



GUÍA PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS BAJO AGRICULTURA EN CHACO SUBHÚMEDO

Julieta M. Rojas¹, Natalia A. Mórtola², Romina I. Romaniuk² y Elsa S. Russo²

¹ EEA INTA Sáenz Peña Chaco

² Instituto de Suelos INTA Castelar



PNSuelo 1134023 - Indicadores de calidad del suelo para el monitoreo de la sustentabilidad de sistemas productivos

ÍNDICE

1. Qué es la calidad del suelo y cuál es su importancia	3
2. Cómo se evalúa la calidad del suelo.....	3
3. Problemática asociada a los cambios en el uso del suelo (CUS) en el Chaco subhúmedo	3
4. En qué lugares de la provincia de Chaco se pueden utilizar estos indicadores	6
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO	8
5. Cómo seleccionar la zona de muestreo para evaluar la calidad del suelo.....	8
6. Cuándo debe realizarse la evaluación.....	9
7. Cuáles son los indicadores a evaluar.....	10
8. Qué evalúa cada indicador.....	11
9. Cómo se miden los indicadores.....	13
10. Cómo se transforman los valores de laboratorio y campo a los valores de los indicadores ..	17
11. Qué son los valores referenciales y para qué sirven.....	21
12. Cómo se interpretan los valores de los indicadores obtenidos	22
12.a. Comparación de los indicadores con una escala tipo semáforo	23
12.b. Comparación de los indicadores a través del tiempo para un uso o manejo	25
12.c. Comparación de los indicadores entre distintos usos o manejos	27
13. Qué es el índice de calidad de suelo y por qué se utiliza	28
14. Cómo saber qué calidad de suelo tiene el sitio muestreado	28
14.a. Comparación del índice con una escala tipo semáforo.....	28
14.b. Comparación de índices a través del tiempo para un uso o manejo	29
14.c. Comparación de índices entre distintos usos o manejos	30
15. Medidas correctivas a aplicarse	31
16. Bibliografía	32
17. PLANILLA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS BAJO AGRICULTURA EN CHACO SUBHÚMEDO.....	33
17.a. Instructivo para completar la planilla.....	35
17.b. Diagnóstico.....	35
18. SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS BAJO AGRICULTURA EN CHACO SUBHÚMEDO (INDISUELOS-CHACO).....	35
18.a. Instructivo de uso del sistema de información INDISUELOS-CHACO	35

INTRODUCCIÓN

1. Qué es la calidad del suelo y cuál es su importancia

La calidad del suelo se define como la capacidad o aptitud del suelo de sostener la vida vegetal, animal y de los organismos que lo habitan, y de cumplir con sus funciones básicas de absorción, almacenaje de agua, filtrado de agua y contaminantes, ciclado de nutrientes y soporte. La calidad involucra las dimensiones física, química y biológica, y su evaluación es esencial para determinar la sustentabilidad de los sistemas naturales o productivos. En el contexto de la agricultura, el término *sustentabilidad* se refiere fundamentalmente a la capacidad de un sistema de ser productivo y al mismo tiempo mantener la calidad de base de los recursos naturales en el tiempo. El monitoreo de los cambios en la calidad del suelo nos permite determinar si una serie de usos o prácticas de manejo son sustentables.

2. Cómo se evalúa la calidad del suelo

Para la evaluación de la calidad del suelo se utilizan indicadores. Los indicadores de calidad del suelo (ICS) comprenden variables químicas, físicas y biológicas que permiten expresar la **condición actual** o “estado del recurso” y medidas a través del tiempo marcan su tendencia. Se utilizan para caracterizar áreas que presentan distintos tipos de problemáticas.

Al grupo de variables edáficas seleccionadas como indicadores se lo denomina conjunto mínimo de indicadores (CMI). Es de destacar que los CMI son específicos para cada sitio, es decir varían para distintas regiones, dependiendo de los factores formadores de suelo, tipo de suelo, sus funciones y el uso que se le dé al mismo. Por lo tanto, cada situación particular de suelo y sistema de producción tendrá un CMI específico.

3. Problemática asociada a los cambios en el uso del suelo (CUS) en el Chaco subhúmedo

La provincia del Chaco se divide en grandes áreas geomorfológicas. La zona asociada a la problemática se encuentra ubicada al oeste de la provincia, ocupando parte de dos áreas geomorfológicas que se pueden ver en la Figura 1, correspondientes a las zonas geomorfológicas Sáenz Peña e Impenetrable.

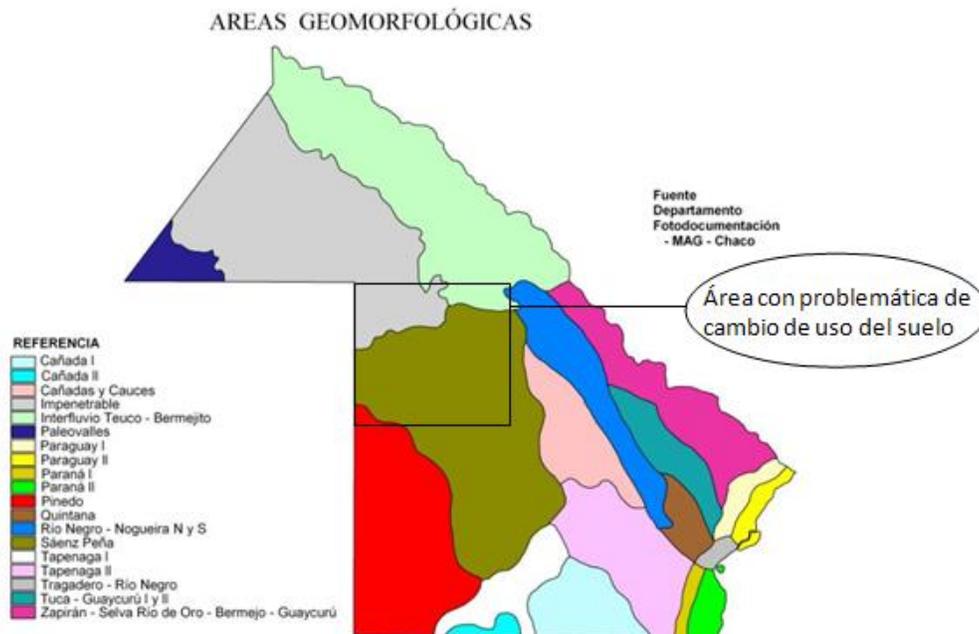


Figura 1. Áreas geomorfológicas de la Provincia del Chaco.

El **Área Geomorfológica Sáenz Peña** se ubica en el extremo del domo central agrícola de la provincia, al norte es una gran llanura de loess, disectada sobre un sistema fluvial inactivo derivado del área geomorfológica Impenetrable, lo que resulta en una planicie uniforme formada por la acumulación irregular y discontinua de sedimentos loésicos sobre materiales aluviales finos, cuyo patrón de vegetación natural es forestal (bosques xerofíticos), excepto en cauces inactivos o ríos muertos donde predominan los pastizales. Sobre los materiales superficiales ha habido un efecto combinado de las acciones eólica y fluvial. El **Área Geomorfológica Impenetrable** es una llanura interfluvial fósil con un sistema de ríos que interrumpieron su evolución en una etapa en que recién comenzaban a tener actividad. En ella los suelos son de colores claros, pobres en materia orgánica (MO) y en proceso de calcificación por ausencia de lavado sobre todo en el extremo oeste de la misma.

Durante los últimos 60 años en Argentina se incrementó aproximadamente más del 60% del área asignada a cultivos anuales en Chaco Subhúmedo Occidental, dentro de las áreas anteriormente mencionadas las tasas de expansión agrícola y deforestación fueron las más altas del país. Los CUS ocurrieron principalmente por reemplazo de montes o bosques

nativos, lo cual derivó en fragmentación del paisaje, riesgo de degradación del suelo y pérdida de biodiversidad de especies vegetales y animales para la región (Figura 2).



Figura 2. Lotes provenientes del monte nativo destinados a cambios en el uso del suelo (CUS) en barbecho (izq.) y sembrado con soja (der.).

En esta región del Chaco los grandes grupos de suelos predominantes son Haplustoles, Haplusteps, Ustifluvents y Haplustalfs, correspondientes a los órdenes Molisoles, Inceptisoles y Alfisoles (Figura 3) y las texturas dominantes en áreas ocupadas por el bosque xerofítico son franco-limosas, franco-arcillosas, areno-limosas y limo-arcillosas.

En la región suceden procesos erosivos eólicos que no son de riesgo mientras se encuentre la cobertura boscosa, pero que pueden ser de gran magnitud si el suelo queda descubierto a causa de la textura, la estructura deficiente y la baja humedad del ambiente en épocas de altas intensidades de viento y altas temperaturas. Se ha registrado disminución de la materia orgánica y pérdida de estabilidad estructural como consecuencia rápida del CUS, estabilizándose con el tiempo los niveles en valores bajos, informándose caídas del carbono orgánico total hasta de 40% y de carbono orgánico particulado mayores a 60%.

