



GUÍA PARA FORMULADORES

Manejo de Bosques con Ganadería Integrada [MBGI]

Metodologías para el monitoreo de indicadores forestales, ganaderos y de calidad de suelos en predios productivos de Santiago del Estero.

**Comité Provincial MBGI
de Santiago del Estero
Mayo de 2026**



Dirección General De
BOSQUES Y FAUNA



Ministerio de Producción
Recursos Naturales, Forestación y Tierras.



**SANTIAGO
DEL ESTERO**

Autoridades

Ministerio de Producción, Recursos Naturales, Forestación y Tierras.
Ing. Néstor Machado (ministro)

Dirección de Bosques y Fauna
Dra. Noelia Zanichelli (directora)

Integrantes del Comité Provincial MBGI - 2026 (orden alfabético)

- Abt, Magdalena, Universidad Nacional de Santiago del Estero
- Brandan, Isabel, Subsecretaría de Medio Ambiente
- Coria, R. Dario, INTA EEA Santiago del Estero
- Escobar López, Andrea, Dirección de Bosques y Fauna
- Galizzi, Fernando, Colegio de Ingenieros Agrónomos
- Garnica, Constanza, Colegio de Graduados de Ciencias Forestales
- Gil, Gustavo, INTA EEA Quimilí
- Gonzalez, Andres, INTA EEA Santiago del Estero
- Guillermon, José, Dirección de Agricultura y Ganadería
- Leguizamón, Graciela, Universidad Nacional de Santiago del Estero
- Moggio, Martín, Colegio de Graduados de Ciencias Forestales
- Zanichelli, Noelia, Dirección de Bosques y Fauna

Equipo redactor (orden alfabético)

- Abt, Magdalena, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Forestales, Marco legal y administrativo
- Córdoba, Alicia, INTA EEA Santiago del Estero, Caprinos, Forrajes
- Coria, R. Darío, INTA EEA Santiago del Estero, Sitios ecológicos, Compilación
- Escobar López, Andrea, Dirección de Bosques y Fauna, Marco legal y administrativo
- Fernández, Ramon, INTA EEA Santiago del Estero, Agua para bebida animal
- Galizzi, Fernando, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Suelos
- Hernandez, Patricia, Colegio de Graduados de Ciencias Forestales, Forestales
- Kunst, Carlos, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Bovinos, Forrajes
- Ledesma, Roxana, INTA EEA Santiago del Estero, Bovinos, Forrajes, Sitios ecológicos
- Moggio, Martín, Colegio de Graduados de Ciencias Forestales, Sitios ecológicos
- Rueda, Marta, Colegio de Graduados de Ciencias Forestales, Forestales
- Savino, Patricio, INTA EEA Santiago del Estero, Suelos, Sitios ecológicos
- Vizgarra, Amanda, INTA EEA Santiago del Estero, Suelos, Sitios ecológicos
- Wolf, Ursula, INTA EEA Quimilí, Bovinos, Forrajes

Colaboradores técnicos (orden alfabético)

- Arriola, Nestor, ex técnico de la Dirección de Bosques y Fauna, Forestales
- Ceraolo, Pablo, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Bovinos, Forrajes
- Gomez, Adriana, INTA EEA Santiago del Estero, Forestales
- Guillermon, José, Dirección de Agricultura y Ganadería, Bovinos
- Hernandez, Hernán, INTA AER Tartagal, Forestales
- Kees, Sebastian, INTA Campo Anexo Presidencia Plaza, Forestales, Sitios ecológicos
- Lopez, Dardo, INTA Campo Anexo Villa Dolores, Forestales
- Merletti, Guillermo, INTA EEA Santiago del Estero, Forestales
- Navall, Marcelo, Colegio de Graduados de Ciencias Forestales, Forestales
- Peri, Pablo, INTA EEA Santa Cruz, Forestales, Sitios Ecológicos
- Reinaldi, Javier, INTA EEA Quimilí, Bovinos
- Reuter, Fabian, Facultad de Ciencias Forestales-UNSE, Forestales
- Saravia, Juan, INTA EEA Santiago del Estero, Bovinos
- Uribe Josefina, INTA EEA Quimilí, Forestales

ÍNDICE

Presentación.....	2
CAPÍTULO 1: ORIENTACIONES METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR Y MAPEAR SITIOS ECOLÓGICOS Y ESTADOS DE LA VEGETACIÓN EN PREDIOS PRODUCTIVOS	6
1.1. Presentación.....	6
1.2. Sitios ecológicos	7
1.3. Estados de la vegetación	8
1.4. Mapeo de sitios ecológicos y estados de la vegetación.....	11
1.4.1. La escala del mapa	11
1.4.2. Criterios para el mapeo de sitios ecológicos.....	15
1.4.3. Criterios para el mapeo de estados de la vegetación	16
1.4.4. Técnicas de mapeo	18
1.4.5. Temporalidad de los mapeos	23
1.5. Literatura recomendada.....	24
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE INDICADORES FORESTALES	26
2.1. Introducción.....	26
2.2. El inventario forestal: consideraciones generales.....	26
2.2.1. Clasificación según la dinámica temporal	27
2.2.2. Clasificación según su alcance geográfico	27
2.2.3. Clasificación según el objetivo de la gestión	27
2.2.4. Criterios de selección	28
2.3. El inventario forestal en MBGI: diseño de muestreo.....	29
2.3.1. Mapa de bosques	29
2.3.2. Características de las unidades de muestreo.....	30
2.3.3. Estratificación del bosque.....	30
2.3.4. Determinación del tamaño de la muestra y criterios de precisión	31
2.3.4.1. Cálculo del número de muestras	32
2.3.4.2. Cálculo del error de muestreo	33
2.3.5. Ubicación de los puntos de muestreo	33
2.3.6. Temporalidad del inventario forestal.....	34
2.3.7. Justificación del diseño de muestreo propuesto	34
2.4. Variables a relevar	35
2.4.1. Diámetro a la altura del pecho (dap)	35
2.4.2. Medición de altura del árbol.....	35
2.4.3. Valor silvicultural del individuo	37
2.4.4. Determinación del estado sanitario del individuo leñoso.....	38
2.4.5. Cobertura (arbustiva, arbórea y herbácea)	38
2.4.6. Regeneración natural arbórea	39
2.5. Presentación de resultados	40

2.6. Literatura recomendada.....	40
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE INDICADORES GANADEROS	
.....	42
3.1. Presentación.....	42
3.2. Balance forrajero.....	42
3.3. Eficiencia reproductiva: porcentaje de destete (%).....	44
3.4. Productividad ganadera	45
3.5. Literatura recomendada.....	47
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS.....	48
4.1. Presentación.....	48
4.2. Variables edáficas: definiciones e interpretación.....	48
4.2.1. Materia orgánica del suelo (MOS)	49
4.2.2. Textura (Tx).....	50
4.2.3. Densidad aparente (Dap).....	51
4.2.4. Conductividad eléctrica (Ce).....	52
4.2.5. pH.....	52
4.3. Metodología de muestreo.....	54
4.3.1. Faja de muestreo.....	54
4.3.2. Disposición de las fajas.....	56
4.3.3. Profundidad y frecuencias de muestreo.....	56
4.3.4. Equipos de muestreo de campo	57
4.4. Metodologías de laboratorio recomendadas	57
4.4.1. Variables imprescindibles u obligatorias.....	57
4.4.2. Variables optativas.....	57
4.4.3. Laboratorios para analizar las muestras de suelo	58
4.5. Interpretación de los resultados: indicadores de calidad del suelo.....	58
4.5.1. Indicador de Materia orgánica del suelo (MOSi)	59
4.5.2. Indicador de Conductividad Eléctrica (Ce _i)	60
4.5.3. Indicador Densidad aparente (Dap _i)	61
4.6. Literatura de recomendada.....	61
ANEXO 1: METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE OFERTA FORRAJERA.....	63
ANEXO 2: CÁLCULO DE LA DEMANDA FORRAJERA.....	67
ANEXO 3: ESCALA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL EN BOVINOS	69
ANEXO 4: ESCALA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL EN CAPRINOS.....	70
ANEXO 5: NORMAS BÁSICAS DE MANEJO GANADERO	72
Recomendaciones para la práctica de rolado en el Chaco Seco	72
Manejo reproductivo bovino.....	73
Manejo reproductivo del rodeo caprino.....	74
Manejo de agua para bebida.....	76

Reservas forrajeras y suplementación 77

ANEXO 6: MARCO LEGAL Y PASOS ADMINISTRATIVOS PARA SOLICITAR UN
PLAN DE MANEJO MBGI..... 80

Presentación

Esta guía describe las metodologías para medir indicadores forestales, ganaderos y de calidad de suelos que son esenciales para el manejo de predios productivos MBGI en la provincia de Santiago del Estero. Incluye umbrales de interpretación y la periodicidad de cada medición, con el objetivo de ofrecer un marco metodológico que facilite la implementación exitosa del MBGI y promueva el manejo sustentable de los ecosistemas compatible con la producción.

La guía está estructurada en cuatro capítulos:

- Orientaciones metodológicas para determinar y mapear sitios ecológicos y estados de la vegetación en predios productivos (Capítulo 1). Define los conceptos de sitio ecológico y estado de la vegetación y su importancia para sectorizar los predios bajo el enfoque MBGI. Presenta los criterios básicos para su identificación y mapeo, así como las herramientas disponibles. Este capítulo es central, ya que los indicadores forestales, ganaderos y de calidad de suelos se aplican según el sitio ecológico y el estado de la vegetación.
- Metodologías de medición de indicadores forestales (Capítulo 2). Detalla la medición de los indicadores forestales fundamentales: Densidad, Área basal, Distribución diamétrica, etc.
- Metodologías de medición de indicadores ganaderos (Capítulo 3). Expone la medición de tres indicadores ganaderos esenciales (Balance forrajero, Eficiencia reproductiva y Productividad) tanto para ganado bovino como caprino.
- Metodologías de medición de indicadores de calidad de suelos (Capítulo 4). Describe la medición de cinco indicadores claves de calidad de suelos: Materia orgánica, Textura, Densidad aparente, Conductividad eléctrica y pH.

Se incluyen cinco anexos con información complementaria relevante:

- Metodologías de evaluación de oferta forrajera (Anexo 1).
- Cálculo de la demanda forrajera (Anexo 2).
- Escalas para la evaluación de la condición corporal en bovinos y caprinos (Anexos 3 y 4).
- Normas básicas sobre rolados, manejo reproductivo, provisión de agua, confección de reservas forrajeras y suplementación animal (Anexo 5).
- Marco legal y pasos administrativos para solicitar un plan de manejo MBGI (Anexo 6)

CAPÍTULO 1: ORIENTACIONES METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR Y MAPEAR SITIOS ECOLÓGICOS Y ESTADOS DE LA VEGETACIÓN EN PREDIOS PRODUCTIVOS

1.1. Presentación

En el marco del Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI), los Planes de Manejo Sostenible prediales requieren una caracterización detallada de la situación inicial (línea de base) del área bajo manejo, que incluye analizar información sobre características naturales, financieras, de infraestructura y productivas. En este contexto, identificar los sitios ecológicos y su estado de vegetación inicial es fundamental, ya que permite desarrollar un inventario preciso de recursos naturales y tomar decisiones sobre el manejo ganadero y silvícola.

La **escala predial** es el área donde el productor toma decisiones de manejo. ¿Qué hago con el bosque de aquí, o con el pastizal de allá?, ¿cómo mejoro este lote salinizado?, ¿dónde y cómo instalo un sistema silvopastoril?, son algunos de los interrogantes que los productores se hacen antes de decidir. Tomar decisiones con “precisión” requiere conocer los recursos naturales y considerar variables legales, tecnológicas, financieras, de mercado y sociales. Decidir qué hacer, cómo y dónde hacerlo muchas veces no es sencillo. Para ayudar al proceso de toma de decisiones a escala predial, el MBGI propone utilizar un esquema de manejo adaptativo basado en un inventario de los ambientes homogéneos del predio, su potencial productivo y ecológico, y una valoración económica y social del entorno.

El manejo adaptativo significa ajustar las prácticas agronómicas y silvícolas según lo aprendido de la propia experiencia. Este esquema permite avanzar con una base técnica en la toma de decisiones sobre el uso de la tierra y el manejo de los recursos naturales, de manera de conservar la provisión de servicios ecosistémicos y evitar los impactos ambientales y sociales asociados a la pérdida de estos. La evaluación y el seguimiento a través de un adecuado programa de monitoreo, permite identificar los desvíos existentes respecto de lo planificado y ajustar los objetivos particulares, las estrategias y los parámetros de intervención para mejorar los resultados de la ejecución. Por lo tanto, la evaluación de los ambientes físico, biótico, social y económico durante la aplicación de los tratamientos y las inversiones propuestas debe permitir la detección temprana de los posibles desvíos en el cumplimiento del plan y las reformulaciones necesarias para corregir las decisiones tomadas. En MBGI, las prácticas de manejo se diseñan para maximizar los resultados productivos y ambientales según las características específicas de cada ambiente homogéneo. Es lo que se conoce como “manejar por ambientes”, un enfoque muy utilizado en agricultura de precisión y plantaciones forestales, y ahora también en el MBGI.

En MBGI, a escala predial, la diversidad de ambientes homogéneos se determina a partir de la definición de sitios ecológicos y estados de la vegetación (Figura 1). La investigación y la experiencia de años indican que esta diversidad de ambientes afecta a todas las variables productivas y ambientales, y condiciona las características de los disturbios a aplicar, las respuestas de las plantas y animales, y los manejos posteriores. Comprender la heterogeneidad ambiental de los predios productivos permite definir objetivos más realistas y hacer el manejo mucho más preciso. A continuación, estos conceptos se desarrollan en detalle.

1.2. Sitios ecológicos

Los **sitios ecológicos** se definen como una clasificación predial de las tierras basada en diferencias significativas en factores ambientales claves, como la posición relativa en el paisaje, la pendiente y las propiedades del suelo, dentro de una zona geomorfológica y climática determinada (Bestelmeyer et al., 2010). Los sitios ecológicos agrupan tipos de suelos que sustentan comunidades vegetales con características y respuestas al manejo similares, formando un mosaico paisajístico determinado por patrones geomorfológicos.

En las principales áreas ganaderas y silvícolas de Santiago del Estero, a escala predial, los tres sitios ecológicos principales se distribuyen a lo largo del gradiente topográfico local (Figura 1). Estos son (Kunst et al., 2006, 2015):

- i) sitio ecológico de posiciones altas (altos), originalmente cubierto por bosques altos de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*), con gramíneas tolerantes a la sombra como *Gouinia latifolia*, *Gouinia paraguayensis*, *Setaria lachnea*, y *Leptochloa crinita*.
- ii) sitios ecológicos de posiciones intermedias (o medias lomas), originalmente cubiertos por bosques altos abiertos (ecotonos) con predominancia de quebracho blanco y abundancia de la gramínea *Leptochloa pluriflora*.
- iii) sitios ecológicos de posiciones bajas (bajos), originalmente cubiertos por pastizales-sabanas, con abundancia de gramíneas adaptadas a la plena luz solar, como *Elionurus muticus*, *Schizachyrium tenerum*, *Heteropogon contortus*, *Pappophorum pappiferum*, etc.

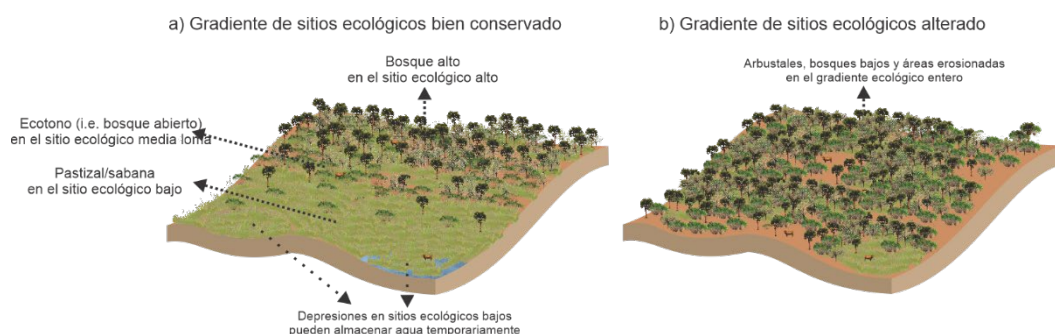


Figura 1. Modelo general de sitios ecológicos y estados de la vegetación a escala predial válido para vastas áreas de Santiago del Estero. a) Gradiente de sitios ecológicos con vegetación en buen estado. b) Gradiente de sitios ecológicos con vegetación en estado degradado.

La topografía de los sitios ecológicos se caracteriza por un gradiente suave, con pendientes generalmente inferiores al 2%. Sin embargo, estos pequeños cambios en la inclinación del terreno tienen un impacto significativo en la potencialidad productiva de cada sitio. Un aspecto destacado es que el gradiente de sitios ecológicos se despliega en distancias cortas, generalmente de apenas 200 metros a 1-2 kilómetros. Por lo tanto, es esperable que cualquier establecimiento productivo típico de la región albergue varios sitios ecológicos distintos.

En general, los sitios ecológicos altos se caracterizan por suelos con texturas medias y poco desarrollados, con pocos horizontes y colores claros debido al bajo contenido de materia orgánica, con presencia de carbonatos de calcio dentro del metro de profundidad. En contraste, con frecuencia los sitios ecológicos bajos presentan suelos con texturas más finas y mayor grado de desarrollo, con más horizontes y colores más oscuros debido al mayor contenido de materia orgánica, y con presencia de carbonatos de calcio en profundidad. Sin embargo, los suelos de los sitios ecológicos bajos son los que exhiben mayor diversidad de situaciones, variando desde suelos muy fértiles hasta arenosos y poco fértiles, o también con limitaciones significativas debido a la salinidad, sodicidad, alcalinidad y saturación hídrica. Por lo tanto, para tomar decisiones precisas a escala predial, es fundamental identificar correctamente los sitios ecológicos y evaluar parámetros clave de calidad del suelo en profundidades adecuadas. Algunos indicadores importantes para monitorear incluyen el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica y la densidad aparente. La selección de la pastura a implantar debería considerar el sitio ecológico y las características específicas del suelo, ya que las distintas especies y cultivares disponibles tienen requerimientos diferentes.

Es vital reconocer que comúnmente los sitios ecológicos ya no tienen su vegetación en estado prístino, y que dependiendo de su historia de uso cualquiera de ellos puede desarrollar otros estados de vegetación alternativos como bosques bajos, arbustales o peladares erosionados. La sobreexplotación humana provoca la degradación y homogeneización de la vegetación nativa en buen estado del gradiente local de sitios ecológicos, lo que conduce a la aparición de estados de vegetación menos productivos y biodiversos, como bosques bajos, arbustales y áreas erosionadas en varios sitios ecológicos (Figura 1). Estos temas se abordan en detalle el apartado siguiente.

1.3. Estados de la vegetación

Según la teoría de los Modelos de Estados y Transiciones (ME&T) a la cual adhiere el MBGI, bajo determinadas condiciones ecológicas (i.e. sitio ecológico) y como consecuencia de distintos regímenes de disturbio pueden existir estados alternativos de la vegetación y el suelo asociado. En los ME&T, cada estado se caracteriza por una determinada composición de la comunidad vegetal, por atributos estructurales y funcionales persistentes y por una dinámica de la vegetación asociada a fluctuaciones climáticas y/o al manejo.

Específicamente, un **estado de vegetación** se define como una comunidad de plantas y el suelo asociado que se distingue de otros estados por diferencias significativas en los grupos funcionales de plantas (cantidad de árboles, arbustos y plantas herbáceas), procesos ecosistémicos, estructura de la vegetación, productividad, biodiversidad y necesidades de manejo (Bestelmeyer et al., 2010). Cada sitio ecológico presenta estados de vegetación específicos, por lo que caracterizarlos es fundamental para determinar estrategias de manejo precisas y efectivas. Cada estado de vegetación requiere un enfoque de manejo particular.

El concepto de estado de la vegetación permite también determinar el estado de conservación de la vegetación nativa y el suelo en cada sitio ecológico. El concepto está estrechamente vinculado a la dinámica de la vegetación en cada sitio, que a su vez se relaciona con la historia de uso del sitio. La vegetación cambia de estado según su historial de usos, y los estados mejor conservados son aquellos que maximizan la producción y la conservación del suelo y la biodiversidad.

Típicamente, en el sitio ecológico alto, la vegetación nativa en buen estado se caracteriza por el bosque alto de quebrachos blanco y colorado. Sin embargo, el sobreuso puede llevar a un nuevo estado, el de bosque bajo o en regeneración, con una baja área basal de árboles (Tabla 1). Si el sobreuso continúa, este bosque bajo puede resultar en estados aún más degradados, como arbustales o áreas muy degradadas conocidas como peladares erosionados. Es fundamental evitar estos cambios de estado hacia situaciones más degradadas, ya que reducen la productividad, la calidad del suelo y la biodiversidad. Además, una vez que se produce un cambio de estado de uno bueno a otro más degradado, se requiere una gran cantidad de energía, inversión y manejo activo para restaurarlo a un estado más productivo.

En otro caso típico, el sitio ecológico bajo presenta una vegetación en buen estado constituida por pastizales-sabanas nativos, mantenidos por fuegos periódicos que limitan la proliferación de plantas leñosas. Sin embargo, el sobrepastoreo puede provocar un cambio a un estado de arbustal poco productivo, donde la falta de combustible fino de los pastos impide la ocurrencia de fuegos. Como resultado, este estado de arbustal se vuelve altamente estable en el tiempo, y su restauración a un estado de pastizal-sabana requiere prácticas costosas, como ser tratamientos mecánicos (rolados) para remover la cobertura leñosa, siembra de pasturas y exclusión temporaria del pastoreo para promover la recuperación del pastizal (Tabla 3).

Las tablas 1, 2 y 3 proporcionan un esquema de referencia sobre los sitios ecológicos y los estados de la vegetación para las principales áreas ganaderas y silvícolas de Santiago del Estero. Es importante destacar que, a medida que los estados de la vegetación se deterioran (clasificados como regular, degradado y muy degradado), las fisonomías tienden a asemejarse en diferentes sitios ecológicos, lo que resulta en un fenómeno conocido como 'homogenización' del paisaje.

