



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE-
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

MODALIDAD: "PASANTÍA"

TÍTULO: "Entrenamiento en la determinación de la densidad aparente y capacidad de intercambio catiónico, en suelos del NEA"

PASANTE: GANDOLFO, Dalis Elena.

DIRECTOR: Ing. Agr. (Dra.) TOLEDO, Diana Marcela.

LUGAR DE TRABAJO: Cátedra de Edafología.

Departamento de Suelo y Agua. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste.

TRIBUNAL EVALUADOR: Ing. Agr. (Mgter) María de las Mercedes YFRAN ELVIRA; Ing. Agr. (Mgter) Mario A. SLUKWA; Ing. Agr. Nicolás H. SUGITA.

AÑO: 2021

Índice

Tema	Pág.
Introducción.....	3
Objetivo.....	5
Materiales y Métodos.....	5
Conclusión.....	8
Bibliografía	8
Agradecimientos.....	9
Figuras	10
Tablas	15

Introducción

En la subregión húmeda del Nordeste Argentino (NEA) los suelos son muy heterogéneos, encontrando diferentes tipos cuya distribución y fertilidad están muy influenciada por el material parental (Tomei et al., 2006).

El suelo está formado por una parte sólida mineral, una sólida orgánica, y por el espacio poroso que está ocupado por agua y aire (Fig. 1). Las unidades texturales del suelo (arena, limo y arcilla) se hallan unidos con las partículas orgánicas, en un ordenamiento tal que origina una unidad secundaria dando como resultado lo que llamamos estructura del suelo. La estructura influye en muchas propiedades física, química y biológicas del suelo, define la relación agua-aire del suelo (Rampoldi y Buffa, 2020).

La densidad aparente es una propiedad física del suelo que hace referencia a la relación entre la masa de suelo seca a 105°C y el volumen total que ocupa el suelo incluido el espacio poroso (Baver et al; 1991).

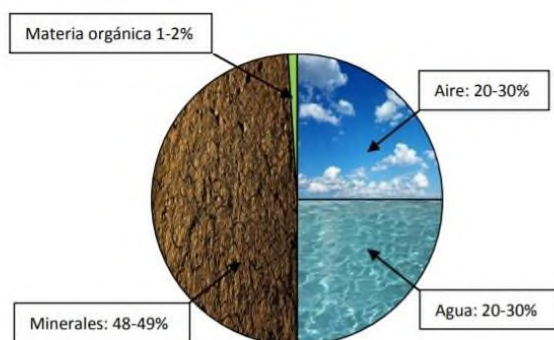


Fig. 1: Esquema de la composición del suelo. Fuente: INTA 2018.

La condición física del suelo es fundamental para definir su calidad/salud y es afectada por el uso. Por ello, es necesario el seguimiento de los cambios en la condición física de los suelos bajo producción, a través de indicadores sensibles y fáciles de determinar. Uno de ellos es la densidad aparente (D_a), la cual se relaciona con la funcionalidad del suelo y resulta sensible a las prácticas de manejo, a los sistemas de cultivos y las prácticas agronómicas (Toledo et al., 2015). El valor de la D_a es fundamental para efectuar cálculos de stocks de carbono, para poder hacer correcciones de masa equivalente (Toledo et al., 2013).

La determinación de la D_a puede realizarse a partir de muestras no disturbadas de suelo o de muestras disturbadas. Dentro de los métodos más utilizados basados en muestras no disturbadas, se encuentra el método del cilindro. En general, el método presenta poca variación, es fácil de repetir y su determinación es sencilla y precisa. Cuando no se cuenta con la muestra inalterada de suelo tomada en el campo, se puede determinar la densidad aparente a partir de muestras disturbadas aplicando por ejemplo

en el laboratorio el Método de la Probeta, que usa la muestra de suelo molida y tamizada por malla de 2 mm. (Toledo; Paredes; Arzuaga; Montoya y Contreras Leiva, 2015).

La determinación de la D_a permite efectuar evaluaciones acerca por ejemplo del impacto que tiene sobre el suelo, el cambio de uso, las prácticas agronómicas y/o el manejo del suelo. Dado que la densidad aparente está directamente relacionada con la estructura del suelo, brinda información sobre el efecto del manejo del suelo, informa sobre los cambios producidos, como densificación, compactación, y permite inferir sobre las dificultades en la emergencia y enraizamiento de los cultivos, así como también sobre la circulación de agua y de aire (Rampoldi y Buffa, 2020).