La agricultura es de secano y la producción agrícola se desarrolla en sistemas de siembra directa, siendo los principales cultivos sembrados soja, maíz, girasol, algodón y sorgo. Aunque el principal factor climático que limita la producción agropecuaria en la zona es el agua, en muchas áreas agrícolas la causa de las deficiencias hídricas además de los

períodos de bajas precipitaciones, es el insuficiente almacenaje del agua por baja infiltración y alta evaporación a raíz de la ausencia de rotaciones que generen suficiente cantidad de aporte de rastrojos y alto número de pasadas con maquinaria pesada. Otro factor que afecta al almacenaje de agua en lotes con bajo porcentaje de cobertura es la alta evaporación que se origina por la ocurrencia de temperaturas estivales extremas mayores a 50°C, las cuales también contribuyen a una mineralización más rápida de la materia orgánica en superficie.

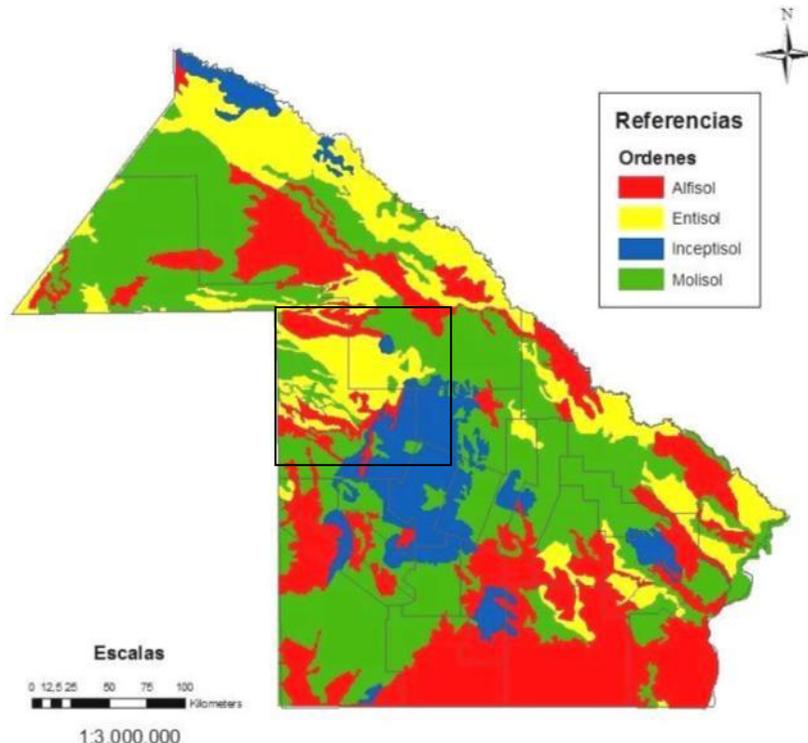


Figura 3. Órdenes de suelo presentes en la Provincia del Chaco. El recuadro indica parte de la subregión Antiguos Cauces del Río Juramento-Salado correspondiente al área con problemática de cambio de uso.

4. En qué lugares de la provincia de Chaco se pueden utilizar estos indicadores

Los indicadores seleccionados pueden ser utilizados en la provincia de Chaco en suelos de textura fina forestales o destinados a cultivos agrícolas (Molisoles, Inceptisoles o Alfisoles). Se ha considerado suelos de textura fina a aquellos con contenidos de limo + arcilla mayores a 500 g.kg⁻¹. En la figura 3 se representa el área abarcada por los órdenes predominantes en la provincia del Chaco, donde los Molisoles ocupan un 48.1% de la

superficie, los Alfisoles 25.4%, los Entisoles 16.8% y los Inceptisoles un 9.6 %, en una superficie de 9.963.300 ha. En la zona de mayor avance de la frontera agropecuaria se encuentran principalmente Inceptisoles y Entisoles. Para poder utilizar los indicadores en Entisoles sería necesaria una validación previa ya que a diferencia de los demás órdenes, estos suelos poseen altos contenidos de arena.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

El primer paso para evaluar la calidad del suelo es seleccionar el área o la zona de muestreo. Posteriormente, realizar el relevamiento de los indicadores correspondientes y una vez obtenidos los datos proceder a su procesamiento y realizar un diagnóstico por indicador. Para finalizar se calcula el índice de calidad de suelo y se realiza el diagnóstico en base a este último. De acuerdo al diagnóstico obtenido, tanto de cada uno de los indicadores como del índice de calidad de suelo, se podrá evaluar la necesidad y oportunidad de aplicar medidas correctivas o de remediación.

5. Cómo seleccionar la zona de muestreo para evaluar la calidad del suelo

Las áreas de muestreo pueden estar elegidas en base a una decisión institucional, como lo fue el Área Piloto de estudios de Recursos Naturales de la EEA INTA Sáenz Peña, campos de productores pertenecientes a grupos de experimentación- extensión, áreas con necesidades especiales de protección, campos o áreas en instancias judiciales relacionadas con la ley de bosques, etc. (Figura 4).



Figura 4. Cortina de monte nativo en el Área Piloto.

El primer paso para seleccionar la zona de muestreo es utilizar las herramientas de cartografía digital e imágenes satelitales disponibles en la región donde se tomarán las muestras. En el Chaco se dispone de la carta de suelos a nivel de semidetalle (escala 1:50.000), lo que posibilita trabajar en el terreno delimitando la zona de muestreo por serie de suelo. Es importante poder realizar en primer lugar esta separación porque de modo contrario se corre el riesgo de encontrar diferencias que no se deben al manejo sino a las características genéticas de cada suelo. Una vez determinada la zona en las imágenes y mapas, se procede a analizar las características del perfil modal de cada serie, se determina el número de puntos de muestreo y se eligen puntos dentro de la misma serie para compararse manejos. La cantidad de puntos de muestreo se determinan en relación al área total de la zona de estudio y a la capacidad operativa.

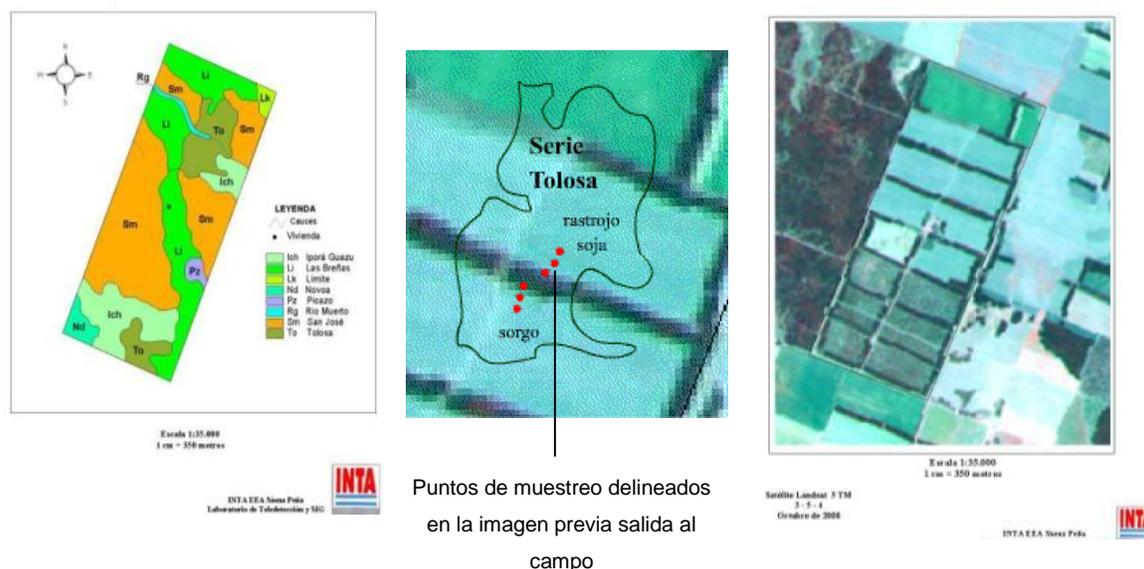


Figura 5. Cartas de suelo e imágenes satelitales que se utilizan para establecer los puntos de muestreo antes de la salida al campo.

6. Cuándo debe realizarse la evaluación

Se recomienda realizar el muestreo luego de la cosecha de los cultivos, lo cual es en general a fines de otoño, principios de invierno. La frecuencia de muestreo depende en gran parte de los objetivos de la evaluación que se realiza.



Figura 6. Lotes de la zona con rastrojo de algodón (sup.izq), soja (sup.der.) y maíz en diferentes etapas (inf. der. e izq.).