Tabla 1. Modelo de estados de la vegetación para el sitio ecológico “alto”, aplicable en extensas áreas ganaderas y forestales de Santiago del Estero

Estados de la vegetación (dinámica de la vegetación y el suelo en el tiempo)				
Atributos	Bueno	Regular	Degradado	Muy degradado
Fisonomía	Bosque alto cerrado	Bosque bajo	Bosque bajo-arbustal	Peladar
Altura arbórea	>8m	8-3 m		-
Cobertura arbórea	>50%	>50% (bosque bajo cerrado) <50% (bosque bajo abierto)		Muy escasa
Árboles de diámetros comerciales	>5 ind./ha (bosque aprovechable)	<5 ind./ha	<5 ind./ha	-
Árboles de uso futuro (sin diámetro comercial actual)	>50 ind./ha (bosque aprovechable vital) <50 ind./ha (bosque aprovechable sobremaduro)	>50 ind./ha	<50 ind./ha	-
Altura arbustiva	<3 m			-
Cobertura arbustiva	Generalmente alta (>80%), pero variable según el manejo			Muy escasa
Biomasa herbácea nativa	800-2500 kg MS/ha.	500-1400 kg MS/ha	150-1000 kg MS/ha	< 150 kg MS/ha
Calidad de suelo	Buena	Buena-Regular	Regular-Mala	Mala, erosión severa
Manejo forestal	Equivale a las clases “Bosque aprovechable sobremaduro” y “Bosque aprovechable vital” de Brasiolo et al. (2007). El manejo adecuado es “Árbol de aprovechamiento futuro” y “Diámetro mínimo de corta”. En bosques sobremaduros (área basal > 9 m ² /ha), se aplica además “Enriquecimiento”.	Equivalente a la clase “Bosque en regeneración” de Brasiolo et al. (2007). Sin potencial de aprovechamiento forestal actual. El volumen de aprovechamiento en el corto plazo es muy limitado.	Equivalente a la clase “Bosque fuertemente degradado” de Brasiolo et al. (2007). Sin potencial de aprovechamiento actual y recuperación en el largo plazo. El manejo adecuado es “Enriquecimiento” y “Raleo” para recuperar la estructura.	Sin posibilidad de producción forestal. Se requiere controlar la erosión y revegetar a largo plazo.
Manejo ganadero	Sistemas silvopastoriles habilitados con Rolado de Baja Intensidad (RBI). Implantar pasturas megatérmicas. Balance forrajero. Ajustar carga animal para evitar el sobrepastoreo. Suplementación invernal.			Difícil recuperación de la productividad. Clausurar, controlar la erosión y favorecer la infiltración de agua mediante laboreo

		mecánico del suelo. Revegetar con gramíneas forrajeras adaptadas a suelos poco fértiles. Balance forrajero. Ajustar carga animal para evitar el sobrepastoreo. Suplementación invernal.
Manejo del fuego	Evaluar la carga de combustibles finos. Prevenir el ingreso de incendios no deseados en la temporada de fuegos mediante cortafuegos, limpieza de alambrados y pastoreo controlado para reducir la carga de combustible fino.	La falta de combustible, en especial fino, impide la propagación del fuego.

Fuente: elaboración propia en base a Brassiolo et al. (2007), Kunst et al. (2006, 2015), Morello & Adamoli (1968), y la experiencia empírica de los autores.

1.4. Mapeo de sitios ecológicos y estados de la vegetación

En la práctica, primero se realiza el mapeo de sitios ecológicos, y luego el mapeo de los estados de la vegetación. En ambos mapeos, la escala debe ser la misma.

Posteriormente, estos mapas se superponen y analizan en software de Sistemas de Información Geográficos como QGIS, se integran con información relevada a campo, como el inventario forestal, calidad del suelo, balance forrajero e infraestructura, para informar y disparar el proceso de toma de decisiones de manejo.

1.4.1. La escala del mapa

La escala de un mapa es la relación entre la distancia en el mapa y la distancia en el terreno, medida en las mismas unidades lineales. Esta relación adimensional se expresa siempre como una proporción con una unidad en el numerador. La escala es crucial para los usuarios, ya que determina el nivel de detalle de la información representada. A medida que se requiere mayor detalle en el mapa, aumentan los costos y el tiempo de mapeo, por lo que es fundamental seleccionar una escala que proporcione la información necesaria sin exceso ni defecto.

Para mapear sitios ecológicos y estados de la vegetación, se recomienda una escala de 1:50.000, que ofrece un nivel semidetallado. En esta escala, 1 unidad en el mapa equivale a 50.000 unidades en el terreno; por ejemplo, 1 centímetro en el mapa representa 50.000 cm en el terreno (500 m). Es fundamental considerar que, a esta escala, el área mínima legible en el mapa es de 10 hectáreas,

lo que determina el tamaño mínimo de terreno que puede ser representado de manera legible (Rossiter & Vargas Rojas, 2002).

Tabla 2. Modelo de estados de la vegetación para el sitio ecológico “media loma”, aplicable en extensas áreas ganaderas y forestales de Santiago del Estero

	Estados de la vegetación (dinámica de la vegetación y el suelo en el tiempo)			
Atributos	Bueno	Regular	Degradado	Muy degradado
Fisonomía	Bosque alto abierto	Bosque bajo	Bosque bajo-arbustal	Peladar
Altura arbórea	>8m	8-3 m		-
Cobertura arbórea	<50%	>50% (bosque bajo cerrado) <50% (bosque bajo abierto)		Muy escasa
Área basal (m²/ha)	Sin datos			-
Altura arbustiva	<3 m			-
Cobertura arbustiva	<30-40%	Generalmente alta (>80%), pero variable según el manejo		Muy escasa
Biomasa herbácea nativa	3000-5000 kg MS/ha.	3000-4000 kg MS/ha	500-1000 kg MS/ha	< 500 kg MS/ha
Calidad de suelo	Buena	Buena-Regular	Regular-Mala	Mala, erosión severa
Manejo forestal	Método del “Árbol de aprovechamiento futuro”.			
Manejo ganadero	La productividad de las pasturas nativas sigue siendo buena. Para controlar la cobertura arbustiva, implementar Rolado de Baja Intensidad (RBI) o quemas prescriptas de intensidad media cada 3 años. Balance forrajero. La implantación de pasturas megatérmicas es opcional. Ajustar carga animal para evitar el sobrepastoreo. Suplementación invernal.		Sistemas silvopastoriles habilitados con Rolado de Baja Intensidad (RBI). Implantar pasturas megatérmicas, y promover la revegetación de pasturas nativas. Balance forrajero. Ajustar carga animal para evitar el sobrepastoreo. Suplementación invernal.	Difícil recuperación de la productividad. Clausurar, controlar la erosión y favorecer la infiltración de agua mediante laboreo mecánico del suelo. Revegetar con gramíneas forrajeras adaptadas a suelos poco fértiles. Balance forrajero. Ajustar carga animal para evitar el sobrepastoreo. Suplementación invernal.
Manejo del fuego	Evaluar la carga de combustibles finos. Prevenir el ingreso de incendios no deseados en la temporada de fuegos, mediante cortafuegos, limpieza de alambrados y pastoreo controlado para reducir la carga de combustible fino. Sin embargo, se pueden usar quemas prescriptas como las indicadas en la fila de arriba para mantener o mejorar la fisonomía original de bosque abierto.			La falta de combustible fino impide la propagación del fuego.

Fuente: elaboración propia en base a Brassiolo et al. (2007), Kunst et al. (2006, 2015), Morello & Adamoli (1968), y la experiencia empírica de los autores.

Tabla 3. Modelo de estados de la vegetación para el sitio ecológico “bajo”, aplicable a extensas áreas ganaderas de Santiago del Estero

Atributos	Estados de la vegetación (dinámica de la vegetación y el suelo en el tiempo)			
	Bueno	Regular	Degradado	Muy degradado
Fisonomía	Pastizal-sabana	Pastizal-sabana-arbustal	Arbustal-Bosque bajo	Peladar
Altura arbórea	>8 m (árboles altos)		8-5 m	
Cobertura arbórea	Con o sin arboles altos dispersos.		Variable, puede ser de moderada a alta en pastizales-sabanas con lignificación antigua (más de 50 años).	Muy escasa
Altura arbustiva	< 3m			-
Cobertura arbustiva	<30%	30-70%	>70%	Muy escasa
Biomasa herbácea promedio	3000-6000 kg MS/ha	3000-4500 kg MS/ha	300-1800 kg MS/ha	< 300 kg MS/ha
Calidad de suelo	Buena	Buena-Regular	Buena-Regular	Mala
Manejo forestal	Sin aptitud para cosecha comercial de madera		Apto para cosechar leña y postes.	Sin aptitud forestal
Manejo ganadero	La productividad de las pasturas nativas sigue siendo buena. Para controlar la cobertura arbustiva, implementar Rolado de Baja Intensidad (RBI) o quemas prescriptas de intensidad media cada 3 años. Balance forrajero. La implantación de pasturas megatérmicas es opcional.		Sistemas silvopastoriles habilitados con Rolado de Baja Intensidad (RBI). Implantar pasturas megatérmicas. Balance forrajero. Otra alternativa es restaurar el pastizal mediante el uso combinado de RBI, quemas prescriptas y pastoreo racional.	Difícil recuperación de la productividad. Clausurar, controlar la erosión y favorecer la infiltración de agua. Revegetar con gramíneas forrajeras adaptadas a suelos poco fértiles. Balance forrajero.
Manejo del fuego	Evaluar la carga de combustibles finos. Prevenir el ingreso de incendios no deseados en la temporada de fuegos mediante cortafuegos, limpieza de alambrados y pastoreo controlado para reducir la carga de combustible fino. Sin embargo, se pueden usar quemas prescriptas como las indicadas arriba para mantener o mejorar la fisonomía original de pastizal-sabana.			La falta de combustible fino impide la propagación del fuego.

Fuente: elaboración propia en base a Kunst et al. (2006, 2015), Morello & Adamoli (1968), y la experiencia empírica de los autores.

Esta área mínima actúa como una unidad básica de análisis, similar a un píxel en una imagen satelital, y no permite distinguir elementos individuales cartografiados adicionales, independientemente del nivel de zoom. A continuación, se presentan algunos ejemplos que ilustran el uso práctico de este concepto:

- En un terreno irregular con microtopografía alrededor de un punto de observación "p", determinar la posición de "p" a escala 1:50.000 implica estimar la posición en el paisaje local de 10 ha alrededor de "p". Debido al área mínima legible, no se puede distinguir la microtopografía inmediata alrededor de "p".
- Al clasificar la fisonomía de la vegetación alrededor del mismo punto "p", si el observador está parado sobre un área de pastizal pero la observación de las 10 ha circundantes indica una mezcla aproximadamente igual de pastizal y arbustal, entonces, a escala 1:50.000, el área se clasificaría como pastizal-arbustal.

En estos ejemplos, un mapeo detallado de la microtopografía y de las áreas de pastizal y arbustal por separado requeriría una escala de observación más detallada, como 1:2.500, donde la mínima unidad legible sería de 0,025 ha (250 m²). Sin embargo, este nivel de detalle no es necesario para un manejo efectivo a escala predial en el marco del MBGI.

Por último, la densidad de puntos de inspección (verdad de tierra) recomendada para elaborar un mapa a escala 1:50.000 es de 1 a 5 puntos por km², o equivalentemente, 1 punto por 20-100 ha (Rossiter & Vargas Rojas, 2002).

1.4.2. Criterios para el mapeo de sitios ecológicos

La distribución espacial de los sitios ecológicos está determinada por los patrones geomorfológicos locales. Por lo tanto, contar con conocimientos sobre el origen y reconocimiento de geoformas resulta fundamental para mapear y comprender la ubicación de estos sitios de manera efectiva.

En el área de los paleocauces del Río Salado, la geomorfología fluvial determina un patrón característico en la distribución de los sitios ecológicos (Figura 2, Figura 3). En antiguos cauces de ríos se desarrollan sitios ecológicos bajos con suelos de textura gruesa y cobertura de pastizales más o menos arbustificados. En los albardones, se encuentran sitios ecológicos altos con suelos de textura media y cobertura de bosque alto.

Un interfluvio se define como el área relativamente plana y baja entre dos paleocauces, con un sector central más bajo denominado "interfluvio bajo" y bordes más elevados llamados "interfluvio intermedio" o "media loma" en algunos contextos. Los sitios de media loma se ubican en los interfluvios intermedios, con suelos de textura media y vegetación de bosque más baja que el de los albardones. Por otra parte, en los interfluvios bajos se encuentran otros sitios ecológicos bajos con características edáficas y vegetales distintas a las de los paleocauces. Estos suelos son de textura fina y con frecuencia presentan limitaciones por salinidad y sodicidad, lo que los hace ambientalmente de uso restringido. Originalmente cubiertos por pastizales, el sobrepastoreo ha derivado en su conversión en peladares. En la figura 3, se muestra además como los meandros abandonados de antiguos ríos crean un patrón en forma de isletas en la distribución de los sitios ecológicos.

En el ejemplo del área de secano del Campo Experimental La María del INTA, la actividad de los ríos es antigua y las geoformas fluviales típicas fueron completamente cubiertas por una capa de sedimentos de textura limosa de origen eólico, el loess. Sin embargo, esta actividad fluvial

antigua ha dejado como herencia una topografía irregular donde se desarrollan los tres sitios ecológicos. Adicionalmente, la topografía local tiene cierta influencia de las serranías de Guasayán. Bajo estas condiciones, los tipos suelos de los sitios ecológicos altos, medias lomas y bajos son similares (Haplustoles), aunque la mayor humedad en los sitios ecológicos bajos favorece más a la productividad de las gramíneas en estos lugares. La Figura 4 muestra los rasgos característicos a considerar para realizar una correcta fotointerpretación de sitios ecológicos en el área.

El viento, con movimientos remolinados en climas pasados más secos, creó depresiones eólicas circulares de distintos tamaños, llamadas cubetas eólicas. Estas depresiones, ubicadas en sitios ecológicos bajos, actúan como represas naturales y almacenan agua temporalmente. Puede ser relevante para el productor identificar estas depresiones en un contexto de diseño de obras de captación de agua (Figura 5).

En otras zonas, como los faldeos serranos, la cercanía de la roca madre a la superficie influye en la forma del terreno y, por lo tanto, en los patrones de sitios ecológicos. Con frecuencia, las pendientes más pronunciadas en estas áreas facilitan el reconocimiento de las posiciones topográficas y de los sitios ecológicos.

Es importante reconocer que la cobertura vegetal nativa no siempre es un indicador confiable para mapear sitios ecológicos. En áreas con vegetación bien conservada, la distribución de bosques y pastizales puede reflejar la configuración espacial de los sitios ecológicos y ser útil para su mapeo. Sin embargo, en paisajes alterados, la homogeneización de la vegetación puede dificultar la identificación precisa de estos sitios (Figura 6). Por consiguiente, resulta más fiable basarse en características topográficas estables en lugar de características botánicas dinámicas para lograr un mapeo preciso. En este sentido, el mapeo de posiciones topográficas relativas, como altos, medias lomas y bajos, se convierte en un criterio más sólido (Figura 7).

1.4.3. Criterios para el mapeo de estados de la vegetación

El mapeo de los estados de vegetación se realiza después del mapeo de los sitios ecológicos. Es fundamental reconocer que un sitio ecológico puede tener varios estados de vegetación asociados. De hecho, mapear estados de vegetación es similar a mapear fisonomías vegetales. En Santiago del Estero, se han identificado fisonomías típicas asociadas con diferentes estados de vegetación, como bosques altos (abiertos o cerrados), bosques bajos (abiertos o cerrados), pastizales-sabanas, entre otros (ver tablas 1, 2 y 3). Sin embargo, los criterios fisonómicos para clasificar las coberturas en las tablas 1, 2 y 3 como la altura y cobertura arbórea y arbustiva, son arbitrarios; por lo tanto, es recomendable que los técnicos los definan o adapten según la zona de trabajo, ya que la productividad y el tamaño potencial de las especies vegetales varían según las características climáticas y edáficas. Posteriormente, las clases de estados de vegetación obtenidos se describen según atributos ambientales y productivos relevantes, como la composición de especies, el área basal de árboles, la productividad forrajera y la calidad del suelo, para informar el proceso de toma de decisiones de manejo. En esencia, el manejo debe enfocarse en mantener o restaurar estados de vegetación saludables.

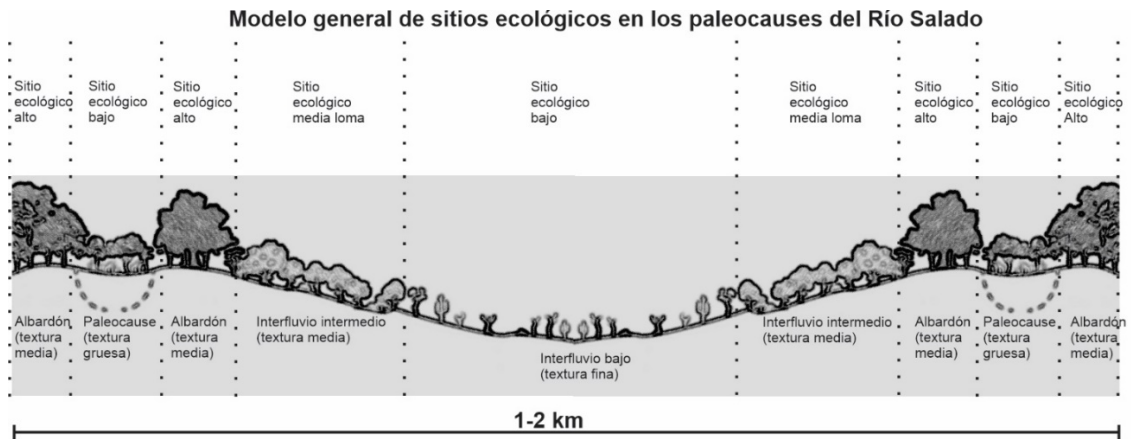


Figura 2. Geomorfología fluvial y reconocimiento de sitios ecológicos en el área de paleocauces del Río Salado, aunque el modelo es válido también para el área de paleocauces de los ríos Bermejo y Pilcomayo. Las coberturas vegetales representadas son las que comúnmente se encuentran en la actualidad. Adaptado de Nenning et al. (2022).



Figura 3. Geomorfología fluvial y reconocimiento de sitios ecológicos en el área de paleocauces del Río Salado. 1. Sitio ecológico alto en albardón con cobertura de bosque. 2. Sitio ecológico bajo en paleocauce con pastizales y distintos grados de arbustificación. 3. Sitio ecológico de media loma en interfluvio elevado con bosques abiertos. 4. Sitio ecológico bajo en interfluvio bajo con características edáficas y vegetales distintas a las del paleocauce. 5. Meandro abandonado formando un patrón de sitio ecológico en isleta. Fuente: Google Earth Pro-7.3.6.10201 (64-bit).

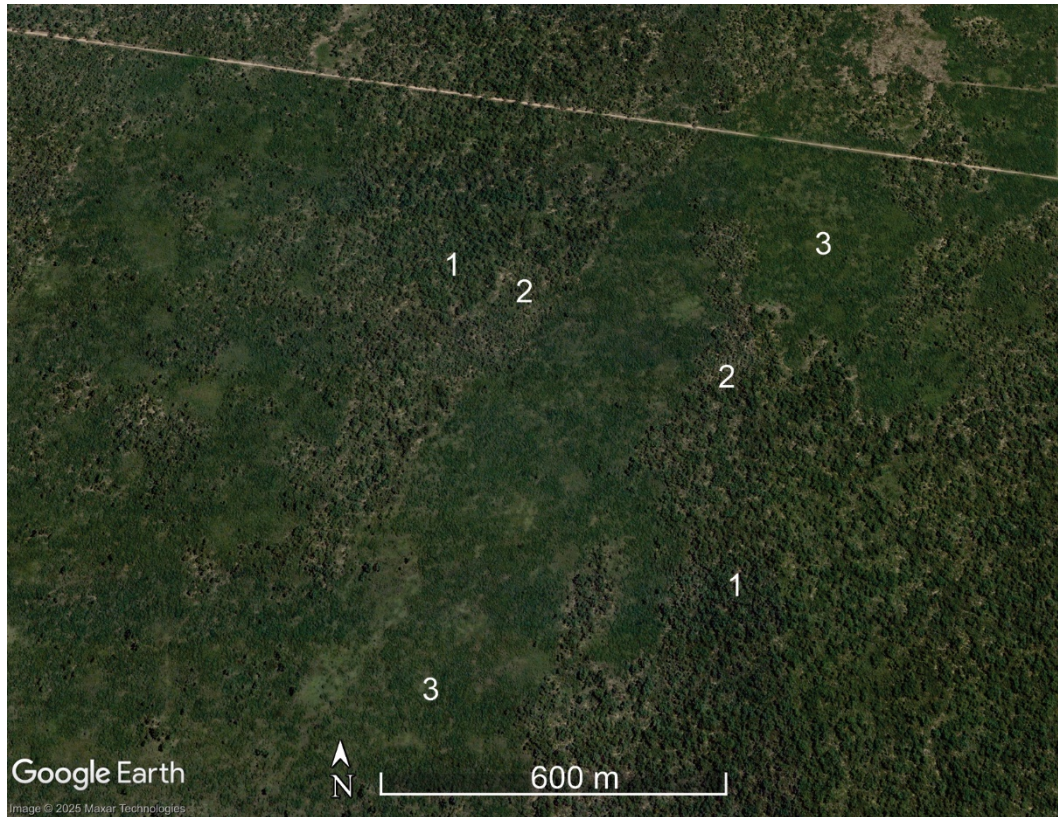


Figura 4. Geomorfología fluvial y reconocimiento de sitios ecológicos en el Campo Experimental La María del INTA EEA Santiago del Estero. La imagen muestra tres sitios ecológicos diferenciados. 1. Sitios ecológicos altos con bosques densos y altos. 2. Sitios ecológicos de medias lomas con bosques abiertos, identificables por la presencia de áreas erosionadas (blanquecinas) debido a las pendientes que promueven la escorrentía. 3. Sitios ecológicos bajos con arbustales densos, reconocibles por la predominancia de arbustos de menor porte que los árboles. Fuente de la imagen: Google Earth Pro-7.3.6.10201 (64-bit).

1.4.4. Técnicas de mapeo

Para crear mapas de sitios ecológicos y estados de la vegetación, se emplean métodos clásicos como la fotointerpretación y la clasificación de las geoformas del terreno y la vegetación, utilizando fotografías aéreas e imágenes satelitales en entornos de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En particular, para mapear sitios ecológicos, las imágenes antiguas pueden ser especialmente valiosas, ya que pueden mostrar la vegetación en un estado más prístino, reflejando mejor la distribución espacial de los sitios ecológicos. También existen métodos avanzados, como la clasificación de formas de terreno mediante técnicas de geomorfometría digital, aunque estos requieren conocimientos especializados en procesamiento de Modelos de Elevación Digital (DEM).