Asimismo, el valor de D_a tiene múltiples aplicaciones entre ellas, se puede mencionar el cálculo de:

- Peso de la hectárea
- Porosidad total
- Espacio Aéreo.
- Agua volumétrica

En la siguiente tabla se pueden observar valores orientativos de D_a que se pueden encontrar en los distintos suelos, los mismos pueden variar por causas naturales o por acción antrópica, con el contenido de materia orgánica, la textura, la estructura, las labranzas etc.

<i>Tipo de suelo</i>	<i>D_a ($g.cm^{-3}$)</i>
Cenizas volcánicas	0,85
Orgánicos	0,9
Arcillosos	1,0 - 1,1
Francos	1,1 – 1,25
Arenosos	1,3 – 1,4

(Fuente: Rampoldi y Buffa, 2020)

Otro atributo del suelo muy importante es La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo y/o liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad del suelo de retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con baja CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica, está asociado a una baja fertilidad y viceversa una alta CIC está asociado a una alta fertilidad de suelo (FAO, 2021).

La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) es una propiedad físico-química del suelo que se determina al pH del suelo y se define como el proceso

reversible por el cual las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases. Se debe a la propiedad del complejo coloidal del suelo que tiene cargas electrostáticas y una gran superficie específica (Fassbender, 1982).

La CIC de un suelo variará de horizonte a horizonte y en cada uno de ellos dependerá del contenido y tipo de minerales de arcilla y de componentes orgánicos (Porta, 2003).

<i>Componente</i>	<i>CIC (cmolc.kg⁻¹)</i>
Arena	0
Caolinita	1-10
Ilita	10-40
Esméctica	80-150
Vermiculita	120-150
Limo	escasa
Mica	0
Materia orgánica	100-300

(Fuente: Porta, 2003)

La CICE, se puede determinar utilizando distintos métodos, en el laboratorio de suelos de la Cátedra de Edafología los más utilizados son el método del Cloruro de sodio para suelos ácidos y el Método del Acetato de Amonio para suelos neutros a ligeramente ácidos sin carbonatos (PROINSA, 2011).

En unidades SI la CIC se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo, $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ o bien cmolc.kg^{-1} . Con anterioridad se venía utilizando como unidad el $\text{meq}/100\text{g}$, cuyo uso se haya todavía muy extendido. el valor numérico es el mismo en ambas unidades (Porta, 2003).

Un suelo con alto tenor de arcilla retiene más cationes que un suelo arenoso. Los suelos con bajo contenido en materia orgánica tienen valores bajos de CIC. Hay una distinción entre la capacidad potencial (máxima) medida a pH 7-8,2 y la efectiva (CICE) a pH natural del suelo (INTA, 2003).

Objetivo

Esta pasantía tiene por objetivo, adquirir destreza en la determinación de la densidad aparente y de la capacidad de intercambio catiónico, en suelos del NEA.

Materiales y métodos

Se trabajó con muestras de suelos de pH neutro a ligeramente ácido de la región del NEA, del laboratorio de Análisis de Suelos y Foliares que lleva adelante la Cátedra de Edafología.

Se realizaron las siguientes actividades:

- **Acondicionamiento de las muestras de suelo:**

Se colocaron las muestras de suelo en bandejas de plástico. Se quitó las piedras y se desmenuzó los agregados grandes de suelo. Se etiquetó la muestra, se le dio un número de ingreso, ese número se anotó en una planilla con los datos de cada muestra. Las muestras adquirieron un equilibrio con la humedad del aire.

Luego las muestras de suelo se desmenuzaron suavemente en un mortero con pilón de porcelana y se tamizó con tamiz número 10 (malla de 2 mm), el material mayor a 2 mm se descartó.

- **Determinación de la humedad presente:**

Materiales: balanza de precisión, estufa para secado, capsulas para secar y pesar las muestras.

En las muestras de suelo secas al aire, se determinó el contenido de humedad por Método gravimétrico. Se colocó una porción de la muestra en un pesafiltro previamente tarado y se llevó a estufa a 105°C por 24 a 48 hs hasta peso constante. Posteriormente las muestras se colocaron en un desecador conteniendo silicio gel, se dejaron enfriar hasta que se equilibró con la temperatura ambiente, y se pesaron. Se tomaron las pesadas con el suelo húmedo y luego con el suelo seco.

Se realizaron los cálculos para determinar el porcentaje de humedad contenida en las muestras.

Se aplicó la fórmula:

$$\%H = \frac{\text{Peso del suelo Húmedo} - \text{Peso del suelo Seco}}{\text{Peso del suelo seco en estufa}} \times 100$$

El contenido de humedad que presento en las muestras se utilizó para calcular el factor de corrección (fc) al suelo seco al aire pesado, a suelo seco en estufa. Se multiplico el peso del suelo directamente por el factor. Esta operación eximia al resultado obtenido de cualquier otro ajuste por humedad.

$$fc = \frac{100-H}{100}$$

Donde:

fc: factor de corrección.