7. Cuáles son los indicadores a evaluar

Los indicadores a evaluar y que conforman el CMI para suelos del Chaco subhúmedo con textura fina (Molisoles, Inceptisoles y Alfisoles) son:

Carbono orgánico total (COT)
Carbono orgánico particulado (COP)
Nitrógeno total (Nt)
Reacción del suelo (pH)
Densidad aparente (Da)
Fracción erosionable (FE)

8. Qué evalúa cada indicador

- **Carbono orgánico total (COT)**

Este indicador evalúa la fertilidad del suelo. Sus funciones se relacionan con el ciclo del agua y los nutrientes más móviles, afectando a la agregación, al almacenaje de humedad y a la biota del suelo, ya que funciona como principal recurso para el metabolismo de los organismos presentes. Es indicador de calidad física, química y biológica y por tener menos densidad de partículas que las partículas minerales, contribuye a una menor densidad aparente del suelo.

En este sistema productivo es un indicador del aporte de restos vegetales de la biomasa aérea y radical de los distintos cultivos, o del aporte diferencial de residuos vegetales generados por los diferentes manejos.

Menores contenidos de COT en suelos agrícolas respecto de una situación inalterada de referencia pueden ser una señal a tener en cuenta para implementar prácticas conservacionistas, ya que las altas temperaturas de la zona provocan una mineralización rápida de la materia orgánica en suelos cultivados con menor porcentaje de cobertura. La conversión de suelos vírgenes a cultivos anuales provoca una disminución considerable en el aporte de material vegetal y mayor disturbio en la capa superficial, lo que causa reducción en el COT principalmente en dicha capa, donde su contenido es mayor debido al efecto de estratificación del COT en el suelo.

- **Carbono orgánico particulado (COP)**

El COP es la proporción del COT más liviana o gruesa, y que ha presentado caídas mucho mayores que el carbono asociado a la fracción mineral en suelos destinados a CUS, por ser la fracción más dinámica y lábil. Provee al suelo la capacidad de absorber grandes volúmenes de agua y de liberar nutrientes producto de la descomposición de los restos orgánicos. Presenta diferencias con el manejo en el corto plazo, por eso aunque el COT, de determinación más sencilla, ha sido buen indicador en suelos donde se removió el bosque y se establecieron cultivos agrícolas, el COP podría ser también un buen indicador en suelos que se encuentran bajo manejo agrícola o silvopastoril para analizar diferentes sucesiones de cultivos y efecto del aporte de rastrojos a través del tiempo. Este tipo de carbono al estar menos protegido por la fracción mineral puede perderse en altas proporciones en suelos que no almacenan el agua suficiente para cohesionar las partículas

ni poseen suficiente cobertura para frenar el efecto del viento o del escurrimiento, es por lo tanto más propenso a sufrir procesos erosivos.

- ***Nitrógeno total (Nt)***

El Nt es un elemento directamente relacionado con el COT. Su ciclo es altamente móvil en los ecosistemas tanto forestales como agrícolas y se ve altamente afectado por el movimiento del agua y la actividad de microorganismos. Su presencia significa fertilidad química e influye directamente en el crecimiento de las plantas.

En la región, los planteos productivos raramente incluyen la fertilización al suelo, sólo en casos de grandes áreas se aplica algunas veces fertilizante foliar, por lo tanto este elemento proviene de la degradación de la materia orgánica de los residuos y aportes vegetales, siendo afectado por los procesos de pérdida, ya que el stock de N ha sido asociado con el stock de C y toda pérdida de C en biomasa y suelo estaría asociada a una pérdida de N.

- ***Reacción del suelo (pH)***

El parámetro es una medida de la acidez del suelo, la cual es muchas veces modificada por CUS, fertilización o erosión. En general se observa mayor acidez en suelos forestales comparados con suelos bajo manejo agrícola, pero también se han informado incrementos de acidez en suelos deforestados. Contrario a esto, en el estudio de base donde se determinaron los indicadores del presente trabajo, el pH aumentó en todos los lotes destinados a CUS, lo cual pudo ser consecuencia de la disminución del COT, menor lavado de bases a raíz de menor infiltración en lotes cultivados o presencia de sodio.

- ***Densidad aparente (Da)***

La Da es un parámetro que describe la compactación y porosidad del suelo, y que está relacionada con la textura, tipo de labranza y número de pasadas de maquinaria. Se han establecido valores críticos máximos de Da por encima de los cuales el crecimiento y oxigenación de las raíces se ve impedido. Tiene como una gran ventaja ser un parámetro de poca variabilidad entre repeticiones y de fácil determinación.

En la región, la Da presenta valores típicos de suelos de textura fina pero con grandes diferencias en relación al uso del suelo, siendo mucho menor en suelos forestales y presentando valores mayores en suelos agrícolas, principalmente aquellos bajo siembra directa, principalmente por la cantidad de veces que pasa la maquinaria y el peso de la misma.

- **Fracción erosionable (FE)**

La fracción erosionable es la proporción de agregados menores a 0.84 mm de una muestra sin disturbar tomada de los primeros 2.5 cm de suelo, y es una medida de la susceptibilidad a la erosión eólica, considerada un proceso irreversible de degradación, que causa cambios en la textura, disminuye el espesor del suelo, los nutrientes y la materia orgánica. Las prácticas de labranza influyen directamente en este parámetro a través de la rugosidad del terreno y la compactación por el paso de la maquinaria, e indirectamente a través del almacenaje de humedad y el porcentaje de cobertura que generan, siempre en relación al tipo de suelo. La FE depende principalmente de la textura, siendo los suelos francos y franco arenosos más susceptibles al arrastre por el viento que los de textura fina (franco arcillosos).

En esta región, se ha determinado alta erosión eólica potencial (erodabilidad máxima) en pocos meses de uso agrícola, lo cual hace necesario medir la susceptibilidad al arrastre de partículas erosionables y además se ha hallado una relación no lineal entre los contenidos de carbono orgánico y la FE, siendo la FE mayor en suelos no sólo con bajos contenidos de carbono orgánico sino también con contenidos muy altos, lo que podría estar relacionado con la fracción particulada o lábil, hallándose valores más altos de FE en suelos de bosque nativo con altas proporciones de COP respecto del COT en relación a los suelos agrícolas.

9. Cómo se miden los indicadores

- **Toma de muestras y evaluación de COT, COP, Nt y pH**

Para la evaluación de los indicadores COT, COP, Nt y pH debe obtenerse una muestra de suelo compuesta, formada por submuestras cuyo número estará definido por el área total a muestrear. En general se toman entre 5 y 20 submuestras para conformar una muestra compuesta de 1 kg. Se procederá de la siguiente manera:

- Se definirán zonas homogéneas de muestreo en base a la cartografía digital existente e información de cartas de suelos si la hubiere, delimitando en caso de ser posible las zonas a muestrear a nivel de serie.
- Recolectar las submuestras al azar dentro de la zona previamente establecida.
- Eliminar el material vegetal de la superficie de suelo a muestrear.
- Utilizar un muestreador de suelo (barreno) o una pala.

- Introducir el muestreador hasta 10 cm (profundidad que será variable según los horizontes presentes en la serie) y extraer la muestra de suelo. Si se utiliza una pala para tomar la submuestra de suelo, eliminar las zonas laterales de la palada y conservar la zona central.
- Colocar las submuestras dentro de un recipiente limpio, mezclar, etiquetar y conservar en la sombra mientras dure el muestreo (Figura 7).

La muestra compuesta de suelo se seca al aire y se envía al laboratorio para análisis.



Figura 7. Muestras etiquetadas en el campo esperando para ser llevadas a laboratorio.

Metodologías de medición

Las muestras para COT, COP, Nt y pH se deben secar al aire, moler y pasar por tamiz de malla de 2 mm (Nº10, USA standard ASTM E 11-61). Una porción de la muestra se pasa por tamiz de 0.5 mm (Nº35) para determinar COT y Nt.

- *Carbono orgánico total (COT)*: se determina por el método de oxidación húmeda propuesto por Walkley y Black. Se mide CO oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro, donde el CO se oxida parcialmente por medio de una solución de dicromato de potasio en medio ácido (Norma IRAM, 2009). Para convertir el valor de COT g kg^{-1} a % de MO se aplica el siguiente cálculo:

$$\text{MO (\%)} = \frac{\text{COT (g kg}^{-1}\text{)}}{10} \times 1.724$$

- *Carbono orgánico particulado (COP)*: se determina por la técnica de Cambardella y Elliot (1992), modificada por Lorenz (2005), dispersando el suelo con hexametáfosfato de sodio y luego separando físicamente dos fracciones por medio de un tamiz de malla de 53 μm .

Se analiza el COA (carbono asociado a la fracción mineral) que pasa por el tamiz de 53 μm y se obtiene el COP por diferencia del COT de una muestra no fraccionada (Figura 8).



