



UNAP



**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

TESIS

**“STOCK DE CARBONO EN SUELOS ANTRÓPICOS DE
BOSQUES SECUNDARIOS EN LA AMAZONIA CENTRAL
BRASILERA”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
ERICK MANUEL OBLITAS MENDOZA**

**ASESOR:
Ing. OMAR CUBAS ENCINAS, Dr.**

IQUITOS, PERÚ

2021



UNAP

FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 018-CGYT-FA-UNAP-2021



En Iquitos, mediante la plataforma virtual de Google Meet, a los 30 días del mes de junio del 2021, a horas 11:00 a.m., se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **“STOCK DE CARBONO EN SUELOS ANTRÓPICOS DE BOSQUES SECUNDARIOS EN LA AMAZONIA CENTRAL BRASILEIRA”**, aprobado con Resolución Decanal N° **034-CGYT-FA-UNAP-2020**, presentado por el Bachiller **ERICK MANUEL OBLITAS MENDOZA**, para optar el Título Profesional **DE INGENIERO (A) AGRÓNOMO** que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal **N° 010-CGYT-FA-UNAP-2021**, está integrado por:

Ing. JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ CHUNG, Dr.
Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Ing. OCTAVIO DELGADO VÁSQUEZ, M.Sc.

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: **SATISFACTORIAMENTE.**

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La Sustentación pública y la Tesis han sido: **APROBADA** con la calificación **MUY BUENA.**

Estando el Bachiller **APTO** para obtener el Título Profesional de **INGENIERO (A) AGRÓNOMO.**

Siendo las **01:00 pm.**, se dio por terminado el acto **ACADÉMICO.**

Ing. JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ CHUNG, Dr.
Presidente (a)

Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Miembro

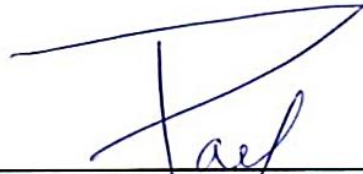
Ing. OCTAVIO DELGADO VÁSQUEZ, M.Sc.
Miembro

Ing. OMAR CUBAS ENCINAS, Dr.
Asesor

**JURADO Y ASESOR
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

Tesis aprobada en sustentación pública, mediante la plataforma virtual de Google Meet, el 30 de junio de 2021, por el jurado ad hoc designado por el Comité de Grados y Títulos para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO



Ing. JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ CHUNG, Dr.
Presidente (a)



Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Miembro



Ing. OCTAVIO DELGADO VÁSQUEZ, M.Sc.
Miembro



Ing. OMAR CUBAR ENCINAS, Dr.
Asesor



Ing. FIDEL ASPAÑO VARELA, M.Sc.
Decano



ÍNDICE GENERAL

	Página
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO Y ASESOR.....	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Base teórica.....	6
1.2.1. Suelos Amazónicos	6
1.2.2. “Terra Preta de Índio” (TPI) o suelos antrópicos	8
1.2.3. Origen de las “Terras Pretas de Índio” (TPI)	9
1.2.4. Stock de carbono en “Terras Pretas de Índio” (TPI).....	11
1.2.5. Bosques secundarios	12
1.3. Definición de términos básicos.....	13
CAPITULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES	14
2.1. Formulación de la hipótesis	14
2.1.1. Hipótesis general.....	14
2.1.2. Hipótesis específica.....	14
2.2. Variables y su operacionalización	14
2.2.1. Definición de las variables	14
2.2.2. Operacionalización de las variables.....	15
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño metodológico	16
3.2. Diseño muestral.....	17
3.3. Procedimientos de recolección de datos.....	19
3.3.1. Datos de análisis físicas del suelo	19
3.3.2. Datos de análisis químicas del suelo	21
3.4. Procesamiento y análisis de datos.....	22
3.5. Aspectos éticos.....	23
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	24

4.1. Comprobación de los supuestos del ANOVA.....	24
4.2. Caracterización de los suelos estudiados	24
4.2.1. Caracterización física	24
a. Granulometría y densidad aparente del suelo.....	24
4.2.2. Caracterización química	28
a. Macro y micronutrientes.....	28
b. Carbono y nitrógeno del suelo	31
c. Stock de carbono en el suelo	35
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	37
5.1. Textura del suelo o granulometría.....	37
5.2. Densidad aparente del suelo	38
5.3. Macro, micronutrientes y aluminio.....	38
5.4. Concentración de C y N.....	40
5.5. Stock de carbono en los suelos	41
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	43
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	44
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN.....	45
ANEXOS	54
Anexo 1(A): Prueba de Normalidad de “Shapiro-Wilks” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 20 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.....	55
Anexo 1(B): Prueba de Normalidad de “Shapiro-Wilks” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 100 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.....	55
Anexo 2(A): Prueba de Homogeneidad de “Levene” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 20 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.....	56
Anexo 2(B): Prueba de Homogeneidad de “Levene” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 100 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.....	56
Anexo 3: ANOVA para la variable Densidad Aparente (DA) en g cm ⁻³ , hasta 30 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres	

	áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	57
Anexo 4:	ANOVA para las variables Densidad Aparente (DA) en g cm ⁻³ , hasta 100 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	57
Anexo 5:	TUKEY para Densidad Aparente (DA) en g cm ⁻³ , de 0 -30 cm y 0 - 100 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	57
Anexo 6:	ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe (mg Kg ⁻¹) hasta 20 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	58
Anexo 7:	TUKEY para Ca, Mg, K, P, Al y Fe hasta 20 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	59
Anexo 8:	ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	60
Anexo 9:	TUKEY para Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	61
Anexo 10:	ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Autaz Mirin (AT) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	62
Anexo 11:	TUKEY para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad de los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Autaz Mirin (AT) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	63
Anexo 12:	ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Encuentro de las Aguas (EA) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	64

Anexo 13:	TUKEY para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Encuentro de las Aguas (EA) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira	65
Anexo 14:	ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Rio Preto de Eva (RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira	66
Anexo 15:	TUKEY para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Rio Preto da Eva (RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	67
Anexo 16:	ANOVA para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 20 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	68
Anexo 17:	TUKEY para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 20 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	68
Anexo 18:	ANOVA para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelos (TPI, TM, SA) de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	69
Anexo 19:	TUKEY para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelos (TPI, TM, SA) de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	70
Anexo 20:	ANOVA para las variable Stock de Carbono (Mg C ha^{-1}) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) de las área de estudio (EA, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	71
Anexo 21:	TUKEY para las variable Stock de Carbono (Mg C ha^{-1}) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) de las tres área de estudio (EA, AT, RP) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.....	71

Anexo 22: ANOVA para las variable Stock de Carbono (Mg C ha^{-1}) hasta 100 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres área de estudio (EA, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.	72
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Páginas

Tabla 1. Resultados de Densidad aparente (DA), potencial de hidrógeno (pH), del análisis de macro y micro nutrientes de los tres tipos de suelo (TPI, TM, SA), en las diferentes áreas de estudio, a una profundidad de 20 cm.	27
Tabla 2. Resultados del análisis de macro y micro nutrientes de los tres tipos de suelo (TPI, TM, SA), en las diferentes áreas de estudio (AT, EA y RP) a una profundidad de 100 cm.	31
Tabla 3. Stock de carbono en Mg C ha ⁻¹ en un perfil hasta una profundidad de 100cm de los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) en las tres áreas estudiadas (EA, AT y RP). Con análisis de Tukey entre tipos de suelo en cada área.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

Figura 1.	Localización de las tres áreas de estudio, Encuentro de las Aguas (EA), Rio Preto de Eva (RP) y Autazes (AT).....	18
Figura 2.	Calicata de los perfiles modales de los tres suelos estudiados, Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y Suelo Adyacente (SA).....	18
Figura 3.	Colecta de muestras indeformada para cálculos de densidad aparente (DA), con ayuda del anillo volumétrico en las tres áreas de estudio.....	20
Figura 4.	Determinación de la textura de los suelos estudiados con el método de la pipeta y tamiz de todas las áreas de estudio.....	20
Figura 5.	(A) Espectrofotómetro de Absorción Atómica, (B) Espectrofotómetro de Colorimetría, (C) Auto analizador de C/N.....	22
Figura 6.	Distribución granulométrica (%) de los diferentes horizontes, hasta 1 metro de profundidad de los tres tipos de suelos, Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y suelo adyacente (SA) en las diferentes áreas de estudio.....	26
Figura 7.	Resultados de densidad aparente (DA), en el perfil modal de los tres suelos estudiados, Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y Suelo Adyacente (SA) a una profundidad de 100cm, en las tres áreas de estudio, Autazes (AT), Encuentro de las aguas (EA) y Rio Preto de Eva (RP).....	28
Figura 8.	Resultados de C y N, en el perfil de Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y Suelo Adyacente (SA) a una profundidad de 100cm, en las áreas de estudio, Autazes (AT), Encuentro de las aguas (EA) y Rio Preto de Eva (RP).....	33
Figura 9.	Relación entre la concentración de carbono (C%) y el contenido de arcilla y arena (en %) en 4 profundidades del suelo, para todos los suelos estudiados (TPI, TM y SA) en las tres áreas (AT, RP y EA).....	34

RESUMEN

En la Amazonia central brasilera ocurren suelos antrópicos conocidos popularmente en su lengua nativa como “Terra Preta de Indio” (TPI) que presentan un perfil del suelo de color oscuro que generalmente presenta alta fertilidad natural como característica, con elevadas concentraciones de P, Ca, Mg, Zn y de materia orgánica. Así como en general presentan niveles elevados de C, con concentraciones hasta de 150 g C kg^{-1} , la capacidad de los suelos antrópicos de almacenar C estable es alta, siendo un importante mecanismo para disminuir el efecto “Invernadero” que necesita ser mejor evaluada y entendida. Este estudio tuvo como objetivo determinar el stock de C en los suelos antrópicos y adyacentes bajo bosques secundarios de la Amazonia central brasilera. Donde fueron abiertos calicatas y colectadas muestras indeformadas de los tres tipos de suelos estudiados donde analizamos las concentraciones de C con las cuales calculamos los Stocks de C, así como analizamos sus propiedades físicas y químicas de estos suelos. Donde encontramos que la TPI del área de EA tiene mayor stock de C que los SA, con valores de 204.9 y 176.5 Mg C ha^{-1} respectivamente, pero sin diferencia significativa. Los Stocks son menores en los demás TPI de las otras áreas. Por lo cual concluimos que el mayor stock de C encontrados en los SA es por la diferencia que tiene en su concentración de arcilla, siendo mayores cuando comparadas a las TPI. Ya que la concentración de arcilla del suelo está relacionada a la concentración de C del suelo.

Palabras clave: Suelos antrópicos, Terra Preta, Stock de carbono

ABSTRACT

In the Brazilian central Amazon, there are anthropic soils popularly known in the native language as “Terra Preta de Indio” (Dark earth) that present a dark colored soil profile that generally presents high natural fertility as a characteristic, with high concentrations of P, Ca, Mg, Zn and organic matter. As in general, they present high levels of C, with concentrations up to 150 g C kg^{-1} , the capacity of anthropic soils to store C is stable at high levels, being an important mechanism to reduce the “greenhouse effect” that needs to be further evaluated and understood. This study has the objective to determine the stock of C in the anthropic and adjacent soils under secondary forests of the central Brazilian Amazon. From where we opened pit and collected undisturbed samples of the three types of soils studied, where we analyzed the concentrations of C with which we calculated the Stokes of C, as well as the physical and chemical properties of these soils. Hence, we found that the TPI in the EA area has a greater stock of C than SA, with values of 204.9 and $176.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ respectively, but there is no significant difference. The Stokes are smaller in the other TPIs in other areas. For which we conclude that the greater stock of C found in the SA is due to the difference that it has in its concentration of clay, being greater when compared to the TPI. The concentration of clay in the soil is related to the concentration of C in the soil.

Keywords: Anthropic soils, Dark earth, Stock of carbon.

INTRODUCCIÓN

La Amazonia se desarrolla en gran parte en suelos considerados de baja fertilidad natural **(Sioli, H.) (1)**. Corresponde a la mayor extensión de bosque tropical continuo del mundo, cubriendo aproximadamente 6.2 millones de km² **(Skole D, Tucker H.) (2)**. La Amazonia Legal brasileña representa 5.1 millones de km² y es importante para la biodiversidad, la hidrología y el clima regional, así como para el almacenamiento de carbono **(Phillips O. et al) (3), (Fearnside P. M.) (4)**. Los bosques tropicales húmedos son importantes en el almacenamiento y el ciclo global del carbono, debido a su extensión, conteniendo en su biomasa alrededor del 40% de todo el carbono terrestre **(Phillips O. et al) (3)**. En la Amazonia Legal brasileña, más de 562.220 km² ya habían sido deforestados para el año 2007. Esta deforestación sigue aumentando anualmente; En el año de 2019, la deforestación en la Amazonía legal brasileña se estima que fue de 9762 Km², representando un incremento de la media anual en 30% **(PRODES) (5)**. La deforestación ha estado provocando cambios en los paisajes de la Amazonía, afectando la dinámica del carbono representada por la vegetación en pie. Se estima que la deforestación libera 1,6 Gt de C por año a la atmósfera y el papel de la Amazonía como fuente o sumidero de carbono aún se debate **(Fearnside P. M.) (6)**.

Sin embargo, después de perturbaciones naturales o provocadas por el hombre, como la deforestación, se desarrollan los llamados bosques secundarios, que ya cubren más de la mitad de todos los bosques del mundo. La mayoría de estos bosques se concentran en regiones tropicales, donde su tamaño e importancia han aumentado de manera constante, a raíz del crecimiento demográfico, la migración de poblaciones rurales a centros urbanos seguida del abandono de áreas antiguas, a medida que los bosques primarios se exploran, fragmentan o convierten en usos agrícolas **(FAO) (7), (Gavin M. C.) (8)**. El mayor contribuyente al cambio climático global en la atmósfera es el dióxido de carbono (CO₂). Desde el siglo XVIII se anticipó

el problema que hoy es una gran preocupación mundial, el “efecto invernadero”. Uno de los grandes estudiosos de la época, Arrhenius en 1896 afirmó que la quema de combustibles fósiles y la industrialización aumentarían el CO₂ atmosférico, lo que provocaría el calentamiento global **(Christianson G. E.) (9)**. El CO₂ atmosférico global aumentó de 280 ppm en el año de 1750 a 416.21 ppm con medición hasta abril del año 2020, superando el rango natural de los últimos 650.000 años (180 a 300 ppm) **(IPCC) (10)**, **(ONU) (11)**. Según **Chambers et al (12)**, entre 76% a 84% del flujo de CO₂ total del bosque Amazónico puede estar viniendo del suelo, lo que representa globalmente una grande fracción para la atmosfera, cuyas mayores contribuciones provienen de bosques tropicales y subtropicales. Los ecosistemas terrestres se han considerado tan importantes como los océanos para almacenar carbono de la atmósfera. La liberación o secuestro de carbono en los suelos es por tanto, de gran importancia para mitigar el efecto invernadero y el calentamiento global **(Roscoe R.) (13)**. El carbono orgánico del suelo es un importante depósito de carbono en el ciclo biogeoquímico global: la cantidad total de carbono orgánico en los suelos se estima en 2011 Gt de C y representa aproximadamente el 82% del carbono orgánico global en los ecosistemas terrestres **(The Green Initiative) (14)**.