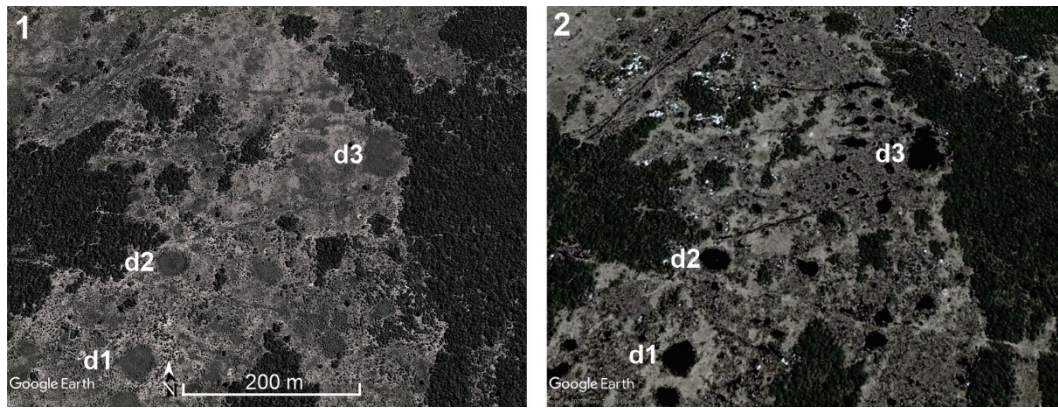


Figura 5. Depresiones eólicas circulares en un sitio ecológico bajo del Departamento Capital, Santiago del Estero, capaces de almacenar agua temporalmente. En una misma área y en dos momentos diferentes, se observan tres depresiones (d1, d2 y d3) sin agua acumulada (subfigura 1) y con agua acumulada (subfigura 2). Fuente de la imagen: Google Earth Pro-7.3.6.10201 (64-bit).



Figura 6. Homogenización de la vegetación y reconocimiento de sitios ecológicos en un lote de la localidad El Simbol. La imagen muestra una vegetación aparentemente uniforme en toda el área de estudio, lo que dificulta la identificación de sitios ecológicos específicos debido a la falta de indicios visuales distintivos. Fuente de la imagen: Google Earth Pro-7.3.6.10201 (64-bit).

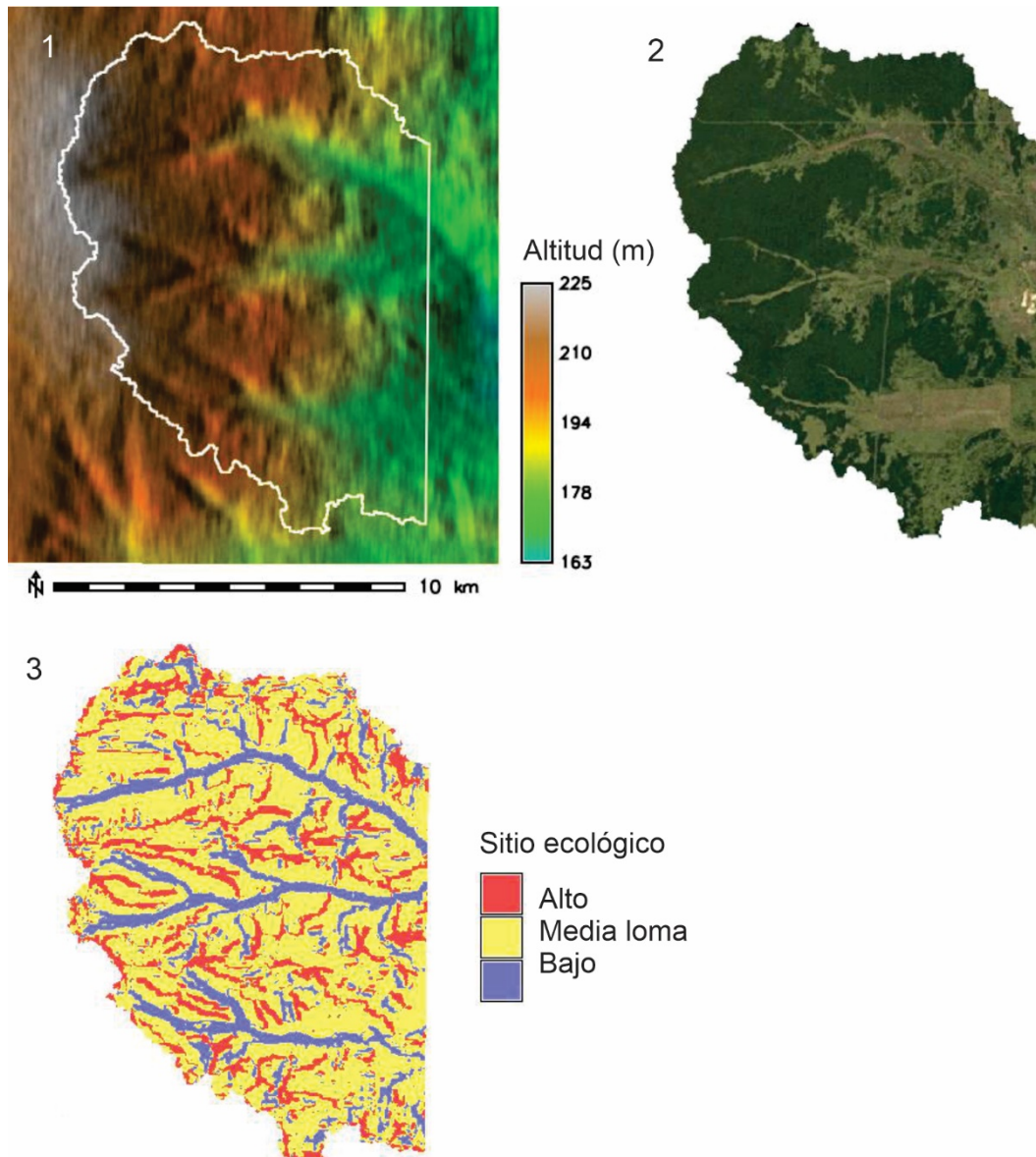


Figura 7. Posiciones topográficas relativas y mapeo de sitios ecológicos en la Cuenca Esperanza, Departamento Moreno, Santiago del Estero. La figura consta de tres componentes. 1. Representación 3D del relieve irregular de la cuenca, con altitudes (m) indicadas por un gradiente de colores que muestra la variabilidad topográfica del área, con pendientes menores a 2%. 2. Vegetación nativa en 1984, donde se observa la dominancia de pastizales en sitios ecológicos bajos y bosques en sitios ecológicos altos y medias lomas, lo que sugiere una relación entre la topografía y la cobertura vegetal. 3. Mapa de sitios ecológicos obtenido mediante la técnica de clasificación digital de geoformas “Geomorphon” (Coria et al., 2024). Los mapas 1 y 3 fueron generados a partir del procesamiento de un Modelo Digital de Elevación (MDE) ALOS PALSAR L-band con resolución espacial de 30 m, correspondiente a julio de 2007, utilizando el software GRASS GIS 8.3. La imagen del mapa 2 se obtuvo de Google Earth Pro-7.3.6.10201 (64-bit).

No es posible desarrollar estos métodos en detalle en esta guía de carácter orientativo. Por lo tanto, se recomienda que los técnicos involucrados en el mapeo profundicen en sus conocimientos y habilidades específicas para garantizar un trabajo efectivo y de alta calidad.

Independientemente del método utilizado, la verificación en terreno de los sitios ecológicos y los estados de la vegetación es fundamental para ajustar y validar los mapeos. Los inventarios de vegetación y suelos realizados deben ser utilizados con este fin.

Para definir sitios ecológicos y estados de la vegetación es necesario tener una contextualización a nivel de escalas, desde lo regional a lo local, integrando toda esta información para comprender correctamente la situación predial. Para esto se deben tener en cuenta principalmente factores climáticos, topográficos, bióticos y de manejo.

Este proceso requiere combinar técnicas de toma de datos a campo, geo información en SIG, revisión bibliográfica y conocimientos del técnico. En lo que respecta a la toma de datos a campo será explicado en otras componentes, porque aquí se hará referencia principalmente al uso de la geo información y la integración de datos en SIG.

En la actualidad existe una gran variedad de software GIS y bases de datos, pero dado el gran potencial y que es de uso libre, QGIS es de los más utilizados. En el caso de usuarios más avanzados y que procesan volúmenes mayores de datos existe Google Earth Engine.

A grandes rasgos se representa el proceso, principales criterios y datos a utilizar en el proceso de mapeo de sitios ecológicos y estados de la vegetación en el diagrama de la Figura 8.

Se debe tener especial rigurosidad para lograr integrar los datos de campo en un SIG. Una vez que estos datos se encuentran correctamente georreferenciados y sistematizados en una tabla csv. o txt., se integran al SIG mediante capas (vectoriales) utilizando funciones como “añadir capa de texto delimitado”.

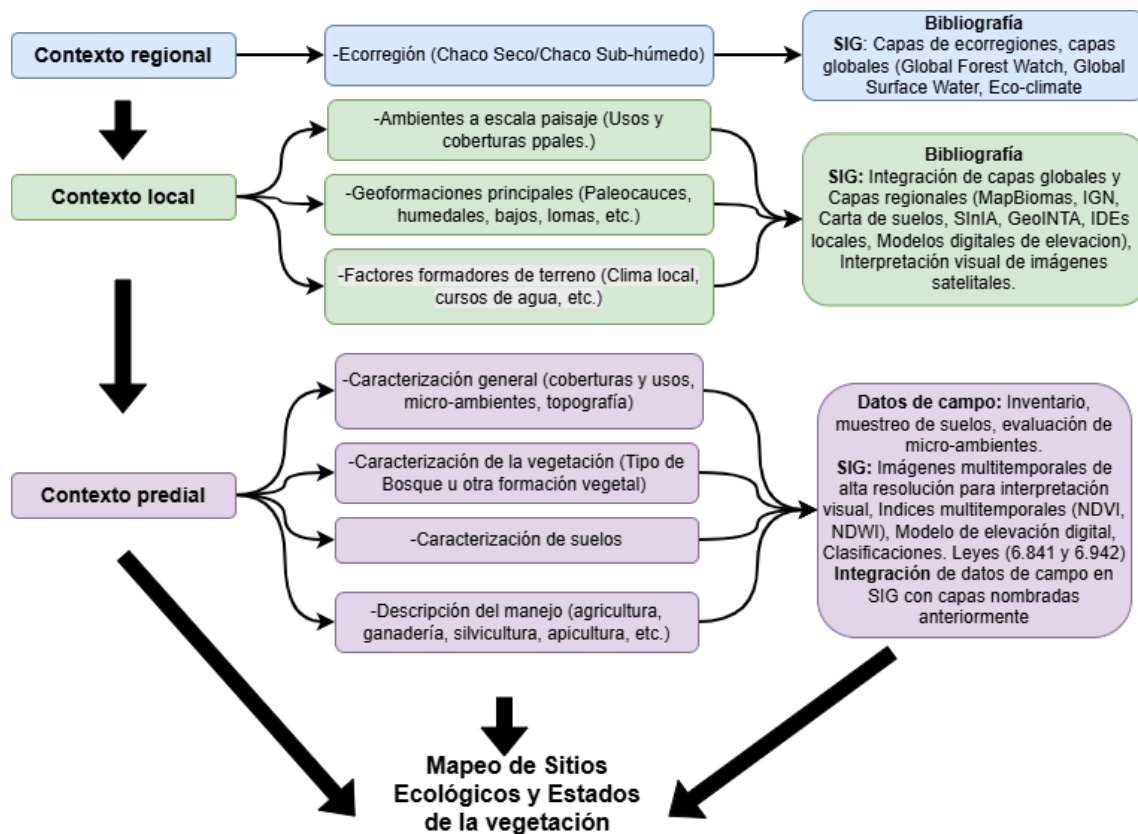


Figura 8. Capas de información espacial a considerar para mapear sitios ecológicos y estados de la vegetación.

La Tabla 4 presenta información sobre las principales bases de datos y capas para realizar un óptimo trabajo en los SIG. Todos son de uso libre y accesibles mediante búsqueda en internet.

La gran variedad de capas presentadas y los datos de campo permiten al técnico a abordar a un correcto mapeo de sitios ecológicos y estados de la vegetación. El producto final puede ser una capa raster o vectorial derivado de una clasificación supervisada sobre las capas seleccionadas y los datos de campo. También es posible arribar al resultado a partir de interpretación visual que derive a una digitalización de las áreas consideradas para cada sitio ecológico.

La Figura 9 presenta un resumen visual de un proceso de clasificación supervisada que derivó en el mapeo de tres sitios ecológicos. Este proceso fue realizado en Google Earth Engine, utilizando imágenes satelitales, índices NDVI y NDWI y un Modelo Digital de Elevaciones. Se puede observar la correspondencia entre la clasificación resultante con la imagen satelital. A su vez se corresponde con la distribución natural de las coberturas en lo que refiere a topografía.

Tabla 4. Bases de datos de libre uso disponibles para obtener capas de información para el mapeo de sitios ecológicos y estados de la vegetación.

Base de datos	Capa de información	Escala
Sistema Integrado de Información Ambiental (SInIA)	Capa de ecorregiones de Argentina	regional
Global Forest Watch (GFW) y Global Forest Change (GFC)	Capa de cobertura forestal y capa de pérdida de bosques a nivel global	Regional y local
NASA	Imágenes satelitales diarias del satélite MODIS de resolución 250 m. Datos meteorológicos globales	regional
Bio climate	Datos climáticos históricos en formato raster	regional
MapBiomass	Capa de clasificación de coberturas y usos del suelo en resolución espacial de 30m. y temporal de cada año.	Regional y local
GeoINTA	Capa de carta de suelos, aptitud de suelos, datos meteorológicos	Regional y local
MAGyP	Capa (no descargable) interactiva de cultivos	Regional y local
IDE Santiago del Estero	Capa de OTBN y ley 6.841, Carta de Suelos, Hidrogeología y unidades de vegetación.	Regional, local y predial
CooperNICUS (ESA)	Imágenes satélites desde 2016 con resolución espacial de 10m. Índices compuestos (NDWI, NDWI, EVI, SAVI) con resolución de 10 y 20 m. Modelo Digital de elevación con resolución espacial de 30 m.	Local y predial
USGS	Imágenes satelitales desde 1985 con resolución espacial de 30m. Modelos de elevación digital SRTM con resolución espacial de 30m.	Local y predial

Hay ocasiones en las que lotes pequeños o coberturas muy similares espectralmente no permiten realizar una clasificación correcta. Para estas situaciones es conveniente realizar un mapeo con digitalización manual, dándole principal importancia a información de campo georreferenciada.

Para finalizar, es importante aclarar que, para poder arribar a resultados aceptables, el técnico debe realizar el proceso de principio a fin apoyándose en sus conocimientos previos, datos de campo y la bibliografía.

1.4.5. Temporalidad de los mapeos

Las condiciones de sitio ecológico son relativamente estables en el tiempo, y, por lo tanto, su mapeo se realiza una sola vez al inicio del plan de manejo.

En cambio, los estados de la vegetación son dinámicos y pueden cambiar significativamente con las intervenciones de manejo (e.g. corta forestal, el rolado, el pastoreo y quemas prescriptas) en poco tiempo. En consecuencia, los cambios en los estados de vegetación deben monitorearse más seguido, siendo recomendable realizar un mapeo cada 3-5 años.

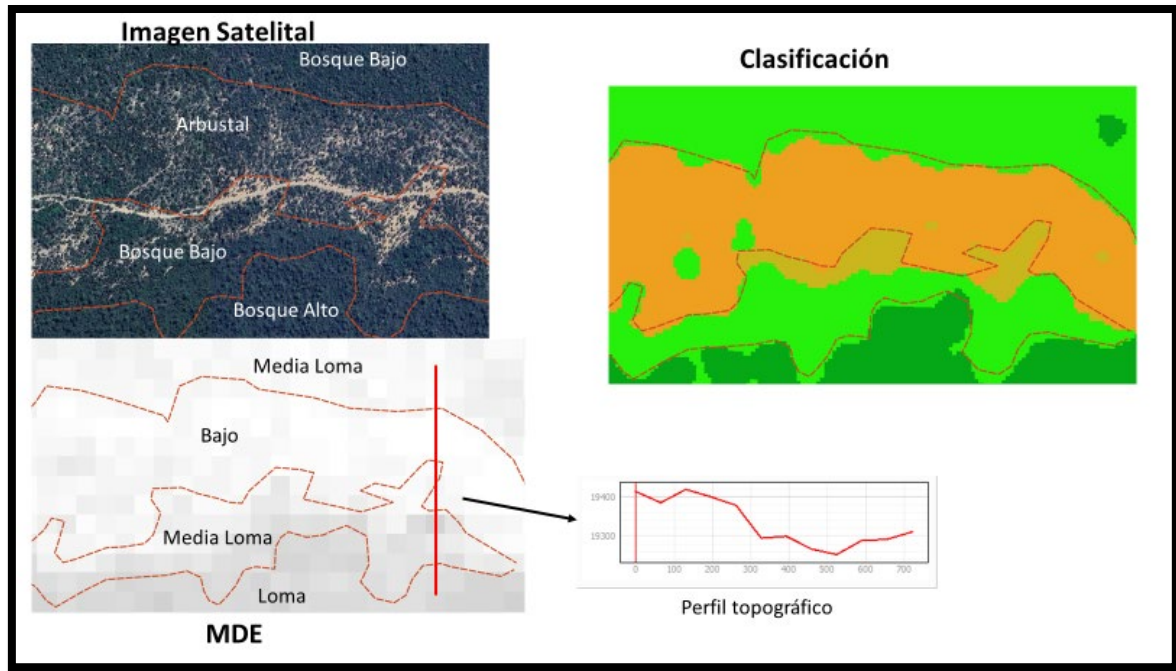


Figura 9. Ejemplo de un proceso de clasificación supervisada para el mapeo de sitios ecológicos a partir de índices NDVI y NDWI y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

1.5. Literatura recomendada

Bestelmeyer, B. T., Moseley, K., Shaver, P. L., Sanchez, H., Briske, D. D., & Fernandez-Gimenez, M. E. 2010. Practical Guidance for Developing State-and-Transition Models. *Rangelands*, 32(6), 23-30. <https://doi.org/10.2111/RANGELANDS-D-10-00077.1>

Brassiolo, M., Araujo, P., Diaz Lannes, F., & Bonelli, L. 2007. *ANEXO I I. Guía de prácticas sustentables para las áreas forestales de la provincia de Santiago del Estero. Manejo Forestal* (p. 105). Ministerio de Producción, Recursos Naturales, Forestación y Tierras. Comisión de Recursos Naturales y Tierras del Consejo Consultivo.

Coria, R. D., Brungard, C., Vizgarra, A. L., Moretti, L. M., Schulz, G. A., & Rodríguez, D. M. 2024. Accuracy assessment of the geomorphon approach to detect ecological sites in the Dry Chaco region of Argentina. *CATENA*, 246, 108409. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108409>

Coria, R. D., Kunst, C. R., & Bravo, S. J. 2021. Un aporte al entendimiento de la lignificación de los pastizales/sabanas del Chaco Semiárido sudamericano. *Ecología Austral*, 456-474. <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.3.0.1615>

Kunst, C., Monti, E., Pérez, H., & Godoy, J. 2006. Assessment of the rangelands of southwestern Santiago del Estero, Argentina, for grazing management and research. *Journal of Environmental Management*, 80(3), 248-265. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.10.001>

- Kunst, C., Navall, M., Coria, R. D., Ledesma, R., Tomsic, P., González, A., Gómez, A., & Feuillade, D. 2015. *Guía de Prácticas Recomendables para Sistemas Silvopastoriles en Santiago del Estero. Producir carne y madera conservando el ambiente*. INTA EEA Santiago del Estero. Gobierno de la Provincia de Santiago del Estero.
- Morello, J., & Adamoli, J. 1968. *Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Primera parte: Objetivos y metodología* (Serie Fitogeográfica N° 10). INTA.
- Nenning, F., Pueyo, D., & Cavallero, M. I. 2022. *Forrajeras megatérmicas para ambientes de Chaco y Formosa* (1a ed.). Ediciones INTA.
- Rossiter, D. G., & Vargas Rojas, R. 2002. *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. 2da Version revisada Marzo 2000 – Traduccion y adaptacion Agosto del 2004*. International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC).

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE INDICADORES FORESTALES

2.1. Introducción

La gestión forestal requiere de herramientas que permitan comprender, con precisión y profundidad, la dinámica estructural y funcional de los ecosistemas forestales. Por ello los inventarios forestales constituyen un insumo estratégico fundamental, en tanto proveen información sistemática y cuantificable sobre la composición, distribución, estado sanitario y potencial productivo del bosque.

Lejos de limitarse a un relevamiento descriptivo, los inventarios forestales cumplen un rol central en la toma de decisiones, al permitir establecer líneas de base, definir unidades de manejo, estimar existencias y tasas de crecimiento, así como evaluar la capacidad de carga ganadera en función de la disponibilidad y resiliencia del recurso forestal. En este sentido, su integración en planes de manejo permite construir modelos productivos sostenibles, adaptados a las realidades locales y compatibles con los marcos normativos vigentes. El inventario forestal es el puente entre el conocimiento ecológico y la gestión productiva, permitiendo sostener decisiones informadas que articulan el uso ganadero con la conservación del bosque.

El presente protocolo propone estandarizar los procedimientos para la realización de inventarios forestales, a los fines de garantizar la coherencia y calidad de las evaluaciones del bosque en la formulación de Planes de Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI) en la provincia de Santiago del Estero.

Se han considerado las metodologías aplicadas en el Segundo Inventario Forestal de Bosques Nativos de la República Argentina (SAyDS, 2029), lo que permite unificar criterios de relevamiento y obtener resultados robustos para la determinación de la línea de base de los planes MBGI en la provincia. No obstante, su implementación se adapta a las condiciones económicas y técnicas del contexto local, adoptando diseños de parcela y de muestreo que simplifican las tareas y se adaptan a las limitaciones de recursos disponibles, permitiendo sostener la viabilidad operativa del inventario sin comprometer la calidad de la información relevada.

2.2. El inventario forestal: consideraciones generales

Según SAyDS (2019) se consideran bosques inventariables a todos los ecosistemas forestales naturales en distinto estado de desarrollo, de origen primario o secundario, que presentan una cobertura arbórea de especies nativas mayor o igual al 20% y con árboles que alcanzan una altura mínima de 3 metros, incluyendo palmares.