Figura 8. Procesamiento de muestras para determinación de carbono orgánico en laboratorio.

- *Nitrógeno total (Nt)*: método de Kjeldahl modificado, basado en una oxidación húmeda (Norma IRAM, 2009).

- *Reacción del suelo (pH)*: se determina por el método potenciométrico en agua destilada (Norma IRAM, 2009) en una relación 1:2.5 suelo/agua.

▪ **Toma de muestras y evaluación de densidad aparente (Da)**

La densidad aparente se determina tomando muestras in situ según la profundidad determinada por la profundidad de horizontes de las series o el objetivo del trabajo, con un cilindro metálico de 281 cm^3 , con borde biselado y enrasando la muestra de los dos lados del cilindro. La muestra se seca en estufa y se calcula la masa de suelo seco que ocupa el volumen conocido, obteniéndose la densidad en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Figura 9).



Figura 9. Toma de muestras para densidad aparente con el método del cilindro.

▪ **Toma de muestras y evaluación de la fracción erosionable (FE)**

Para la determinación de la FE se extraen al azar 3 muestras sin disturbar, de los primeros 2.5 cm de cada suelo de un área de 100 m², ubicada en una zona representativa del área homogénea a evaluar, y por cada punto de muestreo donde se toma una muestra compuesta para medir los demás parámetros. La muestra sin disturbar es una muestra que se saca cuidadosamente con la pala cuidando de no romperla, cortando los bordes para obtener un terrón de suelo de aproximadamente 12 cm ancho x 18 cm largo x 2.5 cm profundidad y se deposita en una bandeja que se cubre para llevar sin alterar al laboratorio (Figura 10). Cada muestra debe pesar aproximadamente 1 kg. Las muestras se secan al aire y luego se tamizan con un tamiz rotativo (Chepil, 1962). Este dispositivo posee una serie de 5 tamices cilíndricos concéntricos de 0.42, 0.84, 2, 6.4 y 19.2 mm de diámetro. Se relaciona el % de muestra <0.84 mm con el peso total de la muestra para obtener la FE.



Figura 10. Tamiz rotativo (izq.) y toma de muestras inalteradas para determinar fracción erosionable por el viento (der.)

10. Cómo se transforman los valores de laboratorio y campo a los valores de los indicadores

Debido a que los indicadores se expresan en diferentes unidades de acuerdo a la variable que cuantifican, para unificarlos es necesario transformar los valores reales de laboratorio o campo a un valor ponderado. Para ello se construyen escalas, una para cada indicador, que son independientes de las unidades originales y permiten superar este inconveniente. De esta manera, todos los indicadores serán directos:

A mayor valor en la escala (valor estandarizado), mayor calidad del suelo

Para el caso de los indicadores de calidad seleccionados para suelos agrícolas de la región subhúmeda chaqueña las escalas definidas son:

➤ ***Carbono orgánico total (COT)***

Tabla 2. Escala para estandarización del carbono orgánico total (COT).

COT (g kg ⁻¹)	Escala
0-2.5	0
2.6- 5.2	1
5.3- 8	2
8.1- 12.6	3
12.7- 17.1	4
17.2- 21.7	5
21.8- 26.2	6
26.3- 30.8	7
>30.8	8

➤ **Carbono orgánico particulado (COP)**

Tabla 1. Escala para estandarización del carbono orgánico particulado (COP).

COP (g kg ⁻¹)	Escala
0-1.3	0
1.4 -2.7	1
2.8 –4.0	2
4.1- 6.2	3
6.3- 8.4	4
8.5- 10.7	5
10.8- 12.9	6
13- 15.2	7
>15.2	8

➤ **Nitrógeno total (Nt)**

Tabla 3. Escala para estandarización del nitrógeno total (Nt).

Nt (%)	Escala
0- 0.066	0
0.067- 0.132	1
0.133- 0.199	2
0.200- 0.209	3
0.210- 0.219	4
0.220- 0.229	5
0.230- 0.239	6
0.240- 0.250	7
> 0.250	8

Nt: nitrógeno total

➤ **Reacción del suelo (pH)**

Tabla 4.Escala para estandarización del pH.

pH (adimensional)	Escala
0- 1.83	0
1.84- 3.66	1
3.67- 5.50	2
5.51- 5.83	3
5.84-6.16	4
6.17- 6.50	5
6.51- 6.70	6
6.71- 6.90	7
6.91- 7.10	8
7.11- 7.30	7
7.31- 7.50	6
7.51- 7.70	5
7.71- 8.10	4
8.11- 8.20	3
8.21- 10.10	2
10.11- 12.0	1
12.01 – 14.0	0

➤ **Densidad aparente (Da)**

Tabla 5. Escala para estandarización de la densidad aparente (Da)

Da (g cm ⁻³)	Escala
> 1.80	0
1.71-1.80	1
1.61- 1.70	2
1.47- 1.60	3
1.34-1.46	4
1.21- 1.33	5
1.19- 1.20	6
1.17- 1.18	7
< 1.17	8

➤ **Fracción erosionable (FE)**

Tabla 6. Escala para estandarización de la fracción erosionable (FE).

FE (%)	Escala
>47.2	0
43.7- 47.2	1
40.1 - 43.6	2
36.5 - 40	3
32.9 - 36.4	4
29.3 - 32.8	5
19.6 - 29.2	6
9.7 - 19.5	7
<9.7	8

FE: fracción erosionable

Ejemplo de aplicación del método de estandarización

En la tabla 7 se presentan a manera de ejemplo los valores reales de laboratorio y campo de los indicadores medidos y los valores estandarizados correspondientes según las escalas para la situación de lote agrícola con 3 años de desmonte de la serie Tolosade un establecimiento particular.

Tabla 7. Valores reales medidos y valores estandarizados de los indicadores para un suelo de lote agrícola (serie Tolosa) del Chaco subhúmedo.

Indicador	Valores reales laboratorio y campo	Valores estandarizados de los indicadores
COT	20.28 g kg ⁻¹	5
COP	7.36 g kg ⁻¹	4
Nt	0.18 %	2
pH	8.25 (adimensional)	2
Da	1.54 g cm ⁻³	3
FE	19.98 %	6

COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Nt: nitrógeno total; pH: reacción del suelo; Da: densidad aparente; FE: fracción erosionable.

11. Qué son los valores referenciales y para qué sirven

Los valores referenciales incluyen a los *valores de situación inalterada (In)*, a los *valores de referencia (VR)* y a los *valores umbrales (VU)*.

Los *valores de situación inalterada (In)* son los valores de los indicadores medidos en un suelo que no fue cultivado (sistemas naturales). Los *valores de referencia (VR)* representan los límites necesarios para garantizar el mantenimiento de la productividad a largo plazo (sustentabilidad). Los *valores umbrales admisibles (VU)* representan el nivel más allá del cual el recurso suelo se torna sensible a los proceso degradativos, arriesgándose su capacidad de recuperación. Los valores referenciales pueden ser obtenidos de grandes bases de datos, opinión de expertos o bibliografía. Para el caso de los valores de situación inalterada, estos son medidos directamente a campo, en este caso fueron medidos en el monte nativo que se comparó con los lotes desmontados para uso agrícola.

Los valores referenciales se utilizan en la construcción de los gráficos denominados de tipo estrella-semáforo para definir las zonas de la escala con distintos colores (roja, amarilla y verde). Estos gráficos sirven para evaluar el estado de cada indicador medido (ver punto 11.a).

En la tabla 8 se presentan los valores de situación inalterada, umbrales y de referencia para los indicadores seleccionados para suelos de texturas finas destinados a agricultura en siembra directa en el Chaco Subhúmedo.

Tabla 8. Valores de situación inalterada (In), de referencia (VR) y umbrales (VU) para el conjunto mínimo de indicadores.

Indicador	Profundidad (cm)	Unidad	Método de determinación	Situación inalterada (In)	Valores de referencia (VR)	Valores umbrales (VU)
COT	0 - 10	g kg ⁻¹	Walkley y Black	30.8	30.81	8 (min)
	10-20			16.7	16.71	4 (min)
COP	0-10	g kg ⁻¹	Cambardella y Elliot (modificado por Lorenz)	15.2	15.2	7 (min) BN 4 (min) A
	10-20			5.8	5.8	entre 1-3 (min)
Nt	0-10	%	Kjeldahl (modificado)	0.25	0.25	0.2 % (min)
	10-20			0.14	0.14	0.1 % (min)
pH	0-10	adimensional	Potenciométrico en agua (solución 1:2.5)	6.5	7	5.5 (min)-8.2 (max)
	10-20			6.7	6.7	5.5 (min)-8.2 (max)
Da	0-10	g cm ⁻³	Método del cilindro	1.18	1.2	1.6 (max)
	10-20			1.31	1.4	1.6 (max)
FE	0-2.5	%	Tamiz rotativo	29.2	29.2	40% (max)

COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Nt: nitrógeno total; pH: reacción del suelo; Da: densidad aparente; FE: fracción erosionable. BN: Bosque Nativo, A: Agrícola.

