

Monitoreo de indicadores de servicios ecosistémicos
**Indicadores de evolución del suelo de la intervención realizada por la
DElyAS de ACUMAR sobre el Arroyo Morales**
VERANO 2023

Sofía Fantoni, Mauro Sanchez, Celeste Merino, Lucila Sandri, Griselda Polla, Vera Mignaqui
Grupo de Vinculación y Transferencia Tecnológica
Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Universidad Nacional de San Martín

Contenido

Introducción	1
Objetivos	2
Relevamientos y resultados compartidos en este informe	2
Marco teórico	2
Metodología	6
Resultados y Discusión	9
Bibliografía	13
Anexo	14

Introducción

El grupo de Vinculación y Transferencia Tecnológica del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental de la Escuela de Hábitat y Sostenibilidad de la Universidad Nacional de San Martín aceptó la convocatoria del equipo de la Dirección de Evaluación de Impacto Ambiental y Social de ACUMAR para hacer monitoreo del suelo en el área intervenida por ACUMAR del paseo “Batalla de Villamayor” en la Cuenca del Arroyo Morales en Marcos Paz, provincia de Buenos Aires. La intervención, que implicó el tapado del basural a cielo abierto y la plantación de nativas, se realizó a fines del año 2018 (ACUMAR, 2018, 2019; DEyIAS-ACUMAR 2019). La intención de la intervención, entre otras, fue la de aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo de modo de mejorar las condiciones para un correcto desarrollo de flora y fauna como para una disminución de la escorrentía aguas abajo.

El presente trabajo se enmarca en el correspondiente informe de indicadores de suelos del 6° Informe del acuerdo al Protocolo Complementario al Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional para el segundo programa de trabajo de monitoreo de indicadores y servicios ecosistémicos en intervenciones en la Cuenca Matanza Riachuelo para el caso de los indicadores de calidad de suelo.

Objetivos

El objetivo del trabajo solicitado es evaluar la eficiencia de la intervención realizada sobre la calidad del suelo de tapada colocado sobre el ex-basural a cielo abierto que estaba ubicado en el predio, luego que este suelo fuera intervenido con la plantación de nativas. La finalidad del estudio es hacer un seguimiento de la evolución de varios parámetros y analizar el efecto de la intervención sobre las características del mismo.

Mediante el monitoreo periódico y sistemático se evaluará la evolución de los siguientes parámetros en el suelo del predio:

- Textura
- Conductividad hidráulica por infiltración
- Densidad aparente
- pH
- Capacidad buffer
- Carbono orgánico total y materia orgánica
- Capacidad de Intercambio Catiónico
- Humedad
- Fosfatos solubles en medio acuoso
- Porcentaje de Nitrógeno

Relevamientos y resultados compartidos en este informe

Este trabajo presenta los resultados del análisis de las muestras tomadas a fines del año 2018 como tiempo inicial de referencia (t0), 6 meses como primer punto de evolución de características del suelo (t1), en enero 2020 como segundo punto de evolución (t2), en diciembre 2020 y febrero 2021 como tercer punto de evolución (t3), febrero 2022 (t4) y febrero 2023 (t5)

Marco teórico

El servicio ecosistémico de interés para este trabajo es la calidad del suelo de modo de mejorar las condiciones de retención hídrica y el desarrollo de flora y fauna. Los indicadores usados para medir estas propiedades son, entre otros, Textura, Conductividad hidráulica por infiltración, Densidad aparente, pH, Capacidad buffer, Carbono orgánico total y materia orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico.

Textura

La textura del suelo es la proporción (porcentaje en peso) de arena, limo y arcilla en la fracción de tierra fina (≤ 2 mm). Las arenas son partículas minerales con un rango de tamaño de 2 a 0,06 mm, el limo de 0,06 a 0,002 mm y las partículas de arcilla de menos de 0,002 mm, como se indica en la escala de Wentworth (1922). La clase textural correspondiente se determina en función a la proporción de cada una de estas franjas de tamaño (arena, limo y arcilla) (Soil Survey Staff, 2009), pudiendo ser arcilloso, arenoso, limoso, franco o combinaciones de los mismos. (Ciancaglini, s.f.)

La importancia de conocer la distribución porcentual de las distintas fracciones granulométricas está relacionada a la capacidad de retención e infiltración de agua, y con ello al tamaño de poros, a la capacidad de intercambio catiónico y reguladora de pH (Kloster, 2017). Por ejemplo, los

suelos de textura gruesa (arena fina o más grande) se calientan más rápido en primavera. Los suelos con texturas más finas (arcillas) retienen el agua y los nutrientes mejor que las texturas gruesas. Los suelos arenosos suelen tener buena aireación, pero no pueden retener bien el agua. Por lo tanto, tanto el agua como los nutrientes pueden filtrarse fácilmente a través de los mismos. Los suelos arcillosos retienen más agua y nutrientes que la arena, pero presentan poca infiltración y menos oxígeno para la planta debido al menor espacio poroso que los de texturas más gruesas. Los suelos de textura media o franca son los ideales, ya que contienen agua, nutrientes y oxígeno en un equilibrio de arena, arcilla y materia orgánica (NRCS). Entre las texturas de suelo medio se encuentran las siguientes: franca-arenosa, franca-limosa, franca-arcillosa-arenosa y la franca, esta última es considerada la textura deseable en el presente caso de análisis (Ciancaglini, s.f.).

Conductividad hidráulica por infiltración

La conductividad hidráulica se refiere a la propiedad del suelo de permitir el movimiento del agua en su interior. Esta propiedad es mayor en suelos de gran porosidad y aumenta con la conectividad de los poros (arena gruesa, grava y suelos estructurados). El flujo del agua a través de la superficie del suelo se conoce como infiltración. La velocidad de infiltración indica qué tan rápido el agua ingresa en el suelo y se suele medir en milímetros o centímetros por hora. La velocidad de infiltración depende de la textura del suelo (cantidad de arena, limo y arcilla), de la estructura del suelo, de la pendiente del terreno, entre otros. Suelos en buenas condiciones tienen estructuras de agregados con poros conectados que llegan hasta la superficie. Como resultado, el agua de lluvia ingresa prontamente al medio. La importancia de una buena infiltración reside en el hecho que el suelo sirve de reservorio de agua para el crecimiento de las plantas. La recarga del contenido de humedad biodisponible se realiza mediante la infiltración. Asimismo, la infiltración permite la recarga de los acuíferos que a su vez constituyen un recurso de agua dulce subterránea.