H: porcentaje de humedad del suelo seco al aire.

- **Determinación de la densidad aparente por el Método de la Probeta.**

Materiales: balanza de precisión, probeta de 100 cm³, un paño.

Procedimiento: se llevó hasta la marca una probeta previamente tarada de 100 cm³, con suelo seco al aire, molido y tamizado por malla 2 mm, y se pesó. Se dejó caer la probeta (5 veces) de una altura de 10-15 cm aproximadamente, sobre un paño para amortiguar

el golpe. Se leyó el volumen ocupado en la probeta. Se repitió el proceso tres veces para cada muestra, se tomó la media de las tres pesadas. Se corrigió el peso del suelo, se utilizó un coeficiente de ajuste por humedad (fc). Se dividió el peso del suelo (g) por el volumen (cm³) y se obtuvo la Da.

Se aplicó la fórmula:

$$Da = \frac{\text{Promedio de las tres pesadas (g)} \times fc - \text{tara de probeta (g)}}{\text{Promedio del volumen de la probeta (cm}^3\text{)}}$$

fc: factor de corrección por humedad.

● **Determinación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) por el Método de Acetato de Amonio 1N pH 7.**

Procedimiento: Se pesó 10 g. de suelo (tamizado por malla de 2 mm) y se colocó en un tubo de centrifuga de 250 ml de capacidad.

Saturación: Se agregó 100 ml de acetato de amonio 1N, se tapó y se agitó por 15 minutos. Se centrifugó a 2000 rpm durante 5 minutos. Se filtró el sobrenadante en matraz de 250ml. Se repitió la misma operación 4 veces con 50 ml de acetato de NH₄ por vez.

Se continuó con el siguiente procedimiento.

Determinación de Calcio y de Magnesio intercambiables por Complejometría con EDTA:

Reactivos: indicador calcon; solución reguladora de calcio, solución de cianuro de potasio, solución de versenato (EDTA disódica), solución reguladora para calcio + magnesio, indicador negro de Eriocromo.

Calcio intercambiable: se tomó 5 ml del filtrado (se explicó en el primer paso) y se llevó a un Erlenmeyer de 125ml. Se agregó 50 ml de agua destilada. Se agregó 2 ml de la solución reguladora de Ca, luego 2 gotas de indicador Calcon. Tomó una coloración de rojo vino, se valoró con EDTA 0,02N hasta que viró el indicador a azul. Se llamó V1 al volumen gastado.

Magnesio intercambiable: se tomó 5 ml del filtrado y se llevó a un Erlenmeyer de 125 ml. Se agregó 50 ml de agua destilada. Se agregó 2 ml de la solución reguladora para Ca + Mg. Se agregó 5 gotas de Eriocromo negro T, el líquido tomo una coloración rojo vino a turquesa. Se valoró con EDTA hasta que el indicador vire a azul. Se llamó V2 al volumen gastado.

Se aplicó la fórmula:

$$\text{meq Ca}^{+2}/100\text{g suelo} = \frac{V1 \times 0,02 \times fca \times 250\text{ml} \times 100}{\text{Alícuota} \times g \text{ de suelo}} \times fc$$

$$\text{meq Mg}^{+2}/100\text{g suelo} = \frac{V2 - V1 \times 0,02 \times fmg \times 250\text{ml} \times 100}{\text{Alícuota} \times g \text{ de suelo}} \times fc$$

V1: ml de EDTA gastados en la titulación de Ca⁺².

V2: ml de EDTA gastados en la titulación de Ca⁺² + Mg⁺².

N: normalidad de la solución.

250: ml de solución extractora utilizada.

Acidez intercambiable:

Reactivos: Cloruro de potasio 1N; solución complejadora de aluminio, fluoruro de sodio 1N; ácido clorhídrico 0,1N; hidróxido de sodio 0,1N; fenolftaleína al 1% en etanol.

Procedimientos:

Se pesó 10 g de suelo tamizado, en un tubo de centrifuga de 250ml. Se agregó 100ml de ClK 1N. Se tapó y se agito durante 30 minutos. Se centrifugó 5 minutos a 2500 rpm y se filtró el sobredante en un matraz de 100ml.

Se puso una alícuota de 50 ml en un erlenmeyer de 125 ml. Se agregó 4-5 gotas de fenolftaleína y se tituló agitando hasta que aparezca color rosado permanente.