* Para convertir el valor de COT a MO (%) = $\frac{\text{COT (g. kg}^{-1}\text{)}}{10} * 1.724$

12. Cómo se interpretan los valores de los indicadores obtenidos

Los indicadores seleccionados, una vez estandarizados y llevados a una misma escala son representados en un gráfico *tipo estrella* (ver fig. 3).

Cada radio de la estrella representa a un indicador, de tal manera que se puede conocer el comportamiento individual de cada uno de ellos.

Con la utilización de los gráficos estrella se pueden hacer distintos tipos de evaluaciones a través de la realización de distintos tipos de comparaciones:

- a) *con una escala* construida con los valores referenciales y a través de gráficos de tipo estrella-semáforo;
- b) *a través del tiempo* para un mismo uso;
- c) *entre distintos usos o manejos*.

A continuación se presentan ejemplos:

12.a. Comparación de los indicadores con una escala tipo semáforo

Para este tipo de evaluación debe contarse con los valores de situación inalterada, de referencia y umbrales que permitan la construcción de la escala tipo semáforo. Estos valores establecen en el gráfico las zonas de distintos colores y a partir de ellas puede inferirse la condición que cada indicador le imprime al suelo (Tablas 9, 10 y 11).

En relación a la condición que los indicadores le imprimen al suelo, existen indicadores de tres tipos, aquellos que cuanto mayor valor presentan mejor calidad (ej. COT y COP) (Tabla 9), aquellos otros que cuanto menor valor tienen mejor calidad (ej. Da) (Tabla 10) y por último, aquellos indicadores que presentan un rango óptimo (ej. pH) (Tabla 11).

La zona roja representa un suelo en proceso de degradación que posee comprometida su capacidad de recuperación. La zona amarilla significa que con estos valores de los indicadores no puede garantizarse la sustentabilidad. La zona verde representa un estado óptimo de los indicadores y por ende, de la calidad del suelo.

Tabla 9. Escala tipo semáforo para los indicadores cuyo valor cuánto mayor mejor calidad del suelo.

Zona	Valores de los indicadores	Condición que el indicador le imprime al suelo
roja	entre cero (0) y valor umbral	degradado
amarilla	entre valor umbral y de referencia	en peligro de degradación
verde	entre valor de referencia e inalterado	óptima

Tabla 10. Escala tipo semáforo para los indicadores cuyo valor cuánto menor mejor calidad del suelo.

Zona	Valores de los indicadores	Condición que el indicador le imprime al suelo
roja	mayor al valor umbral	degradado
amarilla	entre valor umbral y de referencia	en peligro de degradación
verde	entre valor de referencia e inalterado	óptima

Tabla 11. Escala tipo semáforo para los indicadores con rango óptimo.

Zona	Valores de los indicadores	Condición que el indicador le imprime al suelo
Roja	- menor al valor umbral mínimo - mayor al valor umbral máximo	degradado
Amarilla	- entre valor umbral mínimo y valor de referencia mínimo - entre valor umbral máximo y valor de referencia máximo	en peligro de degradación
verde	- entre valores de referencia mínimo y máximo	óptima

✓ *Representación gráfica de los indicadores en una escala*

En este tipo de gráfico, una vez definidas las zonas roja, amarilla y verde, los indicadores medidos en el sitio de estudio y estandarizados según las escalas se representan con un polígono.

En la figura 11 se presenta a manera de ejemplo, la representación gráfica de los indicadores medidos en un lote agrícola con 3 años de desmonte de la serie Tolosa de un establecimiento particular.

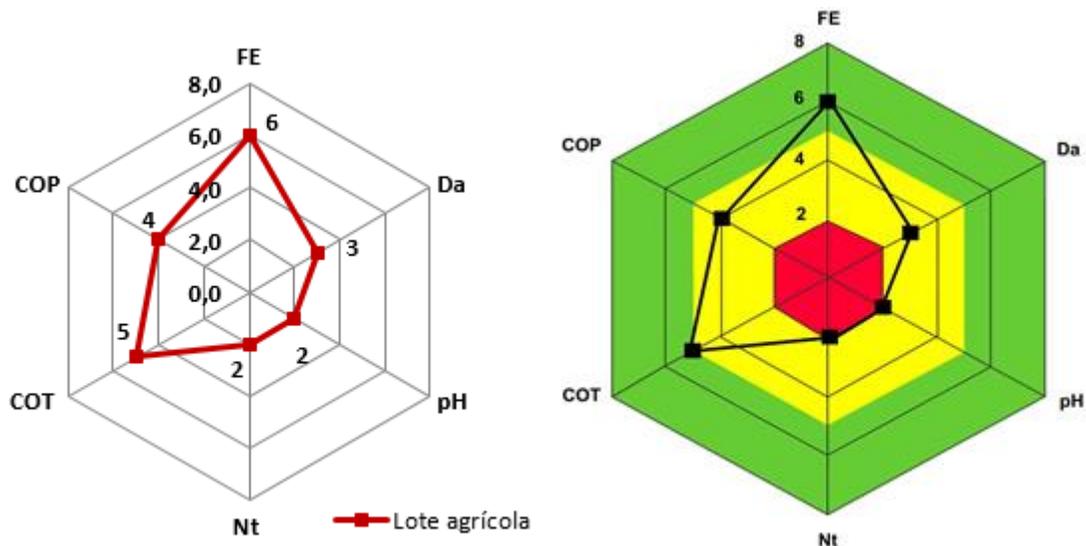


Figura 11. Representación en un gráfico tipo estrella-semáforo del estado de los indicadores en un lote agrícola con 3 años de desmonte de la serie Tolosa. COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Nt: nitrógeno total; pH: reacción del suelo; Da: densidad aparente; FE: fracción erosionable.

✓ *Diagnóstico de los indicadores según la escala*

A través de este gráfico (Figura 11) puede realizarse un diagnóstico para cada indicador medido, observando los valores de cada uno de ellos.

Según la Figura 11, observando los colores indicativos del estado del suelo y haciendo mención a lo antes expresado “cuanto mayor valor estandarizado del indicador, mayor calidad del suelo”, para este lote agrícola la FE y el COT presentan valores óptimos. El COP y la Da indican que se encuentra comprometido el mantenimiento de la productividad a largo plazo en relación a estas variables. Por su parte, el Nt y el pH poseen valores que se encuentran en los límites admisibles por debajo de los cuales el recurso suelo se torna sensible a los procesos degradativos, arriesgándose su capacidad de recuperación. En consecuencia deberán aplicarse prácticas de manejo tendientes a mejorar los valores de COP y Da y especialmente de Nt y pH.

12.b. Comparación de los indicadores a través del tiempo para un uso o manejo

✓ *Representación gráfica de los indicadores en el tiempo*

Estos indicadores también pueden ser utilizados para evaluar el efecto del uso o manejo a través del tiempo. De esta manera, pueden evaluarse los indicadores en dos o más momentos distintos y presentarse en el gráfico de estrella.

✓ *Diagnóstico de los indicadores a través del tiempo*

Para realizar un diagnóstico a través del tiempo, las determinaciones se realizan en un momento determinado y luego de un período de tiempo (meses o años) se repiten en el mismo sitio, analizándose así la evolución de los indicadores para conocer si la calidad del suelo se mantiene, mejora o empeora.

Para este ejemplo no se poseen observaciones repetidas en el tiempo sobre un mismo lote agrícola, pero si mediciones de indicadores tomados en lotes con diferentes años desde el CUS de monte nativo a agrícola, situados en la misma región geográfica y sobre la misma serie de suelo, los que se presentan en la Figura 12 sólo a fines de aportar una comparación aunque no se encuentren en el mismo establecimiento.

Recordando la premisa “cuanto mayor valor estandarizado del indicador, mayor calidad del suelo”, según la Figura 12 en el lote con mayor cantidad de años transcurridos (23 años) después del CUS de monte nativo a agrícola, los indicadores que se vieron afectados negativamente fueron COP y Da, la FE y el Nt no mostraron variación, en tanto que, los indicadores COT y pH presentaron mayores valores estandarizados indicando una leve mejoría.