Por otro lado, los suelos degradados suelen tener una infiltración reducida, una mayor escorrentía y son más compactos. Una excesiva compactación, una textura arcillosa o bien la falta de poros interconectados impiden que el agua infiltre y la obligan a trasladarse de manera superficial por escorrentía bajo las pendientes del terreno o bien a estancarse en charcos, donde se evapora. En consecuencia, menos agua es almacenada en el suelo, disponible para ser absorbida por las raíces de las plantas. Esto reduce el crecimiento de las mismas, resultando en menos materia orgánica en el suelo y debilitando su estructura, lo que puede disminuir aún más la tasa de infiltración. A su vez, la escorrentía puede provocar o empeorar la erosión del suelo o la formación de surcos o cárcavas en el terreno. El agua que escurre en forma superficial puede también transportar nutrientes, materia orgánica o contaminantes, que, junto con sedimentos puede impactar en la calidad del agua de los cuerpos superficiales cercanos. La escorrentía excesiva puede ocasionar inundaciones aguas abajo, erosionar las riberas de arroyos y dañar los accesos. La confluencia de la escorrentía de pendientes adyacentes puede saturar de agua los suelos en áreas bajas o incluso crear lagunas o charcos que inhiben el crecimiento de plantas terrestres (Moore, 2001), entre otros. Así, niveles moderados de infiltración son los más deseados para favorecer el desarrollo de materia orgánica y promover las condiciones para mejorar la calidad del suelo.

Densidad aparente

La densidad aparente (DAP) es un parámetro que describe la compactación y porosidad del suelo, y está relacionada con la textura. La densidad aparente tiene como una gran ventaja ser un parámetro de poca variabilidad entre repeticiones y de fácil determinación. Se calcula como el peso seco del suelo dividido por su volumen. Este volumen incluye el volumen de partículas de suelo y el volumen de poros entre las partículas de suelo.

Según la textura del suelo se han establecido valores críticos máximos de DAP por encima de los cuales el crecimiento y oxigenación de las raíces se ve impedido. Así también se presentan valores por debajo de los cuales la densidad favorece el crecimiento (USDA, 2008). Entonces, para favorecer el desarrollo de flora es deseable tener bajos niveles de densidad aparente.

pH

El pH del suelo representa la concentración de iones hidrógeno (H^+) de la fase acuosa del suelo, lo cual tiene un efecto marcado sobre la fertilidad del mismo. Es una medida de las propiedades químicas del suelo, ya que si éste es ácido, neutro o básico lo es en función de la solubilidad de

iones en los sitios de intercambio, de la actividad microbiana, del contenido de materia orgánica, de los minerales que lo constituyen, de las condiciones climáticas, ambientales, del manejo del suelo, etc. En función de este pH los suelos pueden clasificarse según distintos grados de acidez, neutralidad o alcalinidad (Soil Survey Division Staff, 1993 citado en Soil Survey Staff, 2009).

La acidificación del suelo constituye un grave problema para el desarrollo vegetal y microbiológico del suelo. La acidez elevada aumenta la solubilidad del aluminio y del manganeso a niveles que pueden ser tóxicos y además genera cambios en la disponibilidad de varios nutrientes (Moore, 2001). Por otro lado, los suelos alcalinos pueden exacerbar la naturaleza dispersiva de las arcillas (Soil Survey Staff, 2009). En consecuencia, el rango ideal para el desarrollo de la mayoría de los cultivos está en un pH medio neutro (HACH Co., 1993; Ryan et al., 2001 citados en Soil Survey Staff, 2009).

Capacidad buffer

La capacidad buffer o de amortiguación es la capacidad del suelo para resistir los cambios en el pH después de la adición de un ácido o una base. Puede definirse como la tasa de adición de ácido o álcali (por ejemplo, cal) por unidad de cambio en el pH del suelo. Se refiere a las cantidades de iones H^+ presentes en los sitios de intercambio de fracciones de arcilla y materia orgánica de los suelos (Moore, 2001). Esta propiedad aumenta la resiliencia del suelo frente a cambios externos y contribuye a su estabilidad. Cuanto mayor es la capacidad buffer, más se dice que el suelo podrá amortiguar los cambios en el pH (Carter & Gregorich, 2008).

Carbono orgánico total y materia orgánica

La materia orgánica del suelo está constituida por una larga serie de compuestos carbonados, en diferentes estados de degradación y síntesis, provenientes de restos vegetales, animales y de la propia biota que en el mismo se desarrolla. Como el carbono es el elemento principal presente en la materia orgánica del suelo, su determinación permite estimar el contenido de materia orgánica mediante un factor de conversión (58% del Carbono Orgánico Total es Materia Orgánica). En este trabajo usaremos el Carbono Orgánico Total (COT) como medida representativa del contenido de Materia Orgánica.

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996 citado en FAO, 2002). La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo, así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (FAO, 2002). La captura de carbono en los suelos agrícolas se contrapone al proceso de desertificación, por medio del papel que juega el incremento de la materia orgánica sobre la estabilidad de la estructura -resistencia a la erosión hídrica y eólica- y a la retención de agua, y al aspecto esencial de la cobertura de la superficie del suelo directamente por las plantas o por los residuos de las plantas -o cobertura muerta- para prevenir la erosión e incrementar la conservación del agua (FAO, 2002). Por último, la materia orgánica, al incrementar la calidad del suelo, también tiene una función protectora al fijar los contaminantes -ya sean orgánicos como los pesticidas o minerales como los metales pesados o el aluminio- los cuales, en general, disminuyen en su toxicidad (FAO, 2002). En consecuencia, un aumento en la calidad del suelo implica un aumento del carbono orgánico total (COT) y de la materia orgánica contenida. Así un suelo de mayor calidad, tendrá un valor más alto de COT y, en consecuencia, de materia orgánica.

Por último, es importante mencionar que el cambio climático que atraviesa el mundo hoy en día es producto del incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera derivados de la acción antrópica. Sus efectos negativos (aumento de la temperatura media global, aumento del nivel del mar, aumento de severidad y frecuencia de eventos extremos) ya han comenzado a perjudicar a numerosas comunidades vulnerables (IPCC, 2014). Es así como resulta entonces esencial que sean tomadas medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la vegetación (FAO, 2002). Una de las estrategias disponibles para mejorar la resiliencia de los agroecosistemas es aumentar las reservas de

materia orgánica del suelo (MO), las cuales están relacionadas con efectos significativos directos en sus propiedades y con un impacto positivo sobre las cualidades ambientales o agrícolas y sobre la biodiversidad. Las consecuencias incluirán mayor fertilidad del suelo y mayor productividad de la tierra para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (FAO, 2002 citado en Wilson, 2017) cumpliendo así con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015).

Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) mide el total de cationes que se pueden mantener en el complejo de intercambio del suelo. Depende del contenido de arcilla y de la mineralogía de la arcilla presente, ya que el incremento de la fracción de arcillas mejora el proceso de adsorción de cationes que ella realiza. La materia orgánica, en particular las sustancias húmicas, contribuye significativamente a la CIC. La CIC puede medirse directamente determinando la cantidad de cationes intercambiados de la solución de extracción.

La CIC se utiliza como medida de la fertilidad del suelo, de la capacidad de retención de nutrientes y la capacidad de proteger las aguas subterráneas de la contaminación por cationes (FAO, 2019). Los valores altos indican que el suelo tiene buena capacidad para almacenar cationes requeridos para la nutrición de las plantas, mientras que los valores bajos indican una capacidad pobre de almacenaje.

Humedad

El agua es esencial para todos los seres vivos porque en forma molecular participa en varias reacciones metabólicas celulares, actúa como un solvente y portador de nutrientes desde el suelo hasta las plantas y dentro de ellas. Además, intertemperiza las rocas y los minerales, ioniza los macro y micronutrientes que las plantas toman del suelo, y permite que la materia orgánica sea fácilmente biodegradable. El contenido de agua en el suelo puede ser benéfico, pero en algunos casos también perjudicial. El exceso de agua en los suelos favorece la lixiviación de sales y de algunos otros compuestos; por lo tanto, el agua es un regulador importante de las actividades físicas, químicas y biológicas en el suelo (Topp, 1993).

Fosfatos solubles en medio acuoso

El fósforo elemental (P) no se encuentra en estado libre en la naturaleza porque se oxida muy fácilmente; sin embargo, son muy comunes los compuestos orgánicos y principalmente minerales que contienen fósforo. El P es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio. Puede ser un nutriente limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos. Los análisis de P sirven fundamentalmente para el control de la dosificación de productos químicos en tratamientos de agua o suelos, o como un medio para determinar que un sistema presenta contaminación por exceso de este compuesto (Muñoz et al., 2000).

Nitrógeno total

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos. Es también uno de los elementos más abundantes de la Tierra, pues en su forma gaseosa (N₂) constituye 78% de la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire.

Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos. Cuando dichos organismos se mueren, el nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo. En los microorganismos la carencia de nitrógeno puede afectar el crecimiento, por lo que la población microbiana no tendrá un desarrollo óptimo. En contraste, demasiado nitrógeno permite el crecimiento microbiano rápido y acelera la descomposición; pero puede crear problemas de olor en condiciones anaerobias. Además, el exceso de nitrógeno puede ser liberado como amoníaco; en tanto que el nitrógeno aprovechable escapará en forma de gas. (Muñoz et al., 2000).

En resumen, en busca de un suelo de calidad que favorezca la retención hídrica y el consecuente desarrollo de microorganismos, flora y fauna, los parámetros bajo consideración deben presentar valores en los rangos descritos en la Tabla 1 que se presenta a continuación:

Tabla 1: Clasificación de las propiedades del suelo (elaboración propia en base a Moore, 2001).

Parámetro	Valor deseable
Textura	Franca
Conductividad hidráulica (CH) por infiltración	Moderada: 0,5-13 cm/h
Densidad aparente (DAP)	Baja: menor a 0,9 g/cm ³
pH	Medio 6,5-7,5 upH
Capacidad buffer	Alta: mayor a 2 Cmol H ⁺ /kg/pH
Carbono orgánico total (COT)	Alto: mayor a 2%C
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Alto: mayor a 15 Cmol/kg
Humedad	Típica: 28-39,8%
Fosfatos solubles en medio acuoso	Alto: mayor a 30 mg/kg
% Nitrógeno	Medianamente pobre 0.064 - 0.095

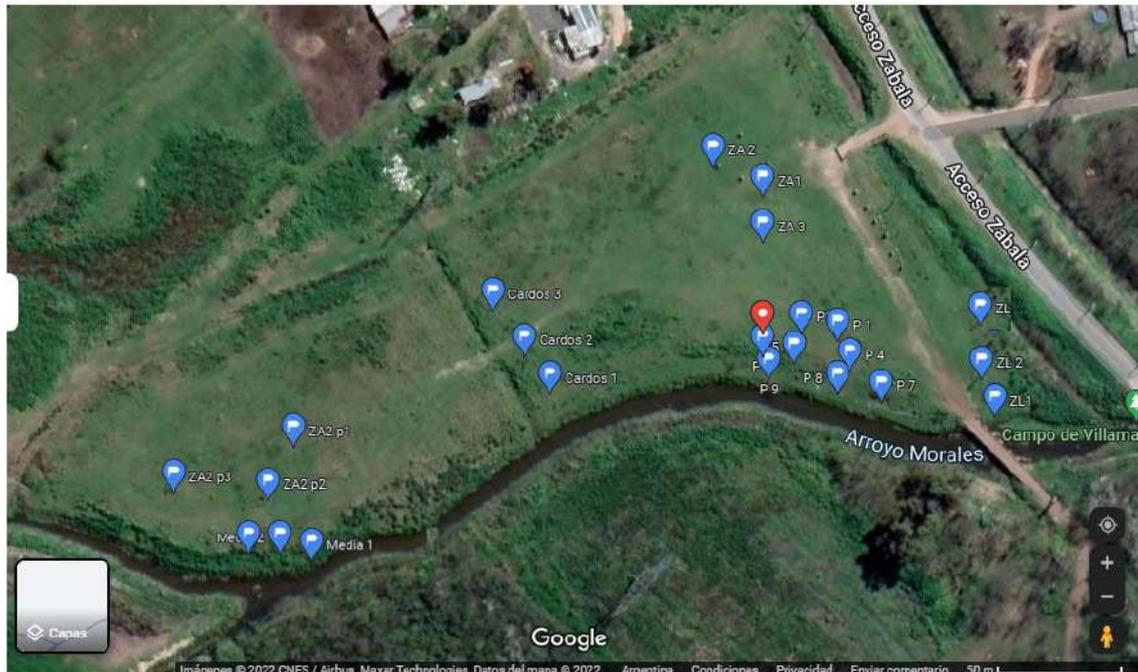
Fuente: Elaboración propia

Metodología

Toma de muestras

Los suelos naturalmente son muy heterogéneos y pueden presentar grandes variabilidades espaciales (horizontal y vertical). Los análisis químicos emplean alícuotas de entre 1 y 10 gramos de muestras de suelo de 500 gramos. Dicha alícuota puede llegar a representar cerca de 2.400.000 kg que hay en una hectárea (teniendo en cuenta los primeros 20 cm de profundidad) (UNT, 2017). Es por ello que la etapa más crítica dentro de una caracterización de suelos suele ser el muestreo ya que en esta etapa se puede introducir el mayor error en los resultados finales ya que si la muestra no es representativa del área de estudio, los resultados de laboratorio tendrán poco valor. Por estas razones, existen consideraciones básicas que deben tenerse en cuenta para efectuar un buen muestreo de suelos (UNT, 2017). Éstas incluyen: la correcta zonificación de la superficie a muestrear, en base a áreas homogéneas en base al tipo de suelo, condiciones topográficas, apreciación visual del color superficial, textura, tipo de vegetación, riesgo de inundación, manejo y grado de intervención (Servicio Agrícola y Ganadero, 2010). Teniendo en cuenta estas consideraciones y bajo especificaciones de los requerimientos establecidos en la solicitud del trabajo realizado por ACUMAR es que se tomaron muestras en distintos puntos de muestreo según se detallan en la Figura 1:

Figura 1: Ubicación de los puntos de muestreo del predio Batalla de Villamayor.