En este contexto, además de la evidente importancia de los suelos antrópicos con alta fertilidad y potencial para la agricultura, recientemente han recibido atención también por su capacidad de almacenar carbono, que, a su vez podría tener una gran influencia en el clima global. Si el mecanismo se comprende y se replica en mayor medida. Por tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar las variaciones de carbono total y de macro y micronutrientes en suelos antrópicos y suelos adyacentes, verificando las propiedades físico-químicas y reservas de carbono bajo bosque secundario.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Estudio realizado en la Reserva Biológica “Cueiras – ZF02” en Manaus, sobre estimativa de carbono orgánico del suelo, stock de carbono y su relación con sus características físicas en bosques de la Amazonía central brasilera, donde calcularon el stock de carbono (C) multiplicando el contenido de C del suelo (%) con la densidad aparente de cada muestra de suelo (gr cm^{-3}). Concluyeron que el contenido de C decrece con el aumento de la profundidad y según la clasificación del suelo. Ocurriendo altos niveles de stock de C en la superficie del suelo, con valores de $100 - 195 \text{ Mg ha}^{-1}$ en Ferralsols, de $90 - 175 \text{ Mg ha}^{-1}$ en Acrisol y de $160 - 241 \text{ Mg ha}^{-1}$ en Podzol. Afirmando que los suelos de los bosques de la Amazonía a lo largo de una topo-secuencia tienen potencial para almacenar C, pero son influenciadas por el tipo de suelo y su posición topográfica **(Marques J. D. O.) (15)**.

Otro estudio donde evaluaron la distribución del carbono orgánico (CO) en diferentes tipos de suelos y ecosistemas en la Amazonía central brasilera, estudiando suelos de un bosque primario, de un pastizal, de un sistema agroforestal y suelos de una área de bosque secundario, mostraron que las concentraciones de CO en el suelo (kg m^{-2}) que fueron convertidos para stock total de C, dieron valores de 94.8 Mg ha^{-1} en bosque primario, 64 Mg ha^{-1} en pastizales, 92.9 Mg ha^{-1} en bosque secundario y 101.3 Mg ha^{-1} en los sistemas agroforestal. Basados en este resultado concluyeron que el stock de C en las áreas de bosque secundario y de sistemas agroforestales tienen menor pérdida de C debido a la fracción lábil del suelo y que la distribución de C a mayores profundidades es heterogénea **(Marques J. D. O.) (16)**.

Estudiando el stock de C en suelos en bioma de Sabana con tres condiciones diferentes de cultivos (cultivo de papa dulce, con pastaje y con huertas agroecológicas). Donde cuantificaron el stock de C en cada área y calcularon el crédito de C, que fue el resultado de la relación entre la concentración de C y del valor estimado en tonelada de C almacenado en el suelo, informado para la fecha en la plataforma INVESTING (US\$23.07). Mostrando que la concentración de C en suelos sobre cultivo de papa dulce fue de 25.6 Mg ha⁻¹, sobre huerta agroecológica fue de 34.1 Mg ha⁻¹ y sobre pastaje degradado de 33 Mg ha⁻¹. Y su Crédito de carbono por tonelada de C, en área de cultivo de papa dulce fue de US\$ 591 / Mg ha⁻¹, en el área de huertas agroecológicas fue de US\$ 787 / Mg ha⁻¹, y en los pastizales de US\$ 761/ Mg ha⁻¹. Dando a concluir que los pastizales naturales de las Sabanas brasileras también tienen mayores valores para ser considerados en crédito de C. Esto es por tener un ciclo rápido de materia orgánica, debido a su mayor concentración radicular en la superficie que puede erróneamente a inducir a que son viables y podrían ser extendidas **(Brito R. M.) (17)**.

Y en cuanto al stock de C de suelos con horizontes antrópicos o “Terra Preta de Indio” en el idioma portugués (TPI), tenemos un estudio donde se evalúa el stock de C en áreas de TPI en un área dentro del municipio de Iránduba en el estado de Amazonas - Brasil. Donde fueron colectados muestras de suelo en 6 hectáreas del campo experimental de EMBRAPA Amazonía Occidental en áreas determinadas como TPI sobre cultivos anuales y áreas de TPI sobre bosque secundario. Los resultados de este estudio mostraron que los valores de stock de C fueron de 153.2 Mg C ha⁻¹ sobre bosques secundarios y 101.8 Mg C ha⁻¹ sobre cultivos anuales. Concluyendo que el stock de C en suelos con horizontes antrópicos o TPI son efectivamente mayores y en especial sobre bosques

secundarios. No obstante, el stock de C disminuye con la profundidad, al igual que los otros tipos de suelos **(Martins G. C. et al) (18)**.

Otro trabajo visando estudiar los stocks de carbono en suelos de TPI con diferentes tipos de cultivo y uso de tierra (Bosque natural, pastizal, café, cacao y guandú), visando desenvolver modelo matemático predictivo, usando métodos de selección y decisión de características “Tree Induction” que está disponible con el software “WEKA” usando clasificación de datos. Donde estimase altos valores de stock de carbono en suelos de TPI bajo cultivo de cacao con valores de 379 Mg C ha⁻¹, seguido por suelos de TPI con cultivo de café, con 273 Mg C ha⁻¹, guandú con 225 Mg C ha⁻¹, pastizales con 159 Mg C ha⁻¹ y bosques también con 159 Mg C ha⁻¹, todos a los primeros 5 cm de suelo, decreciendo con la profundidad. El análisis de “Tree Induction” generado en la profundidad de 0-5cm, mostró que la característica con la mayor ganancia de información (conocida como característica dividida) para la clasificación de existencias de carbono en TPI fue el uso de la tierra. Este resultado es consistente con la literatura, que informa que el uso y manejo de la tierra tiene un impacto directo en las características físicas y químicas del suelo, así como impactos significativos en su contenido de carbono orgánico. Además de la influencia del uso de la tierra en las existencias de carbono en TPI, la diversidad de cada sistema es una variable importante. Las existencias más altas de carbono en el suelo a menudo se asocian con más especies en el área. Concluyendo que variables como el uso de la tierra y el contenido de arena se encuentran entre las más importantes para la predicción de las existencias de carbono del suelo en TPI. Además, el uso de modelos como el “Tree Induction” es un enfoque prometedor para predecir las existencias de carbono del suelo en este tipo de suelos **(Lopez-Noronha R. et al) (19)**.

1.2. Base teórica

1.2.1. Suelos Amazónicos

La bacía Amazónica puede ser dividida en dos partes: Tierra firme, de formación terciaria, que ocupa 90% de áreas de bosques; y a las Planicies inundables, con terreno do cuaternario reciente y litología formado en el Arquean hasta el Holoceno, dando origen al material que forma los suelos de la región **(Sombroek W.) (20)**. Los suelos de tierra firme, generalmente cubiertos por bosques exuberantes, presentan buenas características físicas, pero poseen baja fertilidad química natural, por ser suelos intemperados y lixiviados **(Sioli H.) (1)**. Los suelos continentales presentes en la Amazonía Legal están constituidos en su gran mayoría por suelos clasificados como Ferralsols con aproximadamente 2103.44 km² y Acrisols con 1687.88 km² (41% y 29% de la superficie de la Amazonía brasileña, respectivamente), seguidos por los Plinthosols con 8% **(Alvares V.H. et al) (21)**. Estos números refuerza la afirmación de que los suelos Amazónicos son generalmente pobres, una vez que estos tres tipos de suelos representan el 78% de su área **(Sioli H.) (1)**. Los Ferralsols tienen fracciones de arcilla y arena como componentes granulométricos predominantes, que van del 15 al 95% de la fracción de arcilla, mientras que el limo es relativamente constante entre el 10 y el 20% **(EMBRAPA) (22)**. El pH varía entre 3.5 a 6.6, el contenido de C entre 20 a 30 g C kg⁻¹ en las capas superficiales. En la gran mayoría de Ferralsols la suma de bases (SB) es baja, variando de 0.10 a 3.4 cmol_c kg⁻¹ de suelo, con valores más altos en la superficie; La capacidad de intercambio catiónico (CIC) varía de 2.1 a 12.4 cmol_c kg⁻¹ de suelo **(Pereira L. C.) (23)**. Los Acrisols son suelos con un gradiente textural, con un aumento en la fracción de arcilla en profundidad. El contenido de arena es mayor en los horizontes superficiales, el pH varía

entre 3.6 a 6.1, la SB varía entre 0.2 a 29.0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo. Sin embargo, en la Amazonía hay suelos más fértiles con una mayor vocación agrícola con propiedades químicas más favorables que los de Ferralsols y Acrisols: son suelos de tierras bajas, que sufren inundación periódica, que normalmente tienen altos niveles de limo y arena fina (el limo puede representar hasta el 50% de estos suelos) con alta CIC y altos niveles de cationes intercambiables como calcio (Ca) y magnesio (Mg), mayores niveles de nutrientes y arcilla de alta actividad **(Teixeira W.G) (24)**.

Los Plinthosols son suelos minerales formados sobre condiciones de restricciones a percolación de agua, sujetos a efectos temporarios de exceso de humedad, generalmente mal drenados, caracterizados por presentar plintización con o sin petroplintita u horizonte litoplíntico. Son suelos distróficos con pH entre 4.6 – 5.2 con reacciones ácidas, el CIC varía entre 1.8 – 25.8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ o 14 – 72%. La saturación por aluminio (Al) es elevada con 92% caracterizándolos como álicos, con concentraciones de fósforo muy bajas **(EMBRAPA) (22)**.

Sin embargo, en la Amazonía también ocurren otros tipos de suelos como Gleysols, Cambisols, Litosols y otros en menor porcentual, que son caracterizados como suelos intemperados y lixiviados, debido al intenso régimen pluviométrico. Además, tenemos suelos con horizonte “A” antrópicos (Au), de coloración oscura, popularmente conocidos en el lenguaje portugués como “Terra Preta de Indio” (TPI), que desde ahora en toda la tesis lo llamaremos de esta forma. Además lo conocemos como “Terra Preta Arqueológica” (TPA) o simplemente suelos antrópicos, que generalmente presentan alta fertilidad natural **(Cunha T. J. F.) (25)**, **(Kämpf, N., Kern, D. C.) (26)**.

1.2.2. “Terra Preta de Índio” (TPI) o suelos antrópicos

Las TPI, según la Sociedad Brasileira de Ciencia del Suelo – SBCS, son clasificados como suelos que tienen un horizonte superficial “A” antrópico, ósea, modificada por actividades humanas, en este caso, originado por la actividad de poblaciones precolombinas hace aproximadamente 5000 a 500 años antes de la llegada de europeos a América **(EMBRAPA) (22)**. Una de sus características es la presencia de grandes cantidades de cerámica y otros materiales arqueológicos como fragmentos líticos, restos de fogatas y otros **(Woods W.) (27)**. Con altos niveles de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), zinc (Zn) y con un alto contenido de materia orgánica (MO), que pueden persistir durante miles de años en el medio ambiente **(Kern D. C., Kämpf N.) (28)**. Estos suelos tienen baja acidez potencial, con un pH entre 5.5 a 6.5, alta CIC, alta SB, en comparación con los suelos adyacentes que en su grande mayoría en la Amazonía central brasilera son clasificados como Ferralsol y Acrisol **(Alvares V.H. et al) (21)**. Las TPI son horizontes de suelos que se presentan en muchos puntos dentro de la Amazonía, generalmente encontrados cerca de cursos de agua, en lugares bien drenados y generalmente con topografía plana **(Woods W. I, Mc Cann J. M.) (29)**. Se estima que las TPI pueden cubrir aproximadamente 0.1 a 0.3% (6000 - 18000 km²) de la cuenca total de la Amazonía. Sin embargo, la extensión geográfica total aún se desconoce **(Smith N. J. H.) (30)**, **(Ericksson, C.) (31)**. Los sitios que se encuentran en tierra firme (áreas no inundables) pueden ser más pequeños en comparación con los que se encuentran en áreas inundables (bajiales). Variando de 0.3 a 0.5 hectáreas, con un tamaño promedio de 1.4 hectáreas en tierra firme y un

promedio de 20 hectáreas en áreas inundables (**Denevan W. M.) (32)**, (**Macedo et al) (33)**).

1.2.3. Origen de las “Terras Pretas de Indio” (TPI)

Las primeras descripciones de TPI, fueron realizadas por expedicionarios a mediados del siglo XVI. Según **Lima et al (34)**, el interés por estudiar las TPI está en función de las buenas características presentes en estos horizontes. El origen de las TPI todavía causa mucha controversia entre los investigadores. Desde la década de los ochentas, surgieron numerosas ideas sobre el origen, como las que defendió la hipótesis del origen natural (geogénico) (**Hartt C. F) (35)**, o la hipótesis de la formación a partir de la ceniza volcánica de Felisberto Camargo ya en el año de 1944 (**Hilbert P.) (36)**; también existe la hipótesis defendida por Barbosa & Faria, también en 1944 que defiende el origen del TPI como resultado de los sedimentos en las regiones de lagos (**Falesi I. C.) (37)**. Pero otro autor describe las TPI como un "plaggem epipedon", es decir, formado a partir de la incorporación intencional de material orgánico a través de prácticas de manejo, una consecuencia de la ocupación de las poblaciones humanas precolombinas, hipótesis defendido y aceptado por varios otros autores (**Ranzani G. et al) (38)**. Sin embargo, en este año se volvió a levantar la hipótesis de origen natural, con el estudio de **Silva et al (39)**, que sugiere que los pueblos indígenas precolombinas solo aprovecharon los procesos naturales de la formación del paisaje que llevaron a las propiedades únicas de la TPI, pero no fueron los responsables de su génesis.

McCann, et al (40), afirma que juntamente con la TPI se formó otro tipo de suelo con horizonte antrópico, denominada de Terra Mulata (TM),

como modelo de una agricultura intensiva. También con elevadas concentraciones de carbono, pero, con concentraciones de nutrientes inferiores a los presentes en las TPI. De forma general las TM también presentan la coloración oscura debido al contenido de carbón, pero a niveles menos que las presentes en TPI.

Actualmente, se cree que estas poblaciones tendrían diferentes sistemas de manejo del suelo de los tradicionales que se practican actualmente en los trópicos (roza, tala y quema). La marcada diferencia estaría en el producto final de la quema, que controlaba lo que producía carbón en lugar de cenizas **(Mann C. C.) (41)**. Por lo tanto, la alta fertilidad de TPI podría atribuirse a las propiedades físico-químicas obtenidas por la presencia de material orgánico con oxidación incompleta llamadas de "Black carbon" que llevarían a las TPI ser consideradas suelos resultantes de actividades antrópicas que, según el manejo del suelo, pueden permanecer muy fértiles incluso después de varias décadas de uso **(Derenne S., Largeau C. A.) (42)**.

Las actividades de deposición humana tienen la consecuencia (intencional o no) de enriquecer el suelo, alterando las propiedades físicas y químicas. Los residuos en forma de biomasa acumulada a partir de restos de cosecha, carbón, restos de caza, pesca, fragmentos de cerámica y otros utensilios, excrementos humanos, entre otros, son parte de los componentes de sedimentos que forman las TPI **(Madari et al) (43)**. Considerando el alto contenido de P que es un indicador de la ocupación humana, ya que su presencia en TPI se atribuye a las cenizas de material orgánico **(Woods W. I, Mc Cann J. M.) (29)**. Aunque las TPI y las TM son muy heterogéneas, algunas propiedades generales en relación con la fertilidad son comunes; tales como los altos valores de P

y Ca totales disponibles, baja disponibilidad de nitrógeno (N) y potasio (K). También en tamaño y profundidad, son variables. La gran mayoría de TPI encontrados y estudiados tiene menos de 2 hectáreas, pero algunos sitios estudiados pueden extenderse a docenas de hectáreas. La profundidad de las manchas generalmente varía entre 30 a 60 cm, pero se han reportado manchas de hasta 1 m de profundidad del horizonte oscuro en tierra firme e inundables **(Lehmann et al) (44), (Macedo et al) (33)**.