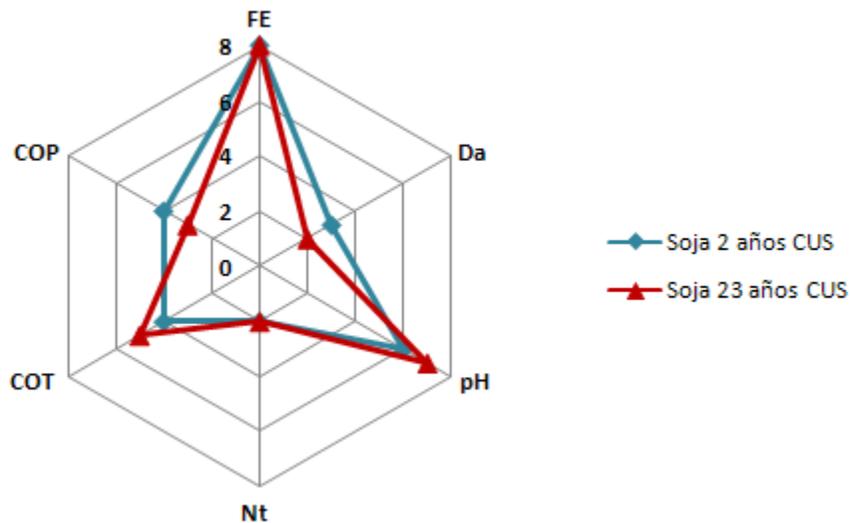


Figura12. Representación del estado de los indicadores en lotes agrícolas con diferentes períodos desde el CUS (2 y 23 años).COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Nt: nitrógeno total; pH: reacción del suelo; Da: densidad aparente; FE: fracción erosionable.

12.c. Comparación de los indicadores entre distintos usos o manejos

A través de esta comparación se puede evaluar la calidad del suelo en dos o más situaciones con diferentes usos o manejos. En la Figura 13 se presenta la comparación entre el monte nativo y un lote agrícola adyacente de un establecimiento sobre la serie Tolosa, que representa el lote que ha sido sujeto a cambios en el uso del suelo. El lote se encontraba con soja, luego de 3 años de que el monte nativo fuera sometido al cambio en el uso y las determinaciones se hicieron en el mismo momento.

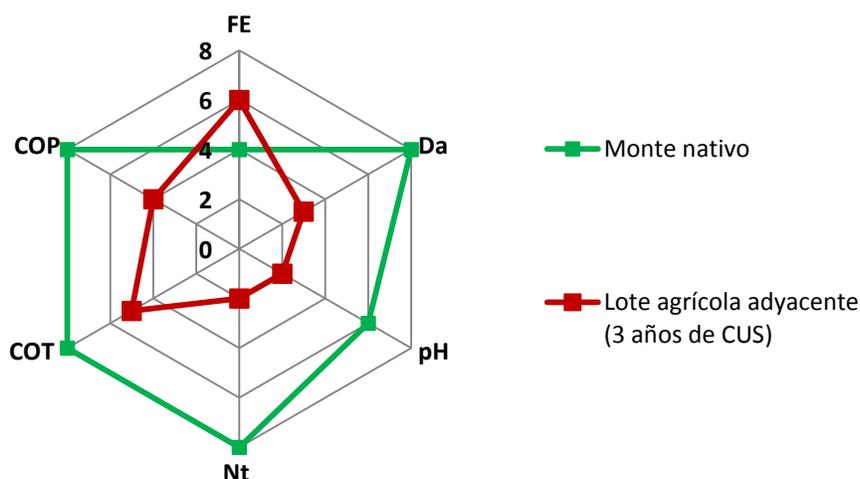


Figura 13. Representación del estado de los indicadores en un establecimiento con cortina de monte nativo y lote agrícola adyacente afectado por CUS. COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Nt: nitrógeno total; pH: reacción del suelo; Da: densidad aparente; FE: fracción erosionable.

✓ Diagnóstico de los indicadores para distintos usos o manejos

Recordando nuevamente la premisa “cuanto mayor valor estandarizado del indicador, mayor calidad del suelo”, se observa que en la comparación de los distintos usos (monte nativo vs. lote agrícola) (Figura 13), el lote agrícola presenta un desmejoramiento de los indicadores carbono orgánico particulado (COP), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (Nt), pH y densidad aparente (Da), todos ellos con valores menores a los observados para el monte nativo, siendo la fracción erosionable (FE) el único indicador con mayor valor. Resulta entonces en este caso que el uso agrícola es menos susceptible que el monte nativo a erosionarse por acción del viento.

13. Qué es el índice de calidad de suelo y por qué se utiliza

El índice de calidad de suelo (InCS) puede ser definido como el mínimo conjunto de variables edáficas, que interrelacionadas, provee datos numéricos acerca de la capacidad de un suelo para llevar a cabo sus funciones. Este índice se utiliza porque, al considerar todos los indicadores juntos, permite obtener un solo valor numérico que representa la calidad o estado actual de un suelo.

No todos los indicadores poseen el mismo valor o peso para la sustentabilidad, hay algunos que, seguramente, serán más importantes que otros (independientemente del valor de la escala que tengan). Para ello se procede a multiplicar el valor de cada indicador por un coeficiente denominado factor de ponderación o peso (fp).

Finalmente, el InCS se obtiene por sumatoria de los productos de los valores estandarizados de los indicadores seleccionados por sus correspondientes factores de ponderación.

El InCS obtenido para este caso de estudio es el siguiente:

$$\text{InCS} = (\text{COT} \times 0.21) + (\text{COP} \times 0.20) + (\text{Nt} \times 0.18) + (\text{pH} \times 0.15) + (\text{Da} \times 0.15) + (\text{FE} \times 0.13)$$

14. Cómo saber qué calidad de suelo tiene el sitio muestreado

Al igual que sucede con los indicadores, con los InCS la calidad de un sitio puede ser evaluada comparando:

- a) el índice obtenido *con una escala* establecida utilizando la simbología del semáforo;
- b) dos o más índices *a través del tiempo* para un mismo uso o manejo;
- c) índices *para distintos usos o manejos*.

A continuación se presentan ejemplos:

14.a. Comparación del índice con una escala tipo semáforo

Para este tipo de evaluación del índice, debe contarse con una escala previamente creada específicamente para cada binomio "suelo-sistema productivo", la cual representa la simbología del semáforo estableciendo valores del índice que van desde suelos con muy mala calidad hasta suelos con muy alta calidad. A continuación se presenta la escala creada

para suelos de textura fina forestales o destinados a cultivos agrícolas (Molisoles, Inceptisoles o Alfisoles) de Chaco subhúmedo.

Valor Índice Calidad de Suelo (InCS)	Calidad del Suelo
0 –2.04	Muy mala calidad de suelos
2.05–3.06	Baja calidad de suelos
3.07- 5.10	Moderada calidad de suelos
5.11- 6.12	Buena calidad de suelos
6.13–8.16	Muy alta calidad de suelos

Seguidamente, se presenta como ejemplo el cálculo del índice de calidad para el suelo agrícola presentado en la Figura 11:

✓ *Cálculo del índice de calidad de suelo*

Tomando los valores estandarizados de los indicadores del ejemplo presentado en la tabla 7 del punto 10 y de la figura 11, correspondientes a un lote de 3 años de desmonte de la serie Tolosa, el cálculo del InCS es el siguiente:

$$\text{InCS} = (4 \times 0.21) + (5 \times 0.20) + (2 \times 0.18) + (2 \times 0.15) + (3 \times 0.15) + (6 \times 0.13)$$

$$\text{InCS} = 3.73 = \text{Moderada calidad de suelos}$$

✓ *Diagnóstico del índice según la escala*

Según la escala establecida para los valores del índice de calidad de suelo, el valor de 3.73 obtenido para el lote con 3 años de desmonte de la serie Tolosa corresponde a un suelo con moderada calidad.

14.b. Comparación de índices a través del tiempo para un uso o manejo

Pueden calcularse índices en dos o más momentos distintos para un mismo uso o manejo.

✓ *Cálculo de los índices de calidad de suelo*

Tomando como ejemplo la medición de indicadores mostrada en el punto 12.b. parados sistemas de suelos desmontados con diferentes períodos desde el CUS.

$$\text{InCS año 2 desde CUS} = (8 \times 0.21) + (3 \times 0.20) + (6 \times 0.18) + (2 \times 0.15) + (4 \times 0.15) + (4 \times 0.13)$$

$$\text{InCS año 2} = 4.78 = \text{Moderada calidad de suelo}$$

$$\text{InCS año 23 desde CUS} = (8 \times 0.21) + (2 \times 0.20) + (7 \times 0.18) + (2 \times 0.15) + (5 \times 0.15) + (3 \times 0.13)$$

$$\text{InCS año 23} = 4.78 = \text{Moderada calidad de suelo}$$

✓ *Diagnóstico de índices a través del tiempo*

Puede observarse que según los índices las calidades de suelo observadas fueron similares a pesar de las diferencias en el período transcurrido desde el CUS. Esto apoya el conocimiento de que el cambio más importante en la calidad de suelo a partir de la remoción del monte nativo se da en el momento de la alteración del sistema y que luego de esto hay una fase de estabilización.