Fuente: Elaboración propia en base a GoogleEarth

El muestreo se realizó el día 22 de febrero de 2023. El mismo fue superficial, en cada punto se tomaron aproximadamente 500 g de suelo de una profundidad de 0 a 12 cm. Cada muestra fue almacenada en una bolsa hermética correctamente identificada con la información del punto de muestreo. Todas las muestras se mantuvieron en heladera refrigerada para su transporte y fueron almacenadas en la cámara de refrigeración a 4°C.

Los distintos puntos de muestreo espacial pueden clasificarse según su objetivo de representación del área de estudio, así tenemos:

- los puntos 1 a 3 al costado del camino, paralela a la línea del talud, que conforman la transecta T1 correspondiente a la zona riparia.
- los puntos 4 a 6 paralela a la base del talud de tierra que conforman la transecta T2 correspondiente a la zona de ribera.
- los puntos 7 a 9 en el borde costero, paralela a la línea de costa frente al Arroyo Morales que conforman la transecta T3 correspondiente a la zona de borde.
- los puntos ZA 1, ZA 2 y ZA 3 se componen como Zona Alta (ZA), representando la zona elevada del terreno, entre los dos caminos de circulación para vehículos.
- los puntos "cardos" se tomaron en un sector colocado encima del basural pero en una zona no intervenida, para poder comparar los resultados obtenidos de la zona de intervención.
- los puntos ZL1, ZL2 y ZL3 se tomaron en puntos lindantes al predio entre los puentes existentes. Se rotuló como "Zona Libre (ZL)" ya que se trata de puntos en los que nunca se enterró basura.
- los puntos ZA2 p1, ZA2 p2 y ZA2 p3 componen la muestra "Zona alta 2 (ZA2)". Se toma en la parte alta del segundo cuerpo del predio, donde anteriormente estuvo la parte más alta del basural según análisis de QGIS
- los puntos Media 1, Media 2 y media 3 componen la muestra "Zona media (ZM)". Esta es la zona media de la loma cercana a la Zona Alta 2.

Tabla 2: Georreferencias de los puntos de muestreo

Punto	S	W	Punto	S	W
1	34 50 17.8	58 50 05.2	ZL 1	34 50 18.8	58 50 02.7
2	34 50 17.7	58 50 05.8	ZL 2	34 50 18.3	58 50 02.9
3	34 50 17.7	58 50 06.4	ZL 3	34 50 17.7	58 50 02.9
4	34 50 18.2	58 50 05.0	Media 1	34 50 20.7	58 50 13.6
5	33 50 18.1	58 50 05.9	Media 2	34 50 20.6	58 50 14.1
6	34 50 18.0	58 50 06.4	Media 3	34 50 20.6	58 50 14.6
7	34 50 18.6	58 50 04.5	Cardos 1	34 50 18.5	58 50 09.8
8	34 50 18.5	58 50 05.2	Cardos 2	34 50 18.0	58 50 10.2
9	34 50 18.3	58 50 06.3	Cardos 3	34 50 17.4	58 50 10.7
ZA 1	34 50 15.9	58 50 06.4	ZA2 p1	34 50 19.2	58 50 13.9
ZA 2	34 50 15.5	58 50 03.2	ZA2 p2	34 50 19.9	58 50 14.3
ZA 3	34 50 16.5	58 50 06.4	ZA2 p3	34 50 19.8	58 50 15.8

Fuente: Elaboración propia

Las distintas zonas del predio tuvieron la intervención correspondiente al tapado del basural con suelo, por lo que no es un suelo autóctono. En el caso de la zona alta y transectas, también tuvieron la intervención con plantas nativas. En el caso de las zonas de cardos, zona media y zona alta 2 solamente se tapó con suelo, pero no hubo plantación de nativas, sin embargo en estas zonas se evidencia el pastoreo de vacunos y presencia de animales muertos. En el caso de la zona libre, no tuvo ni basural ni su correspondiente intervención.

Se realizaron muestreos en el mes de diciembre del año 2018 como muestras representativas a tiempo cero (t0), antes que la intervención tuviera efectos sobre el suelo, durante el mes de mayo del año 2019 como primer punto de monitoreo (t1), en enero 2020 como segundo punto de muestreo (t2), en diciembre 2020/febrero 2021 como tercer punto temporal de muestreo (t3), en febrero 2022 (t4) y finalmente en febrero 2023 (t5)

Es importante aclarar que para que los resultados de monitoreos de suelos sean concluyentes deben realizarse en períodos de tiempo mayores a los 2 años como mínimo. La mayoría de los encuestados en Wilson (2017) en cuanto a los intervalos de muestreo y la periodicidad de evaluación de indicadores como los considerados en este estudio recomiendan intervalos de al menos 2 a 4 años. Con esto en consideración, los primeros puntos de muestreo establecen la línea de base del presente trabajo de monitoreo y a partir del tercer punto temporal de monitoreo (t3) podemos empezar a considerar los resultados como indicativos de la tendencia que se quiere observar.

Caracterización de las muestras

La caracterización del suelo se hizo a través de metodologías de ensayo estandarizadas según el detalle mostrado a continuación en la Tabla 3:

Tabla 3: Métodos de determinación analítica de parámetros de estudio.