Del mismo modo, se tituló el blanco, se tomó 50 ml de la solución de ClK y se procedió como ya se describió.

Al extracto que se tituló con NaOH, se agregó 1 gota de ClH 0,1N hasta que desapareció el color rosa, se adiciono 10 ml de FNa 1N. Se tituló con ClH 0,1N, hasta que desapareció el color rosado.

Se aplicó la fórmula:

$$meq\text{ acidez intercambiable}/100g\text{ suelo} = \frac{(m-b) \times N \times V \times 100}{a \times g}$$

$$meq\text{ Al}^{+3}\text{ intercambiable}/100g\text{ suelo} = \frac{ml\text{ ClH} \times N \times V \times 100}{a \times g}$$

$$meq\text{ H}^+\text{ intercambiable}/100g\text{ suelo} = \text{Acidez Inter.} - \text{Al}^{+3}\text{ Inter.}$$

Donde:

m: ml NaOH gastados en la muestra

b: ml NaOH gastados en el blanco

N: normalidad NaOH O ClK

V: volumen utilizado para la extracción

a: alícuota utilizada para la titulación

g: gramos de suelo utilizado

Se aplicó la fórmula:

$$CICE = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+ + H^+ + Al^{+3}$$

Conclusión:

Se adquirió experiencia en el acondicionamiento de muestras de suelo, en la determinación de la densidad de los suelos en muestras disturbadas por el Método de la Probeta y en la aplicación del Método del Acetato de Amonio 1N para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Bibliografía:

Acosta, MGL; RJ Gómez; SM Contreras Leiva; DM Toledo. Tasa de respiración en inceptisoles de la provincia de Corrientes bajo uso forestal. UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias. Cátedra de Edafología. Corrientes, Argentina

Agostini MA; MG Monterubianesi; GA Studdert & S Maurette. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. Ciencia del Suelo 32 (2):171-176.

- Baver LD; WH Gardner & WR Gardner. 1991. Física de suelos. Limusa. México. Pp.529.
- Dewis J y F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos N°10. FAO. Roma. Pp. 36-57.
- FAO & GTIS. 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS). Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. Roma, Italia.
- Fassbender HM. 1982. Química de Suelos. San José, Costa Rica. Pp. 119-164.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. El suelo es un recurso no renovable. Viale delle Terme di Caracalla. Roma, Italia. URL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Proinsa. 2011. Programa Nacional de Inter laboratorio de Suelos Agropecuarios (PROINSA). INTA de Pergamino.
- Porta, JM; M López-Acevedo, & C Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona. México. Pp. 227-247.
- Rampoldi A & E Buffa. Campus FCA-UNC. 2020. Edafología: Textura-Densidad- Porosidad. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=WgQYVvi2kaY>
- Rojas JM. 2017. Densidad aparente. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. URL: inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf
- Toledo, DM; F Paredes; S Arzuaga; TSR Montoya & S. M. Contreras. 2015. Análisis de suelo para uso agropecuario. UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias. Cátedra de Edafología. Corrientes, Argentina.
- Toledo, DM; JA Galantini; SM Contreras Leiva & S Vázquez. 2015. Stock de carbono y relaciones de estratificación como índice de calidad en oxisoles subtropicales. En: El Impacto de los Sistemas actuales de cultivo sobre las Propiedades Químicas del Suelo y sus efectos sobre los Balances de Carbono, De Sá Pereira E; G Minoldo & JA Galantini.
- Toledo DM; SM Contreras Leiva; CE Grancic & TS Rey Montoya. 2021. Indicadores e índices de calidad en suelos del chaco semiárido bajo sistemas naturales, agrícolas y foresto-ganadero. Revista Ciencia del Suelo.
- Tomei, CE; CM Hack y M Porta. 2006. Deficiencias de nutrientes minerales en suelos del Nordeste Argentino. Ensayos de invernadero. Instituto Agrotécnico "Pedro M. Fuentes Godo". FCA – UNNE. Resistencia–Chaco. Facultad de Ciencias Agrarias – UNNE. Agrotecnia 16. URL: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/418/356>
- Urinovsky Irigoyen, KM; SM Contreras Leiva; MGL Acosta; SA Arzuaga; DM Toledo. Estabilidad de agregados como indicador de calidad física en suelos del Chaco semiárido bajo distintos usos. UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias. Cátedra de

Edafología. Corrientes, Argentina. C1P31. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Tucumán 2018.

Agradecimientos:

Quiero agradecer a mi querida familia, por su apoyo y cariño incondicional durante toda la carrera.

A la Ingeniera Agrónoma Stella Contreras Leiva, por su calidez de persona y por ser una gran profesional que me brindó sus conocimientos desde el primer día que fui a la Cátedra de Edafología, en el 2015.