1.2.4. Stock de carbono en “Terras Pretas de Indio” (TPI)

La estimativa de carbono en el suelo en la Amazonía es de 47 gigatoneladas (GtC), pero se establece que el carbono en el suelo no se limita a este valor, ya que esta estimación tenía solo 1 m de profundidad. Se han realizado estudios para estimar las reservas de carbono en el suelo hasta 8 m de profundidad, calculando valores de 155 t C ha⁻¹ lábil, aunque estos trabajos de estimación se han realizado en diferentes suelos dentro de la Amazonía, demuestra la capacidad del suelo para almacenar carbono **(Fearnside P. M.) (45)**. Existen diferencias en el almacenamiento de carbono de acuerdo con la clase de textura del suelo **(Sombroek et al) (46)**. Estimaron las reservas de carbono en 56 Mg C ha⁻¹ en suelos arcillosos, mientras que para suelos arenosos fue de 34 Mg C ha⁻¹ hasta 1m de profundidad. Teniendo en cuenta las diferencias en las propiedades físicas y químicas de los suelos antrópicos y adyacentes, la TPI de la Amazonía tiene altos niveles de carbono, con concentraciones de hasta 150 g C kg⁻¹ de suelo, en comparación con los suelos adyacentes con 20-30 g C kg⁻¹ de suelo **(Sombroek W.) (47)**. Además, la materia orgánica en las tierras negras es persistente, ya que tiene altos niveles de carbono incluso años después de que se

abandonan las áreas cultivadas. La razón de la alta estabilidad del carbono del suelo está actualmente en discusión **(Glaser et al) (48)**.

1.2.5. Bosques secundarios

Parte de los bosques naturales ya fue deforestada para exploración agropecuaria. Estas áreas después de ser deforestadas presentan una fertilidad en los primeros años de uso debido a la liberación de nutrientes resultado de la quema y deposición de cenizas en el suelo. Sin embargo, después del intervalo de tres a cuatro años, esta fertilidad de los suelos disminuye constantemente hasta que estas áreas son abandonadas y dejadas en reposo **(Bechtold G.) (49)**. El reposo forestal es comúnmente utilizado por los pueblos rivereños de la Amazonía que no poseen de condiciones de adquirir fertilizantes que puedan utilizar en sus áreas para recuperarlas y nuevamente utilizarlas con cultivos. Muy frecuentemente hasta ser abandonadas por completo, dando origen a los bosques secundarios que popularmente conocemos como bosques “Purmas” **(Fearnside P. M.) (50)**. Por lo tanto, las purmas son bosques secundarios formados a partir de áreas deforestadas o de pastajes compuestas principalmente por especies pioneras de rápido crecimiento, que pueden recuperar las propiedades de suelos después de un periodo de reposo o barbecho **(Dubois et al) (51), (Fearnside P. M.) (52)**.

La edad de las purmas está relacionada a la densidad poblacional de las áreas: en áreas de baja densidad poblacional, las purmas son mantenidas por largos periodos, de 12 a 15 años a más; en áreas de alta densidad poblacional las purmas son mantenidas por 3 a 4 años, como ocurre generalmente en áreas de cultivo de yuca y en áreas inundables **(Mesquita et al) (53)**. Actualmente, unas de las principales formas de utilización de las purmas ha sido los sistemas agroforestales (Saf´s) que utilizan las purmas como base de un sistema de visa mejorar la calidad

de vida de los agricultores, a través de un manejo integrado entre purmas, especies maderables, fruteras, medicinales y otros **(Van Leewen et al) (54)**.

1.3. Definición de términos básicos

- Mg ha⁻¹: Mega grama por hectárea
- Mg C ha⁻¹: Mega grama de Carbono por hectárea
- g dm⁻³: Gramas por decímetro cúbico
- g C kg⁻¹: Gramas de carbono por kilogramo
- t C ha⁻¹: Toneladas de carbono por hectárea
- TPI: Terra Preta de Indio
- TM: Terra Mulata
- SA: Suelo Adyacente

CAPITULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

2.1.1. Hipótesis general

El stock de carbono del suelo no está determinado por el tipo de suelo y sus características físicas y químicas.

2.1.2. Hipótesis específica

El stock de carbono del suelo está determinado por el tipo de suelo y sus características físicas y químicas.

2.2. Variables y su operacionalización

2.2.1. Definición de las variables

- Variable Independiente: Los tipos de suelos para estudio (suelos antrópicos y adyacentes).
- Variables Dependiente: Niveles de carbono y los valores de sus propiedades físicas y químicas del suelo.

2.2.2. Operacionalización de las variables

Variable	Definición	Tipo por su naturaleza	indicador	Escala de medición	Categoría	Valores de la categoría	Medio de verificación
Terra Preta de Indio (TPI) Terra Mulata (TM)	Suelos atropizados por actividad humana	Cualitativa	Horizonte A más oscuros, pedazos de cerámicas.	Nominal		Local 1 Local 2 Local 3	Formulario de registro
Carbono orgánico	Concentraciones de carbono orgánico en el suelo	Cuantitativa	Carbono en gramos / kg de suelo	Razón	Media de 20 -30 g C kg ⁻¹ de suelo, en suelos de la Amazonía central		Valores en suelos adyacentes
Textura del suelo	Concentraciones de arcilla, limo y arena	Cuantitativa	Porcentaje de Arena, Limo y Arcilla	Ordinal	Arcilloso Limoso Arenoso	>50% arcilla >44% limo >45% arena	Grupos de clases texturales
Densidad del suelo	Compactación del suelo	Cuantitativa	gramos/cm ³	Ordinal	Arcilloso Limoso Arenoso	1 - 1.25 0.75 – 1 1.25 – 1.40	Ficha de análisis de laboratorio
Niveles de nutrientes del suelo	Concentraciones de nutrientes como Ca, Mg, N, P y K	Cuantitativa	Valores de Suma de las bases (SB)	Ordinal	Eutrófico Distrófico	>50% SB <50% SB	Ficha de análisis de laboratorio

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño metodológico

El trabajo de investigación de acuerdo a su enfoque, corresponde a una investigación cuantitativa de carácter Explicativo, correspondiendo a Causa: los tipos de suelo (antrópicos y adyacentes) y como Efecto: las concentraciones, stock de carbono, sus propiedades físicas y químicas.

El estudio fue realizado en tres municipios de la Amazonía central brasilera. Municipios de: Manaus (Encuentro de las Águas), Autazes y Rio Preto da Eva (Figura 1).

- Manaus – Encuentro de las Aguas (**EA**): Localizado a 3°06'53"S y 59°54'31"W, dentro del Centro de Proyectos y Estudios Ambientales de la Amazonía – CEPEAM, al margen del río Amazonas. Donde las áreas fueron pastizales, estando en reposo por más de 25 años.
- Autazes (**AT**): Localizado a 3°22'47"S y 59°41'49" W, en una hacienda particular al margen del río Autaz Mirin, en el km 21 de la carretera de la ciudad de Careiro. Donde las áreas, fue cultivada por campos intensivos de cultivos y pastizales, estando en reposo por más de 30 años.
- Rio Preto de Eva (**RP**): Localizada a 02°33'54,4"S e 59°46'15,1" W, a márgenes del río "Preto" en la comunidad "Nueva Jerusalén", a 14km del Municipio "Rio Preto de Eva". Donde las áreas fueron usadas para exploración de madera y cultivos anuales, estando en reposo por más de 30 años.

Los tres municipios se encuentran en la región tropical, con precipitación anual de 2500 mm, temperatura media anual de 24 a 26°C y con una humedad relativa del aire entre 80 a 93%. El suelo predominante en la región son los Ferralsols y Acrisols. La vegetación en las tres áreas es de bosque secundario de aproximadamente de 20 a 30 años de reposo de intervención humana, con

vegetación dominante de palmeras como tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), aguaje (*Mauritia flexuosa*), limorana (*Chomelia anisomeris*), y leguminosas como guaba (*Inga sp.*).

En cada municipio se seleccionarán tres áreas de estudio o parcelas, cada una correspondiente a un tipo de suelo específico para evaluación: 1) Con horizonte antrópico - Terra Preta de indio -TPI; 2) Con horizonte antrópico intermediario, que llamaremos de Terra Mulata - TM y; 3) Suelos no antrópicos - suelos adyacente (SA) (Figura 2).

3.2. Diseño muestral

En cada área de estudio: EA, RP y AT, fueron instalada tres parcelas de 20 m x 80 m (encuadrados en la extensión de ocurrencia de TPI en el área), una parcela correspondiente a cada tipo de suelo TPI, TM y suelo adyacente (SA). Además, en cada parcela fue abierta una calicata con perfil modal, con una dimensión de 1 m³ para la descripción morfológica. Fueron colectadas muestras con estructura deformada e indeformada en los diferentes horizontes pedogenéticos identificados y determinamos sus propiedades físicas y químicas del suelo: densidad aparente, granulometría, pH en agua y KCl, determinación de las concentraciones totales de C y N, P, K, Ca y Mg.

Adicionalmente se realizó colectas de suelo deformadas en forma aleatorias con “barrena-holandés” en cinco puntos distantes de la calicata con una profundidad de 20 cm, cubriendo toda la parcela, para obtener repeticiones de muestreo. Las muestras de suelo deformado se almacenaron en bolsas de plástico de 0.5 kg y luego se secaron al aire, se limpiaron de cualquier residuo, se pasó por tamices de 2 mm, formando muestras de tierra fina secadas al aire (TFSA) que utilizamos para sus análisis de laboratorio.

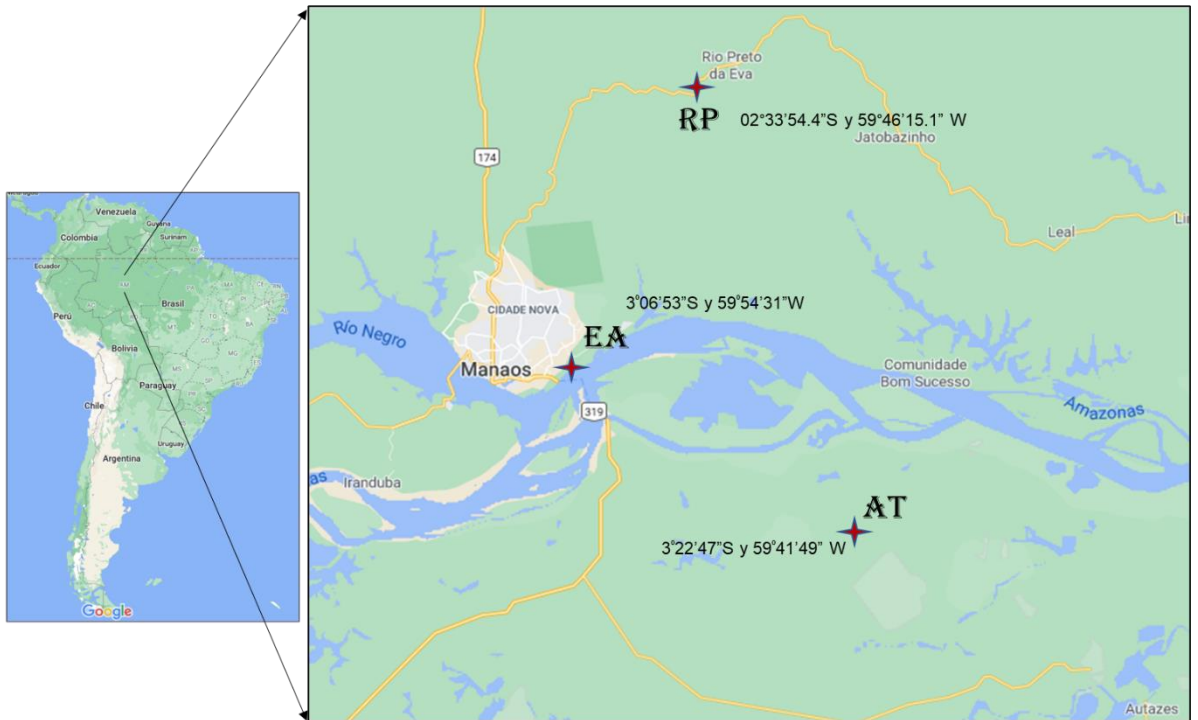


Figura 1. Localización de las tres áreas de estudio, Encuentro de las Aguas (EA), Rio Preto de Eva (RP) y Autazes (AT). Fuente: www.maps.google.com.br

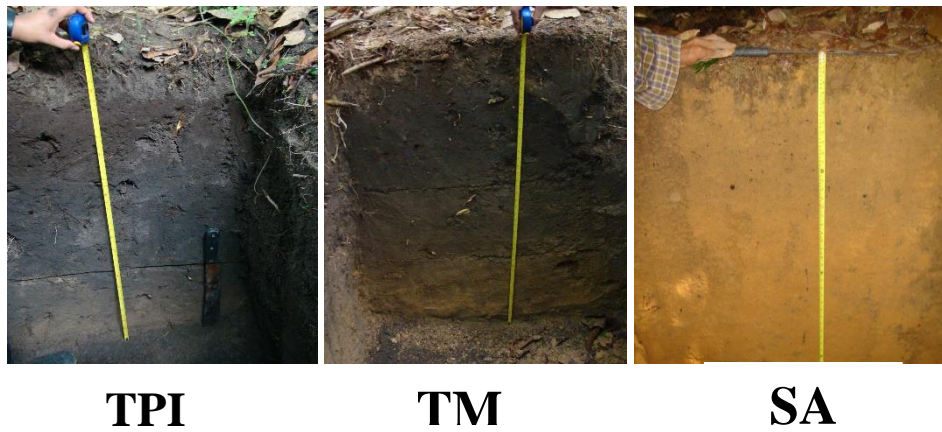


Figura 2. Calicata de los perfiles modales de los tres suelos estudiados, Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y Suelo Adyacente (SA).

3.3. Procedimientos de recolección de datos

3.3.1. Datos de análisis físicas del suelo

- **Densidad Aparente:** Determinamos la densidad del suelo, utilizando el método de anillo volumétrico, con muestras de suelo no perturbadas (indeformada) colectadas a través de un anillo de acero con bordes afilados y un volumen interno conocido. Una vez pesado, el conjunto: la muestra de suelo y el anillo se colocaron en un secador a 105 ° C durante 24 horas, y se pesaron nuevamente. La densidad aparente de la muestra fue el resultado de la división del peso de la masa de la muestra seca y el volumen del anillo **(EMBRAPA), (55)** (Figura 3)
- **Textura del Suelo:** Determinamos la textura del suelo, cuantificando el contenido de arcilla por el método de Pipeta separándolo de la fracción arena por tamizado y por diferencia el contenido de limo. Utilizamos peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para quemar material orgánico de las muestras de suelo. Además, utilizamos el pirofosfato de sodio ($Na_4P_2O_7$) como dispersante químico, sobre 15min de agitación mecánica en alta rotación. Donde las fracciones gruesas (arena fina y gruesa) se separaron por tamizado, se secaron en horno y se pesaron para obtener sus valores ($gr\ kg^{-1}$). La solución restante fue pasado a una probeta de 1 litro de donde pipeteamos 20 ml de la suspensión para determinar la arcilla, que es secada al horno y pesada **(EMBRAPA), (55)** (Figura 4).



Figura 3. Colecta de muestras indeformada para cálculos de densidad aparente (DA), con ayuda del anillo volumétrico en las tres áreas de estudio.



Figura 4. Determinación de la textura de los suelos estudiados con el método de la pipeta y tamiz de todas las áreas de estudio.

3.3.2. Datos de análisis químicas del suelo

Determinamos las concentraciones de macro nutrientes P, K, Ca, Mg, y micronutrientes como Fe, Zn y Mn, así como, Al y la relación C/N.