Análisis Físicoquímico	Método
Textura	Laser diffraction (Shimadzu- Sald 3001- particle size analyzer
Conductividad hidráulica por infiltración	USDA-NRCS SSM N°51 Method 3.6.1
Densidad aparente	ASTM F 1815 – 97
pH	EPA 9045D
Capacidad buffer	Australia Western Agriculture Bulletin No. 4343 - 5.1.2 ^a
%Carbono Orgánico Total	IRAM 29571-2:2011
Capacidad de intercambio Catiónica (CIC)	EPA 9080
% Humedad	SM 2540G
Fosfatos Solubles en medio acuoso	IRAM-SAGyP 20570-1
% Nitrógeno total	IRAM-SAGyP 29572:2018

Fuente: Elaboración propia

Resultados y Discusión

Se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro para cada muestra compuesta analizada durante las diferentes campañas. Además, en la tabla del anexo se presentan los resultados completos. Los parámetros que no pudieron determinarse para algunos tiempos se identificaron con las letras SD, en referencia a Sin Datos. La ausencia de datos en estos puntos se corresponde con distintas situaciones, p.ej., puntos de muestreo espacial o parámetros que no estaban definidos al comienzo del trabajo y fueron agregadas en campañas posteriores, impedimentos para muestrear durante las restricciones impuestas debido a la pandemia de COVID-19.

A continuación, se analizarán los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros de las muestras tomadas del suelo agregado para tapar el ex basural a cielo abierto y la zona adyacente al mismo en el predio paseo “Batalla de Villamayor” en la Cuenca del Arroyo Morales en Marcos Paz, provincia de Buenos Aires.

Figura 2: Análisis breve y gráfico de barras de resultados en el tiempo para cada parámetro analizado (eje Y) en los puntos de muestreo (eje X).

En el caso de la **textura**, todavía no hay una tendencia clara, pero podría identificarse una leve modificación desde franco-limoso a una textura del tipo limosa. Sin embargo, esto debe evaluarse aún con más puntos temporales.

Al analizar la **conductividad hidráulica por infiltración**, la mayoría de los puntos muestreados se encuentran dentro de los valores deseables. Existen 2 puntos en que los valores observados se encuentran por encima del valor deseable máximo, esto se debe a dificultades en el análisis

in situ y por esto, no son tenidos en cuenta. La variación en la infiltración entre los muestreos de este año y el pasado coincide con los cambios observados en la textura del suelo.

En el caso de la **densidad aparente** todos los puntos están dentro de lo deseable. En general, los valores obtenidos presentan una tendencia a la disminución, salvo la Zona Alta 2 y Zona Media pero deben evaluarse más puntos temporales para sacar conclusiones definitivas.

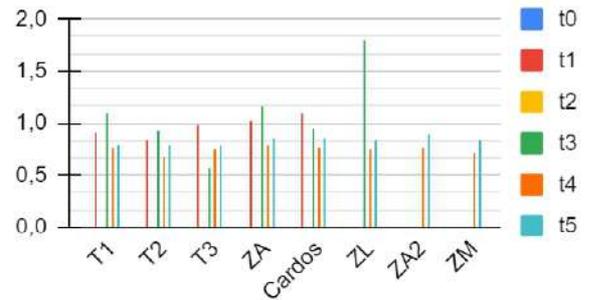
El **pH** a lo largo de los años de análisis se encontraba en el rango deseable en todos los casos. En el último muestreo se observó un aumento generalizado en todos los puntos.

La **capacidad buffer** en cuanto a la tendencia temporal, se observa una mejora en todos los sitios, alcanzando valores deseados en las zonas T1, T2 y Zm, salvo en la zona libre que se aleja del rango deseable.

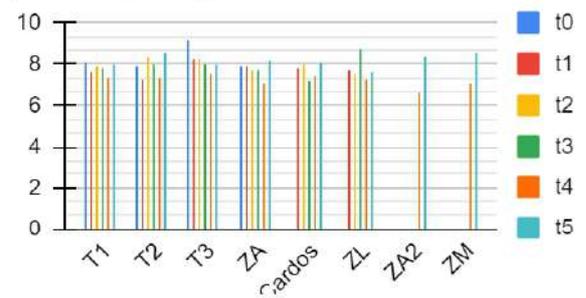
Infiltración 0.5-13cm/h



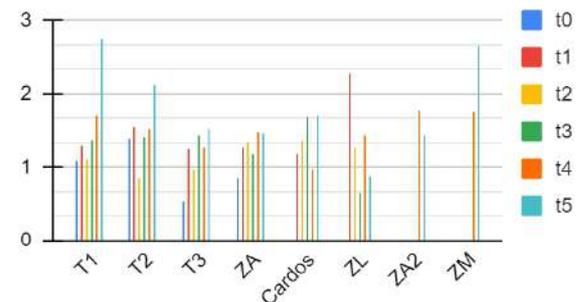
DAP < 0.9 g/cm³



pH = 6,5- 7,5



Capacidad Buffer >2 Cmol H⁺/kg/pH



El

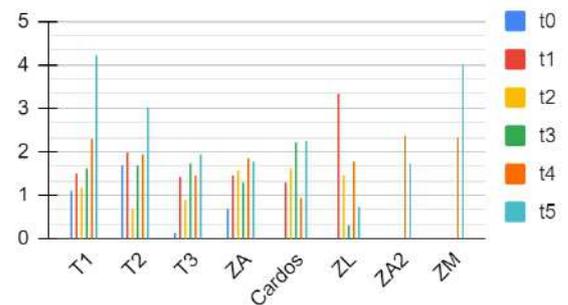
carbono orgánico total se encuentra en el rango deseable en la mayoría de los sitios, salvo para la zona libre donde hay una disminución de este parámetro. Se observa una tendencia de mejora en el tiempo acercándose a lo deseable.

En el caso de la **Capacidad de Intercambio Catiónico**, todos los valores están dentro de lo deseable.

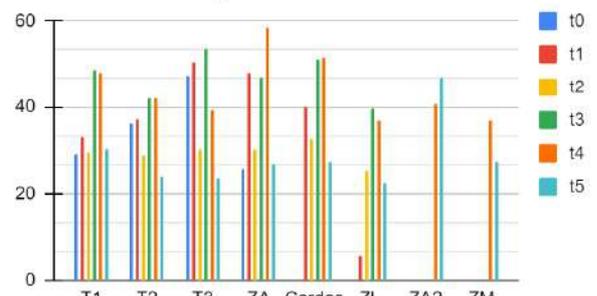
El porcentaje de humedad en todos los puntos resultó más bajo que el valor típico del suelo natural. Cabe destacar que el muestreo se realizó en un día de mucho calor y alejado de precipitaciones.

En cuanto al análisis de **Fosfatos solubles en medio acuoso** en todos los puntos se observaron altos valores, muy superiores a los esperados en un suelo natural con un contenido muy bueno de este macronutriente (Cosentino, 2013). Estos resultados, son interesantes debido a la alta disponibilidad de este macronutriente para la biota que habita. La alta concentración de fósforo hallada podría provenir de residuos orgánicos que se dispusieron cuando el sitio funcionaba como relleno sanitario, del uso actual como sitio de pastoreo de vacas, o también podría ser proveniente de la fumigación en campos linderos.