14.c. Comparación de índices entre distintos usos o manejos

Para este caso pueden calcularse índices en un mismo momento para dos o más usos o manejos.

✓ *Cálculo de los índices de calidad de suelo*

Tomando como ejemplo la medición de indicadores mostrada en el punto 12.c.(Figura 13), donde se evaluaron indicadores en el monte nativo y el lote agrícola adyacente, los índices de calidad correspondientes son:

$$\text{InCS monte nativo} = (8 \times 0.21) + (8 \times 0.20) + (8 \times 0.18) + (6 \times 0.15) + (8 \times 0.15) + (4 \times 0.13)$$

$$\text{InCS monte nativo} = 7.34 = \text{Muy alta calidad de suelo}$$

$$\text{InCS suelo agrícola} = (5 \times 0.21) + (4 \times 0.20) + (2 \times 0.18) + (2 \times 0.15) + (3 \times 0.15) + (6 \times 0.13)$$

$$\text{InCS suelo agrícola} = 3.74 = \text{Moderada calidad de suelo}$$

✓ *Diagnóstico de índices entre distintos manejos*

Según el índice calculado el monte nativo presentó una muy alta calidad de suelo, en tanto que para el lote agrícola la calidad de suelo fue moderada. Se observa que la calidad de suelo del lote con 3 años de uso agrícola disminuyó considerablemente respecto a la del monte nativo.

15. Medidas correctivas a aplicarse

En función del diagnóstico obtenido, tanto de cada uno de los indicadores como del índice de calidad de suelo, surgen las medidas correctivas que deben aplicarse para mejorar la calidad del suelo evaluado. En la tabla 12 se presentan medidas correctivas a aplicar en suelos Molisoles, Inceptisoles o Alfisoles del Chaco subhúmedo, según los valores obtenidos para cada indicador.

Tabla 12. Medidas correctivas a aplicar según indicadores.

Indicadores	Medidas correctivas
COT	Rotaciones que aporten gran cantidad de materia seca, tanto en volumen de raíces como en rastrojos en superficie. Sistemas silvopastoriles con pasturas megatérmicas. Labranza cero.
COP	Rotaciones que aporten gran cantidad de materia seca, tanto en volumen de raíces como en rastrojos en superficie. Sistemas silvopastoriles con pasturas megatérmicas. Labranza cero.
Nt	Sistemas silvopastoriles con presencia de especies nativas que fijen N y/o aporten N por medio de las hojas.
pH	<i>En suelos con pH ácidos:</i> Aplicar enmiendas químicas que contengan calcio y magnesio con dosis recomendadas por personal competente con título profesional habilitante. <i>En suelos con pH alcalinos:</i> Prácticas que aumenten la infiltración para promover el lavado de las bases: rotaciones, generación de cobertura. Aplicación de fertilizantes sólo con humedad adecuada. Tratamiento diferencial de los manchones salinos cuando están presentes.

Da	Uso de maquinaria en condiciones adecuadas de humedad y la mínima cantidad de veces posible, especialmente la maquinaria de SD. Rotaciones que incorporen especies con alto contenido de raíces y aporten cobertura.
FE	Labranza cero y cobertura. Sistemas silvopastoriles. Pasturas. Cortinas cortaviento. Las prácticas correctivas deben agudizarse en suelos de textura gruesa o con alto contenido de limo. Todas las medidas que promuevan la infiltración y el almacenaje de humedad en suelo.

COT: carbono orgánico total; COP: carbono orgánico particulado; Nt: nitrógeno total; pH: reacción del suelo; Da: densidad aparente; FE: fracción erosionable.

16. Bibliografía

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. SoilSci. Soc. Am. J. 56: 777-783.

CHEPIL, W.S. 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. Soil Sci.Soc.Am.Proc.26:4-6

LEDESMA, L.L.; ZURITA, J.J. 1995. Los Suelos de la Provincia del Chaco. Convenio INTA- Ministerio de la Producción -Gobierno de la Provincia del Chaco. 164 p.

LORENZ, G. 2005. Métodos de Análisis de Suelos. Serie Didáctica N°12. Cátedra de Ecología Forestal- Facultad de Ciencias Forestales- Universidad Nacional de Santiago del Estero. 126 p.

NORMA IRAM- SAGPyA 29571-2:2009. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2- Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.

NORMA IRAM-SAGPyA 29572:2009. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Kjeldahl modificado.

NORMA IRAM-SAGPyA 29574:2009. Determinación del pH en suelo para uso agropecuario.

17. PLANILLA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS BAJO AGRICULTURA EN CHACO SUBHÚMEDO

Departamento:

Localidad:

Establecimiento

Lote

Nombre:

Nombre:

Superficie:

Superficie:

Ubicación:

Ubicación:

Propietario

Encargado/Administrador

Nombre:

Nombre:

Dirección:

Dirección:

Teléfono:

Teléfono:

e-mail:

e-mail:

Uso actual:

Uso anterior:

Serie de suelo o textura:

Pendiente:

Fecha:

Evaluador/es:

Tabla A. Planilla de evaluación de la calidad del suelo.

Indicadores	Valores reales laboratorio y/ocampo (VR)	Valores estandarizados de los indicadores (VE)*	Factores de ponderación (fp)	Valores estandarizados y ponderados (VE x fp)
COT			x 0.21	
COP			x 0.20	
Nt			x 0.18	
pH			x 0.15	
Da			x 0.15	
FE			x 0.13	
Índice de calidad de suelo (InCS) (sumatoria de los VE x fp)				

Tabla B. Evaluación de la calidad del suelo según los valores de índice de calidad de suelos obtenidos.

Valor Índice Calidad de Suelo (InCS)	Calidad del Suelo
0 -2.04	Muy mala calidad de suelos
2.05-3.06	Baja calidad de suelos
3.07- 5.10	Moderada calidad de suelos
5.11 - 6.12	Buena calidad de suelos
6.13 -8.16	Muy alta calidad de suelos

* según las siguientes escalas

COT (g kg ⁻¹)	Escala
0-2.5	0
2.6- 5.2	1
5.3- 8	2
8.1- 12.6	3
12.7- 17.1	4
17.2- 21.7	5
21.8- 26.2	6
26.3- 30.8	7
>30.8	8

COT: carbono orgánico total

COP (g kg ⁻¹)	Escala
0-1.3	0
1.4 -2.7	1
2.8 -4.0	2
4.1- 6.2	3
6.3- 8.4	4
8.5- 10.7	5
10.8- 12.9	6
13- 15.2	7
>15.2	8

COP: carbono orgánico particulado

Nt (%)	Escala
0- 0.066	0
0.067- 0.132	1
0.133- 0.199	2
0.200- 0.209	3
0.210- 0.219	4
0.220- 0.229	5
0.230- 0.239	6
0.240- 0.250	7
> 0.250	8

Nt: nitrógeno total

pH (adimensional)	Escala
0- 1.83	0
1.84- 3.66	1
3.67- 5.50	2
5.51- 5.83	3
5.84- 6.16	4
6.17- 6.50	5
6.51- 6.70	6
6.71- 6.90	7
6.91- 7.10	8
7.11- 7.30	7
7.31- 7.50	6
7.51- 7.70	5
7.71- 8.10	4
8.11- 8.20	3
8.21- 10.10	2
10.11- 12.0	1
12.01 - 14.0	0

Da (g cm ⁻³)	Escala
> 1.80	0
1.71-1.80	1
1.61- 1.70	2
1.47- 1.60	3
1.34-1.46	4
1.21- 1.33	5
1.19- 1.20	6
1.17- 1.18	7
< 1.17	8

Da: densidad aparente

FE (%)	Escala
>47.2	0
43.7- 47.2	1
40.1 - 43.6	2
36.5 - 40	3
32.9 - 36.4	4
29.3 - 32.8	5
19.6 - 29.2	6
9.7 - 19.5	7
<9.7	8

FE: fracción erosionable

Tabla C. Condición del suelo según los valores de indicadores.

Zona	Valores de los indicadores	Condición que el indicador le imprime al suelo
roja	entre cero (0) y valor umbral	degradado
amarilla	entre valor umbral y de referencia	en peligro de degradación
verde	entre valor de referencia e inalterado	óptima

17.a. Instructivo para completar la planilla

En la primera columna de la tabla A, se presenta el listado de los indicadores requeridos para evaluar la calidad del suelo.

Pasos a seguir:

- 1) Una vez obtenidos los valores reales de laboratorio y campo (VR) de los indicadores, cada uno de ellos se anota en la columna correspondiente.
- 2) En la columna VE se anotan los valores estandarizados de los indicadores según las tablas que contienen las escalas para cada indicador.
- 3) Posteriormente se multiplican los valores de la columna VE de cada indicador por los valores de los factores de ponderación correspondientes a cada uno de la columna fp y se anotan dichos resultados en la columna VE x fp.
- 4) Para el cálculo del índice de calidad de suelo (InCS) se realiza la sumatoria de los valores estandarizados y ponderados de la columna VE x fp y se anota en el recuadro correspondiente al final de dicha columna.