Para determinar Ca, Mg y Al intercambiable, realizamos una extracción de solución con cloruro de potasio (KCl 1 mol L⁻¹). La lectura de las concentraciones de Ca, Mg y Al se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica – EAA (**Silva F.C.) (56)**. Para la determinar concentraciones de P disponible, K, Fe, Zn y Mg se utilizó la metodología de solución Mehlich 1, también llamada solución de duplo ácido o Carolina del Norte (**Silva F.C.) (56)**. Que es constituida por una mezcla de HCl 0.05M + H₂SO₄ a 0.0125M, a utilización de esta solución como extractora está en la solubilización de estos elementos por el efecto del pH entre 2 y 3, siendo el papel del Cl⁻ de restringir el proceso de readsorción de los fosfatos recién extraídos. A lectura de las concentraciones de K, Fe, Mn y Zn fueron por espectrofotometría de absorción atómica (Figura 5A), mientras que las determinaciones de concentraciones de P disponible se realizaron por colorimetría, con espectrofotómetro usando molibdato de amonio (MoNH₄) y ácido ascórbico al 3% (Figura 5B). Concentración de C, N y la relación C/N, utilizamos muestras que secaron al aire (TFSA), y se pasarán a través de un tamiz de 2 mm que además se molió hasta quedar polvo y se pasó por tamices de 212 µm para aumentar la homogeneidad de las muestras; almacenados en recipientes de plástico, se pesaron en cápsulas de estaño con aproximadamente 25 a 30 mg de muestra de suelo. Los análisis totales de carbono y nitrógeno del suelo se realizarán en un analizador Vario Max CN (Figura 5C).

Todos los análisis físicos y químicas mencionadas arriba se llevaron a cabo en el Laboratorio Temático de Suelos y Plantas (LTSP) del Instituto Nacional de Investigación del Amazonas – INPA, Manaus - Brasil.



Figura 5. (A) Espectrofotómetro de Absorción Atómica, (B) Espectrofotómetro de Colorimetría, (C) Auto analizador de C/N.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Se efectuaron las pruebas correspondientes de normalidad y homogeneidad de los datos. Utilizamos la prueba de “Shapiro - Wilk” para probar la normalidad, y para probar la homogeneidad de los datos utilizamos la prueba de “Levene”. Confirmados, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) con significancia al 5% de probabilidad ($p < 0.05$), luego realizamos la prueba de comparación de medias con TUKEY entre los tratamientos.

Además, realizamos correlaciones con algunas variables. Todos estos análisis fueron realizados con el programa estadístico Systat 12.

3.5. Aspectos éticos

En este estudio no se realizaron experimentación con seres humanos, ni cualquier otro tipo de ser vivo. Pero intentamos al máximo reducir al mínimo los equívocos, para generar datos confiables sobre este tema que generaron informaciones útiles para la ciencia y sociedad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Comprobación de los supuestos del ANOVA

Para la verificación de la distribución normal y la homogeneidad de los datos estudiados se realizó las pruebas de “Shapiro-Wilks” (Anexo 1) y la prueba de “Levene” (Anexo 2), donde se encontró que los datos son homogéneos y tienen distribución normal ($p > 0,05$) cumpliendo las premisas para la realización de ANOVA.

4.2. Caracterización de los suelos estudiados

4.2.1. Caracterización física

a. Granulometría y densidad aparente del suelo

En general las áreas de TPI se muestran variables cuanto a granulometría (Figura 6) con la clasificación textural variando de arenosa a arcillosa. En la TPI de RP, existe la predominancia de la fracción arena (arena > del 80%), en cuanto el TPI de EA, existe la dominancia de la fracción arcilla (70 – 80 %), comparada con a TPI de AT que posee una textura media, con aproximadamente 60% de arena, 30% de arcilla y 10% de limo. Ninguna de las áreas de TPI presento una gradiente textural en función de la profundidad, como se observa en los Acrisols.

En cuanto, las áreas de TM poseen resultados más homogéneos en relación a los niveles de arena. Sin embargo, las áreas de TM de EA y RP presentan una gradiente de arcilla aumentan con la profundidad, el cual varia de 10% de arcilla en la superficie (0-30 cm), aumentando a 50% a 1m de profundidad. La diferencia de la TM de AT, que tiene en torno de 20% de arcilla en la camada 0-30cm, lo cual no tiene una variación acentuada en profundidad, parecido a la TPI de la misma área. Por otro lado, los SA de todas las áreas estudiadas poseen

niveles de arcilla superiores, comparados con las TPI y TM. Donde los SA de AT y EA, poseen niveles de arcilla superiores a 85%. Sin embargo, los SA de RP posee una textura menos arcillosa, con niveles en torno de 50% (Figura 6).

Los SA de AT y EA, poseen características granulométricas atribuidas a los Ferralsols, con arcilla superiores al 80%. En cuanto al SA de RP, posee características granulométricas atribuidas a los Acrisols, con concentraciones media de arcilla aumentando conforme a la profundidad. En cuanto la densidad aparente (DA) de TPI a una profundidad de 30cm, existe diferencia significativa ($p=0.003$) (Anexo 3) entre las áreas, donde la densidad aparente de EA y AT son semejantes, con valores de 1.11 g cm^{-3} y 1.10 g cm^{-3} respectivamente, ambas con valores diferentes de RP con 1.26 g cm^{-3} (Figura 7) (Anexo 5). Cuando observamos la densidad aparente hasta una profundidad de 100 cm entre las TPI, existe también diferencia significativa (Anexo 4).

Sin embargo, las densidades ahora son semejantes entre las áreas de EA - AT y EA - RP, pero difieren la DA entre AT - RP (Anexo 5). Cuando observamos la DA hasta una profundidad de 100 cm entre los tipos de suelos estudiados, encontramos diferencia significativa ($p=0.026$) (Anexo 4), con valores similares entre TPI y TM, así como TPI y SA. Sin embargo, con la diferencia entre la TM y SA, con mayores valores medios de 1.42 g cm^{-3} en las TM. Sin embargo, los SA que presentaron valores de densidades más bajos cuando comparados con los TPI y TM en todas las áreas de estudio, valores variando entre 0.78 a los primeros 30 cm de profundidad del suelo, hasta 1.3 g cm^{-3} a 100 cm de profundidad (Figura 7).

Granulometria

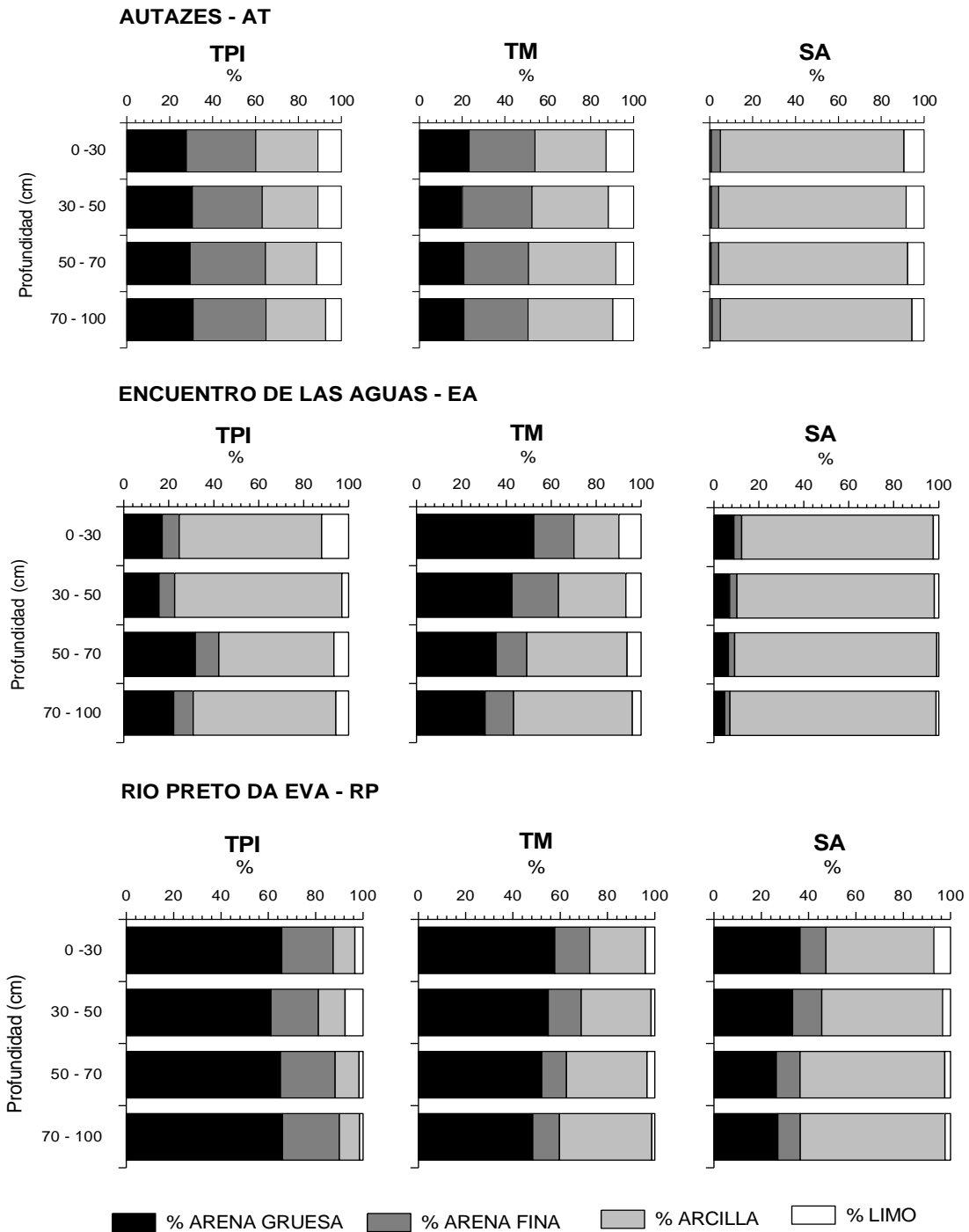


Figura 6. Distribución granulométrica (%) de los diferentes horizontes, hasta 1 metro de profundidad de los tres tipos de suelos, Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y suelo adyacente (SA) en las diferentes áreas de estudio

Tabla 1. Resultados de Densidad aparente (DA), potencial de hidrógeno (pH), del análisis de macro y micro nutrientes de los tres tipos de suelo (TPI, TM, SA), en las diferentes áreas de estudio, a una profundidad de 20 cm.

Área	Suelo	Prof.	DA	pH	pH	Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Zn	Mn	SB	CIC	V	m
		(cm)	g cm ⁻³	H ₂ O	KClcmolc kg ⁻¹mg kg ⁻¹cmolc kg ⁻¹ ...		%	%	
AT	TPI	0 - 20	1.10	4.21	3.8	0.93	0.05	0.07	2.2	7.05	102.6	0.46	0.7	1.05	3.25	32.42	67.58
	TM	0 - 20	1.29	3.84	3.55	2.07	0.08	0.06	2.1	5.97	165.36	1.62	0.88	2.21	4.31	51.34	48.66
	SA	0 - 20	0.90	3.9	3.58	1.47	0.09	0.52	5.51	2.48	133.72	0.88	2.78	2.09	7.6	27.46	72.54
EA	TPI	0 - 20	1.12	5.59	5.1	4.85	0.82	0.08	0.22	63.79	10.48	10.98	21.75	5.75	5.97	96.32	3.68
	TM	0 - 20	1.40	4.16	4.07	0.36	0.09	0.03	1.82	17.21	95.7	1.37	4.92	0.47	2.28	20.68	79.32
	SA	0 - 20	0.78	3.57	3.68	0.07	0.05	0.05	5.07	5.13	82.48	1.08	1.43	0.17	5.24	3.3	96.7
RP	TPI	0 - 20	1.27	4.33	4.03	0.12	0.06	0.48	1.53	158.52	42.16	0.54	3.36	0.66	2.2	30.25	69.75
	TM	0 - 20	1.19	3.72	3.8	0.08	0.04	0.36	1.98	4.21	111.4	0.22	1.68	0.48	2.46	19.56	80.44
	SA	0 - 20	0.96	4.1	3.9	0.08	0.06	0.32	1.77	4.01	104.9	0.4	0.51	0.5	2.28	22.05	77.95

DA= Densidad Aparente; pH = potencial de hidrógeno; SB = Suma de bases; CIC = capacidad de intercambio de catión; V = saturación por bases; m = Saturación por Aluminio

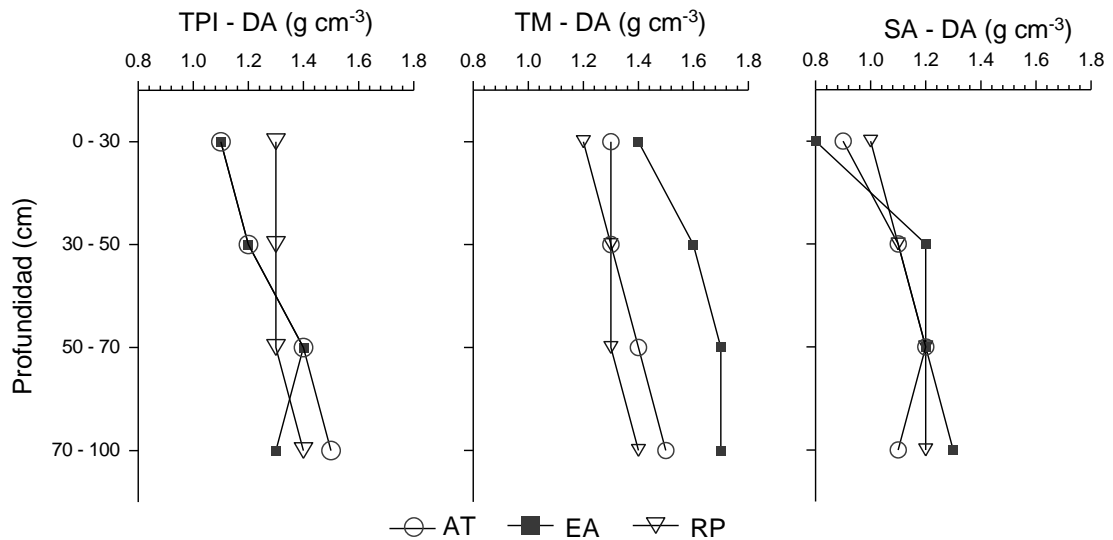


Figura 7. Resultados de densidad aparente (DA), en el perfil modal de los tres suelos estudiados, Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y Suelo Adyacente (SA) a una profundidad de 100cm, en las tres áreas de estudio, Autazes (AT), Encuentro de las aguas (EA) y Rio Preto de Eva (RP).

4.2.2. Caracterización química

a. Macro y micronutrientes

Cuando analizamos las concentraciones de nutrientes de las TPI de las tres áreas, las concentraciones de Ca, K y P encontradas en la superficie del suelo (0-20 cm), poseen diferencia significativa ($p < 0.05$) (Anexo 6). No habiendo diferencias entre las TPI de AT y EA, pero ambos con diferencia significativa de la TPI de RP, especialmente en las concentraciones de P, unas de las características principales de la TPI, con 7.05 mg kg^{-1} , 63.79 mg kg^{-1} y $158.52 \text{ mg kg}^{-1}$ en AT, EA y RP respectivamente, donde las concentraciones de P de AT y EA no tienen diferencia significativa, pero ambas difieren de RP (Tabla 1) (Anexo 7). Cuando observamos las concentraciones de Mg, existe una diferencia significativa entre las TPI de AT y EA ($p = 0.018$) pero AT no siendo diferente de la TPI de RP ($p = 1.00$), mientras que las concentraciones de Fe y Al tuvieron diferencia significativa entre los suelos de TPI de las tres áreas estudiadas ($p < 0.05$), siendo todas

diferentes entre sí y con mayores concentraciones de Fe siendo 102.6 mg kg^{-1} y Al con $2.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ respectivamente en la TPI de AT (Tabla 1) (Anexo 7). Analizando las concentraciones de nutrientes de todo el perfil de los suelos antrópicos (TPI) a una profundidad de 100 cm, encontramos que tienen diferencia significativa ($p < 0.05$) (Anexo 8). Donde las concentraciones de Ca, Mg, Zn y Mn son diferentes entre las áreas de AT – EA y EA – RP. Las concentraciones de K son semejantes entre AT – EA y las concentraciones de P también semejantes entre EA – RP, lo inverso cuando observamos solo la camada 0 – 20cm donde no hay ninguna semejanza en concentraciones entre RP. (Anexo 9).