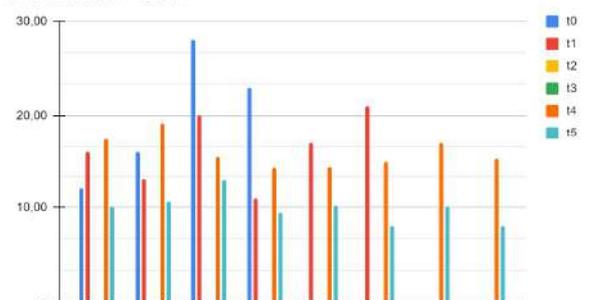
%COT > 2



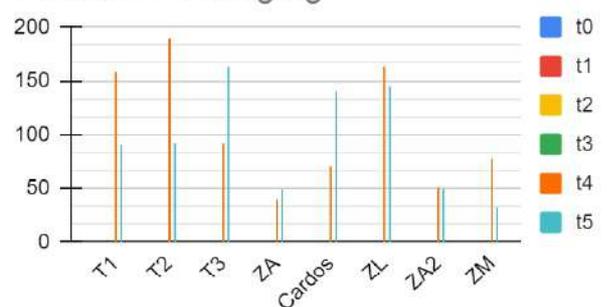
CIC > 15 cmol/kg



% Humedad > 28%

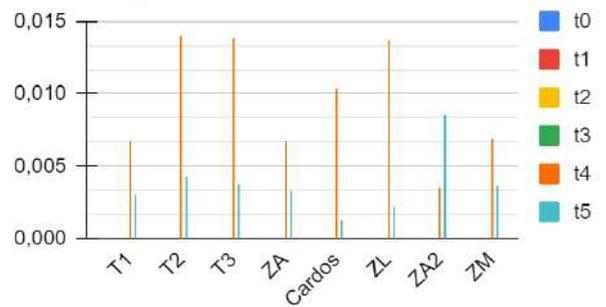


Fósforo > 30 mg/kg



El % de **Nitrógeno** se midió en las últimas dos campañas. Los valores observados están muy por debajo de un suelo típico.

% Nitrógeno > 0,064



Fuente: Elaboración propia

Al observar el área intervenida durante los relevamientos se observa una mejora en todas las zonas, con gran presencia en cantidad y variedad de flora y fauna. De cualquier manera, siempre es relevante mencionar que el muestreo de suelos implica la toma de muestras con características muy heterogéneas por lo que la observación de tendencias claras puede llegar a requerir más tiempo que en otras matrices.

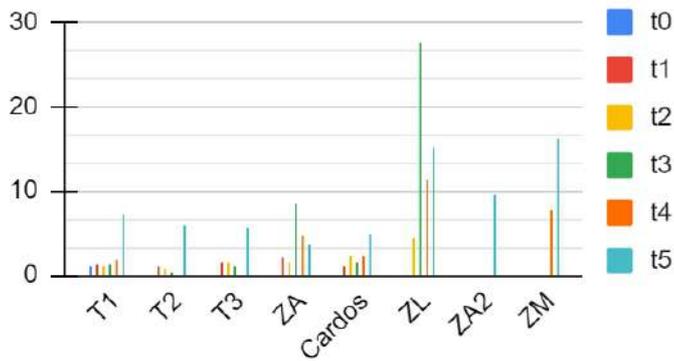
Cabe destacar que en la campaña de este año, se observó en el terreno la intervención antrópica a través de la poda de árboles y corte de arbustos y pasto. Además se destaca la presencia de ganado en la zona y la sequía extrema que afecta a todo el territorio nacional.

Bibliografía

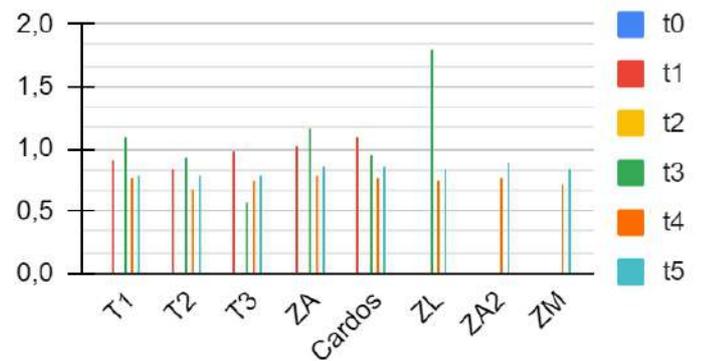
- ACUMAR. (06 de Junio de 2018). *Cerramos el basural de Marcos Paz*. Obtenido de ACUMAR Prensa: <http://www.acumar.gov.ar/prensa/cerramos-basural-marcos-paz/>
- ACUMAR. (14 de Febrero de 2019). *Se consolidan las acciones de restauración ecológica en el exbasural de Marcos Paz*. Obtenido de ACUMAR Prensa: <http://www.acumar.gov.ar/prensa/se-consolidan-las-acciones-restauracion-ecologica-exbasural-marcos-paz/>
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Second edition. Canadian Society of Soil Science.
- Ciancaglini, N. (s.f.). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. San Juan: PROSAP.
- Cosentino, D. J. (2013) *Prácticas edafológicas con fines didácticos*. Facultad de agronomía de la universidad de Buenos Aires
- DEIAS - ACUMAR. (2019). *Intervenciones DEIAS: Proyecto Reconstrucción Ambiental a través de Biocorredores*. Buenos Aires: ACUMAR.
- FAO. (2002). *Informe sobre recursos mundiales de suelos. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma: FAO.
- FAO. (2019). *Chemical Properties*. Obtenido de FAO Soil Portal: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-classification/numerical-systems/chemical-properties/en/>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014. Synthesis Report: Summary for Policymakers*. IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
- Kloster, N. (2017). *Métodos de análisis e implementación de Calidad en el Laboratorio de Suelos*. Anguil: Ediciones INTA.
- Moore, G. (2001). *Soil Guide - A handbook for understanding and managing agricultural soils*. Perth: Agriculture Western Australia Bulletin No. 4343.
- Muñoz I. D. J., Mendoza C. A., López G. F., Soler A. A., Hernández M. M. M. 2000 Manual de análisis de suelo. Edafología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM, México.
- NRCS. (s.f.). *Soil Textural Triangle KEY - NRCS*. Obtenido de National Resource Conservation Service: https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=nrcseprd1206814&ext=docx
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2010). *Protocolo de toma de muestras de suelos*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- Soil Survey Staff. (2009). *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 1.0*. Lincoln: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Topp G. C. 1993. Soil water content. In: soil sampling and methods of analysis. Martin R. Carter Editor. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Pp. 541-557.
- UNT. (2017). *Guía de estudio: Análisis de suelos*. Universidad Nacional de Tucumán.
- USDA. (2008). *Soil Quality Physical Indicator Information Sheet Series. Bulk density*. USDA.
- Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1195/html/docs/images/chart.pdf>
- Wilson, M. G. (2017). *Manual de indicadores de la calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. Entre Ríos: Ediciones INTA.