De acuerdo con la definición de FAO (2017) “un inventario forestal consiste en la recolección sistemática de datos sobre los recursos forestales de una zona determinada. El inventario forestal permite la evaluación del estado actual y sienta las bases del análisis y la planificación, que constituyen el punto de partida de una gestión forestal sostenible. Su realización permite adoptar

decisiones fundamentadas en información fiable y sólida, por lo que es necesario un proceso cíclico de recolección de datos, adopción de decisiones y evaluación de los resultados obtenidos.

Debido al costo y a las limitaciones de tiempo, los inventarios se suelen llevar a cabo utilizando técnicas de muestreo. El principio general del muestreo consiste en seleccionar un subconjunto de una población y obtener conclusiones de la muestra para toda la población. Dependiendo del objetivo de la gestión forestal, se considera la siguiente clasificación de inventarios forestales.

2.2.1. Clasificación según la dinámica temporal

En la gestión forestal, según el factor “tiempo”, los inventarios se clasifican en:

1. Inventarios forestales estáticos (puntuales): se realizan en un momento único para conocer las características actuales como el volumen (m^3/ha), área basal (m^2/ha), entre otras.
2. Inventarios forestales continuos: se basan en parcelas permanentes que se miden periódicamente (cada 3 a 5 años). Considerando la visión desde la gestión forestal es el único método que permite medir el crecimiento (IMA - Incremento Medio Anual) y la mortalidad. Es la base para ajustar la tasa de corta y cumplir con el ciclo de mejora continua.

En el marco de los planes provinciales MBGI, se realiza un inventario forestal puntual del predio como línea de base para la planificación. Posteriormente, se realizan inventarios periódicos de las áreas bajo intervención, para corregir el manejo y asegurar la persistencia del recurso en el largo plazo.

2.2.2. Clasificación según su alcance geográfico

La FAO destaca la "recolección sistemática en una zona determinada", cuyo tamaño define la técnica a emplear. Se reconocen las siguientes escalas:

1. Inventario forestal nacional: proporciona datos a nivel país para políticas macro y compromisos internacionales. Se alinea con la visión de la FAO de "sentar las bases del análisis" a gran escala.
2. Inventario regional o de cuenca: enfocado en la ordenación del territorio y servicios ecosistémicos específicos.
3. Inventario de predio o unidad de manejo: Es el más operativo. Aquí, la "información fiable y sólida" que pide la FAO se traduce en decisiones de aprovechamiento directo, y es el caso del inventario forestal necesario para el manejo MBGI.

2.2.3. Clasificación según el objetivo de la gestión

En el marco de una gestión forestal sostenible, el inventario forestal es la base de la planificación estratégica. Dependiendo del momento del ciclo de manejo y del tipo de decisiones que el técnico deba tomar, los inventarios se clasifican en cuatro categorías principales:

1. Inventario de reconocimiento o exploratorio: este es el primer contacto técnico con el recurso. Su objetivo primordial es la caracterización general y la zonificación del área. Se

realiza para determinar la vocación del suelo, identificar los diferentes tipos de bosque (estratificación) y descartar áreas que, por su fragilidad o pendiente, deben destinarse exclusivamente a la protección. En esta etapa, se acepta un margen de error mayor, ya que la meta es evaluar la viabilidad técnica y económica de un proyecto forestal antes de realizar inversiones profundas.

2. Inventario de manejo o de ordenación: representa el pilar sobre el cual se construye el Plan de Manejo Forestal a largo plazo. A diferencia del inventario exploratorio, aquí se busca una alta precisión estadística para describir la estructura de la población. El técnico utiliza estos datos para analizar la distribución de clases diamétricas, lo que permite proyectar cómo se comportará el bosque en el futuro. Es la herramienta fundamental para calcular la posibilidad forestal -la cantidad máxima de madera que se puede extraer- asegurando que la cosecha no supere el crecimiento natural del bosque, siendo ello esencial en el manejo MBGI.
3. Inventario de pre-aprovechamiento (censo comercial): a nivel operativo, este es el inventario más detallado, ya que implica la medición del 100% de los individuos que cumplen con las características comerciales (especie y diámetro mínimo de corta). Este proceso puede incluir el mapeo y georreferenciación de cada árbol, a los fines de optimizar la logística de extracción, diseñar caminos de saca eficientes y planificar la tala dirigida, reduciendo drásticamente los daños al suelo y a la vegetación remanente que debe quedar para el siguiente ciclo.
4. Inventario de control o evaluación: este tipo de inventario cierra el "proceso cíclico" que menciona la definición de la FAO. Se realiza después de las intervenciones de aprovechamiento para evaluar el estado en que quedó la masa forestal remanente y verificar el éxito de la regeneración natural o de las plantaciones. En la gestión orientada a la mejora continua, estos datos permiten corregir errores en el próximo ciclo de corta y asegurar que la biodiversidad y la capacidad productiva del sitio se mantengan intactas a través del tiempo.

2.2.4. Criterios de selección

Como se ha analizado, la clasificación de los inventarios forestales no es unívoca ni rígida; por el contrario, existe una amplia diversidad de enfoques y metodologías que se adaptan a las particularidades de cada recurso. Si bien los inventarios pueden categorizarse según su alcance geográfico, su dinámica temporal o sus objetivos operativos, la selección de uno u otro tipo debe responder estrictamente al marco y contexto en el que se realiza la gestión.

Factores como la complejidad del ecosistema, los recursos financieros disponibles, la normativa legal vigente y, sobre todo, el nivel de precisión requerido para la toma de decisiones, son los que determinan el diseño final del inventario. En última instancia, se debe asegurar que el método elegido no solo cumpla con el rigor estadístico, sino que sea funcional para el objetivo primordial: transformar la recolección sistemática de datos en una estrategia de manejo que garantice la permanencia y salud del patrimonio forestal en el tiempo.

2.3. El inventario forestal en MBGI: diseño de muestreo

Los inventarios forestales de la línea de base y monitoreo del recurso natural en los predios bajo MBGI en la provincia de Santiago del Estero, responden a la clasificación de inventarios prediales estáticos (para la línea de base), continuos (para el monitoreo en el tiempo) y de manejo u ordenación (para determinar la tasa de cosecha apropiada). Para ello, se propone un diseño de muestreo completamente al azar, el cual debe cumplir tres condiciones:

1. La intensidad de muestreo tendrá como umbral mínimo el 0.1% de la superficie del predio.
2. Se debe ubicar al menos una parcela en cada potrero bajo manejo MBGI.
3. El error de muestreo debe ser igual o menor al 20% en la estimación del área basal (m^2/ha) del estrato arbóreo, con un nivel de confianza igual o mayor al 95%.

2.3.1. Mapa de bosques

El Manual de Inventario Forestal para Planes en el marco del Proyecto de Pagos por Resultados de REDD+ de la Argentina para el período 2014-2016, propone que en primera instancia se deberá generar el mapa de bosques nativos para el área abarcada por el plan que se desea implementar. El mismo será realizado en base a el mapa de bosques nativos de la Dirección Nacional de Bosques (DB) y los límites del plan presentados en el marco de la etapa de formulación. Dicho mapa podrá ser ajustado de acuerdo con la escala que sea necesaria.

Los mapas vectoriales que delimitan las coberturas forestales deberán presentarse en formato SHP comprimido o KML, en el sistema de referencia geográfico EPSG 5343 a 5349 según corresponda, y sus metadatos correspondientes. Deberán cumplirse los siguientes requisitos:

1. Los datos geoespaciales se deben entregar en algunos de los siguientes formatos:
 - SHP comprimido en forma directa (sin carpeta adentro) con extensión ZIP. En el ZIP deben estar los archivos obligatorios (.dbf, .prj, .shp, .shx) y se podrán sumar los opcionales (.sbn, .xml, .qpj, .cpg, .sld).
 - Formato KML: en este caso se debe realizar el procesamiento previo en algún formato intermedio como SHP, GeoJSON u otro formato que permita hacer cálculos geoespaciales y luego exportarlo como KML (ya que este solo permite visualizar) para su entrega.
2. Verificar la precisión: el cálculo de superficie se medirá en hectáreas y el perímetro o longitud en kilómetros en la faja correspondiente en el Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 2007, que tiene 7 fajas para el sector continental de nuestro país. Dichas fajas se identifican con los códigos EPSG 5343 a 5349 en un SIG. Se debe mostrar con numeración real con 3 decimales en el campo “superficie en hectáreas-SupHa” y/o “perímetro en kilómetros-PerKm”, según corresponda. Es importante verificar la precisión de los datos georreferenciados antes de entregarlos.
3. Las coberturas vectoriales no deben tener errores topológicos como superposiciones, duplicados ni geometrías no válidas. Para lo cual se deberá usar herramientas como corregir geometrías, comprobar topología y comprobar validez en QGIS.
4. Proporcionar metadatos: los metadatos son la información que describe los datos georreferenciados, incluyendo su origen, fecha de creación, precisión, formato y cualquier otra información relevante.

2.3.2. Características de las unidades de muestreo

Para el relevamiento de la masa adulta del estrato arbóreo se utilizarán parcelas o unidades de muestreo (UM) rectangulares de 10 m x 100 m (Figura 10).

En la parcela mayor A (superficie = 1000 m²) se muestrean individuos leñosos (árboles y arbustos) con dap igual o mayor a 5 cm, identificando por cada individuo las variables cuantitativas y cualitativas de los apartados 2.4.1 al 2.4.5.

En las subparcelas B (superficie = 40 m² cada una, 120 m² en total) se evaluará la regeneración natural arbórea siguiendo la metodología propuesta en el ítem “2.4.6. Regeneración natural arbórea”.

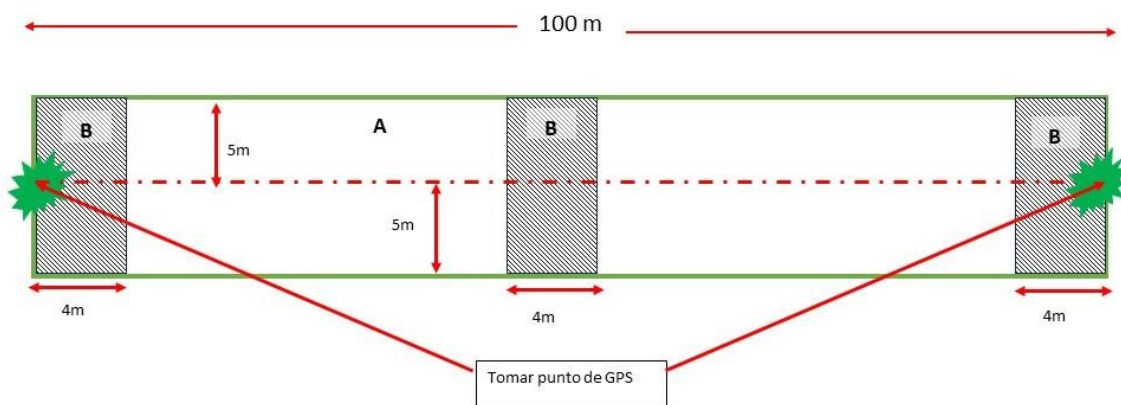


Figura 10. Forma y tamaño de la parcela de muestreo. En la parcela A se mide la masa adulta y en las subparcelas B (rectángulos sombreados) la regeneración.

2.3.3. Estratificación del bosque

La descripción fisonómica de la vegetación constituye una herramienta inicial clave para la caracterización del bosque, en tanto permite reconocer de manera sintética su estructura, composición y grado de complejidad. Tal como se explicita en el Capítulo 1, en MBGI la diversidad de ambientes, se determina a partir de la definición de sitios ecológicos y estados de la vegetación (tablas 1, 2 y 3).

Al momento de evaluar los sitios ecológicos pueden darse las siguientes situaciones:

- Un gradiente de sitios ecológicos en buen estado, donde los tipos fisonómicos de la vegetación se correlacionan con el sitio ecológico (por ejemplo, un bosque alto en el sitio ecológico alto, o un pastizal-sabana en el sitio ecológico bajo).
- Un gradiente de sitios ecológicos sobre el que se extiende un mismo tipo fisonómico (por ejemplo, un bosque bajo, o un arbustal), probablemente vinculado a la historia de uso del lugar e indicando cierta degradación de las coberturas vegetales originales.

En el marco del inventario forestal, estas situaciones se abordan a partir de la definición de estratos, que permiten desagregar y medir la **organización vertical** del sistema (arbóreo, arbustivo, herbáceo y regeneración) de manera sistemática, proporcionando una descripción más detallada que permita diferenciar **unidades de manejo**.

En cualquier caso, el objetivo es contar con un relevamiento detallado, por lo que el inventario debe capturar todos los sitios ecológicos y las fisonomías presentes, cumpliendo las premisas del muestreo al azar.

En predios de superficies de bosques mayores a 1000 hectáreas, el muestreo debe considerar la estratificación del bosque, dentro de los sitios ecológicos. La estratificación permite reducir la varianza interna y por lo tanto obtener datos más precisos con menos esfuerzo de inventario. En superficies menores a 1000 hectáreas, se recomienda realizar la estratificación en caso de que la diversidad de estratos presentes indique productividades diferentes, o los objetivos de manejo así lo justifiquen.

A partir de esta estructuración, se relevan los indicadores específicos asociados a cada estrato vertical. En el estrato arbóreo, se evalúan variables como la cobertura de copas, densidad, área basal y estado sanitario, que permiten estimar la disponibilidad de sombra y la capacidad productiva del bosque. En los estratos arbustivo y herbáceo, se relevan indicadores de cobertura y composición herbácea, fundamentales para estimar la oferta forrajera. Por su parte, el estrato de regeneración (renovales) constituye un indicador clave de la capacidad de recuperación del sistema y de su sostenibilidad a mediano y largo plazo.

La integración de estos indicadores permite establecer relaciones directas con variables de manejo, particularmente con la determinación de la carga ganadera. En este sentido, la cobertura y calidad del estrato herbáceo orientan la estimación de la oferta forrajera, mientras que el estado de la regeneración y del sotobosque actúan como señales de alerta frente a posibles situaciones de sobrepastoreo. Asimismo, la cobertura arbórea influye tanto en la productividad del pastizal (por efecto de sombra) como en el bienestar animal.

La articulación entre la descripción de sitios ecológicos y el análisis por estratos no solo permite una sólida caracterización inicial, sino que se constituye en la base para la construcción de indicadores integrados que vinculan el estado del recurso forestal con las decisiones productivas, permitiendo definir prácticas de manejo ajustadas a la capacidad y resiliencia del sistema.

2.3.4. Determinación del tamaño de la muestra y criterios de precisión

La determinación del número de unidades de muestreo (“n”) es uno de los pasos más críticos en el diseño de un inventario, ya que define el equilibrio entre el rigor de los datos y la viabilidad económica del proyecto. Este cálculo no es fijo, sino que es directamente proporcional a la variabilidad de la población: mientras más heterogéneo sea el bosque (en términos de especies, densidades o clases diamétricas), mayor será el esfuerzo de muestreo requerido para capturar su realidad. Una buena estratificación de los ambientes homogéneos contribuye a mejorar la precisión del inventario, dado que reduce la varianza interna.

Para que los resultados de un inventario sean técnicamente válidos en la gestión forestal, el diseño debe ajustarse para cumplir simultáneamente con dos condiciones de control de error y calidad estadística:

1. Nivel de confianza del 95%: este parámetro establece la probabilidad de que el valor real de la población se encuentre dentro del intervalo estimado. Un nivel del 95% es el estándar exigido para asegurar que las decisiones de manejo se basen en datos estadísticamente significativos y no en fluctuaciones aleatorias del muestreo.
2. Error muestral máximo del 20% del área basal para individuos con dap mayores o iguales a 10 cm: el error de muestreo (E%) indica la precisión de la media estimada. El diseño debe garantizar que la diferencia entre la media de la muestra y la media real de la población no supere este umbral. Un error superior al 20% se considera técnicamente insuficiente para una planificación forestal responsable.

Es fundamental recalcar que el uso de estratos no exime al técnico del cumplimiento de los estándares de precisión. Por el contrario, cada estrato definido debe cumplir de forma independiente con la premisa del 20% de error muestral y el 95% de nivel de confianza.

Esta metodología permite que, aunque el bosque sea globalmente muy variable, se obtenga información sólida de cada unidad de manejo, permitiendo intervenciones silviculturales diferenciadas y precisas según las necesidades de cada sector del predio.

2.3.4.1. Cálculo del número de muestras

La fórmula para calcular el número de unidades de muestreo (n) o tamaño de la muestra en inventarios forestales se basa en la variabilidad de la masa forestal y el error admisible deseado. Generalmente se utiliza la ecuación del muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n: número de parcelas o unidades de muestreo.

t: Valor de la tabla t-Student (generalmente 2 para un 95% de confianza).

CV: Coeficiente de variación obtenido de un inventario piloto.

E: error de muestreo permitido (en porcentaje, 20%).

Para el cálculo de las unidades de muestreo de un predio utilizamos el siguiente razonamiento. Primero, consideramos la intensidad de muestreo (el área mínima exigida). Por ejemplo, para una intensidad de muestreo de 0.1% y asumiendo una superficie del predio de 1000 ha, la superficie a muestrear será de 1 ha. Si la parcela es de 1000 m², entonces se requiere de mínimamente 10 parcelas, dado que 1 ha = 10000 m².

A modo de ejemplo, para un error del 20% y considerando hipotéticamente un CV del 60%, si aplicamos la Ecuación 1 y asignamos $t = 2$ (para un 95% de confianza), se obtiene $n = 36$ parcelas.

En la práctica, el procedimiento requiere de un muestreo piloto previo para determinar la variabilidad (CV del inventario piloto). También, estratificar previamente las coberturas para reducir la variabilidad es una estrategia deseable para lograr una mayor eficiencia en el cálculo de n .

2.3.4.2. Cálculo del error de muestreo

En el presente protocolo se establece que el error de muestreo máximo debe ser menor del 20% del área basal para individuos con dap mayores o iguales a 10 cm, con un intervalo de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$) y un sistema de determinación estadístico t-Student. Además, se advierte que, en caso de estratificar, el error global debe ponderar los errores de cada estrato con su respectiva superficie.

A continuación, se presentan las ecuaciones para el cálculo del error a los fines de que el técnico responsable del inventario pueda controlar durante el mismo, la precisión lograda:

$$E(\%) = \frac{txCV}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$E(\%) = \frac{txCV}{\sqrt{n}} \times \sqrt{1 - \frac{n}{N}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

n = número de unidades de muestreo (UM) en el estrato.

t = valor tabla T Student para una probabilidad fiducial de 95%.

CV = coeficiente de variación.

E = error relativo máximo admisible (en función del objetivo de gestión).

N = número de unidades de muestreo (UM) de igual superficie que componen la población.

La Ecuación 2 aplica para un solo estrato; la Ecuación 3, para establecimientos estratificados (varios estratos).

2.3.5. Ubicación de los puntos de muestreo

Una vez calculado el tamaño de la muestra, es decir la cantidad de unidades muestrales (parcelas) necesarias para obtener el error de muestreo prefijado, se deben presentar las coordenadas

geográficas del inicio y fin de cada parcela, en formato tabular y su distribución a nivel predial (Tabla 5). Se recomienda utilizar las grillas del segundo inventario de Nacional de Bosques Nativos, dado que esta distribución proporciona una primera aleatorización y que además permite robustecer la información disponible para los sistemas de monitoreo y control, asegurando una distribución sea coherente en los diferentes predios. Estas grillas pueden ser proporcionadas por el área de Bosques Nativos de la DGByF.

2.3.6. Temporalidad del inventario forestal

El inventario forestal se realiza como línea de base del establecimiento (tiempo 0) antes de la implementación de las intervenciones agropecuarias y forestales. Este muestreo inicial puede ser más intenso en los lotes que entraran en producción, y menos intenso (con carácter de exploratorio) en los que no. Posterior a las intervenciones del tiempo 0, se recomienda realizar un monitoreo del recurso forestal cada 5 años, únicamente en los lotes bajo manejo, lo cual permitirá ajustar el manejo para asegurar la sustentabilidad del sistema productivo-ambiental.

Tabla 5. Coordenadas geográficas de las parcelas de muestreo

Parcela	Inicio		Fin	
	Latitud S	Longitud O	Latitud S	Longitud O
....				
....				

2.3.7. Justificación del diseño de muestreo propuesto

El diseño de muestreo propuesto para los planes MBGI en Santiago del Estero se fundamenta en la necesidad de capturar la heterogeneidad estructural y ambiental característica del Chaco Seco. La adopción de un error muestral máximo del 20% con un nivel de confianza del 95% responde a estándares internacionales de biometría forestal, que buscan un equilibrio entre la precisión necesaria para la planificación silvicultural y la viabilidad económica de las tareas de campo.

Este rigor estadístico, basado en la distribución t-Student, asegura que las estimaciones de área basal y volumen sean representativas de la población total, permitiendo una toma de decisiones informada sobre la posibilidad forestal. Asimismo, la recomendación de realizar un muestreo estratificado permite reducir la varianza interna al agrupar unidades de vegetación con respuestas similares al manejo, garantizando que cada estrato cumpla de forma independiente con las premisas de fiabilidad estadística exigidas por la normativa provincial y nacional.

2.4. Variables a relevar

Se consideran variables cuantitativas, es decir aquellas mensurables como diámetro a la altura de pecho (dap), altura total y altura de fuste; y variables cualitativas como el estado sanitario y el valor silvicultural que permiten determinar pautas de manejo silvicultural y facilitan la evaluación posterior a la intervención. **Las variables de 2.4.1. a 2.4.5 se miden en la parcela A, y la variable 2.4.6. en las subparcelas B,** tomando como base el Manual de Campo de la SAYDS (2019).

2.4.1. Diámetro a la altura del pecho (dap)

Se medirá el diámetro que tienen todos los fustes de los individuos leñosos a la altura de 1,3 metros (dap) sobre el nivel del suelo iguales o mayores a 5 cm (Figura 11). Antes de iniciarse las mediciones, cada miembro de la brigada deberá definir a qué altura de su cuerpo corresponde el dap a efectos de agilizar la operación. Para la medición se utilizarán cinta diamétrica o cinta métrica. Se debe registrar en la planilla qué instrumental se está utilizando.

