fueron de 85,84 a 66,42%, a su vez la fracción de limo obtuvo valores variados los cuales fueron de 5,70 y 12,23%, donde el mayor porcentaje se concentró a la profundidad de 15-30 cm y la menor concentración a los 100-150 cm. Por el contrario, la fracción de arcilla presento una mayor concentración a mayor profundidad cuya

variación fue de 4,86 a 27,88% respectivamente, donde la menor concentración estuvo a una profundidad de 0-5 cm y 15-30 cm, por su parte la mayor concentración de arcilla se encontró a una profundidad de 100-150 cm.

Según diagrama textural de la USDA (2017) las profundidades de 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm y 60-100 cm presentaron una textura arenoso franco, mientras que la profundidad de 100-150 cm es franco arenoso.

4.7 Correlación entre los indicadores de fertilidad de suelo y la concentración de micronutrientes.

Tabla 21. Correlación de Pearson entre indicadores de fertilidad de suelo y micronutrientes estudiados. Caaguazú, Paraguay, 2020.

	pH (CaCl ₂)	MO %	Arcilla %	Fe	Mn	Cu	Zn	B
pH (CaCl ₂)	1							
MO %	0,96	1						
Arcilla %	0,34	0,42	1					
Fe	0,18	0,21	0,5	1				
Mn	0,49	0,53	0,07	-0,68	1			
Cu	0,8	0,85	0,81	0,56	0,22	1		
Zn	0,68	0,82	0,2	-0,2	0,78	0,53	1	
B	0,71	0,83	0,54	-0,13	0,81	0,71	0,91	1

En la tabla 21 se observan las correlaciones entre los indicadores de fertilidad de suelos (pH, MO, Arcilla) y los micronutrientes estudiados, se ilustra correlaciones positivas entre el pH/MO (p-valor: 0,01), MO/Cu (p-valor: 0,04), MO/Zn (p-valor: 0,03), MO/B (p-valor:0,05), para el caso de la materia orgánica indica que a medida que aumenta la concentración de materia orgánica se incrementa la concentración de cobre, zinc y boro.

Beltrán et al. (2016), Roca et al. (2007), Aziz et. al (2013), Vukasinovic (2015 y Moreira et al. (2017), son autores en cuyos trabajos indican que existe una correlación positiva entre la concentración de micronutrientes y el contenido de MO, de allí la

acumulación de las mismas en las capas superficiales, lo cual se corrobora en el presente trabajo, además dichos autores sostienen que el pH incide en la concentración de micronutrientes, pero debido al efecto de la MO sobre el mismo no de manera directa. Algunos autores sostienen que el parámetro principal del suelo que controla la disponibilidad de micronutrientes en el suelo es el contenido de carbono orgánico (Bassinari et al. 2011; Yadav, 2011)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con respecto a la hipótesis planteada se pudo corroborar que la concentración de micronutrientes varía en función al uso de suelo empleado y que los micronutrientes estudiados (Fe, Mn, Zn y B) registran una mayor concentración en profundidades superficiales.

En función a los resultados obtenidos se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Con respecto a la descripción morfológica de los perfiles modales se puede concluir que los horizontes genéticos observados presentaron características similares independientemente del tipo de uso de suelo empleado, siendo los horizontes genéticos identificados los siguientes A, E y B para todos los usos de suelo estudiados, caracterizados por presentar una buena profundidad mayor a 100 cm, textura areno franca para el horizonte A, arenosa para el horizonte E y arcillo arenosa para el Horizonte B, estructura del tipo bloque sub angular de clase pequeña a muy grande con presencia de inclusiones para casi todos los usos a excepción del uso correspondiente a Bosque y Sistema Convencional.
- Como consecuencia al uso de suelo se registraron las mayores concentraciones para el uso Bosque considerado prístino en relación a los demás usos que se caracterizan por ocurrencia de extracción de nutrientes. No obstante, se registraron diferencia significativa (p-valor: 0,05), en cuanto a la concentración de micronutrientes por efecto del uso de suelo para los micronutrientes Mn, Zn y B.

- Con respecto a la profundidad la mayor concentración de micronutrientes (Fe-Mn, Zn y B) se registraron en la camada superficial (0-5cm) con una diferencia significativa (p-valor: 0,05), para los micronutrientes Mn, Zn y B.