Anexo

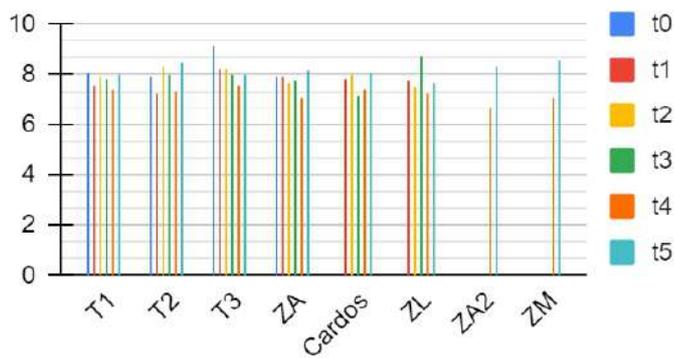
Infiltración 0.5-13cm/h



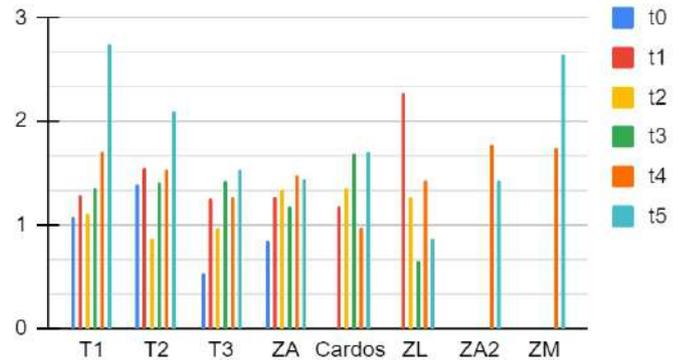
DAP < 0.9 g/cm³



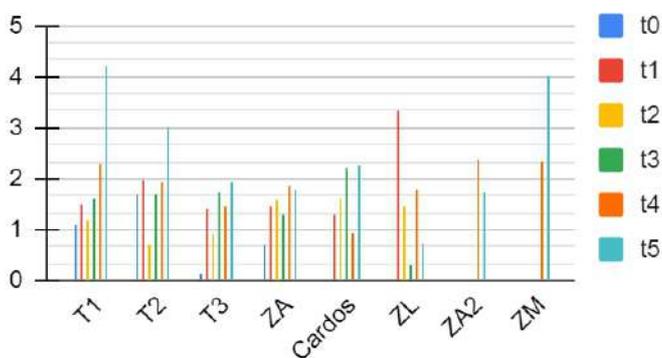
pH = 6,5- 7,5



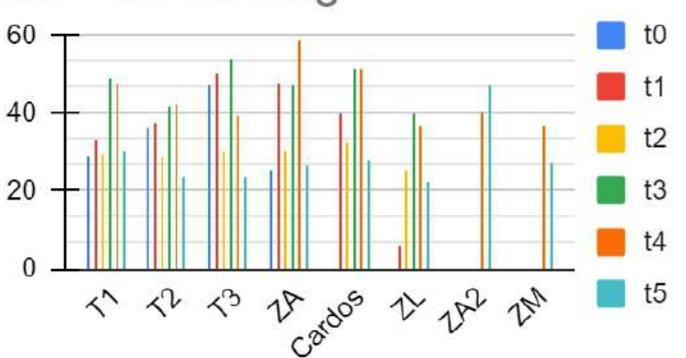
Capacidad Buffer >2 Cmol H⁺/kg/pH



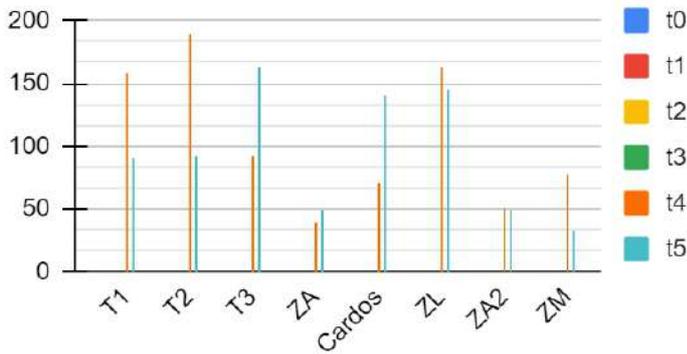
%COT > 2



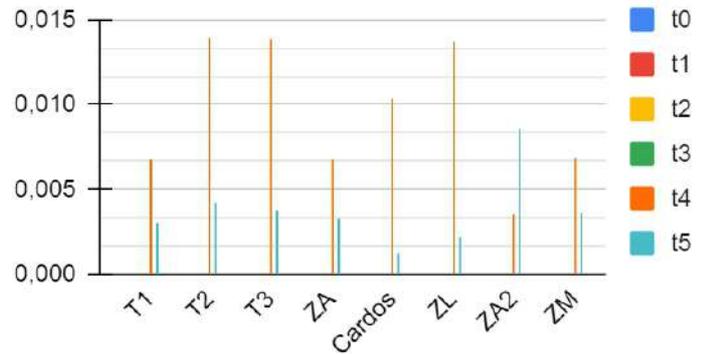
CIC > 15 cmol/kg



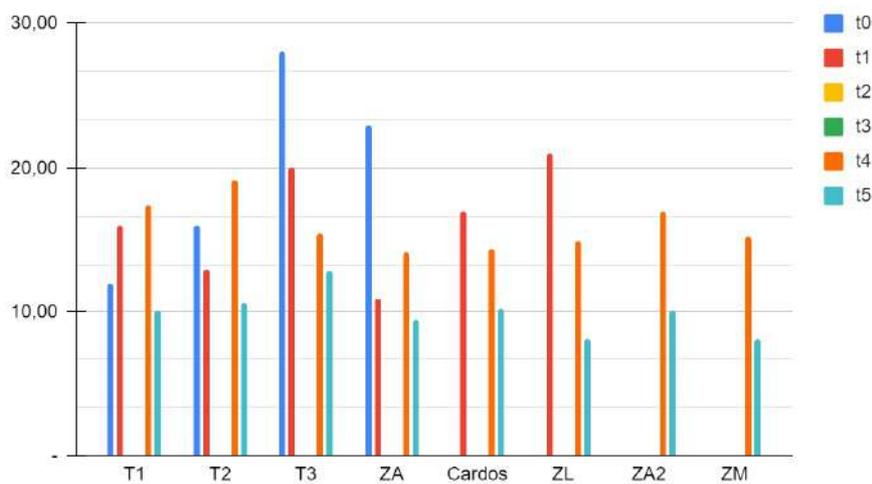
Fósforo > 30 mg/kg



% Nitrógeno > 0,064



% Humedad > 28%



Todos los gráficos presentados muestran en el eje Y el parámetro analizado según el nombre indicado en el mismo y en el eje X los puntos de análisis según nomenclatura usada en el informe.