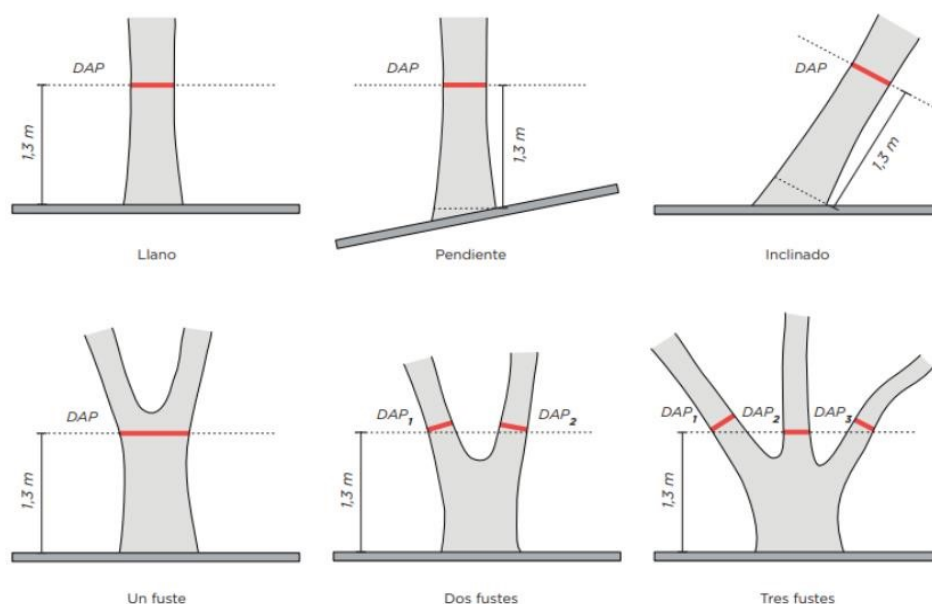


Figura 11. Formas de medir dap. Fuente: SAYDS (2019).

2.4.2. Medición de altura del árbol

La altura total corresponde a la distancia lineal a lo largo del eje del individuo leñoso, desde el suelo hasta el ápice de la copa. Para la medición de altura se utilizará un método directo donde se emplearán pértigas telescópicas (varas de altura). De esta manera se irán desplegando tramos de pértiga hasta hacer coincidir su extremo superior con el ápice del individuo leñoso.

La medición de alturas que no pueda realizarse con pértigas telescópicas, se llevará a cabo a través de métodos indirectos trigonométricos, con el clinómetro u otro instrumento específico (Figura 12).

Si el terreno es plano, se realizará una sola lectura, al resultado de este cálculo se le sumará la altura al ojo del operador para obtener finalmente la altura total, registrada con una precisión al decímetro.

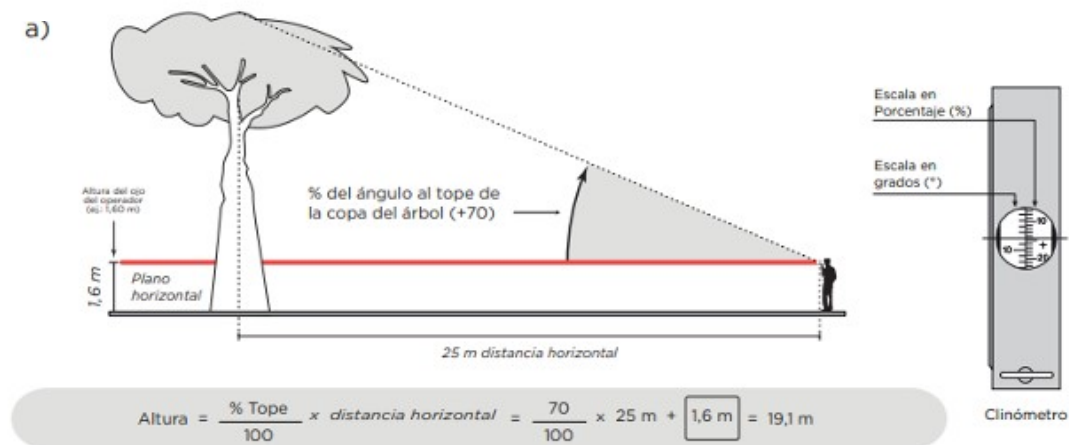


Figura 12. Diagrama de medición de altura total utilizando un clinómetro. Fuente: S AyDS (2019).

Para determinar la altura o longitud del fuste, se medirá la distancia a lo largo del eje del individuo leñoso entre el nivel del suelo y el punto de inicio de la copa, punto en que se interrumpe su desarrollo lineal por la presencia de las ramas principales (Figura 13). Se considerará rama secundaria o aislada, que no forma parte de la copa, aquella cuyo diámetro medido a 20 centímetros por encima de su nacimiento es inferior a la mitad del diámetro del fuste medido a 20 centímetros por debajo de la ramificación

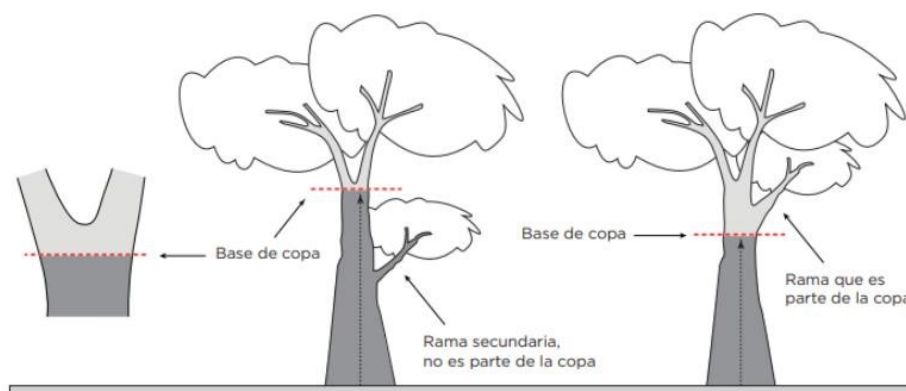


Figura 13. Consideraciones para definir el inicio de la copa. Fuente: S AyDS (2019).

Asimismo, es posible la utilización de un hipsómetro láser para efectuar las mediciones de altura y longitud de fuste (Figura 14). Para la medición de la longitud de los fustes secundarios (aquellos con menores diámetros) en individuos polifustales, se considerará como punto de lectura inferior al punto de bifurcación

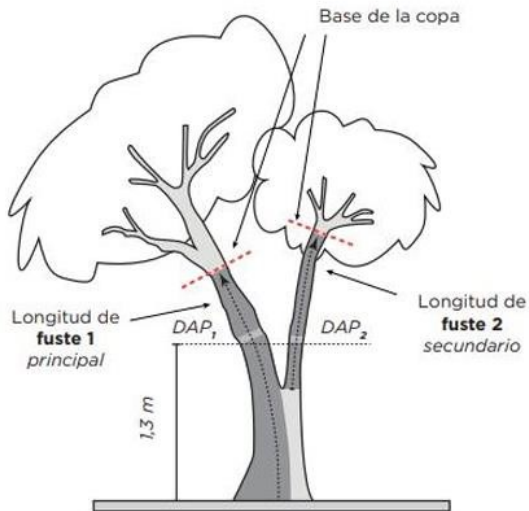


Figura 14. Medición de la longitud del fuste en árboles polifustales. Fuente: SAyDS (2019).

2.4.3. Valor silvicultural del individuo

Según el anexo II de la Ley 6841, el valor silvicultural se refiere a la categorización de los árboles en función de su utilidad y características dentro del manejo forestal. Los árboles se clasifican en las siguientes categorías:

- **Árbol futuro:** árbol de una especie comerciable con buenas características individuales, sano y de buena calidad, que determina el potencial de producción y el valor futuro del bosque.
- **Árbol de cosecha:** árbol que ha alcanzado un tamaño o estado adecuado para ser aprovechado comercialmente.
- **Árbol competidor:** árbol que puede frenar el crecimiento de los árboles futuros al competir por recursos como luz, agua y nutrientes.
- **Árbol indiferente:** árbol que no tiene un impacto significativo en el manejo del bosque ni en el desarrollo de los árboles futuros.

Esta clasificación ayuda a determinar las acciones necesarias para el manejo sustentable del bosque.

2.4.4. Determinación del estado sanitario del individuo leñoso

Se deberá determinar el estado de cada individuo leñoso de la muestra, indicando una de las siguientes cinco clases:

0. Muerto: aquel que no posee ninguna rama u hoja viva; sin indicios de actividad fisiológica alguna. Se deberá prestar atención a la fenología de las especies para no confundir como “muertos” a aquellos individuos que se encuentren sin hojas por estar en proceso de latencia o dormición.
1. Vivo con copa no afectada: aquel que, sin importar su condición o forma, tenga ramas u hojas vivas con indicios de actividad fisiológica y que no presente síntomas y signos visibles producto de enfermedades en su copa.
2. Vivo con copa afectada entre un 6 % a 29 %: amarillamiento o pérdida de color en la copa, hojas malformadas, con agallas, hinchazones o manchas, descompuestas o caída precoz de las mismas.
3. Vivo con copa afectada entre un 30 % a 60 %: los síntomas antes mencionados son más evidentes y afectan gran proporción de la copa.
4. Vivo con copa afectada en más del 60 %: condición de la copa intensamente afectada y pérdida de vigor distinguible.

2.4.5. Cobertura (arbustiva, arbórea y herbácea)

Estas se medirán empleando el método de líneas de intercepción para el registro de coberturas vegetales. En este método la unidad de muestreo consiste en una línea de longitud fija, donde se miden las distancias de las proyecciones de las partes aéreas de cada uno de los estratos sobre el terreno.

El método de líneas de intercepción produce datos para cálculos de cobertura y frecuencia de especies; es rápido, objetivo y relativamente fácil. La cobertura de cada especie es la proyección horizontal de las partes aéreas de los individuos sobre el suelo y se expresa como porcentaje de la superficie total. En las líneas de muestreo, se procede a contar todas proyecciones de los estratos sobre la línea y se registra la información de acuerdo a una planilla

Para la implementación a campo de la línea de intercepción será la línea central de la parcela, con una cinta métrica. La proyección perpendicular de cada uno de los estratos sobre esta línea de intercepción extendida en el terreno será registrada en metros lineales. Los casos de solapamiento entre copas de un mismo estrato no serán registrados de manera diferencial (se deberá sumar el inicio y fin de su cobertura de manera continua).

El registro de los datos se realizará a través de las siguientes clases, la cual permitirá mediante su posterior procesamiento, el cálculo de los porcentajes de cobertura de cada estrato (Figura 15):

- $\sum$ Cobertura arbórea ≥ 7 metros [m]: se deberá anotar la sumatoria de las proyecciones de las copas de los árboles con alturas mayores o iguales a 7 metros sobre la línea de intercepción. El valor obtenido se refiere después a porcentaje considerando el largo total de la transecta (100 m) como el 100%.

- $\sum$ Cobertura arbórea 3 y < 7 metros [m]: se deberá anotar la sumatoria de las proyecciones de las copas de los árboles con alturas mayores o iguales a 3 y menores a 7 metros sobre la línea de intercepción. El valor obtenido se refiere después a porcentaje considerando el largo total de la transecta (100 m) como el 100%.
- $\sum$ Cobertura arbórea total [m]: se deberá anotar la sumatoria de las proyecciones de las copas de los árboles con alturas mayores o iguales a los 3 metros sobre la línea de intercepción. Cuando se observara la superposición de copas, se considerarán como una misma unidad. El valor obtenido se refiere después a porcentaje considerando el largo total de la transecta (100 m) como el 100%.
- $\sum$ Cobertura arbustiva [m]: se deberá anotar la sumatoria de las proyecciones del estrato arbustivo (leñosas menores a 3 metros de altura) sobre la línea de intercepción. El valor obtenido se refiere después a porcentaje considerando el largo total de la transecta (100 m) como el 100%.
- $\sum$ Cobertura herbácea [m]: se deberá anotar la sumatoria de la cobertura del estrato inferior de herbáceas sobre la línea de intercepción. El valor obtenido se refiere después a porcentaje considerando el largo total de la transecta (100 m) como el 100%.

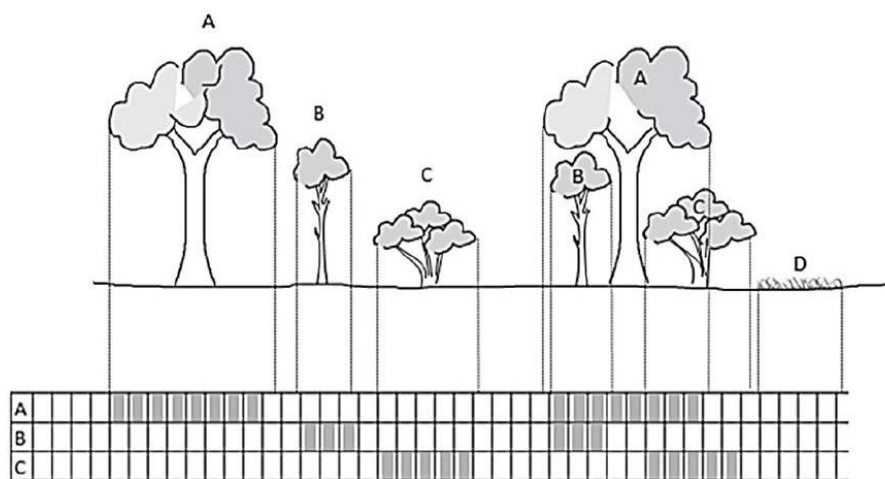


Figura 15. Diagrama de medición de las coberturas arbórea 7 metros (A), arbórea 3 y < 7 metros (B), arbustiva (< 3 metros, C), y herbácea (D). Fuente: SAyDS (2019).

2.4.6. Regeneración natural arbórea

La regeneración es la renovación del bosque con la incorporación de nuevos individuos provenientes de la germinación de semillas o la regeneración agámica dentro de la dinámica natural propia de la condición del ecosistema.

En las subparcelas B indicadas en la Figura 10 se realizará el relevamiento de la regeneración arbórea se realiza mediante conteo de individuos de las especies de interés discriminados en tres clases de altura:

- Clase I: 0,1-1 m

- Clase II: 1-2 m
- Clase III: >2 m y menores a 5 cm de dap.

2.5. Presentación de resultados

Los resultados deberán contener la información de las características estructurales del bosque relacionadas a parámetros dasométricos:

1. Densidad (individuos/ha): es la cantidad de individuos por unidad de superficie, en este caso se considera la hectárea como unidad de superficie
2. Área basal (m^2/ha): definida como la sumatoria de las secciones normales llevadas a la hectárea como unidad de superficie.
3. Distribución diamétrica: La distribución diamétrica describe la abundancia de individuos adultos distribuidos en rangos de clase de diámetro (cm). El análisis de la distribución es importante porque nos permite caracterizar situaciones del uso del bosque y posibles propuestas de manejo para su aprovechamiento o conservación. Se sugiere una amplitud de clase de 5 cm.
4. Cobertura por estrato (%): se obtiene mediante el procedimiento indicado en el ítem 2.4.5. Cobertura (arbustiva, arbórea y herbácea).
5. Estado sanitario (individuos/ha): se obtiene mediante el conteo de los individuos clasificados según especie y clase sanitaria, referido a hectáreas.
6. Valor silvicultural (individuos/ha): se obtiene mediante el conteo de los individuos clasificados según especie y clase de valor silvicultura, referido a hectáreas.
7. Regeneración natural (individuos/ha): se obtiene mediante el conteo de los individuos en las subparcelas B (sumando las superficies), según especies y clase de regeneración, referido a hectáreas.

2.6. Literatura recomendada

Alaggia F.; Cabello M.J.; Carranza C.; Cavallero L.; Daniele G.; Erro M.; Ledesma L.; López D.R.; Mussat E.; Navall M.; Peri P.L.; Rusch V.; Sabatini A.; Saravia J.J.; Uribe Echevarría J.; Volante J. 2019. *Manual de Indicadores para Monitoreo de Planes Prediales para el Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI) Región Parque Chaqueño* (Carranza C.; Peri P.L.; Navall M. Eds.), 84 pp. Editorial INTA. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/9046>

Comité Técnico Provincial MBGI. *Protocolo de Inventario Forestal de Bosque Nativo – Provincia del Chaco*. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Sebastian-Kees/publication/346678502_INVENTARIO_FORESTAL_PARA_PLANES_MBGI_EN_CHACO/links/5fce367e45851568d146dda3/INVENTARIO-FORESTAL-PARA-PLANES-MBGI-EN-CHACO.pdf

FAO. 2017. *Directrices Voluntarias Sobre Monitoreo Forestal Nacional*. Roma, Italia. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/340e38ac-a602-4cc5-82e3-209b31235416/content>

Ley Provincial N° 6.841. *Conservación y Uso Múltiple de las Áreas Forestales de la Provincia de Santiago del Estero*. Santiago del Estero, Argentina.

Louman, B., Quirós, D., & Nilsson, M. 2001. *Dasometría y dendrometría aplicadas al manejo forestal tropical*. CATIE. [Base para la clasificación de inventarios según objetivos de gestión y planificación estratégica].

Proyecto de Pagos por Resultados de REDD+. *Manual de Inventario Forestal para Planes en el marco del Proyecto de Pagos por Resultados de REDD+ de la Argentina para el período 2014 2016*

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). 2019. *Manual de Campo del Segundo Inventario Forestal Nacional de la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_de_campo_inbn2.pdf

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE INDICADORES GANADEROS

3.1. Presentación

Los indicadores ganaderos considerados imprescindibles para el manejo ganadero en el marco del MBGI son:

- Balance forrajero.
- Eficiencia reproductiva.
- Productividad.

A continuación, se desarrolla la metodología propuesta para evaluar cada indicador, focalizado en ganado bovino y caprino.

Adicionalmente, en los anexos 1 a 5, se presenta información práctica y relevante para mejorar el manejo ganadero:

- Metodologías para la evaluación de la oferta forrajera (Anexo 1).
- Cálculo de la demanda forrajera (Anexo 2).
- Escala para la evaluación corporal en bovinos (Anexo 3).
- Escala para la evaluación corporal en caprinos (Anexo 4).
- Normas básicas de manejo ganadero (rolados, reproducción, agua y reservas forrajeras-Anexo 5).

3.2. Balance forrajero

Cómo se mide: mediante la evaluación de la oferta forrajera (kg MS/ha/año) y el cálculo de la demanda nutricional de los animales (requerimientos en kg MS/día), donde MS es la materia seca de forraje herbáceo. El balance forrajero se aplica según los sitios ecológicos de los lotes bajo manejo.

Frecuencia de medición: en cualquier época previo al ingreso de animales a los lotes, al finalizar el periodo lluvioso para planificar el bache forrajero invernal.

Explicación: conocer la cantidad de forraje disponible en un lote ayuda a planificar el manejo de la carga animal. La cantidad y calidad del forraje pueden variar a lo largo del año por factores climáticos, por lo que se requiere una evaluación anual para ajustar la carga. El balance forrajero (BF) se define como la diferencia entre la oferta de forraje y la demanda nutricional de los animales por unidad de superficie en kilogramos de materia seca, e incluye a todas las categorías de animales. Matemáticamente, se expresa de la siguiente manera.

$$BF \left(kg \frac{MS}{ha} \right) = \text{Oferta de forraje} - \text{Demanda de forraje del rodeo} \quad \text{Ecuación 4}$$

El balance forrajero debe incluir todas las áreas aprovechables del establecimiento y otros recursos forrajeros como silos, rollos, fardos, etc. El balance forrajero se realiza previo al ingreso de ganado a los lotes, en cualquier momento de año. Para ayudar a planificar el bache forrajero invernal en la región chaqueña, una época conveniente para hacer el balance de forraje es el otoño (abril-mayo), al finalizar la temporada de lluvias, cuando las tasas de crecimiento de las pasturas comienzan a descender hasta detenerse con las heladas y falta de lluvias.

El BF es un indicador clave de la sustentabilidad del sector ganadero de la empresa y permite la toma de decisiones. En el caso de escasez forrajera se debe ajustar la planificación del pastoreo (venta de animales, reducción de carga, número de animales y/o tiempo de pastoreo) a la vez de la planificación de los requerimientos de reservas forrajeras (heno, silaje, subproductos, etc.) para suplementación. En caso de excedentes forrajeros se puede considerar la henificación y/o el aumento de la carga ganadera por medio de la compra de internada o una mayor cantidad de cría de terneros, hembras de reposición, machos para venta con mayor peso, etc., todo en función del planteo productivo del establecimiento.

Más allá de que este indicador se aplique como requisito de planes MBGI es indispensable su evaluación en cualquier campo ganadero con el fin de tomar decisiones adecuadas (por ejemplo: ajuste correcto de la carga, descarte de animales, compra, manejo del servicio, etc.).

La estimación del balance forrajero consiste en dos pasos: estimación de la oferta forrajera y el cálculo de la demanda forrajera.

Oferta forrajera

Existen principalmente dos métodos para su evaluación:

- a) Directo, mediante corte de las plantas herbáceas en una unidad de muestreo (marco), seguido del secado de la muestra y pesaje. El método se desarrolla en el Anexo 1. Se sugiere este método para superficies homogéneas y menores de 10 has.
- b) Indirecto, basados en corte de la biomasa total a una altura de 5 cm sobre el suelo y estimación visual mediante el método BOTANAL (Tothill et al., 1978). Se sugiere este método para superficies mayores de 10 ha y heterogéneas, con mayor presencia de arbustos. El método se desarrolla en el Anexo 1.

En la evaluación del forraje herbáceo, se debe tener en cuenta:

- a) Preferencia animal. Algunas especies vegetales y/o órganos de las plantas (ej. cañas) son rechazadas por la hacienda, otras consumidas al ras y otras en épocas específicas. La palatabilidad (gusto) de una especie vegetal se debe ser conocida para registrar y ajustar la oferta de biomasa.
- b) Calidad de forraje. El contenido de proteína es el que define la calidad del alimento. Este parámetro sólo puede ser determinado en el laboratorio. Se cuenta con información sobre algunas especies (Kunst et al., 2007; Ledesma et al., 2017).

Para mantener un pastizal saludable, se debe consumir entre el **40% y el 60% de la materia seca disponible**. La **eficiencia de cosecha** se calcula después de retirar los animales, midiendo la diferencia entre la materia seca presente antes y después del pastoreo.

Requerimiento animal (demanda)

Los requerimientos animales representan la demanda de alimento y se expresan mediante el concepto de equivalente vaca (EV). Un EV representa los requerimientos anuales de una vaca de 400 kg de peso vivo que gesta y cría un ternero hasta los 6 meses de edad, incluyendo el alimento del ternero.

Para calcular la demanda total del rodeo se deben considerar las equivalencias en EV de cada categoría animal (Tabla 13, Anexo 2), así mismo considerar los requerimientos de rumiantes menores y yeguarizos (Bavera, 2006). Para una correcta cuantificación de la demanda, se deben considerar para cada especie animal, las diferentes categorías (vaca, vaquillona, ternero, novillo, etc.), estado fisiológico (vacía, preñada, lactacia) y condición ante cambios de peso (mantenimiento, descenso, ganancia).