Analizando las concentraciones de nutrientes por cada área estudiada (AT, EA y RP) observamos que las concentraciones de Ca, Mg, K y P entre los tres tipos de suelo, siguieron en general el orden de concentración de TPI > TM > SA, mientras que las concentraciones de Al e Fe siguieron el orden inverso (Tabla 1). Por lo tanto, podemos observar en el área de AT las concentraciones de P, K y Mg hasta una profundidad de un metro (0 – 100 cm) tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Anexo 10), teniendo concentraciones similares la TPI y TM, ambos suelos antrópicos. Pero, en las concentraciones de Ca, mostraron diferencia, siendo mayores en las TM con media de 320 mg kg^{-1} en un perfil de suelo de 100cm de profundidad. Lo mismo sucedió con las concentraciones de Al con mayores concentraciones en el SA con 373 mg kg^{-1} (Tabla 2) (Anexo 11).

En cuanto a las concentraciones de Fe, encontramos también diferencia significativa ($p = 0.039$) (Anexo 10), siendo diferentes la TM del SA, con mayores concentraciones en la TM, 125 mg kg^{-1} . Sin

embargo, en las concentraciones de Zn, no encontramos diferencia significativa entre los tipos de suelo, a diferencia de Mn, que todos los tres tipos de suelo son diferentes, siendo los SA con mayor concentración con 1.79 mg kg^{-1} (Anexo 11). En cuanto al área de EA, el único nutriente que no presento diferencia significativa fue el K ($p=0.058$). Sin embargo, las concentraciones de Ca, Mg, P, Fe, Zn y Mn presentaron diferencia significativa ($p<0.05$) (Anexo 12), donde se muestran similar las concentraciones entre la TM y SA (Anexo 13). Por otro lado, las concentraciones hasta un metro de profundidad (0-100cm) en el área de RP, las concentraciones de P, Ca, Mn, Zn y Al, presentaron diferencia significativa ($p<0.05$) (Anexo 14), donde también encontramos similar concentración entre la TM y SA, pero ambas diferentes de TPI, en especial la concentración de P con $194.58 \text{ mg kg}^{-1}$ en la TPI, comparadas a 2.41 mg kg^{-1} en la TM y 1.80 mg kg^{-1} en SA (Tabla 2) (Anexo 15). Cuando observamos la concentración de K, no hay diferencia entre la TPI y TM, pero ambas son diferentes del SA. Sin embargo, las concentraciones de Mg no encontramos diferencia entre TPI y SA, pero si diferencia entre TM y SA, siendo TM con menor concentración. Fe con diferencias significativas entre los tres tipos de suelo, con mayores concentraciones en los SA con $147.96 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabla 2) (Anexo 15).

Tabla 2. Resultados del análisis de macro y micro nutrientes de los tres tipos de suelo (TPI, TM, SA), en las diferentes áreas de estudio (AT, EA y RP) a una profundidad de 100 cm.

Área	Suelo	Prof. (cm)	Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Zn	Mn
		mg kg ⁻¹							
AT	TPI	0 - 100	158.24	6.95	13.91	147.98	3.03	113.54	0.53	0.56
	TM	0 - 100	320.88	6.47	15.34	147.70	2.53	125.51	0.70	0.88
	SA	0 - 100	209.60	4.32	153.44	373.07	0.78	86.06	0.68	1.79
EA	TPI	0 - 100	564.93	33.18	13.63	40.01	184.50	29.51	6.14	12.06
	TM	0 - 100	33.12	4.11	4.88	130.27	12.09	63.75	0.89	2.72
	SA	0 - 100	6.63	3.50	9.75	341.68	1.90	50.63	0.68	0.95
RP	TPI	0 - 100	18.18	4.93	126.92	103.35	194.58	39.92	0.84	5.51
	TM	0 - 100	13.85	4.17	105.68	144.54	2.41	93.58	0.18	1.70
	SA	0 - 100	13.30	5.02	82.68	138.93	1.80	147.96	0.38	0.96

Prof.= Profundidad

b. Carbono y nitrógeno del suelo

Cuando comparamos la concentración de carbono (C) de los suelos de TPI entre las tres áreas de estudio (AT, EA y RP) hasta una profundidad de 20 cm del suelo, encontramos diferencia significativa ($p=0.024$) (Anexo 16), donde la diferencia de valores de C fue entre la TPI de RP y la TPI de EA, siendo en esta última la mayor concentración de C con 3.14 % (Anexo 17). En cuanto al nitrógeno (N) de las TPI a una profundidad de 20cm, encontramos diferencia significativa ($p=0.007$) (Anexo 16), donde los valores de N son semejantes en las TPI de AT y RP, ambas diferentes al TPI de EA que posee 0.25% de N, concentración mayor hasta 20cm de profundidad (Anexo 17). Cuando observamos las concentraciones de C y N entre los tipos de suelos estudiados (TPI, TM y SA) hasta una profundidad de 100 cm, podemos afirmar que en todas las áreas hubo diferencia significativa ($p<0.05$) (Anexo 18) donde las concentraciones de C y N son diferentes entre la TPI y TM, mismo considerado ambos suelos antrópicos, así como no encontramos diferencia entre TPI y la concentración de C y N del SA, siendo parecidos, al contrario de TM y SA, que tuvo diferencia con menores valores en la TM (Figura 8). Por

otro lado, en el área de AT también encontramos diferencia significativa ($p=0.0002$), donde las concentraciones tanto de C y N tuvieron similitud entre los suelos antrópicos, con 1.41% de C y 0.08% de N en TPI y con 1.40% de C y 0.08% de N en la TM, ambos diferentes del SA donde las concentraciones fueron de 2.08 % de C y 0.16% de N, valores mayores que los suelos considerados antrópicos (Anexo 19). El mismo patrón encontramos en el área de RP, con diferencia significativa ($p=0.007$) (Anexo 18), con similitud de concentraciones de C y N entre la TPI y TM, con 1.31% de C y 0.07% de N en la TPI, 1.20% de C y 0.07% de N en la TM, pero ambas diferentes del SA que posee valores de 1.62 % de C y 0.11 % de N, mayores valores que los suelos antrópicos. En general las mayores concentraciones se encontraron en la superficie, decreciendo con la profundidad (Figura 8) (Anexo 19).

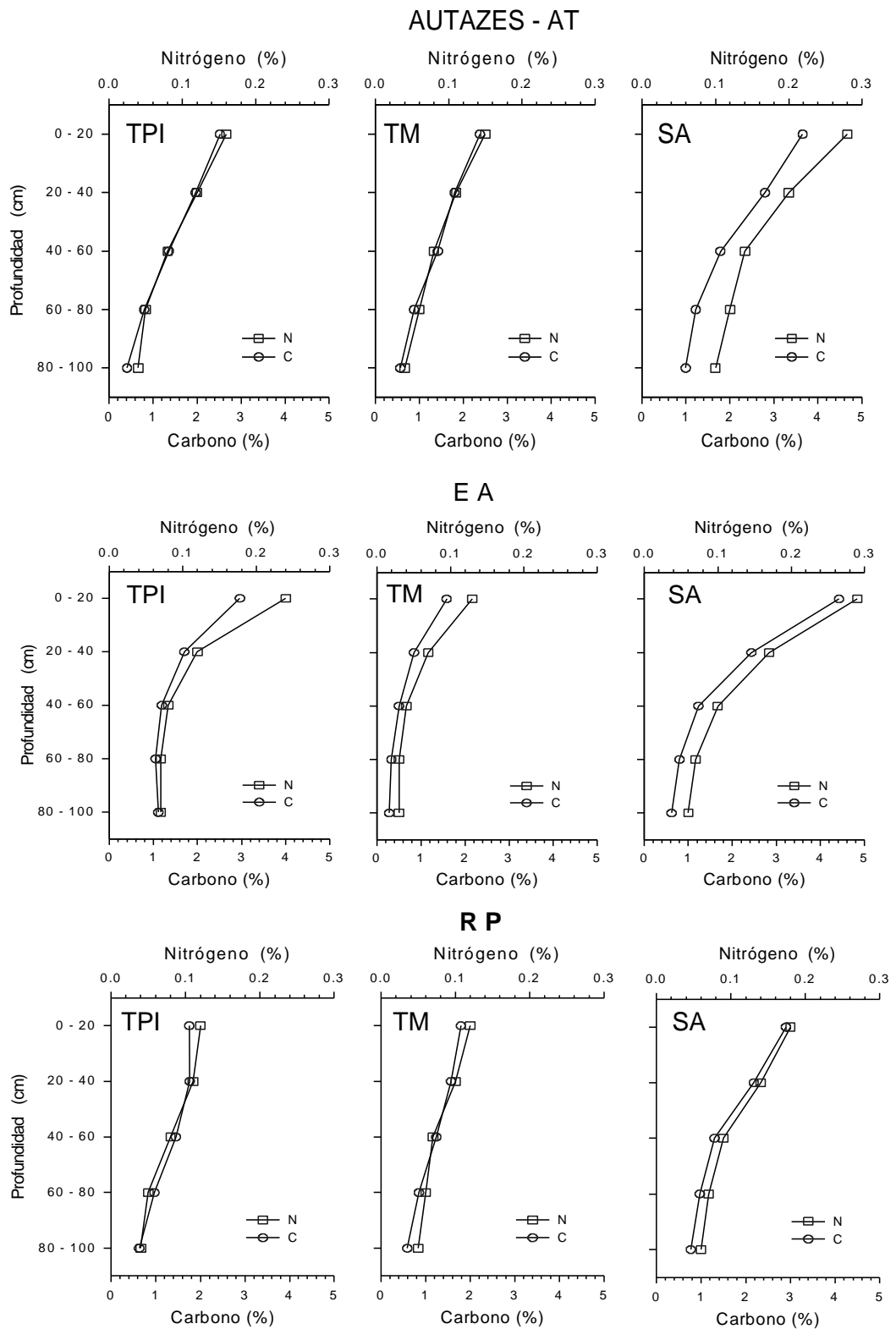


Figura 8. Resultados de C y N, en el perfil de Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata (TM) y Suelo Adyacente (SA) a una profundidad de 100cm, en las áreas de estudio, Autazes (AT), Encuentro de las aguas (EA) y Rio Preto de Eva (RP).

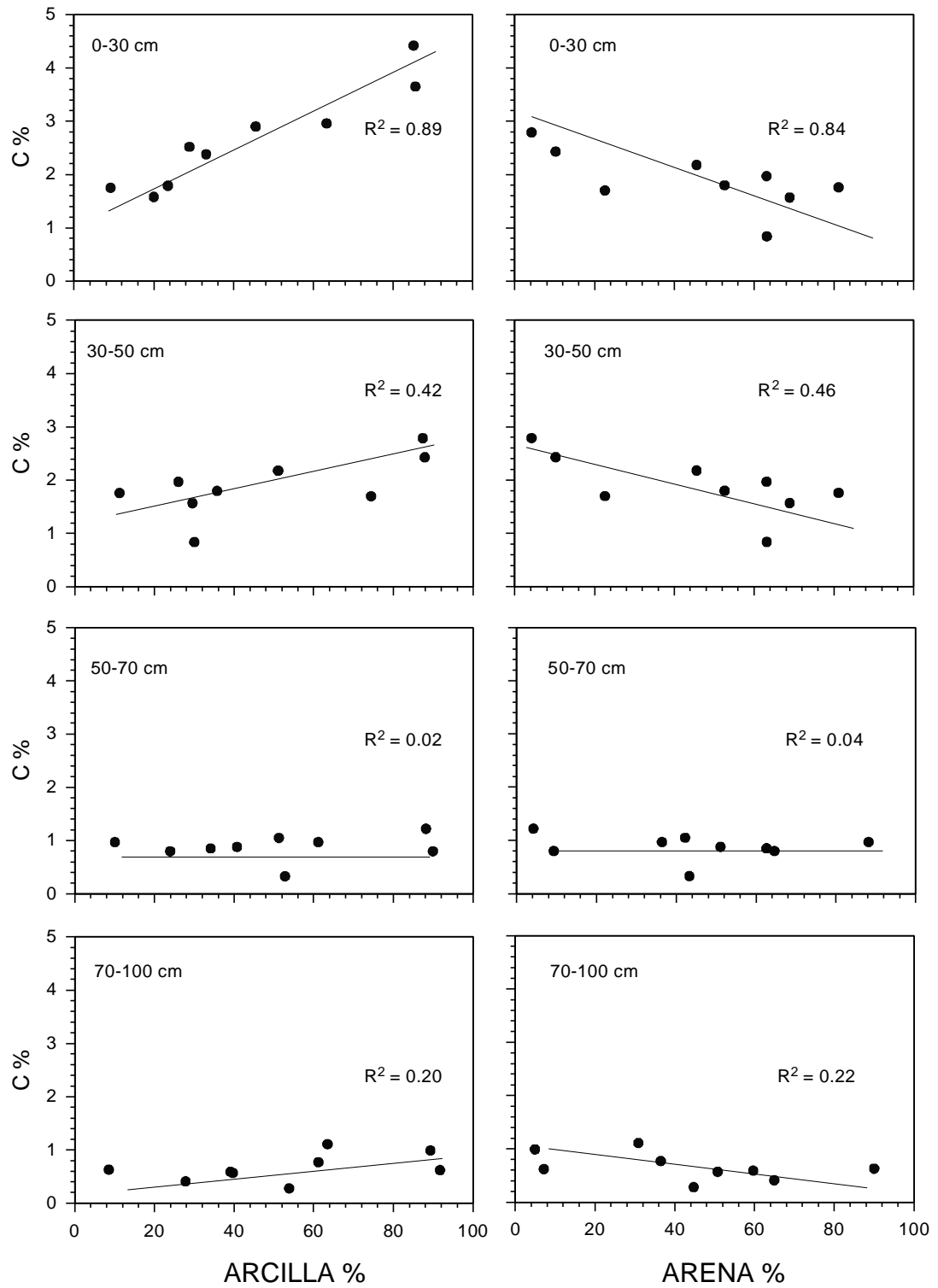


Figura 9. Relación entre la concentración de carbono (C%) y el contenido de arcilla y arena (en %) en 4 profundidades del suelo, para todos los suelos estudiados (TPI, TM y SA) en las tres áreas (AT, RP y EA).

Sin embargo, observamos que las concentraciones de C en los suelos estudiados tuvieron variación en función de la granulometría (Figura 9). Hubo variación de las concentraciones de C en función del contenido de arena y arcilla en las diferentes profundidades de los suelos estudiados. Para la capa superficial del suelo, la concentración de C aumenta linealmente con el aumento de la concentración de arcilla ($R^2= 0.89$), en cuanto esta influencia decrece con el aumento de la profundidad hasta la camada 70 -100 cm, donde muestra la importancia de la arcilla en influenciar las concentraciones de C en los suelos. El contenido de arena de estos suelos provocó un efecto inverso a la de arcilla, donde las concentraciones de C van decreciendo con el incremento de la concentración de arena (Figura 9).

c. Stock de carbono en el suelo

Cuando comparamos los stocks de C de las TPI entre las áreas estudiadas, no observamos diferencia significativa entre las TPI ($p=0.415$) (Anexo 22), pero el mayor stock de C hasta 100cm de profundidad se encuentra en la TPI de EA con $204.88 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y la menor se encuentra en la TPI de RP con $165.37 \text{ Mg C ha}^{-1}$, e intermedariamente el stock de C de TPI de AT con $171,95 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Tabla 3). Cuando comparamos el stock de C entre los tipos de suelo; en el área de EA, observamos diferencia significativa ($p=0.041$) (Anexo 20), donde el stock de C de la TPI difiere de la TM, pero es similar del SA, así como, el stock de C de la TM no difiere del SA. Pero en esta área, la TPI tiene los mayores valores de stock de C hasta 100cm de profundidad, y la menor lo tiene la TM con $111.55 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Anexo 21).