17.b. Diagnóstico

Para conocer el estado de cada indicador debe observarse en qué zona de color está cada uno de ellos (roja=degradado, amarilla=en peligro de degradación o verde=óptimo) y verificar la condición que cada indicador le imprime al suelo según la tabla C.

Para conocer la calidad del suelo según el valor del índice obtenido, debe hacerse referencia a la tabla B.

18. SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS BAJO AGRICULTURA EN CHACO SUBHÚMEDO (INDISUELOS-CHACO)

Con el objetivo de automatizar la evaluación de la calidad de los suelos se generó un sistema de información simple y amigable. Este sistema permite ingresar los valores de los indicadores medidos en el campo o en el laboratorio y arroja como resultado el diagnóstico de cada uno de ellos; calcula automáticamente el valor del índice de calidad de suelo (InCS), el cual integra todos los valores de los indicadores en un solo valor; dá un diagnóstico de este índice y determina las medidas correctivas a aplicar para mejorar la calidad del suelo evaluado.

18.a. Instructivo de uso del sistema de información INDISUELOS-CHACO

Para acceder - en forma libre y gratuita - al sistema INDISUELOS-CHACO es necesario utilizar un navegador web (Internet Explorer, Chrome, Firefox, etc.) en el cual se pueda ingresar a la siguiente dirección de internet (URL): <https://russoelsa.wixsite.com/indisuelos-chaco>

En esta URL se abre una pantalla donde se visualizan dos botones principales, uno correspondiente al Sistema INDISUELOS-CHACO y el otro al Manual de Uso.

También podrá acceder al sistema INDISUELOS-CHACO en el siguiente enlace: <https://inta.gob.ar/documentos/sistema-de-informacion-para-la-evaluacion-de-la-calidad-de-suelo-en-el-chaco>

Haciendo click en Sistema INDISUELOS-CHACO se abren dos planillas (Figura a), una ubicada en la parte superior de la pantalla para completar con información sobre el establecimiento, el lote, el propietario, el encargado y otros datos específicos referidos al lote en evaluación. A continuación aparece otra planilla con 7 columnas, las cuales corresponden de izquierda a derecha a:

- **Indicadores** a ser medidos: *carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP), nitrógeno (Nt), reacción del suelo (pH), densidad aparente (Da), fracción erosionable (FE)*
- **Unidad:** de cada uno de los indicadores medidos: COT (g kg^{-1}), COP (g kg^{-1}), Nt (%), pH (adimensional), Da (g cm^{-3}) y FE (%)
- **INGRESAR Valores reales de los indicadores medidos en el laboratorio y/o campo (VR): valores que deben ser ingresados. Para los valores con decimales debe utilizarse la coma.**
- **Valores estandarizados de los indicadores (VE):** transformación de los valores reales a valores estandarizados según las escalas, **lo realiza el sistema automáticamente.**
- **Valores estandarizados y ponderados (VE x fp):** cálculo del valor estandarizado de cada indicador por su correspondiente factor de ponderación (fp), el cual se realiza para darle a cada indicador un peso de acuerdo a su importancia en el cálculo del índice de calidad del suelo, **lo realiza el sistema automáticamente.**
- **Condición que el indicador le imprime al suelo (Diagnóstico de cada indicador):** el sistema establece automáticamente la condición del suelo (degradado, en peligro de degradación, óptima) según el valor real ingresado para cada indicador, mostrando también la escala de colores correspondientes (rojo, amarillo y verde).
- **Medidas correctivas:** aparecen automáticamente las medidas correctivas a aplicar según el valor real ingresado para cada indicador. En el caso de que el valor del indicador ingresado fuese óptimo, no aparecerá ninguna medida correctiva.

En la parte inferior de la tabla aparece el valor del **Índice de Calidad del suelo (InCS)** calculado automáticamente por el sistema, y el diagnóstico del mismo indicando si la calidad de ese suelo es: muy mala, baja, moderada, buena o muy alta, con sus correspondientes colores (rojo, naranja, amarillo, verde claro y verde oscuro).

Finalmente, más abajo, aparece la representación de los indicadores en un gráfico tipo estrella-semáforo, donde cada radio de la estrella representa a un indicador. En este gráfico puede

observarse el valor estandarizado y la zona (roja, amarilla o verde) dentro de la cual se encuentra cada uno de ellos.

En la pantalla principal inicial del Sistema de Información también aparecen una serie de botones, haciendo click sobre ellos se puede acceder a la siguiente información:

- Guía completa para la evaluación de la calidad de suelos de Chaco
- ¿Qué es la calidad del suelo?
- ¿Cómo se evalúa la calidad del suelo?
- ¿Dónde utilizar los indicadores?
- ¿Cuáles son los indicadores a evaluar?
- ¿Cómo seleccionar la zona de muestreo?
- ¿Cuándo realizar la evaluación?
- ¿Cómo se miden los indicadores?

GUÍA PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS DE TEXTURA FINABAJO AGRICULTURA EN SIEMBRA DIRECTA EN CHACO SUBHÚMEDO, EN ÁREAS SUJETAS A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO Manual de Uso

Departamento:	Localidad:	
Establecimiento:	Lote:	
Nombre:	Nombre:	
Superficie:	Superficie:	
Ubicación:	Ubicación:	
Propietario:	Encargado/Administrador:	
Nombre:	Nombre:	
Dirección:	Dirección:	
Teléfono:	Teléfono:	
e-mail:	e-mail:	
Uso actual:	Uso anterior:	
Serie de suelo o textura:	Pendiente:	
Fecha:	Evaluador/es:	

Planilla superior: completar con información del establecimiento, lote, propietario y administrador

Columna de Ingreso de valores de los indicadores medidos en el laboratorio y/o campo

Indicadores	Unidad	INGRESAR Valores reales laboratorio y campo (VR)	Valores estandarizados de los indicadores (VE)	Valores estandarizados y ponderados de los indicadores (VE _{fp})	Condición que el indicador le imprime al suelo	Medidas correctivas
Carbono Orgánico Total (COT)	g kg ⁻¹	20,28	5	1,05	En peligro de degradación	Rotaciones que aporten gran cantidad de materia seca, tanto en volumen de raíces como en rastrojos en superficie: maíz, sorgo o gramíneas invernales como cultivos de renta o de cobertura (avena, centeno, cebada, trigo, triticale). Sistemas silvopastoriles con pasturas megatérmicas adaptadas a la zona. Labranza cero con cobertura mayor a 60%. Cultivos de cobertura.
Carbono Orgánico Particulado (COP)	g kg ⁻¹	7,36	4	0,8	En peligro de degradación	Rotaciones que aporten gran cantidad de materia seca, tanto en volumen de raíces como en rastrojos en superficie. Sistemas silvopastoriles con pasturas megatérmicas. Labranza cero. Cultivos de cobertura.
Nitrógeno Total (Nt)	%	0,18	2	0,36	Degradado	Sistemas silvopastoriles con presencia de especies nativas que fijen N y/o aporten N por medio de las hojas. Abonos verdes. Fertilización nitrogenada.
Reacción del suelo (pH)	dimensional	8,25	2	0,3	Degradado	En suelos con pH alcalinos: Prácticas que aumenten la infiltración para promover el lavado de las bases: rotaciones, generación de cobertura. Aplicación de fertilizantes sólo con humedad adecuada. Tratamiento diferencial de los manchones salinos cuando están presentes.
Densidad Apartente (Da)	g cm ⁻³	1,54	3	0,45	En peligro de degradación	Uso de maquinaria en condiciones adecuadas de humedad y paso de maquinaria pesada la mínima cantidad de veces posible, especialmente la maquinaria de labranza cero. Rotaciones que incorporen especies con alto contenido de raíces y aporten cobertura para minimizar el sellamiento de las partículas
Fracción Erosionable (FE)	%	19,98	6	0,78	Óptima	

Índice de calidad de suelo (InCS) (sumatoria de los VE) 3,74
Moderada calidad de suelos

Índice de calidad de suelo

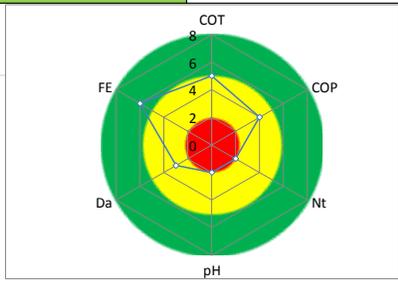


Figura a. Visualización de la planilla de ingreso de datos y diagnóstico del Sistema de Información INDISUELOS-CHACO.