La línea de investigación correspondiente a Génesis y formación de suelos, con el presente trabajo de investigación permitió concluir que los factores formadores del suelo inciden en las propiedades físicas y químicas de los suelos, las cuales poseen correlación con la concentración de micronutrientes en los suelos.

- Considerando valores críticos de los micronutrientes se obtuvieron valores considerados altos para los micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) no así para el B con valores considerados medio a bajo.
- La distribución de la concentración de micronutrientes (Mn, Cu, Zn y B) presenta una correlación positiva con el contenido de MO.

A modo de recomendación es importante considerar para futuras investigaciones aumentar el número de repeticiones de manera a disminuir el coeficiente de variación registrado para la concentración de micronutrientes por efecto del uso y profundidad, de igual manera es importante considerar el efecto de los usos de suelo sobre la disponibilidad de micronutrientes de manera a plantear manejos de fertilización que sean sostenibles considerando la poca información obtenida referente al comportamiento de micronutrientes en distintos usos, esto considerando que el uso de suelo afecta los parámetros físico-químicos del suelo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, R; Kumar, B; Primayanka, K; Narayan, C; Shukla, K y Sarkar, J. 2016. Micronutrient Fractionation in Coal Mine-Affected Agricultural Soils, India. *Bull Environ Contam Toxicol.* 96: 449–457
- Alcantar, G y Trejo, L. 2012. *Nutrición de Cultivos.* Colegio de Postgraduados. Mexico, D. 454 p.
- Alifragis, D. 2008. *Soil: Genesis, Properties and Classification.* Volume I. Aivazi Publications, Thessaloniki, Greece: 487-492
- Alvarado, A y Forsythe, Warren. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense.*29(1): 85-94
- Arteaga, J; Navia, J; Castillo, J. 2016. Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia (en línea). *Revista Ciencias Agrícolas.* 33(2):62-75. Consultado 28 noviembre 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a06.pdf>
- Aziz, I; Mahmood, T y Islam, K R. (2013). Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil and Tillage Research,* 131(1), 28-35
- Bassirani, N; Abolhassani, M; Galavi, M. 2011: Distribution of available micronutrients as related to the soil characteristics of Hissar; Haryana (India). *African Journal of Agricultural Research.*6(18): 4239-4242
- Beltrán, MJ; Brutti, L; Romaniuk, R; Bacigaluppo, S; Salvagiotti, F; Sainz, H y Galantini, JA. 2016. Calidad de la materia orgánica y disponibilidad de macro y micronutrientes por la inclusión de trigo como cultivo de cobertura. *Revista Ciencia de Suelo (Argentina).* 34 (2): 67-79
- Benavides, E; Morales, L y Navia, J. 2015. Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia. *Agroforestería Neotropical.* 5: 27-41
- Bernal Fundora, A; Hernández Jiménez, A. 2017. Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura (en línea). Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales.*

- 38(5):50-57. Consultado 20 diciembre 2019. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000400010
- Bienes, R. 2009. El perfil del suelo: Formación y clasificación. Instituto Madrileño de investigación y desarrollo rural, agrario y alimentario (en línea). Consultado 21 mar 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ramon_Bienes2/publication/235890059_El_perfil_del_suelo_formacion_y_clasificacion/links/00b4951691c61dda6d000000/El-perfil-del-suelo-formacion-y-clasificacion.pdf
- Blanco, M; Amiotti, N y Paoloni, J. 2006. Control de los materiales parentales en la distribución de micronutrientes en suelos de la Pampa subhúmeda-semiárida. Congreso Argentino de Ciencia del Suelo, Salta, Actas, 495 p.
- Blanco, M.; Díaz, S. y Amioti, N. 2017. Geodisponibilidad de Co, Cr, Fe, Mo, Ni y Zn en la cuenca A° del Divisorio. Revista Ciencia del Suelo (Argentina). 35(1): 161-170
- Bogado, K. 2013. Calidad del suelo en diferentes sistemas de manejo utilizando algunos indicadores biológicos. Tesis presentada para optar por el título de Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo –PY. 60 p.
- Camacho-Tamayo, JH; Luengas, CA; Leiva. FR. 2008. Effect of agricultural intervention on the spatial variability of some chemical properties of soils in the Eastern Planes of Colombia. Chilean Journal of Agricultural. Research. 68(1): 42-55
- Camargo, OA; Moniz, AC y Valadares, J.M.S. 1986. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, IAC. 94p. (Boletim Técnico nº 106)
- Castillo, A; Fernandez, J. 2002. Contenido de Fe, Cu, Mn y Zn en un ultisol abonado con enmiendas orgánicas (en línea). Revista Científica Agropecuaria. Corrientes, Argentina 6:35-39 p. Consultado 20 diciembre 2019. Disponible en http://www.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%206/rca_6_pdf/35_39.pdf
- Catlett, K; Heilb, D; Lindsay, W y Ebingerd, M. 2002. Soil chemical properties controlling zinc activity in 18 Colorado soils. Soil Science Society of America Journal. 66(4): 1182-1189
- Chatzistathis, T. 2014. Micronutrients Deficiency in Soils and Plants. Sharjah: Bentham Science Publishers 100p.
- Cubilla, M; Ademir, A; Wendling, F; Eltz, L; Amado, T y Mielniczuk, J. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo sistema de siembra directa en el Paraguay. Asunción, Paraguay, CAPECO. 88 p.