En cuanto en el área de AT, también encontramos diferencia significativa ($p=0.015$) (Anexo 20) donde las TPI no difieren de las TM, pero la TPI tiene stock de C diferente al SA, donde el mayor stock de C se encuentra en los SA, con $232.47 \text{ Mg C ha}^{-1}$, similar a la TM que también fue mayor que la TPI, con $193.47 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Tabla 3) (Anexo 21). En cuanto el área de RP, no observamos diferencia significativa entre los tres tipos de suelo ($p=0.161$) (Anexo 20), pero el mayor stock de C se encuentra en los SA, con valores de $178.82 \text{ Mg C ha}^{-1}$, seguido por la TPI con $165.37 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y TM manteniendo su característica intermedia entre TPI y SA con $151.37 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

Tabla 3. Stock de carbono en Mg C ha^{-1} en un perfil hasta una profundidad de 100cm de los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) en las tres áreas estudiadas (EA, AT y RP). Con análisis de Tukey entre tipos de suelo en cada área.

Área	TPI	TM	SA
	Mg C ha^{-1}		
EA	204.88 a	111.55 b	176.45 ab
AT	171.95 a	193.47 ab	232.47 b
RP	165.37 a	151.37 a	178.82 a

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Textura del suelo o granulometría

Las características físicas y químicas de los suelos antrópicos (TPI y TM) y adyacentes (SA) aquí estudiados, indican a que grupo ellos pertenecen. Los suelos adyacentes son clasificados con seguridad como Ferralsol, debido a características como alta concentración de arcilla con grande homogeneidad en todo el perfil del suelo, presencia de estructura granular, además de sus características típicas de Ferralsols. En una revisión sobre suelos típicos de la Amazonia, **Quesada et al (57)** describen los Ferralsol como suelos con textura arcillosa a muy arcillosa (a pesar de que puedan ser predominantemente arenosos en algunos casos), con transición difusa en los horizontes superficiales, estructura fuertemente desarrollada, con estabilidad de los agregados, alta retención de agua en el suelo, con alta conductividad hidráulica e infiltración. Mismas características físicas que los tres SA estudiados presentaron. En el caso de TM en particular la TM de AT se desarrollan sobre un Ferralsol, en cuanto la TM de EA y RP parecen estar formados sobre un Acrisol, en estos suelos observamos un incremento de la arcilla en función del aumento de profundidad (Figura 6), este es una de sus características principales de los Acrisols, dejando mayor contenido de la fracción arena en los horizontes superficiales, retención de agua moderada, estructura débil a moderada, con mayor contenido de macroporos, además de valores de densidad aparente aumentando en la misma orden que nos permite clasificarlos a primera instancia por su granulometría como Acrisol (**West et al (58)**). Por lo tanto, a nivel granulométrico podemos afirmar que los SA se desarrollan sobre Ferralsol y las TM sobre Acrisol. En cuanto las TPI aquí estudiados, en particular TPI de AT y RP presentan una textura grosera con predominancia de la fracción arena, no muy común en las TPI descritos en otros trabajos, pero, los suelos antrópicos

son horizontes que pueden ocurrir en cualquier otro tipo de suelo (**Kern D. C., Kämpf N.) (28)**).

5.2. Densidad aparente del suelo

Entre los suelos estudiados de todas las áreas, las TPI son los que tienen mayor densidad aparente del suelo. Esto es contradictorio de lo que inicialmente esperamos para suelos con altos valores de material orgánico, lo cual es un factor determinante para algunas propiedades físicas del suelo, entre ellas la densidad aparente y la estructura del suelo (**Teixeira et al) (59)**). Aparentemente, esta diferencia entre TPI, TM y los otros SA está relacionada con la diferencia de historia de uso de las áreas. En las tres áreas de estudio, la TPI y la MT fueron ampliamente exploradas, y se utilizaron para diversos fines como, por ejemplo, la tala, la agricultura y el más común, los pastos (detalles en la sección 3.1). Aunque también se han explorado SA, su historia de uso ha sido menos intensa que en áreas de suelos con horizontes antrópicos. Además de los diferentes usos del suelo, existen otras diferencias en algunas áreas: el de AT y RP donde la TPI tiene valores de densidad de suelo más altos que los demás, lo cual está relacionado con su mayor contenido de arena (aproximadamente 80% y 60% respectivamente, Figura 6), mientras que el suelo con un horizonte antrópico del llamado TM de EA se encuentra sobre un área típica de Acrisol, que son suelos que presentan un aumento de arcilla con la profundidad (**West et al) (58)**), lo que resulta en diferencias en la estructura del suelo.

5.3. Macro, micronutrientes y aluminio

El TPI de EA mostró mayores concentraciones de cationes intercambiables, lo que aparentemente está relacionado con la mayor concentración de arcilla. Comparando los SA en las áreas estudiadas en términos de arcilla y su relación con la disponibilidad de nutrientes, el SA de RP tiene la menor concentración de

arcilla y el menor stock de nutrientes intercambiables, pero todos los SA poseen mayores concentraciones de Al, misma que está fuertemente relacionada con la contenido de arcilla en los suelos. Los niveles disponibles de P y Ca son aquellos que son generalmente muy diferentes entre TPI, TM y SA. Los estudios muestran que los suelos antrópicos tienen una gran diferencia en las concentraciones de nutrientes en comparación con los suelos adyacentes **(Lehmann et al) (60)**. Sin embargo, las comparaciones entre suelos antrópicos y adyacentes pueden no ser muy claras en todas las situaciones, porque es difícil determinar dónde termina el horizonte antrópico y cuándo comienza el suelo adyacente **(Lehmann et al) (60)**. Además, las grandes diferencias de textura y material orgánico entre los suelos que se comparan pueden aumentar aún más la diferencia o similitud entre los suelos antrópicos y los adyacentes **(Lehmann et al) (61)**. En este estudio, hubo poca variación entre las concentraciones de nutrientes disponibles en los perfiles de suelos antrópicos, no difirieron con valores relativamente bajos de SA (con la obvia excepción del TPI de EA). Sin embargo, con respecto a la capa superior del suelo, las diferencias en fertilidad fueron más evidentes (Tabla 1), probablemente porque las diferencias en fertilidad se acentuaron en los horizontes de mayor influencia antrópica. Los resultados obtenidos por Lehmann et al **(Lehmann et al) (61)**, indican que K, Fe, Zn en TPI no muestran diferencias significativas en las concentraciones disponibles y totales en comparación con los SA. Sin embargo, Ca y P generalmente tenían concentraciones más altas en TPI que en SA. Resultados semejantes a los de este estudio. Sin embargo la TPI de EA tiene las mayores concentraciones de P, Ca, Mg cuando comparadas con las demás TPI, eso está netamente ligado su característica de uso de la tierra de esa área o de su histórico de su formación antrópica, por tanto, a sus características físicas de la misma. En general, los TPI son campos donde los residuos domésticos y agrícolas han sido depositados continuamente por grupos humanos; entonces es de esperar que la fertilidad de estos suelos esté

influenciada por la calidad de estos residuos, que pueden variar de una zona a otra. En cuanto al P, es notablemente más alto en suelos antrópicos en comparación con los SA. Los factores que influyen en el stock de P en los suelos pueden incluir una mayor adición de compuestos de fosfato, mayores cantidades de P orgánico almacenado en horizontes antrópicos y mayores flujos de P entre formas orgánicas e inorgánicas de P debido a la alta concentración de biomasa microbiana en suelos antrópicos.

El Fe y el Mn son elementos considerados potencialmente importantes como elementos tóxicos (**Prasad R. N., Pagel H.) (62)**, ya que aumentan la solubilidad en suelos ácidos, lo que hace que se presenten en mayores concentraciones en suelos meteorizados (Acrisols y Ferralsols), como se muestra en la Tabla 2. Sin embargo, el Fe de la TPI de AT, posee niveles altos, puede ser por su característica de suelo clasificado como Acrisol. El Zn generalmente se presenta en altas concentraciones en sedimentos arcillosos, con menor concentración en areniscas. El Zn también está directamente relacionado con el contenido de materia orgánica, ya que está fuertemente adsorbido en ella, lo que hace que las altas concentraciones de Zn sean una característica común de las TPI (**Prasad R. N., Pagel H.) (63)**.

5.4. Concentración de C y N

En este estudio observamos que los SA presentan las mayores concentraciones de C y N de que los suelos antrópicos. A mayor cantidad de materia orgánica está relacionada con los valores de arcilla, que estructuralmente posee mayor superficie específica y consecuentemente mayor carga eléctrica capaces de adsorber C (**Dick et al) (64)**. Además de los óxidos amorfos de Fe y Al, que son factores importantes que controlan la retención de materia orgánica en los suelos (**Mikutta et al) (65)**. El aumento en el contenido de C en suelos arcillosos se

debe a las características de los minerales arcillosos cuyo poder de retención puede hacer que suelos más arcillosos como SA formen depósitos de C pasivos **(Christensen BT) (66)**. En este caso, las TPI presentaron una textura con concentraciones de arena mucho más altas que los SA, lo que puede indicar que tienen menor capacidad de adsorción de C y, en consecuencia, menores concentraciones **(Telles et al) (67)**. Con respecto al N, en general, este no es un factor limitante en la Amazonía, ya que el ciclo del N puede considerarse abierto debido a los grandes flujos de gases nitrogenados (óxido nitroso) y N disueltos en la precipitación y solución del suelo **(Martinelli et al) (68)**. Las concentraciones de N también disminuyen con la profundidad de la misma manera que el C (Figura 8), que se considera una característica de los suelos Amazónicos, donde los altos niveles de N en las capas superficiales están vinculados a la actividad microbiana y la alta intensidad de mineralización del suelo **(Luizão et al) (69)**.

5.5. Stock de carbono en los suelos

Las diferencias en las concentraciones de C entre las áreas, se reflejaron en las reservas de C calculadas para los diferentes suelos (Tabla 3). Estos resultados tienen una implicación importante para el manejo del C en los suelos, que actualmente se sugiere como una forma importante de mitigar el efecto invernadero **(Roscoe) (70)**. Actualmente se habla mucho sobre el papel de TPI y TM en el almacenamiento de C y, por supuesto, se deben aprender muchas lecciones de la TPI, especialmente con respecto a la estabilidad del C en estos suelos. Sin embargo, este estudio indicó que los Ferralsols típicos de la Amazonía central pueden tener reservas de C en el suelo mucho más altas que las de TPI, lo que advierte de la necesidad de un manejo adecuado en estas áreas. Por ejemplo, es mucho más probable que los bosques nativos sobre SA sean explorados y convertidos a otros sistemas de uso de la tierra, lo que puede

resultar en que gran parte de este C almacenado en el suelo regrese a la atmósfera en forma de dióxido de carbono, 20% o más, dependiendo del suelo y del sistema de manejo. Los SA también almacenan grandes cantidades de C en profundidad, debido a sus características físicas y químicas **(Veldkanp) (71)**. Sin embargo, existe una gran variabilidad en los resultados de los estudios publicados sobre reservas de C en suelos amazónicos, y más aún cuando se comparan suelos antrópicos. Estas diferencias pueden estar relacionadas con la escala de muestreo, el número de muestras recolectadas por área, la densidad del suelo, los tipos de suelos identificados, así como otros atributos físicos del suelo.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

La granulometría de los suelos está correlacionada con las concentraciones de C, siendo que, en los SA caracterizados como Ferralsols con predominio de la fracción arcilla presentaron concentraciones menores de la mayoría de los elementos evaluados. Y los suelos con horizontes antrópicos con predominio de la fracción arena presentan mayores concentraciones de la mayoría los elementos evaluados, especialmente P y Ca, característicos de este tipo de suelo, teniendo la siguiente secuencia: TP> TM> LA. Corroborando la característica principal de los suelos antrópicos; la de retener nutrientes a pesar de sus condiciones morfológicas y uso. En este estudio, los SA más arcillosos tienen mayores reservas de C hasta 1 m de profundidad en comparación con suelos con horizontes antrópicos, a diferencia de los resultados de otros estudios que comparan suelos con horizontes antrópicos en la Amazonía central. Lo que corrobora a afirmación que las TPI también sufren variaciones, que es lo que dificulta su clasificación taxonómica como un tipo de suelo. Estas variaciones están condicionadas por el histórico del área y por el tipo de suelo donde se desarrolla los horizontes antrópicos.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

La continuidad de estudios referentes a suelos antrópicos como las TPI es de vital importancia para esclarecer al máximo las interrogantes que surgieron y surgirán para mejorar el entendimiento sobre sus características físicas, químicas y morfológicas de estos suelos antrópicos. Entender mejor como es que estos suelos antrópicos funcionan ayudará a entender mejor las opciones que tenemos para enfrentar grandes problemas de la humanidad, como la busca de alimento con expansión de una agricultura sostenible y mitigación del calentamiento global.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Sioli H. Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Vozes, Petropolis. 1991; 3ed. 72p.
2. Skole D, Tucker H. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 1993; 260:1905-09.
3. Phillips O, Malhi Y, Higuchi N, Grace J, Laurence WF, Nuñez P, et al. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plot data. *Science*, 1998 282: 43–442.
4. Fearnside PM. Biodiversity as environmental service in Brazil Amazonian forests: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*. 1999; 26:305-321.
5. PRODES - Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite. [acceso en Febrero 2021]
<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
6. Fearnside PM. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land use. *Ambio*, 1993; 2:537-545.
7. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005: progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147.
8. Gavin MC. Changes in forest use value through ecological succession and their implications for land management in the Peruvian Amazon. *Conservation Biology*, 2004; 18(6): 1562-1570.
9. Christianson GE. Greenhouse, the story of global warming. Walk Publishing Company, Inc.1999.
10. IPCC – Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. Mudança do clima 2007: a base das ciências físicas – Contribuição do grupo de trabalho I

para o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC. No site:
www.natbrasil.org.br/Docs/ipcc_2007.pdf

11. ONU – Organización de las Naciones Unidas. Programa para el medio ambiente. [acceso en febrero 2021]:
<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/concentracao-global-de-co2>
12. Chambers JQ, Higuchi N, Schimel JP, Ferreira LV, Melack, JM. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Oecologia*, 2000; 122: 380-388.
13. Roscoe R. Seqüestro de carbono no sistema plantio direto: Possibilidades de contabilização. In: Roscoe, R.; Mercante, F.M. & Salton, J.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. EMBRAPA – MS, 2006; p. 43 – 60.
14. The Green Initiative. Neutralização das emissões de gases de efeito estufa. 2006. [acceso Enero 2020].
http://www.thegreeninitiative.com/files/pdf/premio%20eco_doc_pt.pdf
15. Marques JDO, Luizão FJ, Wenceslau GT, Vitel CM, Marques EMA. (2016). Soil organic carbon, carbon stock and their relationships to physical attributes under forest soils in central Amazonia. [publicación online]; 2020 [acceso en Enero2020]. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v40n2/0100-6762-rarv-40-02-0197.pdf>
16. Marques JDO, Luizão FJ, Wenceslau GT, Sarrazin M, Ferreira SJF, et al. (2015). Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. [publicación online]; 2020 [acceso en Enero2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000100232

17. Brito RM, Siqueira FLT, De Souza JA, De Souza RN. (2018). Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado. [publicación online]; 2020 [acceso en Enero2020]. Disponible en:
<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/5806>
18. Martins GC, Brasil A, Perin R, Pinto W, Pinto M, et al. Estoque de Carbono em Terra Preta do Índio no Município de Iranduba-AM. XIX Reunión Brasileira de Manejo y Conservación del suelo y del agua. 29 de Julio – 3 de Agosto; Lages – Santa Catarina. 2012.
19. Lopez-Noronha R, Menezes ZM, Soares MDR, Campos MCC, Farhate CVV, Oliveira SR. Soil carbon stock in archaeological black earth under different land use systems in the Brazilian Amazon. *Agronomy journal*. 2020; 112(4) 437-450.
20. Sombroek W. Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. *Acta Amazonica*. 2000; 30(1) 81-100p.
21. Alvares VH, Fontes LEF, Fontes MPF. O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável, Viçosa, UFV, SBCS, 1996. DPS, 930 -937.
22. EMBRAPA. Características dos principais solos da Amazônia Legal. I Estado do Pará, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, Rio de Janeiro. 1991.170p.
23. Pereira LC. Características químicas de Latossolos Amarelos da Região Amazônica Brasileira, Piracicaba, ESALQ, Tese de Mestrado, 1987. 96 p.
24. Teixeira WG, Pinto WH, Lima HN, Macedo RS, Martins GC, Arruda WDC. Os solos das várzeas próximas a calha do Rio Solimões – Amazonas no Estado do Amazonas. In: IBAMA (Ed.). *Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia*. Manaus: Ibama, 2007. pag. 36, p.29 - 36.