Parámetro	Unidad	Deseable	Transecta 1						Transecta 2					
			T1-t0	T1-t1	T1-t2	T1-t3	T1-t4	T1-t5	T2-t0	T2-t1	T2-t2	T2-t3	T2-t4	T2-t5
Textura	clase	Franca	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	Franco limoso	Limoso	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	Franco arcillo-limoso	Limoso
CH-infiltración	cm/h	0,5-13	SD	1,17	1,28	0,46	2,70	7,08	SD	1,06	0,74	0,30	SD	5,79
DAP	g/cm ³	<0,9	SD	0,91	SD	1,09	0,77	0,78	SD	0,83	SD	0,93	0,68	0,79
pH	UpH	6,5-7,5	8,04	7,61	7,91	7,84	7,38	7,96	7,93	7,29	8,32	7,96	7,33	8,51
Cap. Buffer	cmol H+/kg/pH	>2	1,08	1,29	1,11	1,35	1,71	2,75	1,39	1,55	0,86	1,41	1,53	2,11
COT	%	>2	1,10	1,51	1,17	1,60	2,29	4,20	1,69	1,97	0,71	1,71	1,95	3,01
CIC	cmol/kg	>15	29,03	32,98	29,63	48,74	48,00	30,29	36,32	37,21	28,78	41,93	42,04	23,79
% Humedad	%	28	12,00	16,00	SD	SD	17,40	10,10	16,00	13,00	SD	SD	19,20	10,60
Fosforo soluble	mg/kg	>30	SD	SD	SD	SD	158,00	90,10	SD	SD	SD	SD	169,01	92,92
%Nitrogeno	%	>0,064	SD	SD	SD	SD	0,01	0,003	SD	SD	SD	SD	0,01	0,004
Parámetro	Unidad	Deseable	Transecta 3						Zona Alta					
			T3-t0	T3-t1	T3-t2	T3-t3	T3-t4	T3-t5	ZA-t0	ZA-t1	ZA-t2	ZA bis-t3	ZA-t4	ZA-t5
Textura	clase	Franca	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	Franco limoso	Limoso	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	arcillo-limoso	Franco limoso
CH-infiltración	cm/h	0,5-13	SD	1,67	1,67	0,97	SD	5,72	SD	2,06	1,46	8,57	4,71	3,72
DAP	g/cm ³	<0,9	SD	0,98	SD	0,57	0,75	0,79	SD	1,01	SD	1,17	0,79	0,85
pH	UpH	6,5-7,5	9,15	8,22	8,24	8,00	7,55	8,03	7,92	7,91	7,69	7,73	7,11	8,15
Cap. Buffer	cmol H+/kg/pH	>2	0,54	1,25	0,97	1,43	1,26	1,53	0,85	1,27	1,33	1,18	1,48	1,45
COT	%	>2	0,12	1,42	0,91	1,75	1,45	1,95	0,68	1,46	1,58	1,31	1,85	1,79
CIC	cmol/kg	>15	47,30	50,37	30,23	53,75	39,29	23,54	25,54	47,88	30,21	47,04	58,36	26,71
% Humedad	%	28	28,00	20,00	SD	SD	15,50	12,90	23,00	11,00	SD	SD	14,20	9,50
Fosforo soluble	mg/kg	>30	SD	SD	SD	SD	92,15	163,90	SD	SD	SD	SD	38,49	49,10
%Nitrogeno	%	>0,064	SD	SD	SD	SD	0,01	0,004	SD	SD	SD	SD	0,01	0,003

Parámetro	Unidad	Deseable	Cardos					Libre				
			Cardos - t1	Cardos - t2	Cardos - t3	Cardos - t4	Cardos - t5	Libre - t1	Libre - t2	Libre - t3	Libre - t4	Libre - t5
Textura	clase	Franca	Franco limoso	Limoso	Limoso	arcillo-limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	Limoso	arcillo-limoso	Franco limoso
CH-Infiltración	cm/h	0,5-13	1,11	2,26	1,53	2,23	4,94	SD	4,30	27,64	11,44	15,21
DAP	g/cm ³	<0,9	1,09	SD	0,94	0,77	0,86	SD	SD	1,80	0,75	0,84
pH	UpH	6,5-7,5	7,80	7,97	7,20	7,45	8,11	7,71	7,52	8,74	7,24	7,66
Cap. Buffer	cmol H ⁺ /kg/pH	>2	1,18	1,36	1,68	0,97	1,71	2,28	1,27	0,65	1,43	0,87
COT	%	>2	1,30	1,62	2,22	0,92	2,27	3,33	1,47	0,31	1,76	0,73
CIC	cmol/kg	>15	40,06	32,55	51,28	51,49	27,51	5,76	25,51	39,64	37,03	22,50
% Humedad	%	28	17,00	SD	SD	14,40	10,20	21,00	SD	SD	SD	15,00
Fosforo soluble	mg/kg	>30	SD	SD	SD	70,31	139,35	SD	SD	SD	162,50	144,83
%Nitrogeno	%	>0,064	SD	SD	SD	0,01	0,001	SD	SD	SD	0,01	0,002
			Zona alta 2		Zona media							
Parámetro	Unidad	Deseable	ZA2 -t4	ZA2 -t5	ZM -t4	ZM -t5						
Textura	clase	Franca	franco limoso	Limoso	arcilla	Limoso						
CH-Infiltración	cm/h	0,5-13	SD	9,47	7,71	16,14						
DAP	g/cm ³	<0,9	0,77	0,90	0,72	0,83						
pH	UpH	6,5-7,5	6,65	8,36	7,12	8,56						
Cap. Buffer	cmol H ⁺ /kg/pH	>2	1,77	1,43	1,74	2,64						
COT	%	>2	2,39	1,75	2,34	3,99						
CIC	cmol/kg	>15	40,60	47,14	36,80	27,43						
% Humedad	%	28	17,00	10,10	15,30	8,10						
Fosforo soluble	mg/kg	>30	50,80	49,00	76,48	33,33						
%Nitrogeno	%	>0,064	0,004	0,009	0,01	0,004						