- Da Silva, FC; Da Eira, PA; Oliveria, W; Vidal, D. y Silva, C.A. 1998. Manual de métodos de análisis químicas para avaliação da fertilidade do solo do Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. 56 p. (Documento nº 3)
- Elliott, H.; Liberati, M. y Huang, C. 1986. Competitive adsorption of heavy metals by soils. *Journal of Environmental Quality* 15: 214-219
- Encina Rojas, A. 2005. Manual para la Descripción Morfológica de Suelo. San Lorenzo, Paraguay, FCA-UNA. 141 p.
- Fancelli, A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. En: M Vázquez (ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Buenos Aires, Argentina, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo
- FAO (Food and Agriculture Organization, Italy). 2002. Soil carbon sequestration for improved land management. (en línea). Roma, IT. Consultado 5 oct 2019. Disponible en: <http://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96e.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia), ISRIC (Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos, Holanda), SICS (Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo, Italia). 1999. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Roma, Italia. 89 p.
- Fernández Ojeda, PR; Acevedo, DC; Villanueva Morales, A; Uribe-Gómez, M. 2016. Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo (en línea). *Revista mexicana de ciencias forestales*. Chapingo, México. 7(35), 65-77. Consultado 28 noviembre 2019. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000300065
- García Zamorano, F; Ruiz Coletto, F; Cano Rodríguez, J; Pérez García, J; Molina de la Rosa, J. 2010. Suelo, Riego, Nutrición y Medio Ambiente del Olivar (en línea). Junta de Andalucía, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España. 190 p. Consultado 28 noviembre 2019. Disponible en [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/publicacion/17/06/Manual%20suelo%20\[baja%20calidad\].pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/publicacion/17/06/Manual%20suelo%20[baja%20calidad].pdf)
- Gardi, C; Angelini, M; Barceló, S; Comerma, J; Cruz Gaistardo, C; Encina Rojas, A.; Jones, A; Krasilnikov, P; Mendonça Santos Brefin, ML; Montanarella, L. (EDS). 2014.. Atlas de suelos de América y el Caribe.
- Garzón, CA.; Cortés, CA. y Camacho, JH. 2010. Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas en un Entisol. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 13 (1): 87-95
- Graham, R. y Welch, R. 2000. Plant food micronutrient composition and human nutrition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31: 1627-1640