Por otro lado, para la ganadería caprina se define el equivalente cabra (EC). Un EC es una unidad ganadera que representa el promedio anual de los requerimientos nutritivos de una cabra de cría de 40 kg de peso vivo que gesta y cría al pie hasta el destete. La relación entre ambas unidades es 1 EV = 6 EC.

3.3. Eficiencia reproductiva: porcentaje de destete (%)

Cómo se mide: mediante registros productivos y encuestas.

Frecuencia de medición: anual, en la época de destete (abril mayo).

Explicación: En rodeos de cría, la principal fuente de ingreso depende de la producción de terneros por hectárea y por año. El porcentaje de destete (Ecuación 5), se considera un buen indicador del manejo ganadero en sistemas de cría o mixtos. El valor resume el resultado del manejo del rodeo en los aspectos nutricionales, reproductivos y sanitarios, procurando alcanzar el producto final: el ternero. El porcentaje de destete vacuno se calcula como el número de terneros destetados sobre el total de vacas y vaquillonas que recibieron servicio.

$$\text{Porcentaje de destete en bovinos (\%)} = \frac{\text{Número de terneros destetados}}{\text{Número de vientres entorados}} \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Asimismo, en el caso de majadas caprinas el porcentaje de destete (Ecuación 6) se calcula considerando la cantidad total de cabritos destetados sobre el total de cabritos nacidos vivos.

$$\text{Porcentaje de destete en carpinos (\%)} = \frac{\text{Número de cabritos destetados}}{\text{Número de cabritos nacidos vivos}} \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Para realizar el monitoreo del rodeo se utiliza la Condición corporal (CC), que es una evaluación subjetiva de la cantidad de energía almacenada en forma de grasa y músculo que un animal tiene en un momento del año. Es una evaluación visual, subjetiva. En bovino, se utiliza una escala que va del 1 al 9, siendo 1 un animal extremadamente flaco y 9 un animal obeso (Anexo 3).

Existe una relación entre el nivel de reservas corporales de los vientres y su capacidad reproductiva o fertilidad (Stahringer, 2003). La CC al parto está asociada con la duración del período de anestro posparto (intervalo en días entre el parto y la aparición del primer celo posparto). La vaca de cría debe tener una CC al parto de 5 o mayor para que su intervalo parto a primer celo no se prolongue más allá de los 60 a 70 días. De esta forma la vaca puede recibir uno o más servicios y quedar preñada antes de los 80 días posparto, permitiendo lograr altos porcentajes de preñez y la meta de un ternero por vaca por año.

Es conveniente realizar el monitoreo por lo menos en dos momentos claves:

1. Tacto/destete que coinciden con el inicio de la estación seca (invierno-primavera), momento en el cual empieza la baja calidad y escasez de forraje. Este monitoreo, nos permitirá tomar decisiones de corrección nutricional, como la suplementación estratégica, etc.
2. Al comienzo de la parición/inicio del servicio debido a que la CC está estrechamente relacionada con la ciclicidad ovárica, por lo que monitoreo de la CC de los vientres va a permitir tomar decisiones en aspectos de alimentación y manejo del rodeo, que impactaran directamente en la performance reproductiva de los vientres.

La eficiencia reproductiva es entonces el resultado de las decisiones que se tomaron previamente en aspectos de manejo de carga animal, presupuestación forrajera, planificación de suplementación estratégica y aplicación de planes sanitarios preventivos, entre otros aspectos

La CC es igualmente relevante en caprinos, ya que está estrechamente vinculada con la eficiencia reproductiva, el rendimiento de la producción de leche y la salud general de los animales (Russel, et. al, 1969). Al igual que en los rumiantes mayores, la CC en cabras permite realizar un seguimiento de su estado nutricional, lo cual es crucial en momentos claves como el inicio del servicio y la parición. Asimismo, es importante evaluarla al inicio de la estación seca, ya que este monitoreo permitirá ajustar los requerimientos nutricionales de los animales y tomar decisiones como la suplementación estratégica. Para los caprinos, la evaluación de la CC se realiza utilizando una escala similar a la de los bovinos, que va del 1 al 5 (Anexo 4).

3.4. Productividad ganadera

La productividad ganadera en bovinos se mide de manera diferente según se trate de ganado bovino o caprino.

Productividad ganadera bovina

Cómo se mide: mediante información del productor y registros de campo.

Frecuencia de Medición: anual, al cierre del ejercicio del establecimiento

La producción del componente animal representa mayormente el principal ingreso anual en estos sistemas productivos. Este indicador es sensible al balance forrajero, al manejo de la carga animal y al manejo del pastoreo y de la alimentación suplementaria. En bovinos, la producción de carne se calcula según la Ecuación 7:

Ecuación 7

$$\text{Producción de carne en bovinos } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} / \text{año} \right) = \frac{\text{salidas} - \text{entradas} \pm \text{diferencias de inventario}}{\text{superficie ganadera (ha)}}$$

Donde:

- Salidas (kg) = ventas o salidas de terneros, vacas CUT, descartes, consumo y traslados.
- Entradas (kg) = compra o ingreso de animales de cualquier categoría.
- Diferencia de Inventario (kg): inventario final del año actual - inventario inicial del año anterior. Las fechas de cierre del inventario actual e inicial deben coincidir (por ejemplo, 1 de julio).

Productividad ganadera caprina

Cómo se mide: mediante información del productor y registros de campo.

Frecuencia de medición: anual

Es posible verificar y monitorear la eficiencia del componente ganadero caprino, a partir de la cantidad de cabritos logrados por cabra en un año (Ecuación 8). Este indicador, al igual que para los rumiantes mayores, varía debido a factores como la oferta de forraje, al manejo animal y elección de biotipos raciales adecuados, al manejo del pastoreo con un correspondiente justé de carga, entre otros.

Ecuación 8

$$\text{Producción de cabritos } \left(\frac{\text{cabritos}}{\text{cabra}} / \text{año} \right) = \frac{\text{Número de cabritos destetados al año}}{\text{Número total de cabras}}$$

3.5. Literatura recomendada

- Bonham, C.D., 1989. Measurements for Terrestrial Vegetation. Wiley.
- Bavera, G. A. 2006. Recopilación para el Curso de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. En: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/70-equivalencias_ganaderas.pdf
- Coop, I.E. 1965. A review of the Ewe Equivalent System. New Zealand Agric. Science 1(3):13-18.
- Cordoba, A; Ledesma O. y Acuña F. 2023. Producción de *Megathyrus maximus* y evaluación de parámetros productivos de una majada caprina en un Sistema silvopastoril del Chaco Semiárido. CIPAV. ISBN 978-628-95190-5-1
- Instituto de Promoción de Carne Vacuna Argentina (IPCVA), 2009. Condición corporal en la ganadería de cría. Cuadernillo técnico N°8. Website: www.ipcva.com.ar
- Guevara, J. C., Allegretti, L. I., Estevez, O. R., Cony, M. A., & Paez, J. A. (2011). Receptividad ganadera de los pastizales naturales de cuatro áreas de la Payunia, Mendoza, Argentina. *Multequina*, 20(2), 97-110.
- Kunst C., Ledesma R. y otros. 2007. Gramíneas indicadoras de condición en sitios de pastizal del Sudoeste de Santiago del Estero. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, INTA Argentina, 36: 33-61. ISSN 0325 – 8718.
- Ledesma, R.; Saracco, F.; Coria, R.;(2017). Guía de forrajeras herbáceas y leñosas del chaco seco: identificación y características para su manejo. Buenas prácticas para una ganadería sustentable. Kit de extensión para el Gran Chaco. Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Russel, A.J.F., J.M. Doney y R.G. Gunn. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci. Camb.*, 72: 451-454.
- SENASA 2020. <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/animal-estadisticas/bovinos>
- Tothill, J., Hargreaves, J., Jones, R., 1978. BOTANAL. A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. I. Field sampling, *Trop. Agron. Tech Mem.* 8. CSIRO, Australian Div. Trop. Crops and Pastures, Brisbane, Queensland.
- Wolf Celoné UI, Saravia Sanchez JJ , Reinaldi JA , Continelli N , Gil GA, Gerlero GD , Piedrasanta R , Baez PN. 2024. INTA EEA Quimilí. Indicadores productivos y tecnológicos de sistemas de cría bovina en el Chaco santiagueño. Comunicación. 47° Congreso Argentino de Producción Animal.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS

4.1. Presentación

La calidad del suelo resulta de asociar la condición del suelo a características necesarias para un uso particular (aptitud). El uso del suelo produce alteraciones estructurales y funcionales que condicionan su productividad, siendo necesario conocerlas y cuantificarlas, a través de la identificación de variables e indicadores que representen los diferentes estados y tendencias. Esto permitiría que la calidad del suelo, a largo plazo, se mantenga dentro de ciertos límites que garanticen la capacidad productiva del recurso de forma técnicamente viable.

Para evaluar los efectos en el suelo generados por los manejos en los sistemas MBGI en ambientes áridos y semiáridos, se utilizan “variables”, que resumen características del sistema, y se miden de manera cuantitativa o cualitativa. Ejemplos de tales variables son el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica del suelo, textura, resistencia a la penetración, entre otras. Con dichas variables se construyen “indicadores”, que son índices que permiten evaluar la **sustentabilidad** del plan de manejo MBGI.

Este capítulo desarrolla los conceptos de las variables de calidad de suelos a utilizar en el manejo MBGI, los métodos para su obtención y la construcción e interpretación de los indicadores generados a partir de tales variables.

Los objetivos del monitoreo de los indicadores calidad de suelo son:

- Lograr representatividad de los sitios definidos como homogéneos.
- Evaluar la intensidad de cambios generados en la calidad de suelo a causa del manejo aplicado.
- Monitorear el impacto de las prácticas de manejo sobre los indicadores de calidad de suelo, con una frecuencia adecuada
- Servir como herramienta para la toma de decisiones dentro un sistema productivo sustentable bajo un manejo MBGI.

4.2. Variables edáficas: definiciones e interpretación

El suelo es un cuerpo natural para el crecimiento de las plantas, compuesto por horizontes de suelo con minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Su formación es resultado de la interacción entre el clima, la topografía, los organismos y los materiales parentales a lo largo del tiempo, lo que resulta en un cuerpo único con propiedades físicas, químicas y biológicas distintas de su material original.

En este sentido, el suelo posee una parte líquida, una gaseosa y otra sólida, donde la última está constituida por una componente o fracción orgánica y mineral.

En este protocolo se propone, para poder representar, monitorear o explicar los procesos que suceden en el sistema suelo, dos tipos de variables: **imprescindibles y optativas**.

Las variables imprescindibles son de vital importancia para el éxito de los planes de manejo MBGI, y su medición y valoración son consideradas de carácter obligatorio. Ellas son:

- Conductividad eléctrica (Ce)
- pH
- Materia Orgánica del Suelo (MOS)
- Densidad Aparente del Suelo (Dap)
- Textura del Suelo (Tx)

Por otra parte, las variables optativas son también importantes y proveen información más detallada de lo que ocurre en el suelo de cara a un manejo más preciso. Sin embargo, su uso es optativo según las necesidades de manejo. Ellas son:

- Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)
- Fosforo Extraíble o disponible (Pex)
- Nitrógeno orgánico Total (NT)
- Resistencia mecánica a la penetración (RMP)
- Relación de adsorción de Sodio (RAS)
- Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)
- Respiración edáfica
- Infiltración

A continuación, se desarrollan los conceptos e importancia de las variables consideradas como imprescindibles para el manejo.

4.2.1. Materia orgánica del suelo (MOS)

La materia orgánica en sentido general comprende los micro y meso-organismos que habitan el suelo, raíces de plantas, todo material proveniente de organismos muertos y sus productos de transformación, descomposición y resíntesis, sobre y en el suelo.

La materia orgánica del suelo en sentido restringido (MOS) se refiere a lo anterior excluyendo la materia orgánica viviente (organismos vivos y raíces), que constituyen alrededor del 15% del total.

La MOS es de trascendental importancia para la productividad de los cultivos, pasturas y plantas en general dado que absorbe y retiene agua, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo de suelo.

Teniendo en cuenta los valores iniciales o de línea de base, los rangos de contenido de MOS (%) se clasifican de la siguiente manera:

- < 1,5 %: Bajo-Medio
- > 1,5 %: Medio-Alto

4.2.2. Textura (Tx)

Las partículas minerales que conforman un suelo se clasifican por tamaño en arenas (2-0,05 mm), limos (0,05-0,002 mm) y arcillas (<0,002 mm). La textura es la proporción relativa de estas partículas minerales en la masa de suelo sin considerar a la fracción orgánica y el agua. Las distintas proporciones relativas de arena, limo y arcilla de un suelo le imprimen características particulares a este y para sintetizarlas es que se las clasifica en clases texturales.

La textura del suelo y por consiguiente la clase textural permite estimar otras propiedades importantes para la toma de decisiones de manejo, como son Capacidad de intercambio catiónico (CIC), Capacidad de campo, Punto de marchitez, Porosidad, Infiltración, Estabilidad estructural y Permeabilidad.

Para simplificar la interpretación de esta variable, se agrupan las clases texturales en cuatro grandes grupos, que contemplan varias clases textuales del triángulo textural (Figura 16).

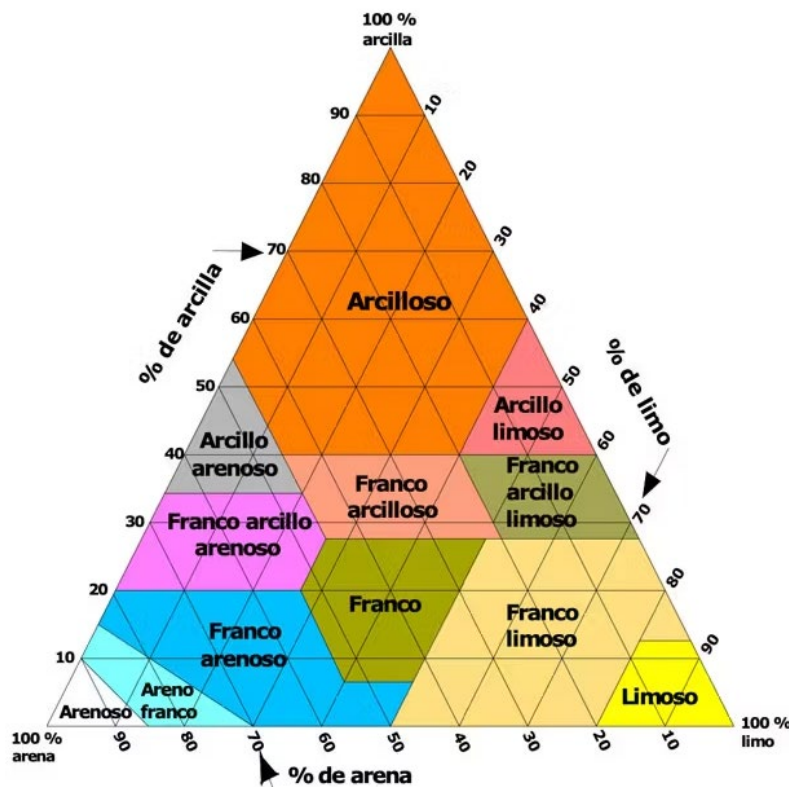


Figura 16. Clases texturales de suelos.

A continuación, se detallan los grandes grupos y sus clases texturales:

- Gran grupo Arenoso “textura gruesa”: contiene a las clases texturales “arenoso”, “areno franco” y “franco arenoso”.
- Gran grupo Franco “textura media”: contiene a las clases texturales “franco”, “franco arcillo limoso” y “franco arcillo arenoso”.
- Gran grupo Limoso: contiene a las clases texturales “limoso” y “franco limoso”.
- Gran grupo Arcilloso “textura fina”: contiene a las clases texturales “arcilloso”, “arcillo arenoso”, “arcillo limoso” y “franco arcilloso”.

Cada gran grupo de clase textural permite interpretar de forma simplificada características de un suelo con cada textura predominante, como se expone en la Tabla 6.

Tabla 6. Interpretación de la relación entre las clases texturales y propiedades del suelo.

Características	Textura del suelo			
	Arcilloso	Limoso	Arenoso	Franco
Infiltración de agua	Baja	Baja	Alta	Media
Aireación	Baja	Baja	Alta	Media
Retención de agua	Alta	Media	Baja	Media- Alta
Erosión	Alta	Alta	Media-baja	Media
Retención de nutrientes	Alta	Media-baja	Baja	Media- Alta
Mineralización de la materia orgánica	Baja	Baja	Alta	Media
Facilidad para formar buena estructura	Alta	Baja	Media-baja	Media- Alta

Fuente: <https://gesmontes.es/textura-del-suelo/>

4.2.3. Densidad aparente (Dap)

La forma en que las partículas minerales y orgánicas se agrupan para conformar agregados de mayor tamaño constituye el sistema poroso del suelo, el cual se caracteriza por su tamaño, forma y la proporción de sus poros. Este sistema resulta de gran relevancia ecológica, ya que condiciona el almacenamiento y movimiento del agua y el aire, además de constituir el espacio físico donde se desarrollan tanto los microorganismos como las raíces de las plantas. En este contexto, la densidad aparente -definida como la relación entre la masa del suelo y el volumen que ocupa en su disposición natural sin perturbarse (Ecuación 9)- adquiere un papel clave en la estimación del sistema poroso.

$$Dap = \frac{Ms}{Vap} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dap = densidad aparente (gr/cm³); Ms = masa del suelo (g); Vap = volumen aparente (cm³)

La medición de la densidad aparente se realiza mediante la extracción de una muestra no disturbada de volumen definido (cilindro de metal) y la determinación de la masa seca (secada en estufa a 105°C hasta obtener peso constante).

Los valores de Dap normales, considerando la textura, son:

- Textura arenosa, $Dap = 1,35 - 1,60 \text{ g/cm}^3$
- Textura arcillosa, $Dap = 1,05 - 1,20 \text{ g/cm}^3$
- Textura franca, $Dap = 1,15 - 1,25 \text{ g/cm}^3$
- Textura limosa, $Dap = 1,20 - 1,35 \text{ g/cm}^3$

Los valores de Dap por arriba de los valores anteriores, indican densificación del suelo que podrían representar limitaciones físicas para el desarrollo de los cultivos y las pasturas.

Los valores de Dap indicados están relacionados no solo con la textura, sino también con los niveles de materia orgánica y la historia de manejo del suelo. Por tal motivo, las muestras para evaluar Dap deben ser recolectadas antes y después de realizar las prácticas de manejo, de modo de captar los cambios en la variable.

4.2.4. Conductividad eléctrica (Ce)

En general los suelos de Santiago del Estero son salinos y con frecuencia sódicos o también salinos-sódicos. La Ce es muy fluctuante en el tiempo y susceptible a cambios generados en la cobertura vegetal a causa del manejo y de la dinámica del agua.

La salinidad de un suelo refiere a una elevada concentración de sales más solubles que el yeso en la solución del suelo, resultando en una elevada presión osmótica, lo que impide a las plantas la extracción de agua de la matriz del suelo. Además de ello, puede haber efectos tóxicos específicos de ciertos inones.

La medición estándar de la salinidad del suelo es la conductividad eléctrica (Ce) en el extracto de saturación, dado que los inones solubles en agua permiten la conducción de la corriente eléctrica.

En la Tabla 7 se presentan los rangos de Ce (dS/m) y su relación con condiciones agronómicas/biológicas, basado en la bibliografía y experiencias locales a campo realizadas.

4.2.5. pH

El pH es una medida que nos indica el nivel de acidez o alcalinidad de la solución del suelo. Es importante evaluar el pH dado que define la disponibilidad de los nutrientes para los vegetales. Es decir que un suelo puede tener nutrientes en su solución, pero pueden o no estar disponibles según el nivel de acidez o alcalinidad del suelo. La escala del pH varía entre 0-14, y su relación con la disponibilidad de nutrientes se indica en la Tabla 8.

Tabla 7. Rangos de Ce y condiciones para el desarrollo de cultivos y pasturas.

Ce (dS/m)	Clasificación	Condiciones agronómicas y biológicas
0– 4	No salino	Prosperan pasturas templadas y megatérmicas Sin presencia de especies halófitas.

4 – 8	Moderadamente salino	Maíz con caída significativa en la productividad; sorgo y cebada mantienen producción aceptable hasta ~6 dS/m. Se observan especies halófitas en el paisaje. Las pasturas megatermicas logran implantarse y producir, pero ya con una disminución de biomasa en algunos casos puntuales.
8 – 16	Fuertemente salino	La mayoría de cultivos (maíz, sorgo, cebada), tienen rendimientos nulos o económicamente limitado por encima de ~8–10 dS/m. Pasturas megatérmicas como por ejemplo Gatton panic y Buffel grass comienzan a fallar fuertemente. Otros cultivares como por ejemplo Grama Rhodes se adaptan mejor a las limitaciones. Dominan especies halófitas nativas. Retención de agua edáfica muy elevada por efecto osmótico.
>16	Muy fuertemente salino	Prácticamente improductivo para agricultura convencional. Ningún cultivo extensivo de interés económico puede crecer. Propseran solo especies halófitas adaptadas. Pasturas megatérmicas (Gatton panic, Buffel grass) sobreviven grupos de matas aisladas o en sectores con mayor precipitación efectiva dentro del lote. El agua del suelo practicamente no está disponible para plantas cultivadas.

Fuente: adaptada de Castellanos (2000).

Tabla 8. Rangos de pH e interpretación agronómica de la disponibilidad de nutrientes para las plantas

Rango de pH	Zonas	Interpretación agronómica
< 6,6	Acido	Posibles deficiencias de fosforo, potasio y molibdeno en las plantas.
6,6 a 7,3	Neutro	Óptimo para la mayoría de los cultivos y pasturas. La mayoría de los nutrientes están disponibles para las plantas.
7,3 a 8,5	Moderadamente alcalino	Posibles deficiencias de hierro, manganeso, zinc, cobre y cobalto en las plantas.

>8,5	Fuertemente alcalino	Posibles deficiencias de fósforo, boro, manganeso, zinc, cobre y cobalto en las plantas. Posible suelo sódico ¹ .
------	----------------------	---

¹Un suelo sódico se determina a partir de la medición del porcentaje de sodio intercambiable.

4.3. Metodología de muestreo

4.3.1. Faja de muestreo

La medición de las variables de calidad de suelo se realiza por **sitio ecológico**. Para ello se utiliza **fajas de 100 m de longitud por 10 m de ancho** (Figura 17). Todas las veces que sea posible, estas fajas deben coincidir con las fajas de medición de indicadores forestales.