25. Cunha TJF. Ácidos húmicos de suelos Oscuros de la Amazonía (Terra Preta de Índio). Tesis de Doctorado, Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2005. 139 p.
26. KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p.277-320.
27. Woods W. Development of Anthrosols Research. *In: Amazonian Dark earth: Origin, properties and management.* 2003; 503p.
28. Kern DC, Kämpf N. Antiguos asentamientos indígenas en la formación de suelos con terra preta arqueológica en la região de Oriximiná - Pará. *Revista Brasileira de Ciencia do Suelo*, 1989. 13: 219-225.
29. Woods WI, McCann JM. *El origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonía* In: Hiraoka, M.; Mora, S. (Eds). *Desarrollo Sostenible en la Amazonía*, Abya Ayala, Quito, Ecuador. 2001. p. 23-30.
30. Smith NJH. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers.* 1980; 70: 553-566.
31. Ericksson, C. 2003. Historical ecology and future explorations. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), *Amazonian Dark Earths - origin, properties and management.* Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 455-500.
32. Denevan WM. (2005). Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes. [publicación online]; 2020 [acceso en Febrero 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/261824951_Cultivated_Landscapes_of_Native_Amazonia_and_the_Andes_by_William_M_Denevan
33. Macedo RS, Wenceslau GT, Lima HN, Guimaraes ST, Goes Filho LC, Rocha Silva FW, Costa Gil de Souza A, Cubas EO. (2008) Classificação de perfis com

horizonte A antrópico (Terra Preta de Índio) em áreas de várzea do rio Solimões, AM. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/684869/1/3135.pdf>

34. Lima HN, Schaefer CER, Mello JWV, Gilkes RJ, Ker JC. Pedogenesis and Pre-colombian land use of Terra Preta Anthrosols (Indian Black earth) of western Amazon. *Geoderma*. 2002; 110:1-17p.
35. Hartt CF. Contribuições para a ethnologia do valle do Amazonas. *Archivos do Museu Nacional*, 1885. 6: 1-174.
36. Hilbert P. Archäologische Untersuchungen am mittleren Amazonas. In *Marburger Studien zur Völkercunde*. 1968. Vol. 1
37. Falesi IC. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazonia brasileira. In: *Zoneamento Agrícola da Amazônia (1ª. aproximação)*. Boletim Técnico 54, IPEAN, Belém. 1972.
38. Ranzani G, Kinjo T, Freire S. Ocorrências de Plaggen Epipedon no Brasil. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. *Boletim Técnico*. 1932. 5: 1-12.
39. Silva RCL, Correa ST, Wrigth JL, Bomfim B, Hendricks L, et al. A new hypothesis for the origin of Amazonian dark earth. *Nature Communication*. 2021; 12:127.
40. McCann JM, Woods W, Meyer DW. Organic matter in Anthrosols in Amazonian: Interpreting the Amerindian legacy. 2001. In: *Amazonian dark earths: Origin, properties and management*. 2003.
41. Mann CC. The real dirt on rainforest fertility. *Science*. 2002. 29: 922–923.
42. Derenne S, Largeau CA. A review of some important families of refractory macromolecules: composition, origin, and fate in soils and sediments. *Soil Science*, 2001. 166: 833–884.
43. Madari BE, Sombroek W, Woods W. 2004. Research on anthropogenic dark earth soils. Could it be a solution for sustainable agricultural development in the

- Amazon? In: Woods W.I. & Glaser B. (eds.), Explorations in Amazonian Dark Earths. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
44. Lehmann J, Kern D, German I, McCann J, Martins GC, Moreira, A. 2003. Soil fertility and production potential. In: Lehmann J, Kern D, Glaser B, Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 105-124.
 45. Fearnside PM. Estoque e estabilidade de carbono nos solos da Amazônia Brasileira, in: As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso destes conhecimentos na criação de novas áreas. Teixeira, W. G., 2009, EMBRAPA, CD-ROM, 421p.
 46. Sombroek WG, Nachtergaele FO, Hebel A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 1993. 22: 417-426.
 47. Sombroek W. Amazon Soils – a reconnaissance of soils of the Brazilian Amazon region. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen, Netherlands, 1986. 292 p.
 48. Glaser B, Balashov E, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*. 2000 (31): 669-678.
 49. Bechtold G.[pagina web em internet] Terra Preta de Índio. [acceso en Febrero 2020] disponible:http://www.gerhardbechtold.com/TP/gbtp1_port.php?vers=2
 50. Fearnside, PM. A floresta Amazonica nas Mudanças Globais. Manaus – AM, INPA, 2003; 134p.
 51. Dubois JCL, Viana VM, Anderson AB. Manuel Agroflorestal para Amazonia. REBRAAF. 1996; Rio de Janeiro, 228p.

52. Fearnside PM. Agrossilvicultura na política de desenvolvimento na Amazonia brasileira: a importância e o limite de seu uso em áreas degradadas. *In: Gascon C, Moutinho P, (Eds). Floresta Amazônica: Dinâmica, regeneração e manejo. 1998; INPA, Manaus, 293-312p.*
53. Mesquita RCG, Workman SW, Neely CL. Slow litter decomposition in a cecropia-dominated secondary forest of in Central Amazon. *Soil Biol Biochem. 1998; 30(2).*
54. Van Leewen J, Menezes JMT, Gomes JBM, Iriarte Martel JH, Clement C. Sistemas agroflorestais para a Amazônia: Importância de pesquisas realizadas. *In: Noda H, Souza LAG, Fonseca OJM, (Eds). Duas décadas de contribuição do INPA á pesquisa agrônômica no tropico úmido. 1997; 131-146p.*
55. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2ª edição, Rio de Janeiro.1997. 15–18.
56. Silva FC. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Manual de análises químicas de solo, planta e fertilizantes. Brasília. 1999. 370 p.
57. Quesada CA, Lloyd J, Anderson LO, Fyllas NM, Schwarz M, Czimczik C. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences Discuss.*, 2009. 6: 3851–3921.
58. West LT, Beinroth FH, Summer MF, Kang BT. Ultisols: characteristics and impacts on society. *Advances in Agronomy*, 1998. 63: 179-236.
59. Teixeira WG, Martins GC, Lima HN. An Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian. 2004. In: Congresso de Arqueología en Colombia, Papayan.
60. Lehmann J, Kern D, German I, McCann, J.; Martins, G. C. & Moreira, A. 2003a. Soil fertility and production potential. In: Lehmann J.; Kern D.; Glaser B. & Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 105-124.

61. Lehmann, J.; Silva Jr., J.P.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W. & Glaser, B. 2003b. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferrasol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249: 343-357.
62. Prasad RN, Pagel H. Available zinc in important soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtschaft. Veterinaermed*, 1970, 8: 145-156.
63. Prasad RN, Pagel H. Comparative investigations into the content of available molybdenum in important soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtschaft. Veterinaermed*, 1976. 14: 79-87.
64. Dick DP, Da Silva BL, Inda AV, Knicker H. Comparative study of organic matter from different high-altitude soil classes in south Brazil by conventional and spectroscopic techniques. *Rev. Bras. Cienc. Solo*. 2008. 32: 1806-9657
65. Mikutta R, Kleber M, Torn MS, Jahn R. Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance? *Biogeochemistry*, 2006. 77: 25–56
66. Christensen BT. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. *Advances Soil Science*, 1992. 20: 1-90.
67. Telles EDC, Camargo PB, Martinelli LA, Trumbore SE, Costa ES, Santos J, Higuchi N, Oliveira RC. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003. 17 (2): 1125-1132.
68. Martinelli LA, Coletta LD, Ravagnani EC, et al. Dissolved nitrogen in rivers: comparing pristine and impacted regions of Brazil. *Brazl. J.Biol*. 2010. 70 (3).
69. Luizão RCC, Luizão FJ, Paiva RQ, Monteiro TF, Souza LS, Kruijt B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 2004.22: 592-600.

70. Roscoe, R. Seqüestro de carbono no sistema plantio direto: Possibilidades de contabilização. In: Roscoe, R.; Mercante, F.M. & Salton, J.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. EMBRAPA – MS, 2006. p. 43 – 60.
71. Veldkamp E, Becker A, Schwendenmann L, Clark DA, Schulte-Bisping H. Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. *Global Change Biology*. 2003. 9:1171-1184.

ANEXOS

Anexo 1(A): Prueba de Normalidad de “Shapiro-Wilks” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 20 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.

Variable	n	Valor Calculado	p - Valor
N	15	0,16	0,172
Ca	15	0,98	0,976
Mg	15	0,99	0,724
K	15	0,12	0,098
Al	15	0,09	0,765
P	15	2,01	0,505
Fe	15	2,91	0,224
Zn	15	0,91	0,671
Mn	15	0,98	0,573
C	15	1,09	0,872
DA (0-30cm)	12	0,21	0,456

DA: Densidad aparente hasta 30 cm

Anexo 1(B): Prueba de Normalidad de “Shapiro-Wilks” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 100 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.

Variable	n	Valor Calculado	p - Valor
N	15	4,42	0,397
Ca	15	0,97	0,673
Mg	15	0,24	0,917
K	15	0,11	0,072
Al	15	0,07	0,221
P	15	2,59	0,789
Fe	15	2,93	0,566
Zn	15	0,98	0,879
Mn	15	0,86	0,656
C	15	0,97	0,613
DA (0-100cm)	12	0,19	0,214

DA: Densidad aparente

Anexo 2(A): Prueba de Homogeneidad de “Levene” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 20 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.

Variable	n	Valor Calculado	p - Valor
N	15	0,56	0,452
Ca	15	0,22	0,165
Mg	15	0,11	0,642
K	15	0,72	0,632
Al	15	0,07	0,511
P	15	0,32	0,532
Fe	15	0,15	0,783
Zn	15	0,54	0,432
Mn	15	0,58	0,479
C	15	0,23	0,927
DA (0-30cm)	12	1,01	0,981

DA: Densidad aparente hasta 30 cm

Anexo 2(B): Prueba de Homogeneidad de “Levene” para las variables de concentración de macro, micronutrientes, carbono y densidad aparente hasta 100 cm de profundidad de los suelos antrópicos y adyacentes de la Amazonia central Brasileira.

Variable	n	Valor Calculado	p - Valor
N	15	0,45	0,421
Ca	15	0,20	0,121
Mg	15	0,09	0,594
K	15	0,81	0,667
Al	15	0,19	0,436
P	15	0,38	0,499
Fe	15	0,19	0,701
Zn	15	0,49	0,398
Mn	15	0,51	0,401
C	15	0,26	0,894
DA (0-100cm)	12	0,87	0,871

Anexo 3: ANOVA para la variable Densidad Aparente (DA) en g cm⁻³, hasta 30 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Entre los grupos	0.06	2.00	0.03	11.42	0.003 sig.
Dentro de los grupos	0.02	9.00	0.00		
Total	0.09	11.00	0.01		

Anexo 4: ANOVA para las variables Densidad Aparente (DA) en g cm⁻³, hasta 100 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Entre los grupos	0.195	2	0.097	5.59	0.026 sig.
Dentro de los grupos	0.157	9	0.017		
Total	0.353	11	0.032		

Anexo 5: TUKEY para Densidad Aparente (DA) en g cm⁻³, de 0 -30 cm y 0 - 100 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
DA (0 - 30 cm)			
EA - RP	0.04	0.25	0.008***
EA - AT	-0.09	0.12	0.93
RP - AT	0.06	0.26	0.004***
DA (0 - 100 cm)			
EA - RP	-0.17	0.36	0.58
EA - AT	-0.05	0.47	0.12
RP - AT	0.04	0.57	0.02**

Anexo 6: ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe (mg Kg⁻¹) hasta 20 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Ca (mg/Kg)					
Entre los grupos	166891.63	2	83445.81	13.35	0.000 sig.
Dentro de los grupos	74966.77	12	6247.23		
Total	241858.4	14	17275.59		
K (mg/Kg)					
Entre los grupos	85208.58	2	42604.29	75.72	0.000 sig.
Dentro de los grupos	6751.62	12	562.63		
Total	91960.21	14	6568.58		
Mg (mg/Kg)					
Entre los grupos	33500.65	2	16750.32	7.01	0.01 sig.
Dentro de los grupos	28661.72	12	2388.48		
Total	62162.37	14	4440.17		
P (mg/Kg)					
Entre los grupos	59333.36	2	29666.68	16.88	0.000 sig.
Dentro de los grupos	21083.85	12	1756.99		
Total	80417.22	14	5744.09		
Al (mg/Kg)					
Entre los grupos	77067.59	2	38533.79	157.43	0.0002sig.
Dentro de los grupos	2937.22	12	244.77		
Total	80004.81	14	5714.63		
Fe (mg/Kg)					
Entre los grupos	21535.82	2	10767.91	47.17	0.00 sig.
Dentro de los grupos	2739.2	12	228.27		
Total	24275.02	14	1733.93		

Anexo 7: TUKEY para Ca, Mg, K, P, Al y Fe hasta 20 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
Ca (mg/kg)			
AT - EA	-40.37	226.37	0.19
AT - RP	28.89	295.63	0.017**
EA - RP	121.89	388.63	0.0007***
K (mg/kg)			
AT - EA	-33.08	46.96	0.89
AT - RP	123.22	203.26	0.00***
EA - RP	116.28	196.32	0.00***
Mg (mg/kg)			
AT - EA	18.00	182.92	0.018**
AT - RP	-82.04	82.88	1.00
EA - RP	17.58	182.50	0.02**
P (mg/kg)			
AT - EA	-18.01	123.44	0.16
AT - RP	80.99	222.45	0.000***
EA - RP	28.28	169.73	0.007***
Al (mg/kg)			
AT - EA	146.44	199.24	0.00***
AT - RP	33.28	86.08	0.00***
EA - RP	86.76	139.56	0.00***
Fe (mg/kg)			
AT - EA	65.73	116.71	0.00***
AT - RP	34.95	85.93	0.00***
EA - RP	5.29	56.27	0.018**

Anexo 8: ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad de los suelos de TPI entre las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Ca (mg/Kg)					
Entre los grupos	1022979.16	2	511489.58	12.627	0.001 sig.
Dentro de los grupos	486081.2	12	40506.76		
Total	1509060.36	14	107790.02		
K (mg/Kg)					
Entre los grupos	42363.93	2	21181.96	112.588	0.00 sig.
Dentro de los grupos	2257.63	12	188.13		
Total	44621.56	14	3187.25		
Mg (mg/Kg)					
Entre los grupos	3083.4	2	1541.71	10.147	0.0026 sig
Dentro de los grupos	1823.22	12	151.93		
Total	4906.61	14	350.47		
P (mg/Kg)					
Entre los grupos	126508.11	2	63254.06	19.223	0.0001 sig.
Dentro de los grupos	39486.92	12	3290.58		
Total	165995.03	14	11856.79		
Al (mg/Kg)					
Entre los grupos	28871.33	2	14435.66	29.903	0.000 sig.
Dentro de los grupos	5793.04	12	482.75		
Total	34664.37	14	2476.03		
Fe (mg/Kg)					
Entre los grupos	20983.66	2	10491.83	31.910	0.00 sig.
Dentro de los grupos	3945.48	12	328.79		
Total	24929.14	14	1780.65		
Zn (mg/Kg)					
Entre los grupos	99.47	2	49.73	10.743	0.002 sig.
Dentro de los grupos	55.56	12	4.63		
Total	155.03	14	11.07		
Mn (mg/Kg)					
Entre los grupos	332.79	2	166.40	15.066	0.0005 sig.
Dentro de los grupos	132.54	12	11.04		
Total	465.33	14	33.24		