- Gunal, H. y Ransom, M. 2006. Clay Illuviation and Calcium Carbonate Accumulation Along a Precipitation Gradient in Kansas. *Catena*. 68: 59-69
- Hartemink, A. 2004. Soil fertility decline on agricultural plantations in the tropics IFA Regional Conference for Asia and the Pacific. ISRIC – World Soil Information, Netherlands
- Hernández, A; Lugo, L; Mora, A; Sanchez, J y Arends, E. 2003. Variabilidad espacial edáfica en el sistema tradicional de conucos en el Amazonas de Venezuela. *Investigación Agraria. Sistemas Recursos Forestales*. 12: 43-54.
- Hirzel, J; Tolosa, S y Novoa, F. 2016. Evolución a corto plazo de las propiedades químicas en dos suelos de la zona centro sur de Chile fertilizados con diferentes fuentes de calcio. *AgroCiencia*. 32(3): 217-227
- Hurtado, SMC; Silva, CA; Resende, AV; Von Pinho, RG; Inácio, ESB.; Higashikawa, FS. 2009. Spatial variability of soil acidity attributes and the spatialization of liming requirement for corn. *Ciência e Agrotecnologia*. 33(5): 1351-1359
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Sf. Métodos utilizados para los análisis de laboratorio y pruebas de campo (en línea). Subdirección de Agrología. Consultado 23 oct 2018. Disponible en ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/PROYECTO_DNP/MEMORIAS_SUELOS_OFICIALES/META/Materiales.pdf
- Jaitz, L; Mueller, B; Koellensperger, G; Huber, D; Oburger, E; Puschenreiter, M y Hann, S. 2011. LC-MS analysis of low molecular weight organic acids derived from root exudation. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 400:2587–2596
- Kabata, A. y Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Ed. United State of America, CRC Press
- Kasmaei, L. y Fekri, M. 2012. Effect of organic matter on the release behavior and extractability of Cu and Cd in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 43: 2209-2217
- Kusunoki, M. 2007. Mono-manganese mechanism of the photosystem II water splitting reaction by a unique Mn₄Ca cluster. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1767: 484-492
- Lo K; Yang, W y Lin, Y. 1992. Effects of organic matter on the specific adsorption of heavy metals by soil. *Toxicological and Environ Chemistry* 34: 139-153
- Lobo, D; Peña, Y; Zenaida Lozano, P; Hernández, R. 2013. Micronutrientes en agregados de un suelo de sabana, bajo un sistema maíz-ganado mejorado. *Venesuelos*. 20. 41-52

- López Gorostiaga, O; González Erico, E; Llamas G, PA de; Molinas M, AM; Franco S, ES; García S, S; Ríos A, EO. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. (en línea) Proyecto de racionalización del uso de la tierra. Asunción, Paraguay. 246 p. Consultado el 17 oct 2017. Disponible en: <http://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
- Madrigal-Soteno, N; Ojeda-Barrios, DL; Gerrero-Prieto, VM; Ávila-Quezada, G y Parra-Quezada, R. 2016. Zinc biodisponible en suelo para la nutrición del nogal pecanero. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas*. 15(1): 1-7
- Mallqui, SE. 2011. Edafología - Formación de Suelos (en línea). Consultado 20 mar 2019. Disponible en: <http://agronomiaunsch.blogspot.com/2011/05/edafologia-formacion-de-suelos.html>
- McBride, M; Sauve, S y Hendershot, W. 1997. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*. 48(2): 337-346
- Miretti, M; Pilatti, M; Lavado, R y Imhoff, S. 2012. Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en Argiudoles del centro de la Provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista Ciencia del Suelo (Argentina)*. 30(1): 67-73
- Miyasaka, S. y Grunes, D. 1997. Root zone temperature and calcium effects on phosphorus, sulphur and micronutrients in winter wheat forage. *Agronomy Journal*. 89: 742-748
- Moreira, SG; Prochnow, LI; Pauletti, V; Silva, BM; Kiehl, JDC. and Silva, CGM. 2017. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage *Acta Scientiarum. Agronomy*. 39(1):89-97
- Motschenbacher, JM; Brye, KR; Anders, MM y Gbur, EE. 2014. Long-term rice rotation, tillage, and fertility effects on near-surface chemical properties in a silt-loam soil. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. 100(1): 77-94
- Muniz Ugarte, O; Schad, P; Vara Rodríguez, MI; Vargas, R. (eds), 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Luxembourg, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 176 p
- Oliveira, PCG; Farias, PRS.; Lima, HV; Fernandes, AR; Oliveira, FA; Pita, JD. 2009. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 13(6):708-715
- Paris, JO; Gontijo, I; Partelli, FL y Facco, AG. 2020. Variability and spatial correlation of soil micronutrients and organic matter with Macadamia nut production. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 24 (1): 31-36