El sistema de muestreo en fajas tiene por objetivo permitir que la recolección de submuestras cada 30 m a lo largo de la transecta central, es decir, a los 30, 60 y 90 m de esta. En el punto central de cada una de estas distancias, se establece un área circular de 5 metros de radio (Figura 17).

En la primera área circular de la distancia de 30 m, las submuestras se toman de la siguiente manera:

- En una bolsa plástica etiquetada con el número de faja y la leyenda “0-20 cm”, se toman dos submuestras a la profundidad de 0-20 cm, una bajo la cobertura leñosa, y otra fuera de la cobertura leñosa.
- En una bolsa plástica etiquetada con el número de faja y la leyenda “20-40 cm”, se toman dos submuestras a la profundidad de 20-40 cm, una bajo la cobertura leñosa, y otra fuera de la cobertura leñosa.

En la segunda y tercera área circular (distancias de 60 y 90 m, respectivamente), se repite exactamente el procedimiento de toma de submuestras anterior, almacenándolas en las mismas bolsas ya etiquetadas.

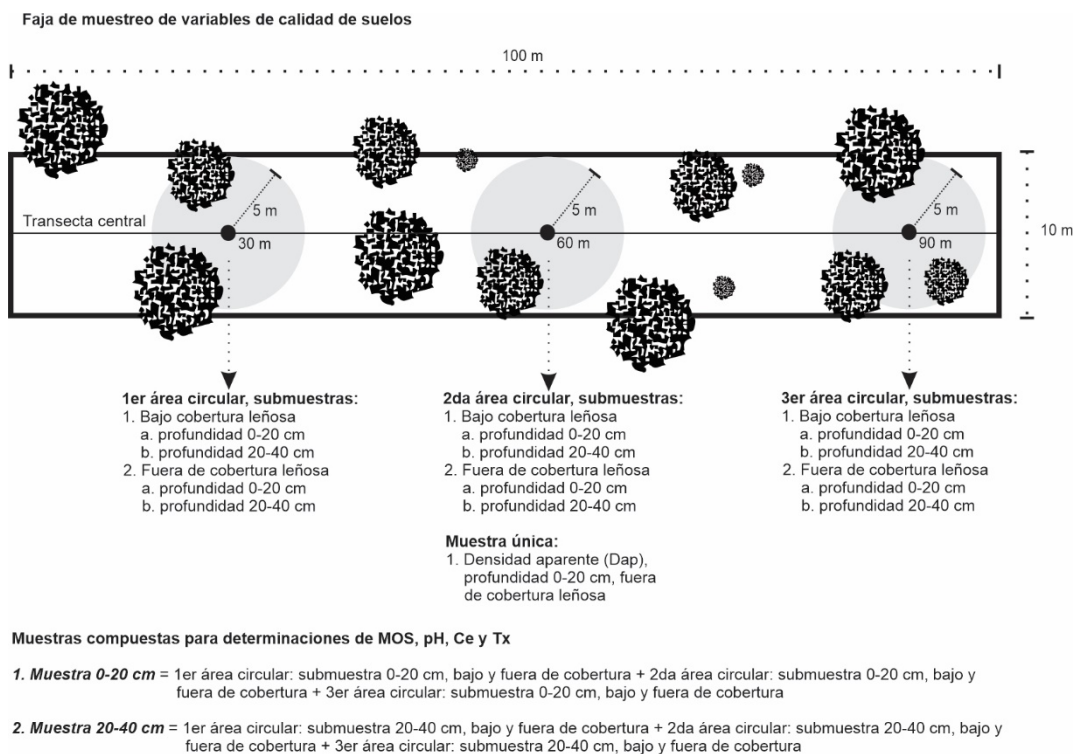


Figura 17. Vista en planta de la faja de muestreo de variables de calidad de suelos en predios productivos bajo manejo MBGI.

Adicionalmente, en la segunda área circular, en una nueva bolsa etiquetada con el número de faja y la leyenda “Dap”, en un lugar lo más cercano posible al punto central, se obtendrá una única muestra superficial fuera de la cobertura leñosa, que será utilizada para la determinación de Dap (Figura 17).

Al finalizar el recorrido de cada faja, el técnico deberá tener en su poder **la muestra para determinación de Dap y dos muestras compuestas**, una de 0-20 cm y otra de 20-40 cm de profundidad (Figura 17). Cada muestra compuesta, estará formada por **6 submuestras**, recolectadas en las áreas circulares de los tres puntos de muestreo (30, 60 y 90 m), bajo y fuera de la cobertura leñosa. Cada muestra compuesta recolectada deberá contener entre 1 a 2 kg de suelo y serán utilizadas para determinar MOS, Ce, pH y Tx.

En cada área circular, en caso de que no se encuentren individuos leñosos o no haya claros disponibles, se deberá dirigir el muestreo hacia la especie leñosa más cercana o hacia el claro más próximo, dentro de un radio máximo de 10 m, tomando siempre como referencia el punto central del área circular.

Además, por cada sitio ecológico a intervenir, se deberá demarcar una **zona testigo permanente sin intervención** de **150 m de longitud y 30 m de ancho**. Su objetivo es diferenciar los efectos generados por el cambio de uso o las condiciones ambientales en el tiempo.

Estas zonas testigo deberán:

- Mantenerse sin prácticas antrópicas (sin rolado, pastoreo o siembra).
- Contar con alambrado perimetral para impedir el ingreso de animales.
- Poseer cortafuegos perimetrales que reduzcan el riesgo de incendios accidentales.

Dentro de cada zona testigo se instalará una faja de muestreo con las mismas características a las establecidas para las áreas bajo manejo MBGI (Figura 17). En esta faja, se medirán las variables de suelo de manera obligatoria y simultánea a la determinación de la línea de base. O bien, de forma flexible cuando la autoridad de aplicación o los manejadores lo necesiten.

4.3.2. Disposición de las fajas

Las fajas de medición se ubican según sitio ecológico, en una cantidad mínima de una por cada sitio ecológico de hasta 300 ha. Las fajas correspondientes a un mismo sitio ecológico deberán estar separadas **entre 700 a 1000 m entre sí**, a fin de asegurar una adecuada representatividad. Tanto el inicio como el final de cada faja deberán estar **georreferenciados**. Las fajas testigo no requieren un distanciamiento específico respecto de las fajas de medición.

Ejemplo práctico. En un lote de 400 ha se reconocen los tres sitios ecológicos típicos: dos de 50 ha y uno de 300 ha. Cada sitio ecológico de hasta 300 ha requiere una faja de medición; por lo tanto, se establecen tres fajas de medición en total. Asimismo, cada sitio ecológico debe contar con una faja testigo, lo que suma tres fajas testigo adicionales. En conjunto, el área contará con **tres fajas de medición y tres fajas testigo** (Figura 18). Para facilitar el acceso y eficientizar el tiempo de trabajo, las fajas se ubican próximas a picadas y caminos perimetrales.

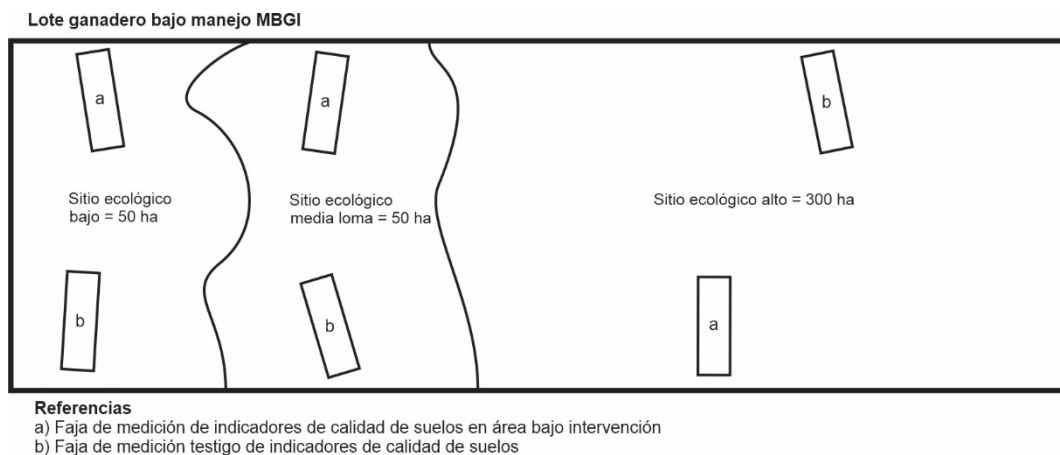


Figura 18. Ejemplo hipotético: representación del sistema de muestreo de las variables de calidad del suelo en un lote bajo manejo MBGI.

4.3.3. Profundidad y frecuencias de muestreo

El primer muestreo se realiza previo al cambio de uso del suelo (línea de base), en época otoño-invernal (inicio de mayo a fines de agosto). Sobre las muestras recolectadas se determinarán:

- MOS, Dap, Tx, Ce y pH: en la profundidad de 0-20 cm.
- Tx, Ce y pH: en la profundidad de 20-40 cm.

Luego de la intervención, las frecuencias de mediciones son:

- Ce y pH: cada dos años y en época otoño-invernal.
- MOS y Dap: a partir del cambio de uso de suelo estos indicadores se deben monitorear cada cuatro años. Las muestras se toman siempre en época otoño-invernal.
- Tx: esta variable se determina por única vez previo al cambio de uso del suelo (línea de base).

4.3.4. Equipos de muestreo de campo

Para la extracción de las muestras de suelo destinadas a las determinaciones de Ce, pH, MO y Tx, se debe utilizar barreno helicoidal tipo “Eijkelpamp” para las profundidades establecidas anteriormente. Para el muestreo de Dap utilizar un cilindro hueco de 100 cm³ con las siguientes dimensiones internas: 2,5 cm de radio y 5,1 cm de altura.

4.4. Metodologías de laboratorio recomendadas

4.4.1. Variables imprescindibles u obligatorias

Las variables imprescindibles para el monitoreo y toma de decisiones de los sistemas MBGI deben ser determinadas por las siguientes metodologías y expresadas en las siguientes unidades:

- Ce y pH: ambas variables se determinan en el extracto de saturación. La Ce debe informarse en dS/m.
- MOS: se debe informar en % de materia orgánica y con un decimal.
- Dap: por el método del cilindro (Burke et al. 1986), se debe expresar en g/cm³.
- Tx: por el método de Bouyoucos (1962) o el método de la pipeta. Los valores deben ser informados en % de cada una de las fracciones de limo, arena y arcilla.

4.4.2. Variables optativas

Además de las variables anteriores consideradas imprescindibles para los sitios piloto MBGI, pueden usarse otras variables de carácter optativo. Ellos son capacidad de intercambio catiónico (CIC), erosión hídrica, fosforo extraíble (Pex), nitrógeno total (NT), resistencia mecánica a la penetración (RMP), cationes intercambiables y solubles, infiltración y respiración edáfica

Estas variables optativas pueden incorporarse a las mediciones de rutina según lo considere conveniente el profesional a cargo del manejo MBGI, quien también definirá la profundidad, frecuencia y el momento del año para realizar las mediciones.

Las metodologías para determinar cada variable serán:

- CIC: para suelos alcalinos utilizar el método de Bower (pH 8,2) y para suelos de pH neutro a ácido el método del acetato de amonio (1 N y pH 7,0). Expresada en meq/100 g.
- Pex: Olsen, expresado en ppm.
- NT: Kjeldahl, expresado en %.
- RMP: con penetrómetro modelo “INTA Villegas”, unidad de medida Mpa y dentro del rango de “agua útil” del suelo. Expresar en Mpa. Medir la humedad del suelo con el método gravimétrico, para ambas profundidades (0-20 cm y 20-40 cm).
- RAS – PSI: para suelos salinos con CE mayor 10 dS/m se debe obtener el valor del RAS (adimensional). Este parámetro sirve para estimar el valor del PSI (%)
- Respiración edáfica
- Infiltración: anillo simple con probeta o doble anillo. Expresado en mm/min.
- Cationes solubles (meq/l) y cationes intercambiables (meq/100 g).

4.4.3. Laboratorios para analizar las muestras de suelo

Tanto para las variables imprescindibles como las optativas, las muestras deben analizarse en laboratorios, públicos o privados, que cumplan con los estándares del SAMLA o del Programa Nacional de Interlaboratorios de Suelos Agropecuarios (PROINSA).

4.5. Interpretación de los resultados: indicadores de calidad del suelo

Con los resultados de las variables determinadas en la línea de base se pueden tomar decisiones, por ejemplo, la pastura de implantar. Sin embargo, con los resultados analíticos de las variables medidas en diferentes momentos, se construyen indicadores de sustentabilidad del uso del suelo en el marco del plan de manejo MBGI.

Dichos indicadores contemplan que la línea de base es un nivel de referencia con el cual se evaluará el impacto generado al incorporar el MBGI, a partir del cual el manejo agropecuario-forestal a desarrollar debe procurar la mejora o mantenimiento de las variables analizadas en el tiempo. Se utilizará una ecuación genérica 10 para el cálculo del indicador para cada variable.

$$\text{Indicador} = \frac{\text{valor final de la variable} - \text{valor inicial de la variable}}{\text{valor inicial de la variable}} \times 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

4.5.1. Indicador de Materia orgánica del suelo (MOSi)

La estabilidad de la MOS en un ambiente determinado depende de cuán conservacionista es la práctica de manejo para mantener los niveles de MOS desde tiempo 0 en que se comienza a monitorear esta variable. Los suelos tienen distinta capacidad de secuestrar MOS, dependiendo en gran parte de las condiciones climáticas. Probablemente, los suelos más degradados sean los que incrementen con mayor intensidad el contenido de MOS respecto de suelos que ya tienen el máximo posible almacenado. El indicador se obtiene mediante la Ecuación 11:

$$\text{Indicador } MOS_i = \frac{\text{valor final MOS} - \text{valor inicial MOS}}{\text{valor inicial MOS}} \times 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

Teniendo en cuenta la interpretación de los valores iniciales de la variable MOS:

- MOS < 1,5%: Bajo-Medio
- MOS > 1,5%: Medio-Alto

La interpretación del indicador MOS_i, se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Interpretación del indicador MOS_i.

MOS línea de base	MOS _i	Recomendación
< 1,5%	reducción entre el 1% al 10%	Revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema (*).
	reducción mayor al 10%	Incrementar la MOS. Priorizar la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria (**).
2%-1,5%	reducción entre el 1% al 15%	Revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema.
	reducción mayor al 15%	Incrementar la MOS. Priorizar la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria.
>2%	reducción entre el 1% al 20%	Revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema.
	reducción mayor al 20%	Incrementar MOS. Priorizar la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuario.

* se entiende por “priorizar la productividad agropecuaria” a la aplicación de manejos agrícolas/ganaderos que permitan al productor agropecuario continuar con las actividades productivas pero comenzando a tomar decisiones de manejo para revertir el proceso de degradación.

** se entiende por “priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria” a la aplicación de manejos agrícolas/ganaderos que limiten al productor agropecuario a realizar actividades productivas a fin de tomar decisiones de manejo que prioricen revertir el proceso de degradación generado.

4.5.2. Indicador de Conductividad Eléctrica (Ce_i)

El indicador Ce_i se obtiene mediante la Ecuación 12. Su interpretación se presenta en la Tabla 10.

$$\text{Indicador } Ce_i = \frac{\text{valor final } Ce - \text{valor inicial } Ce}{\text{valor inicial } Ce} \times 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

Tabla 10. Interpretación del indicador Ce_i.

Ce línea de base	Ce _i	Recomendación
0-4 dS/m	Incremento entre el 15% y el 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema (*).
	Incremento mayor al 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria (**), para reducir los valores de Ce al punto de no superar una diferencia del 50% respecto a la línea de base.
4-8 dS/m	Incremento menor al 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria.
	Incremento mayor al 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria, para reducir los valores de Ce al punto de no superar una diferencia del 50% respecto a la línea de base.
8-14 dS/m	Incremento entre el 10% y el 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema.
	Incremento mayor al 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria, para reducir los valores de Ce al punto de no superar una diferencia del 50% respecto a la línea de base.
> 14 dS/m	Incremento entre 10 % al 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema, para reducir los valores de Ce al punto de no superar una diferencia del 50% respecto a la línea de base
	Incremento mayor al 50%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuario, para reducir los valores de Ce al punto de no superar una diferencia del 50% respecto a la línea de base.

* se entiende por “priorizar la productividad agropecuaria” a la aplicación de manejos agrícolas/ganaderos que permitan al productor agropecuario continuar con las actividades productivas pero comenzando a tomar decisiones de manejo para revertir el proceso de degradación.

** se entiende por “priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuario” a la aplicación de manejos agrícolas/ganaderos que limiten al productor agropecuario a realizar actividades productivas a fin de tomar decisiones de manejo que prioricen revertir el proceso de degradación generado.

4.5.3. Indicador Densidad aparente (Dap_i)

La interpretación de este indicador se basará en los “grandes grupos texturales” (Tabla 6) y los valores normales de Dap indicados en la sección 4.2.3. Dichos valores normales no deberían superarse luego de realizarse el cambio de uso del suelo, es decir, de monte sin intervenir a un sistema de manejo MBGI. El indicador Dap_i se obtiene mediante la Ecuación 13:

$$\text{Indicador Dap}_i = \frac{\text{valor final Dap} - \text{valor inicial Dap}}{\text{valor inicial Dap}} \times 100 \quad \text{Ecuación 13}$$

La interpretación del indicador Dap_i, se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Interpretación del indicador Dap_i.

Textura	Dap en la línea de base	Dap _i	Recomendación
Arenoso o limoso	No se supera el valor máximo del rango normal de Dap para el gran grupo textural.	Incremento entre 3% y 10 %	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema (*), para reducir los valores de Dap al punto de no superar una diferencia del 10% respecto a la línea de base.
	Supera el valor máximo del rango normal de Dap para el gran grupo textural.	Incremento mayor al 10 %	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria (**), para reducir los valores de Dap al punto de no superar una diferencia del 10% respecto a la línea de base
Arcilloso o franco	No se supera el valor máximo del rango normal de Dap para el gran grupo textural	Incremento entre 3% y 15 %	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la productividad agropecuaria del sistema, para reducir los valores de Dap al punto de no superar una diferencia del 15% respecto a la línea de base.
Arenoso o franco	Supera el valor máximo del rango normal de Dap para el gran grupo textural	Incremento mayor al 15%	Implementar acciones para revertir dicha tendencia priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuaria, para reducir los valores de Dap al punto de no superar una diferencia del 15% respecto a la línea de base

* se entiende por “priorizar la productividad agropecuaria” a la aplicación de manejos agrícolas/ganaderos que permitan al productor agropecuario continuar con las actividades productivas pero comenzando a tomar decisiones de manejo para revertir el proceso de degradación.

** se entiende por “priorizando la sustentabilidad ecológica del sistema por sobre la productividad agropecuario” a la aplicación de manejos agrícolas/ganaderos que limiten al productor agropecuario a realizar actividades productivas a fin de tomar decisiones de manejo que prioricen revertir el proceso de degradación generado.

4.6. Literatura de recomendada

Bono, A., Quiroga, A., Azcarate, P., & Kloster, N. 2012. Muestreo e interpretación de análisis de suelos. En A. Bono & A. Quiroga (Eds.), Manual de fertilidad y análisis de suelos. Ediciones INTA.

Castellanos, R. J. Z. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Ed. Intagri. Gto., 186 p

Conti, M. E., & Giuffré, L. (Eds.). 2013. Edafología, bases y aplicaciones ambientales argentinas (2.a ed.). Editorial Facultad de Agronomía.

Lorenz, G. 2004. Guía de Evaluación Ecológica de Suelos (Serie Didáctica No. 8, Segunda Edición). Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales.

Wilson, M. G. 2017. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina.

FAO: <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

ANEXO 1: METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE OFERTA FORRAJERA

Método directo por gravimetría

En general el método gravimétrico se basa en el corte, secado y pesado del material. Si bien es preciso, su desventaja es que requiere gran inversión de tiempo y recursos (Bonham, 1989). El método presenta limitaciones para estimaciones de oferta forrajera en parcelas grandes, dado el limitado número de muestras que normalmente puede tomarse. Por ello, mayormente se lo emplea en evaluaciones de parcelas pequeñas. Se toman como mínimo entre 15-20 muestras cada 10 ha de área homogénea. Los pasos son:

- Usando como referencia un marco de 50 x 50 cm ($0,25\text{m}^2$), se corta todo el material herbáceo a ras del suelo (Figura 19).
- El material se lleva a estufa a 60°C por 48h o bien se seca al aire hasta obtener peso constante.
- Los materiales secos se pesan con una balanza. El peso seco de cada muestra (gramos) se multiplica por 40 para obtener la carga en kilogramos de materia seca por hectárea.
- Por último, los valores de las muestras se promedian.

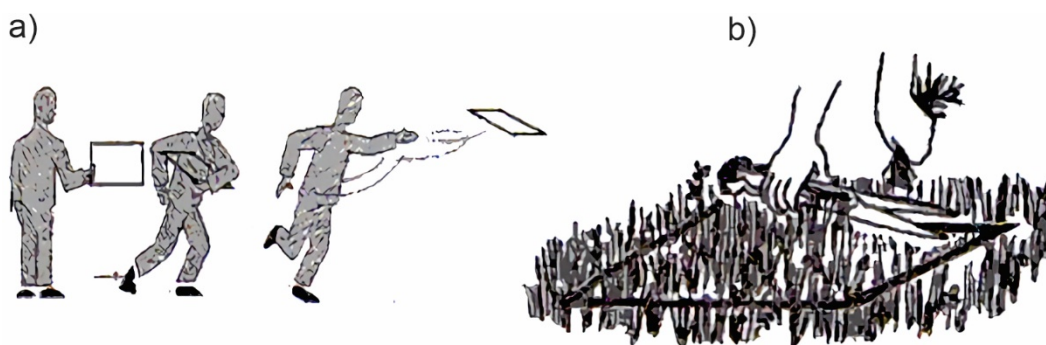


Figura 19. Método gravimétrico aplicado a la evaluación de la oferta de pastos. a) lanzamiento del marco aleatoriamente, b) corte del material utilizando un marco de $0,25\text{ m}^2$ como referencia. La muestra se corta, coloca en bolsas y se lleva a secar y pesar.

Los valores de oferta forrajera estimados se multiplican por la superficie de cada lote obteniendo la oferta por lote y luego en todo el establecimiento (Tabla 12).

Tabla 12. Ejemplo para el cálculo de la oferta forrajera considerando todos los lotes del establecimiento.