A mi directora de pasantía: Ing. Agr. (Dra.) Marcela Toledo, por sus conocimientos compartidos, su generosidad y profesionalismo.

A mi jurado de pasantía: Ing. Ar. (Mgter.) María de las Mercedes Yfran Elvira; (Mgter.) Mario A. Slukua; Ing. Agr. Nicolás H. Sugita.

A mis compañeros que son amigos que me regalo la Facultad.

A mis profesores de la Facultad de Ciencias Agrarias, de cada uno, he aprendido muchísimo.

A mi querida Facultad de Ciencias Agrarias, por haberme formado como profesional y persona.

Figuras.

A-Materiales para el acondicionamiento de las muestras de suelo:



Fig. 1: Muestras de suelo



Fig. 2: Tamiz, malla de 2 mm.

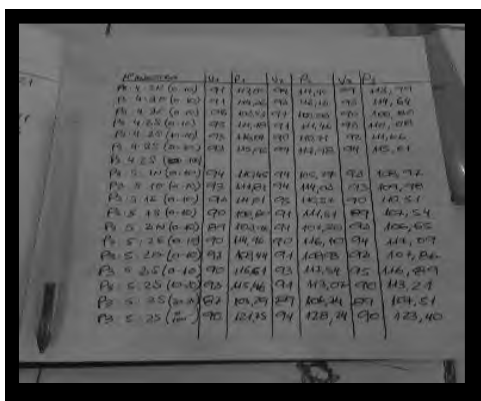
B-Materiales de trabajo para la determinación de Da.



Fig.3: Balanza analítica de precisión.



Fig. 4: Probeta de 100 cm³.



P (g)	V (cc)	P (g)	V (cc)	P (g)	V (cc)	P (g)	V (cc)	P (g)	V (cc)
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100
113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100	113,00	100

Fig. 5: Toma de datos, Volumen en cc (V), peso del suelo (P).

3- Materiales de trabajo para la determinación de CICE.



Fig. 6: Centrifuga.



Fig. 7: Empleo de balanza para pesar las muestras de suelo a analizar.



Fig. 8: Balanza



Fig. 9: Agitador.



Fig. 10: Solución reguladora para la determinación de calcio y magnesio.



Fig. 11: Filtro para obtener el extracto de CICE.



Fig. 12: Titulación. Color final en la determinación de calcio.



Fig. 13: Titulación. Color final en la determinación de calcio más magnesio.

En las tablas 1 y 2, se pueden observar valores promedio de las variables analizadas en suelos del NEA bajo diferentes sistemas, obtenidos durante el entrenamiento realizado con esta pasantía, en el laboratorio de la Catedra de Edafología en la Facultad de Ciencias Agrarias.

Tabla 1: Densidad aparente (Da).

Sistema	Profundidad (cm)	Da (g.cm ⁻³)
Forestación Pinos	0-10	1,16
Forestación Pinos	10-20	1,19
Forestación Pinos	20-30	1,23
Forestación Pinos	30-100	1,44
Pastizal natural	0-10	0,86
Pastizal natural	10-20	0,93
Pastizal natural	20-30	1,22
Pastizal natural	30-100	1,31

Tabla 2: Cationes intercambiables y CICE

Sistema	Prof.(cm)	Ca ⁺² (cmolc. kg ⁻¹)	Mg ⁺² (cmolc. kg ⁻¹)	K ⁺ (cmolc. kg ⁻¹)	Na ⁺ (cmolc. kg ⁻¹)	H ⁺ (cmolc. kg ⁻¹)	Al ⁺³ (cmolc. kg ⁻¹)	CICE (cmolc. kg ⁻¹)
Monte a	0-10	15,71	2,94	2,73	0,18	0,07	0,10	21,63
Monte b	10-20	13,69	3,71	1,74	0,15	0,09	0,10	19,38
Monte c	20-30	11,92	4,18	1,50	0,10	0,012	0,10	17,82
Silvopastoril a	0-10	7,23	3,18	2,97	0,19	0,07	0,10	13,64
Silvopastoril b	10-20	9,07	5,14	2,26	0,18	0,07	0,10	16,72
Silvopastoril c	20-30	9,18	4,59	1,43	0,17	0,11	0,10	15,48
Agrícola a	0-10	7,42	2,90	1,33	0,08	0,06	0,10	11,79
Agrícola b	10-20	7,64	1,67	1,27	0,05	0,07	0,10	10,70
Agrícola c	20-30	7,68	2,82	1,28	0,05	0,06	0,10	11,89