- Porta, J; López-Acevedo, M y Roquero, C. 2003 Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, España, Mundi Prensa. p.251-270
- Prochnow, L; Moraes, P y Stipp, S. 2009. Micronutrientes. Simposio Fertilidad 2009 Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos (en línea). IPNI y Fertilizar A.C. Rosario, Argentina. Consultado 14 ago 2018 Disponible en <http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf>
- Quichimbo, P; Tenorio, G; Borja, P; Cárdenas, I; Crespo, P y Calleri, R. 2015. Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al Sur de Ecuador. Suelos Ecuatoriales. 42(2): 138 -153
- Quiroga, A y Funaro, D. 2004. Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas Pp: 476.
- Rasche, J.; Ortiz, C.; Cabral, N.; Fatecha, D.; González, A y Quiñonez, L. 2016. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del departamento de Itapúa. In resumen: II Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo – II CPCS 2016. Encarnación, Paraguay
- Rashid, A. y Ryan J. 2004. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean type characteristics: A review. Journal Plant Nutrition 27(6): 959-975
- Roca, N; Pazos, M y Bech, J. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. Ciencia del Suelo. 25(1): 31-42
- Ron M y Loewy, T. 2006. Micronutrientes del sudoeste bonaerense y cereales de invierno. Primera parte: trigo y cebada cervecera. En: Micronutrientes en la agricultura: Diagnóstico y fertilización en Argentina. La experiencia brasilera. 1ra. Edición. Edit. Vázquez M, AACCS, 147-156
- Sadeghian, S; Rivera, JM; Gómez, ME. 1992. Efectos de la transformación de agrosistemas cafeteros sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en el departamento del Quindío (en línea). In Sánchez, MD; Rosales Méndez, M (eds.). Agroforestería para la producción animal en América Latina. Roma, Italia, FAO. p. 123-141. Consultado 20 Dic 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x1213s/x1213s.pdf>
- Sánchez, J. y Rubiano, Y. 2015. Procesos específicos de formación en Andisoles, Alfisoles y Ultisoles en Colombia. Revista EIA. 12(2): 85-97:1794-1237.
- Sande, P; Miras, J; De Abreu, A. y González, A. 2007. Elementos minoritarios extraídos con DTPA y Mehlich-3 en suelos dedicados a cultivo, pradera y monte. Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe Coruña. 32: 237 – 248

- SSS (Soil Survey Staff). 2006. Soil Survey Laboratory Methods Manual. USDA-NRCS. Soil Survey Investigations Report N° 42. National Soil Survey Center, Lincoln, NE.EUA
- Souza, Z; Barbieri, D; Marquez, J; Pereira, G. y Campos, M. 2007. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura da cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*. 31(2): 371-377
- SAS (Statistical Analysis System). 2007. SAS OnlineDoc® 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Teixeira, I; Souza, R; Caetano, M; Borém, A y Silva, G. 2003. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. *Bragantia*. 62(1): 119-126.
- Therios, I. 1996. Mineral Nutrition and Fertilizers. Dedousis Publications, Thessaloniki, Greece :174-177
- Torri, SI; Urricariet, S; Ferraris, GN; Lavado, RS. 2010. Micronutrientes en agrosistemas:101-110
- Van Raij, B; Andrade, JC; Cantarella, H; Quaggio, JA. 2001. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p.
- Van Raij, B. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2010. Manual de procedimientos analíticos: Laboratorio de Física de Suelos (en línea). Consultado 20 ago 2018. Disponible en <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Urricariet, S y Lavado, R. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo*. 17(1): 37-44
- Vázquez, M. 2005. Micronutrientes en la Agricultura. 1° Edición. Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo. 207 pp.
- Volverás, B. y Amézquita, E. 2009. Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*. 58 (1): 35-39
- Voyiatzis, D. y Petridou, M. 2003. Biology of Horticultural Plants. Thessaloniki, Greece. Gartaganis Publications 89-93 p.

- Vukasinovic, IZ; Todorovic, DJ; Dordevic, AR y Rajkovic, MB. 2015. Depth distribution of available micronutrients in cultivated soil. *Journal of Agricultural Sciences*. 60 (2): 177-187
- Wei, X; Hao, M; Shao, M y Gale, W. 2006. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. *Soil & Tillage Research*. 91: 120–130
- Weil, R; Brady, N. 2016. *The nature and properties of soil*. 15 ed. Columbus, Estados Unidos de América. Pearson. 1086 p.
- White, J. y Zasoski, R. 1999. Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research*. 60:11-26.
- Wilding, LP. 1985. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys.. In: D. R. Nielsen and J. Bouma (eds.). Wageningen, The Netherlands, *Soil spatial variability*. Pudoc pp. 166-194
- Yadav, BK. 2011. Micronutrient Status of Soils under Legume Crops in Arid Region of Western Rajasthan, India. *Academic Journal of Plant Sciences*. 4(3):94-97
- Zarazúa, P; Gonzalez, D.; Nuño, R; Ruíz, J y Torres, J. 2007. Variabilidad espacial del pH del suelo en tres parcelas agrícolas. *Terra Latinoamericana*. 25 (2): 203-210
- Zhang, S; Wang, X; Jin, K; Li, X; Zhou, Y and Yao, Y. 2001. Effect of different N and P levels on availability of zinc, copper, manganese and iron under arid conditions. *Plant Nutrition and Fertility Science*. 7: 391–396
- Zuo, Y. y Zhang, F. 2008. Effect of peanut mixed cropping with gramineous species on micronutrient concentrations and iron chlorosis of peanut plants grown in a calcareous soil. *Plant Soil*.306: 23-36