Anexo 9: TUKEY para Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres áreas estudiadas (AT, RP y EA) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
Ca (mg/kg)			
AT - EA	-2.92	676.28	0.05*
AT - RP	-36.90	642.30	0.08
EA - RP	299.78	978.98	0.00**
K (mg/kg)			
AT - EA	-22.60	23.69	1.00
AT - RP	89.86	136.15	0.00***
EA - RP	89.32	135.60	0.00***
Mg (mg/kg)			
AT - EA	8.56	50.15	0.01**
AT - RP	-18.78	22.81	0.96
EA - RP	10.57	52.17	0.00***
P (mg/kg)			
AT - EA	101.13	294.72	0.00***
AT - RP	94.75	288.34	0.00***
EA - RP	-90.41	103.17	0.98
Al (mg/kg)			
AT - EA	69.90	144.05	0.00***
AT - RP	7.55	81.70	0.02**
EA - RP	25.27	99.42	0.00***
Fe (mg/kg)			
AT - EA	53.44	114.63	0.00***
AT - RP	43.03	104.22	0.00***
EA - RP	-20.19	41.00	0.65
Zn (mg/kg)			
AT - EA	1.98	9.24	0.00***
AT - RP	-3.32	3.94	0.97
EA - RP	1.67	8.93	0.01**
Mn (mg/kg)			
AT - EA	5.89	17.11	0.00***
AT - RP	-0.66	10.55	0.09
EA - RP	0.95	12.16	0.02**

Anexo 10: ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Autaz Mirin (AT) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Ca (mg/Kg)					
Entre los grupos	69121.43	2	34560.71	6.496	0.012
Dentro de los grupos	63847.04	12	5320.59		
Total	132968.47	14	9497.75		
K (mg/Kg)					
Entre los grupos	64238.01	2	32119.00	7.832	0.007
Dentro de los grupos	49211.46	12	4100.96		
Total	113449.47	14	8103.53		
Mg (mg/Kg)					
Entre los grupos	19.48	2	9.74	9.426	0.003
Dentro de los grupos	12.40	12	1.03		
Total	31.88	14	2.28		
P (mg/Kg)					
Entre los grupos	13.97	2	6.986	27.766	0.000
Dentro de los grupos	3.02	12	0.252		
Total	16.99	14	1.214		
Al (mg/Kg)					
Entre los grupos	169101.37	2	84550.69	63.783	0.000
Dentro de los grupos	15907.17	12	1325.60		
Total	185008.54	14	13214.90		
Fe (mg/Kg)					
Entre los grupos	4092.458	2	2046.229	4.287	0.039
Dentro de los grupos	5727.981	12	477.332		
Total	9820.439	14	701.460		
Zn (mg/Kg)					
Entre los grupos	0.085	2	0.042	0.364	0.702
Dentro de los grupos	1.394	12	0.116		
Total	1.478	14	0.106		
Mn (mg/Kg)					
Entre los grupos	4.037	2	2.019	62.052	0.000
Dentro de los grupos	0.390	12	0.033		
Total	4.428	14	0.316		

Anexo 11: TUKEY para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad de los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Autaz Mirin (AT) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
Ca (mg/kg)			
TPI - TM	39.56	285.72	0.01**
TPI - SA	-71.72	174.44	0.52
TM - SA	-11.80	234.36	0.08
K (mg/kg)			
TPI - TM	-106.63	109.48	1.00
TPI - SA	31.47	247.58	0.01**
TM - SA	30.05	246.16	0.01**
Mg (mg/kg)			
TPI - TM	-1.24	2.19	0.74
TPI - SA	0.90	4.34	0.00***
TM - SA	0.43	3.86	0.02**
P (mg/kg)			
TPI - TM	-0.34	1.35	0.29
TPI - SA	1.41	3.10	0.00***
TM - SA	0.90	2.59	0.00***
Al (mg/kg)			
TPI - TM	-61.16	61.71	1.00
TPI - SA	163.66	286.53	0.00***
TM - SA	163.94	286.81	0.00***
Fe (mg/kg)			
TPI - TM	-24.89	48.84	0.67
TPI - SA	-9.38	64.35	0.16
TM - SA	2.59	76.32	0.04*
Zn (mg/kg)			
TPI - TM	-0.41	0.74	0.72
TPI - SA	-0.43	0.72	0.78
TM - SA	-0.55	0.60	1.00
Mn (mg/kg)			
TPI - TM	0.01	0.62	0.04
TPI - SA	0.92	1.53	0.00***
TM - SA	0.60	1.21	0.00***

Anexo 12: ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Encuentro de las Aguas (EA) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Ca (mg/Kg)					
Entre los grupos	1190458.45	2	595229.22	12.621	0.0006
Dentro de los grupos	707408.04	15	47160.54		
Total	1897866.48	17	111639.20		
K (mg/Kg)					
Entre los grupos	230.91	2	115.46	3.460	0.058
Dentro de los grupos	500.58	15	33.37		
Total	731.50	17	43.03		
Mg (mg/Kg)					
Entre los grupos	3453.84	2	1726.92	12.184	0.001
Dentro de los grupos	2126.10	15	141.74		
Total	5579.95	17	328.23		
P (mg/Kg)					
Entre los grupos	126349.40	2	63174.702	61.843	0.000
Dentro de los grupos	15323.04	15	1021.536		
Total	141672.44	17	8333.673		
Al (mg/Kg)					
Entre los grupos	287678.01	2	143839.00	5.430	0.017
Dentro de los grupos	397336.38	15	26489.09		
Total	685014.39	17	40294.96		
Fe (mg/Kg)					
Entre los grupos	2984.277	2	1492.139	10.797	0.002
Dentro de los grupos	1658.341	12	138.195		
Total	4642.619	14	331.616		
Zn (mg/Kg)					
Entre los grupos	95.739	2	47.870	10.238	0.003
Dentro de los grupos	56.110	12	4.676		
Total	151.849	14	10.846		
Mn (mg/Kg)					
Entre los grupos	356.521	2	178.261	13.837	0.001
Dentro de los grupos	154.598	12	12.883		
Total	511.120	14	36.509		

Anexo 13: TUKEY para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Encuentro de las Aguas (EA) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
Ca (mg/kg)			
TPI - TM	206.18	857.45	0.00***
TPI - SA	232.66	883.94	0.00***
TM - SA	-299.15	352.12	0.98
K (mg/kg)			
TPI - TM	0.09	17.42	0.05*
TPI - SA	-4.78	12.55	0.49
TM - SA	-3.79	13.53	0.34
Mg (mg/kg)			
TPI - TM	11.22	46.93	0.00***
TPI - SA	11.83	47.54	0.00***
TM - SA	-17.25	18.46	1.00
P (mg/kg)			
TPI - TM	124.49	220.34	0.00***
TPI - SA	134.68	230.53	0.00***
TM - SA	-37.73	58.12	0.85
Al (mg/kg)			
TPI - TM	-153.79	334.31	0.61
TPI - SA	57.61	545.71	0.02**
TM - SA	-32.65	455.45	0.09
Fe (mg/kg)			
TPI - TM	14.40	54.08	0.00***
TPI - SA	1.28	40.96	0.04*
TM - SA	-6.72	32.96	0.22
Zn (mg/kg)			
TPI - TM	1.60	8.90	0.01***
TPI - SA	1.82	9.11	0.00***
TM - SA	-3.43	3.86	0.99
Mn (mg/kg)			
TPI - TM	3.29	15.40	0.00***
TPI - SA	5.06	17.17	0.00***
TM - SA	-4.29	7.82	0.72

Anexo 14: ANOVA para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Rio Preto de Eva (RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Ca (mg/Kg)					
Entre los grupos	71.35	2	35.67	11.124	0.0019
Dentro de los grupos	38.48	12	3.21		
Total	109.83	14	7.84		
K (mg/Kg)					
Entre los grupos	4895.53	2	2447.76	4.951	0.027
Dentro de los grupos	5932.94	12	494.41		
Total	10828.47	14	773.46		
Mg (mg/Kg)					
Entre los grupos	2.165	2	1.08	4.677	0.031
Dentro de los grupos	2.778	12	0.23		
Total	4.943	14	0.35		
P (mg/Kg)					
Entre los grupos	123479.00	2	61739.498	22.604	0.000
Dentro de los grupos	32776.68	12	2731.390		
Total	156255.68	14	11161.120		
Al (mg/Kg)					
Entre los grupos	4991.38	2	2495.69	20.926	0.000
Dentro de los grupos	1431.17	12	119.26		
Total	6422.55	14	458.75		
Fe (mg/Kg)					
Entre los grupos	29184.192	2	14592.096	95.778	0.000
Dentro de los grupos	1828.242	12	152.353		
Total	31012.434	14	2215.174		
Zn (mg/Kg)					
Entre los grupos	1.137	2	0.569	12.036	0.001
Dentro de los grupos	0.567	12	0.047		
Total	1.705	14	0.122		
Mn (mg/Kg)					
Entre los grupos	59.514	2	29.757	34.287	0.000
Dentro de los grupos	10.414	12	0.868		
Total	69.928	14	4.995		

Anexo 15: TUKEY para las variables Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Zn, Mn hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) del área de Rio Preto da Eva (RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
Ca (mg/kg)			
TPI - TM	1.31	7.35	0.01***
TPI - SA	1.85	7.90	0.00***
TM - SA	-2.47	3.57	0.88
K (mg/kg)			
TPI - TM	-16.28	58.76	0.32
TPI - SA	6.72	81.76	0.02**
TM - SA	-14.52	60.52	0.27
Mg (mg/kg)			
TPI - TM	-0.06	1.57	0.07
TPI - SA	-0.72	0.90	0.95
TM - SA	0.04	1.66	0.04*
P (mg/kg)			
TPI - TM	103.98	280.35	0.00***
TPI - SA	104.59	280.96	0.00***
TM - SA	-87.57	88.80	1.00
Al (mg/kg)			
TPI - TM	22.77	59.62	0.00***
TPI - SA	17.16	54.01	0.00***
TM - SA	-12.82	24.04	0.70
Fe (mg/kg)			
TPI - TM	32.84	74.49	0.00***
TPI - SA	87.22	128.87	0.00***
TM - SA	33.55	75.21	0.00***
Zn (mg/kg)			
TPI - TM	0.29	1.02	0.00***
TPI - SA	0.10	0.83	0.01***
TM - SA	-0.17	0.56	0.37
Mn (mg/kg)			
TPI - TM	2.23	5.38	0.00***
TPI - SA	2.98	6.12	0.00***
TM - SA	-0.83	2.32	0.44

Anexo 16: ANOVA para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 20 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
C (%)					
Entre los grupos	4.89	2	2.45	5.116	0.0247
Dentro de los grupos	5.74	12	0.48		
Total	10.63	14	0.76		
N (%)					
Entre los grupos	0.05	2	0.02	7.519	0.007
Dentro de los grupos	0.04	12	0.00		
Total					

Anexo 17: TUKEY para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 20 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
C (%)			
EA - AT	-0.55	1.78	0.37
EA -RP	0.23	2.56	0.02***
AT - RP	-0.39	1.95	0.22
N (%)			
EA - AT	0.00	0.19	0.06
EA -RP	0.04	0.23	0.01***
AT - RP	-0.05	0.14	0.49

Anexo 18: ANOVA para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelos (TPI, TM, SA) de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
AT_C (%)					
Entre los grupos	1.53	2	0.76	17.459	0.000
Dentro de los grupos	0.53	12	0.04		
Total	2.05	14	0.15		
EA_C (%)					
Entre los grupos	4.15	2	2.08	10.716	0.002
Dentro de los grupos	2.32	12	0.19		
Total	6.47	14	0.46		
RP_C (%)					
Entre los grupos	0.469	2	0.23	7.468	0.008
Dentro de los grupos	0.376	12	0.03		
Total	0.845	14	0.06		
AT_N (%)					
Entre los grupos	0.02	2	0.01	112.063	0.000
Dentro de los grupos	0.00	12	0.00		
Total	0.02	14	0.00		
EA_N (%)					
Entre los grupos	0.02	2	0.01	8.701	0.005
Dentro de los grupos	0.01	12	0.00		
Total	0.03	14	0.00		
RP_N (%)					
Entre los grupos	0.003	2	0.00	12.497	0.001
Dentro de los grupos	0.002	12	0.00		
Total	0.005	14	0.00		

Anexo 19: TUKEY para las variables Carbono (C) y Nitrógeno (N) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelos (TPI, TM, SA) de las tres áreas de estudio (RP, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
AT_C (%)			
TPI - TM	-0.35	0.36	1.00
TPI - SA	0.32	1.03	0.00***
TM - SA	0.33	1.03	0.00***
EA_C (%)			
TPI - TM	0.29	1.78	0.01
TPI - SA	-0.59	0.89	0.86
TM - SA	0.44	1.93	0.00***
RP_C (%)			
TPI - TM	-0.19	0.40	0.63
TPI - SA	0.01	0.61	0.04**
TM - SA	0.12	0.71	0.01***
AT_N (%)			
TPI - TM	-0.02	0.02	0.99
TPI - SA	0.06	0.10	0.00***
TM - SA	0.06	0.10	0.00***
EA_N (%)			
TPI - TM	0.01	0.12	0.02**
TPI - SA	-0.04	0.07	0.84
TM - SA	0.02	0.13	0.01**
RP_N (%)			
TPI - TM	-0.02	0.02	1.00
TPI - SA	0.01	0.05	0.00***
TM - SA	0.01	0.05	0.00***

Anexo 20: ANOVA para las variable Stock de Carbono (Mg C ha⁻¹) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) de las área de estudio (EA, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
AT					
Entre los grupos	37642.44	2	18821.22	5.997	0.0156
Dentro de los grupos	37661.90	12	3138.49		
Total	75304.35	14	5378.88		
EA					
Entre los grupos	91523.10	2	45761.55	4.208	0.041
Dentro de los grupos	130495.43	12	10874.62		
Total	222018.53	14	15858.47		
RP					
Entre los grupos	7537.988	2	3768.99	2.139	0.161
Dentro de los grupos	21146.750	12	1762.23		
Total	28684.738	14	2048.91		

Anexo 21: TUKEY para las variable Stock de Carbono (Mg C ha⁻¹) hasta 100 cm de profundidad entre los tres tipos de suelo (TPI, TM y SA) de las tres área de estudio (EA, AT, RP) de bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Tratamiento	Intervalo inferior	Intervalo Superior	Significancia
AT			
TPI - TM	-51.50	137.56	0.47
TPI - SA	26.51	215.56	0.01***
TM - SA	-16.52	172.53	0.11
EA			
TPI - TM	10.69	362.60	0.03**
TPI - SA	-119.10	232.81	0.67
TM - SA	-46.17	305.75	0.16
RP			
TPI - TM	-42.84	98.83	0.56
TPI - SA	-43.92	97.75	0.58
TM - SA	-15.93	125.74	0.14

Anexo 22: ANOVA para las variable Stock de Carbono (Mg C ha⁻¹) hasta 100 cm de profundidad entre los suelos de TPI de las tres área de estudio (EA, AT, RP) en bosque secundario en la Amazonia central Brasileira.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-Valor
Stock de Carbono (Mg C ha⁻¹)					
Entre los grupos	17922.12	2	8961.06	0.946	0.4153 ns.
Dentro de los grupos	113632.91	12	9469.41		
Total	131555.04	14	9396.79		