7. ANEXOS

Anexo 3. Cuadro de descripción de perfil

DESCRIPCIÓN DE PERFIL															
PROYECTO:			Departamento:			Latitud:			Localización:			Perfil N°:			
Distrito:			Longitud:						Prospector:		Fecha:				
Compañía:			Altitud:												
Topografía:			Drenaje:			Mat. Parental:			Veg. Natural u original:			Erosión:			
Posición Fisiográfica:			Permeabilidad:			Pedregosidad:			Uso Actual:						
Pendiente del Lugar:			Nivel Freático:			Rociedad:									
Horizonte Genetico	Profundidad (cm)	Limite: Transición Topografía	Color		Textura	Estructura			Consistencia en			Poros	Raíces	Inclusión	Muestra N°
			Seco	Húmedo		Tipo	Clase	Grado	Seco	Húmedo	Mojado				
Horizontes Diagnósticos - profundidad (cm):															
Observaciones:															
Clasificación Taxonómica:										Capacidad de Uso:					

Anexo 4. Explicación de descripción Morfológica

<u>Topografía</u>	<u>Posición Fisiográfica</u>	<u>Pendiente %</u>	<u>Drenaje</u>	<u>Permeabilidad</u>	<u>Pedregosidad: Distancia entre piedras</u>	<u>Rociedad %</u>
p: plana lo: ligerament ondulada o: ondulada fo: fuertemen ondulada e: escarpada	b: baja bm: baja media ba: baja alta ab: alta baja am: media alta aa: alta alta	A: plana a casi plana 0 - 2 B: lig. Inclínada 2 - 4 C: inclinada 4 - 8 D: fuert. Inclínada 8 - 15 E: extrem. inclinada 15 - 50	0: nulo 1: lento 2: moderado 3: rápido 4: muy rápido 5: extremad rápido	n: nula ml: muy lenta l: lenta m: moderada r: rápida mr: muy rápida e: extremadamente rápida	0: no pedregosa ----- 1: lig. Pedregosa mayor a 30 m 2: mod. Pedregosa 10-30 m 3: pedregosa 2-10 m 4: muy pedregosa 1-2 m 5: extrem. Pedregosa menor a 1 m	0: nula 0 - 2 1: lig. rocosa 2 - 10 2: mod. rocosa 10 - 25 3: rocosa 25-50 4: muy rocosa 50-90 5: extrem. rocoso mayor a 90

<u>Erosion</u>	<u>Transición: Limite cm</u>	<u>Grado Textural</u>	<u>Estructura: Tipo o Forma</u>	<u>Estructura:</u>					
				<u>Estructura: Grado diámetro</u>	<u>Clase o tamaño</u>	<u>espesor</u>	<u>altura</u>	<u>ancho</u>	
0: no aparente 1: laminar ligera 2. laminar moderada. 3: laminar severa 4: surcos superfic. Ocasionales 5: surcos sup. Frecuentes 6: surcos profund. Ocasionales 7: surcos profund. Frecuentes 7: carcavas	a: abrupta 0 -2,5 c: clara 2,5 - 6,5 g: gradual 6,5 - 12,5 d: difusa > 12,5 <u>Transición: Topografía</u> p: plana o: ondulada q: quebrada	a: arena L: limo A: arcilla F: franco Otra textura: Especificar	l: laminar pr: prismática co: columnar ba: bloques angulares bs: bloques subangulares gr: granular mi: migajoso m: masiva	a: sin estructura mm d: débil m: moderada f: fuerte 2-5 mf: muy fuerte 5-10 > 10	mp: muy pequeña p: pequeña m: mediana g: grande mg: muy grande	mm 1 10 1-2 10-20 2-5 5-10 > 10	mm 10 10-20 20-50 50-100 > 100	mm 1 1-2 20-5 50-100 > 100	

<p><u>Poros (cantidad)</u> p: pocos m: moderados a: abundantes</p> <p><u>Poros (tamaño)</u> mf: muy finos</p> <p>1 mm f: finos</p> <p>1-2 mm m: medianos</p> <p>2-5 mm gr: grandes</p> <p>> 5 mm</p>	<p><u>Raíces (cantidad)</u> <u>%</u> p: pocas 1-3 c: comunes 3-5 a: abundantes > 5</p> <p><u>Raíces (tamaño)</u> mf: muy finos 1 mm f: finos 1-2 mm m: medianos 2-5 mm gr: grandes >5 mm</p>	<p><u>Cutanes (cavidad)</u> p: pocas c: comunes a: abundantes</p> <p><u>Cutanes (desarrollo)</u> d: débil m: moderada f: fuerte</p>	<p><u>Moteados (cantidad) %</u> p: pocos menor 2 c: comunes 2-20 a: abundantes >20</p> <p><u>Moteados (tamaño)</u> f: finos 5- m: medianos 5-15 gr: grandes >15</p> <p><u>Moteado (contraste)</u> d: débil c: claro p: prominente</p>	<p><u>Concreciones: tamaño mm</u> p: pequeños menor 5 m: medianos 5 - 15 g: grandes >15</p> <p><u>Concreciones: dureza</u> b: blandas d: duras md: muy dura</p> <p><u>Concreciones color:</u> Munsell</p> <p><u>Intensidad de reacción</u> 0: ausente 1: débil 2: moderada 3: fuerte</p>	<p><u>Consistencia en seco</u> s: suelta b: blanda ld: ligeramente dura d: dura md: muy dura ed: extremadamente dura</p> <p><u>Consistencia en húmedo</u> mf: muy friable fr: friable f: firme ef: extrem. firme</p> <p><u>Consistencia en mojado</u> npl: no plástica dpl: débilmente plástica pl: plástica mpl: muy plástica</p>	<p><u>Consistencia en mojado (cont)</u> <u>Pegajocidad:</u> np: no pegajosa dp: débilmente pegajosa pe: pegajosa mp: muy pegajosa</p>
--	---	---	---	---	---	--



Anexo 3. Preparación de calicatas para los usos silvopastoril (izquierda) y pastura (derecha)



Anexo 4. Descripción de perfil modal y toma de muestras para posterior análisis.

Anexo 5. Resultados de análisis de suelo en función al uso y profundidades estudiadas

Usos	LI-LS (cm)	pH (CaCl ₂)	MO %	Arcilla %	Micronutrientes				
					Fe	Mn	Cu	Zn	B
					mg dm ⁻³				
Eucaliptal	0-5	4.8	1.70	8.24	43.3	187.98	1.64	10.94	0.41
Eucaliptal	5-15	4.3	1.01	8.24	15	142.44	3.95	7.38	0.28
Eucaliptal	15-30	4.5	0.70	8.24	16.7	118.98	2.24	5.88	0.2
Eucaliptal	30-60	4.8	0.43	4.49	23.7	86.52	2.04	3.76	0.16
Eucaliptal	60-100	5.0	0.55	15.64	41.7	52.68	2.05	3.02	0.24
Eucaliptal	100-150	5.6	0.60	37.13	51.5	14.4	0.93	2.61	0.58
Pastura	0-5	5.4	2.16	2.61	182	166.26	1.49	7.83	0.39
Pastura	5-15	5.2	1.06	2.61	78.3	135.72	1.44	5.34	0.17
Pastura	15-30	5.1	0.58	4.49	31.1	98.4	2.08	4	0.17
Pastura	30-60	5.0	0.55	11.96	26.7	65.7	3.06	2.86	0.07
Pastura	60-100	5.1	0.55	33.63	34.1	16.68	1.71	2.26	0.18
Pastura	100-150	5.3	0.41	26.52	42.8	7.86	1.29	2.25	0.17
Siembra Directa	0-5	4.7	1.80	2.61	18.3	125.82	1.27	7.47	0.27
Siembra Directa	5-15	4.5	0.91	8.24	18.3	109.98	1.48	6.16	0.18
Siembra Directa	15-30	4.9	0.53	4.49	20.2	74.52	1.55	4.36	0.12
Siembra Directa	30-60	4.9	0.34	4.49	20.2	42.66	1.78	3.07	0.08
Siembra Directa	60-100	4.8	0.34	2.61	43.5	32.16	2.1	2.79	0.15
Siembra Directa	100-150	4.8	0.48	19.3	105	17.22	2.35	2.48	0.09

Usos	LI-LS (cm)	pH (CaCl ₂)	MO %	Arcilla %	Micronutrientes				
					Fe	Mn	Cu	Zn	B
					mg dm ⁻³				
S. Convencional	0-5	4.7	1.30	2.61	19.6	189.48	1.05	6.21	0.26
S. Convencional	5-15	4.5	1.18	4.49	17.2	162.84	1.17	5.96	0.21
S. Convencional	15-30	4.8	0.60	2.61	15.2	144.72	1.86	5.47	0.24
S. Convencional	30-60	5.1	0.31	2.61	17	83.82	1.66	5.38	0.16
S. Convencional	60-100	5.1	0.29	4.49	23.5	57.42	2.07	3.75	0.13
S. Convencional	100-150	5.0	0.58	19.3	33.9	31.74	1.5	3.09	0.21
Bosque Nativo	0-5	5.9	4.63	8.24	56.1	241.08	1.58	15.47	0.52
Bosque Nativo	5-15	5.7	1.90	8.24	24.6	191.46	2.05	10.32	0.44
Bosque Nativo	15-30	5.7	0.77	4.49	23.7	118.98	2.61	6.12	0.26
Bosque Nativo	30-60	5.7	0.34	2.61	27.2	79.02	2.48	6.09	0.16
Bosque Nativo	60-100	6.1	0.43	8.24	29.3	55.5	3.64	3.73	0.31
Bosque Nativo	100-150	5.4	0.41	37.13	38.3	21.6	2.41	2.36	0.41

LI: Límite inferior, LS: Límite Superior, MO: materia orgánica, Fe: Hierro, Mn: Manganeseo, Cu: Cobre, Zn: Zinc; B: Boro
Fuente: Laboratorio Agronómico 2019. Extractores: Fe, Mn, Cu, Zn = Melich⁻¹; B= Agua Caliente; pH= CaCl₂; Textura= Bouyoucus

Anexo 6. ANAVA de las variables estudiadas

Factor principal: Uso de suelo

Factor bloque: profundidad

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	30	0,79	0,69	4,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,37	9	0,49	8,15	0,0001*
Uso	3,81	4	0,95	15,98	<0,0001*
Profundidad	0,56	5	0,11	1,88	0,1429
Error	1,19	20	0,06		
Total	5,56	29			

MO%

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MO%	30	0,73	0,61	59,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16,06	9	1,78	6,09	0,0004*
Uso	1,99	4	0,50	1,69	0,1908
Profundidad	14,07	5	2,81	9,60	0,0001*
Error	5,86	20	0,29		
Total	21,93	29			

Arcilla(%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
A(%)1	30	0,76	0,64	60,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2400,53	9	266,73	6,85	0,0002*
Uso	320,17	4	80,04	2,06	0,1250
Profundidad	2080,36	5	416,07	10,68	<0,0001*
Error	778,82	20	38,94		
Total	3179,35	29			

Zn

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zn	30	0,83	0,75	28,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	214,21	9	23,80	10,62	<0,0001*
Uso	40,10	4	10,02	4,47	0,0096*
Profundidad	174,12	5	34,82	15,54	<0,0001*
Error	44,82	20	2,24		
Total	259,03	29			

Fe

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fe	30	0,43	0,18	80,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14241,08	9	1582,34	1,71	0,1528
Uso	6724,94	4	1681,24	1,81	0,1657
Profundidad	7516,14	5	1503,23	1,62	0,2000
Error	18535,92	20	926,80		
Total	32777,01	29			

Mn

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mn	30	0,95	0,93	17,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	109801,69	9	12200,19	43,29	<0,0001*
Uso	10721,73	4	2680,43	9,51	0,0002*
Profundidad	99079,96	5	19815,99	70,31	<0,0001*
Error	5637,14	20	281,86		
Total	115438,83	29			

B

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
B	30	0,75	0,63	32,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,36	9	0,04	6,52	0,0002*
Uso	0,18	4	0,04	7,26	0,0009*
Profundidad	0,18	5	0,04	5,93	0,0016*
Error	0,12	20	0,01		
Total	0,48	29			