Recurso forrajero	Superficie (ha)	kg MS/ha
Lote de Gatton panic		
Lote de monte		
Lote Silvopastoril		
Lote...		
Otros (caminos, picadas, etc)		
Total		

BOTANAL. Método Indirecto, visual

Su nombre deriva del inglés “Botanical Analysis”. Es un método menos preciso que el gravimétrico, pero tiene la ventaja de requerir menos tiempo y esfuerzo y se emplea para estimar la biomasa vegetal herbácea en áreas grandes. Se basa en relacionar matemáticamente estimaciones táctiles y visuales con mediciones directas de la biomasa a campo.

Los equipos necesarios para su ejecución son tijera, marcos metálicos de 0,25 m², bolsas de papel para guardado de muestras, planillas de registro, estufa y balanza.

El paso 1 es recorrer el lote a evaluar y familiarizarse con la biomasa forrajera presente. Se debe tomar manojos de material, apretarlos y observar el volumen ocupado dentro y fuera de la mano. Ello servirá después para estimar la biomasa. A continuación, se establecen cinco marcos patrones que servirán de referencia para las estimaciones, del siguiente modo (Figura 20):

- Marco 1: representativo de las áreas con la mínima carga de forraje.
- Marco 5: representativo de las áreas con la máxima carga de forraje.
- Marco 3: promedio entre el marco 1 y 5.
- Marco 2: promedio entre el marco 1 y 3.
- Marco 4: promedio entre el marco 3 y 5.

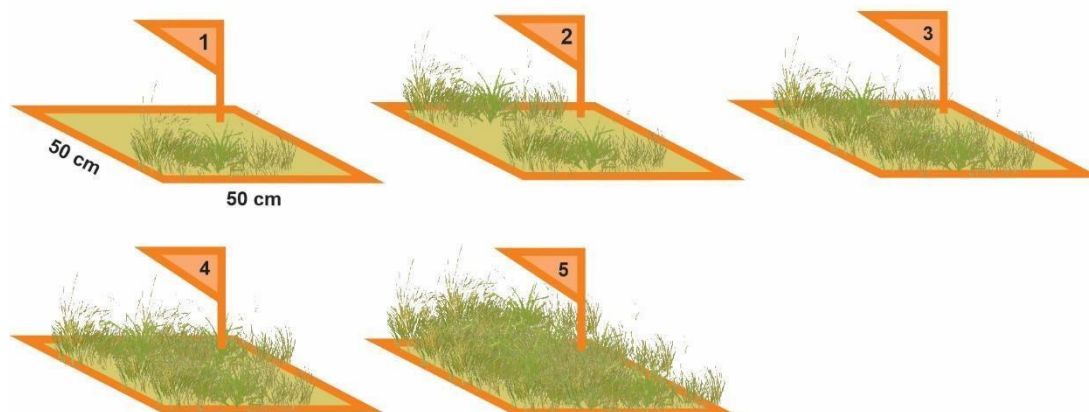


Figura 20. Método BOTANAL. Establecimiento de marcos patrones del 1 al 5. El marco patrón 1 representa la situación con menos carga de forraje. En cambio, el marco patrón 5 representa la situación con mayor carga de forraje. Los marcos patrones de 2 a 4 representan el gradiente intermedio entre los patrones 1 y 5.

El paso 2 consiste en realizar el muestreo propiamente dicho, que se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Recorrer el lote a evaluar de manera uniforme, colocando un marco de 0,25 m² cada 10-20 metros. En cada punto, realizar una estimación visual y táctil de la biomasa herbácea presente en la muestra.
- Identificar el marco patrón que más se asemeja a la muestra en evaluación y registrar su valor correspondiente. Es recomendable que dos observadores realicen la estimación de manera independiente y luego lleguen a un acuerdo.
- Realizar entre 50 y 100 muestras por lote.
- Posteriormente, en el gabinete, calcular el valor promedio de las estimaciones de campo (valor "a"), que oscilará entre 1 y 5.

El paso 3 se realiza al finalizar el muestreo de campo anterior, se debe regresar al lugar donde se encuentran los marcos patrones. Por cada uno de ellos se procede a cortar el material, colocarlos en bolsas de papel y determinar sus pesos secos mediante gravimetría (Figura 20).

El paso 4 es construir una regresión lineal ($y=c+dx$) con los pesos secos de los marcos patrones obtenidos en el paso 3, donde:

- y = biomasa herbácea, en kg Materia Seca/ha
- x = valores entre 1 y 5 de los marcos patrones
- c y d son las constantes de la regresión lineal

Se considera que el procedimiento es aceptable si el coeficiente de determinación R^2 de la regresión lineal es igual o superior a 0,85.

La regresión lineal se puede realizar de manera sencilla utilizando una hoja de cálculo electrónica o un software estadístico especializado. Reemplazando x por el valor "a" en la ecuación de regresión lineal, se obtiene la carga promedio de biomasa herbácea en pie para el lote evaluado.

Para mejorar la precisión de la estimación, se sugiere realizar la determinación de los patrones de referencia dos veces, es decir, repetir los pasos 1 y 3. A continuación, calcular el promedio de los pesos secos de cada marco patrón para utilizarlo en la construcción de la regresión lineal.

El BOTANAL incluye además una sección que permite distinguir la biomasa seca según especies herbáceas, de acuerdo con la preferencia animal, lo que resulta especialmente útil para planificar el pastoreo.

Con los valores de biomasa forrajera obtenidos por lote se construye la Tabla 12.

Por último, el método del Doble Muestreo es muy similar al BOTANAL, y también es recomendable para cuantificar la oferta de forraje herbáceo. Este método se encuentra desarrollado en detalle en la siguiente obra: “Díaz, R.O., 2015. Utilización de pastizales naturales, 1st ed. Encuentro Grupo Editor”.

ANEXO 2: CÁLCULO DE LA DEMANDA FORRAJERA

Para el cálculo de la demanda forrajera se considera todas las categorías animales presentes (si hubiera caballos que pastorean en los lotes también deben incluirse). Un EV representa los requerimientos anuales de una vaca de 400 kg de peso vivo que gesta y cría un ternero hasta los 6 meses de edad, incluyendo el alimento del ternero. Se estima que un EV consume 3300 kg de materia seca por año y multiplicando la cantidad de animales por los EV se llega a la demanda total.

En la Tabla 13 se ejemplifica el recuento de los requerimientos por año según categoría animal en EV y su equivalente en Kg MS/ año.

Tabla 13. Ejemplo tabla cálculo de requerimientos (demanda) con los EV de cada especie, categoría y estado fisiológico, adaptado de Coop (1965). El valor total de cada categoría es: número de animales x EV.

Categoría		EV	Kg MS/año
Vaca parto	Nº animales		
	EV	1	3300
	Total: Nº anim. x EV		
Vaca seca	Nº anim.		
	EV	0.8	2640
	Total		
Vaca descarte	Nº anim.		
	EV	1	3300
	Total		
Terneras recría, 1º año hasta 2º año	Nº anim		
	EV	0.7	2310
	Total		
Toros	Nº anim.		
	EV	1.2	3960
	Total		
Vaquillonas 2º año	Nº anim.		
	EV	0.8	2640
	Total		
Cabra gestando	Nº anim.		
	EV	0,15	495
	Total		
Cabra lactancia	Nº anim.		
	EV	0,17	561
	Total		
Yeguarizos	Nº anim.		
	EV	1,15	3795

	Total		
Demanda total			

Finalmente, se compara el valor de la oferta forrajera obtenido de la Tabla 12 y la demanda forrajera de la Tabla 13, ambos en kg MS/año para saber si los requerimientos del rodeo serán cubiertos o no con los recursos disponibles.

Por otra parte, la relación del valor de oferta sobre demanda brinda el número de días de pastoreo, considerando el factor de uso. Se considera que los animales sólo deben consumir parte del pasto disponible para no comprometer el crecimiento de los pastos, no sobrepastorear y mantener la pastura en el tiempo. **El factor de uso puede variar entre el 40 y el 60% de la materia seca presente.**

ANEXO 3: ESCALA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL EN BOVINOS



Figura 21. Clasificación de la condición corporal para la raza Bradford, tomado de IPCVA.

ANEXO 4: ESCALA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL EN CAPRINOS

La siguiente escala de evaluación de la condición corporal en caprinos es un estándar útil y práctico propuesto por Russel et.al. (1969) y que se sugiere utilizar en la región chaqueña.

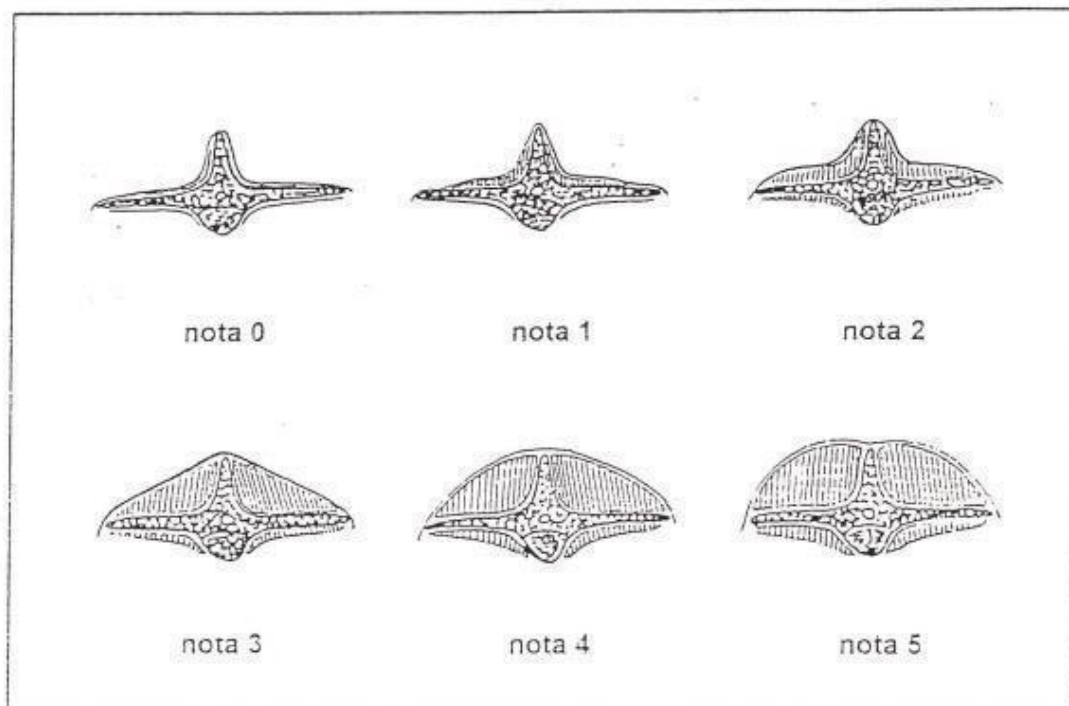


Figura 22. Clasificación de la condición corporal para caprinos. Correspondencia entre la escala de notas y la anatomía de la región lumbar.

- Nota 0: animal extremadamente delgado y a punto de morir. No es posible detectar ningún tejido graso ni muscular, entre la piel y el hueso.
- Nota 1: las apófisis espinosas se notan prominentes y afiladas. Las apófisis transversas están también muy marcadas, siendo posible la palpación en la cara ventral y entre cada una de ellas. El área muscular es poco profunda y no existe grasa de cobertura.
- Nota 2: las apófisis espinosas son todavía prominentes, pero la palpación de cada una, individualmente, sólo se aprecia como una pequeña rugosidad. Las apófisis transversas son suaves y redondeadas a la palpación, y es posible pasar los dedos bajo sus extremos con una ligera presión. El área muscular es moderadamente profunda, pero está cubierta por poca grasa.
- Nota 3: las apófisis espinosas sólo se manifiestan como pequeñas elevaciones y cada hueso puede ser notado, únicamente, haciendo presión. Las apófisis transversas están bien recubiertas y se requiere una firme presión para detectar sus extremos. El área muscular es amplia y tiene una cobertura de grasa considerable.
- Nota 4: las apófisis espinosas pueden ser detectadas como una línea entre la masa muscular cubierta de grasa. Los extremos de las apófisis transversas no pueden ser apreciadas. El área muscular es amplia y está recubierta por una gruesa capa de grasa.
- Nota 5: las apófisis espinosas no pueden ser detectadas ni siquiera realizando una fuerte presión. Existe una depresión en la zona donde se podían apreciar normalmente las

apófisis espinosas. Las apófisis trasversas no pueden ser detectadas. El área muscular es muy profunda y está recubierta por una capa de grasa muy gruesa. Pueden comprobarse, además, grandes depósitos de grasa sobre la grupa y en la cola.

ANEXO 5: NORMAS BÁSICAS DE MANEJO GANADERO

Recomendaciones para la práctica de rolado en el Chaco Seco

Por Ing. Agr. Roxana Ledesma

En esta sección se brindan algunas recomendaciones para el rolado en su carácter de selectivo o también llamado “rolado selectivo de baja intensidad- RBI”. El RBI es una práctica que reduce la densidad de arbustos, mejora la oferta de forraje, conserva la calidad del suelo y mantiene la estructura y los servicios ecosistémicos de los bosques. Estas afirmaciones se han comprobado por investigaciones de equipos técnicos multidisciplinarios. Para que el RBI sea efectivo y sustentable, requiere planificación y un manejo adecuado. El profesional asesor del establecimiento debe diseñar, dirigir y monitorear la ejecución de esta práctica.

Tanto en el caso de que el productor cuente con el tractor y rolo en su campo, así como cuando se contrate el servicio de rolado, es clave tener en cuenta estas consideraciones prácticas al momento de rolar:

- **Sobre el área a tratar:** recorrida previa para evaluar densidad, especies, complejidad, presencia de tocones, cárcavas, árboles caídos, otros obstáculos.
- **Diseño del rolado:** planificar la orientación de las pasadas del tractor, el uso de GPS u otra forma para evitar “perderse” en el monte y que el trabajo sea ordenado. Se sugiere hacer al menos 2 pasadas de rolo por la misma área, la segunda pasada puede realizarse a los 45° de la primera. Evitar rolar isletas de bosques y cactáceas de tamaño grande (>3m de altura).
- **Estructura arbórea y cobertura arbustiva remanente:** respetar los porcentajes fijados por la ley.
- **Momento adecuado:** en general no existe una regla, pero en la región Chaqueña, en el invierno las especies arbustivas suelen estar más secas y esto favorece el corte de estas. Las precipitaciones suelen comenzar en octubre-noviembre, por lo que rolar y sembrar previo a estos meses suele ser oportuno para aprovechar el agua de lluvia para la germinación de los pastos. Evitar suelos saturados.
- **Siembra de pasturas:** es conveniente durante el pasaje del rolo realizar la siembra de una especie megatérmica. Se debe ajustar la densidad de siembra adecuada según las recomendaciones de la semillera. Es conveniente revisar que la sembradora (tambor o tolva) funcione correctamente, por ej. que la semilla no se trabe en la boca de salida, entre otros problemas.
- **Manejo de residuos:** evitar derribar árboles grandes porque representan un problema mayor.
- **Manejo post-rolado:** Descansar el potrero, permitir la correcta implantación de la pastura y controlar el rebrote de las leñosas.
- **Monitoreo:** Evaluar la respuesta de la vegetación y ajustar el manejo de pastoreo, así como la posibilidad de un nuevo rolado.

Aspectos operativos y de gestión:

- **Capacitación del tractorista:** enseñar técnicas seguras de operación, cuidados por presencia de colmenas, uso de equipos de protección (guardamontes, gafas, auriculares), conocimientos básicos de mecánica general, criterios para maniobrabilidad, evitar daños innecesarios, cuidado del equipo.
- **Mantenimiento del equipo:** revisar y reparar el rolo y el tractor antes y después de cada uso para evitar roturas costosas. Limpieza de partes (ej. radiador). Mantener cuchillas con filo. Contar con herramientas mínimas e indispensables (llaves, compresor, elementos para reparación de gomas, cable o cadena en caso de que el rolo quede atascado, hacha, machete, etc.).
- **Lastre del rolo:** la decisión de agregar lastre al rolo, en que cantidad y que tipo (agua, arena) debe estar basada en conceptos técnicos relacionados a la potencia del tractor, corte y picado de los arbustos, estado del suelo, la velocidad de avance requerida, entre otros.
- **Costos y logística:** estimar costos de combustible, tiempo de operación y disponibilidad de maquinaria antes de programar la tarea.
- **Seguridad:** Respetar normas de seguridad para el tractorista, la maquinaria y el entorno.
- **Uso compartido del equipo:** cuando se comparte el mismo tractor y rolo por distintos productores y/o tractoristas es necesario establecer pautas de uso (Ej. en grupos de productores).

Manejo reproductivo bovino

Por Ing. Arg. Ursula Ingrid Wolf Celoné

Para alcanzar el objetivo de un ternero por vaca por año, es necesario realizar un manejo reproductivo que contemple el estacionamiento del servicio y atender aspectos sanitarios preventivos de los reproductores. Un servicio es continuo cuando los toros están todo el año con las vacas, mientras que el servicio es estacionado cuando sólo se permite el apareamiento en determinada época del año. Un servicio estacionado en tres meses es necesario para el objetivo enunciado.

Cuando se realiza estacionamiento del servicio, realizamos un mejor aprovechamiento de los recursos forrajeros, haciéndolos coincidir con los mayores requerimientos nutricionales de los bovinos, repercutiendo directamente en beneficios en la eficiencia reproductiva de los vientres.

En el Chaco Semiárido, donde existe una marcada estacionalidad de las precipitaciones, el crecimiento de las especies forrajeras se da mayormente entre los meses de octubre y abril. Esta época de mayor oferta forrajera debe coincidir con la época de mayores requerimientos nutricionales del ganado, para balancear la oferta con la demanda.

Los requerimientos nutricionales de la vaca de cría varían a lo largo del año, relacionados a cambios en su estado fisiológico. Es así como durante los primeros meses de gestación los requerimientos son bajos, incrementando en el último tercio previo al parto y siendo máximos durante los primeros meses de lactancia. Desde el parto y por un período de 60 días, los vientres

deben sostener la lactancia y recuperar ciclicidad para poder volverse a preñarse, por lo que una buena alimentación es fundamental en esa época.

Considerando estas condiciones, la época favorable para el estacionamiento del servicio en región NOA, sería entre los meses de diciembre y marzo, resultando la más conveniente para obtener los mejores resultados productivos.

Es fundamental considerar reservar lotes con menor cobertura arbustiva y mayor visibilidad para el pastoreo de los vientres en la época de partos. Esto permitirá un mayor control y posibilidad de atención de los animales, disminuyendo notablemente las pérdidas perinatales de terneros.

En estos sistemas, en servicio natural se recomienda incrementar el porcentaje de toros de un 3% a un 5%, para favorecer las posibilidades de encuentro de los machos con las hembras en celo. En este sentido, es importante considerar la utilización de toros con prepucio correcto, no excesivamente largo ni colgante, para evitar lesiones o traumas que los incapaciten y tengan que ser retirados del servicio anticipadamente. Previo al inicio del servicio (agosto- septiembre) es necesario realizar un examen andrológico y diagnóstico de enfermedades venéreas a los toros, los que garantizarán el correcto estado físico, funcional y sanitario de los mismos.

Ante la ocurrencia de eventos de sequía o escases de forraje, el destete representa una herramienta estratégica para el manejo de la alimentación y organización del rodeo. El destete (hiper precoz, precoz o anticipado) reduce drásticamente los requerimientos de los vientres, permitiendo que recuperen ciclicidad ovárica más rápidamente, permitiendo alcanzar una nueva preñez en los períodos deseados.

Bibliografía para consulta:

Carrillo, J. 1975. IV, Factores nutricionales y de manejo. Prod. Anim., AAPA, Ed. Hem. Sur.

https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/190-servicio_estacionado.pdf

Manejo reproductivo del rodeo caprino

Por Ing. Agr. Alicia Córdoba

La reproducción planificada permite ajustar la oferta forrajera con la demanda nutricional de los vientres, mejorar la organización de la majada y optimizar la producción de carne, leche y/o sus derivados.

En primer lugar, resulta conveniente estacionar la época de servicio, concentrando la monta en una ventana de uno o dos meses, de manera que los partos ocurran en el período de mayor disponibilidad de forraje y/o por destino de venta de los cabritos. Esta práctica asegura que las cabras enfrenten la etapa crítica de lactancia temprana con una adecuada nutrición, lo que facilita la recuperación de la condición corporal y el retorno a la ciclicidad ovárica. La sincronización de

estros mediante el uso del “efecto macho” o protocolos hormonales puede ser una herramienta complementaria para ordenar los partos, aunque su eficacia depende de la condición corporal de las hembras y de la estación reproductiva. Por ejemplo: en el NOA, existe una marcada demanda de cabritos en el mes de diciembre. Para aprovechar esta ventana de comercialización, los servicios deben estacionarse en mayo/junio. Por otro lado, las pariciones de otoño, que se logran concentrando los servicios en noviembre/diciembre, coinciden con el período de máxima oferta de forraje, lo que asegura una mejor disponibilidad de alimento para madres y crías.

La suplementación estratégica es otro aspecto clave. En sistemas silvopastoriles, los pastos, arbustos y árboles proveen los requerimientos necesarios de los caprinos, con ajuste de carga animal y planteando un pastoreo rotativo. No obstante, en determinados períodos críticos (años con precipitaciones por debajo de la media que determinan poca productividad forrajera, o del ciclo productivo como último tercio de gestación, parto y primeros meses de lactancia) es necesario recurrir a la suplementación en el invierno o principios de primavera, con fuentes proteicas y energéticas que aseguren el desarrollo de la gestación, la producción de leche y la rápida recuperación de las madres. Asimismo, la suplementación mineral (particularmente yodo, hierro, cobre, cobalto, magnesio, calcio, zinc y vitaminas A, D y E) contribuye a mejorar la fertilidad y la viabilidad de los cabritos.

El manejo sanitario de los reproductores debe ser preventivo. Antes del inicio del servicio se recomienda realizar exámenes a los machos y descartar animales con malformaciones de prepucio o lesiones en órganos reproductivos, y controlar enfermedades de transmisión venérea. Se sugiere un chivo adulto por cada 25 a 30 cabras. En hembras, el control de parásitos gastrointestinales es fundamentales para sostener una buena condición corporal y evitar pérdidas reproductivas.

En relación con el manejo del destete, en situaciones de déficit forrajero o sequía, la implementación de estrategias de alimentación temprana en cabritos como creep feeding o creep grazing, constituye una herramienta valiosa. Esta práctica reduce significativamente los requerimientos de las madres, favorece su recuperación y aumenta las posibilidades de lograr preñeces dentro del período deseado.

Por otra parte, el diseño del sistema silvopastoril también incide en el desempeño reproductivo. Se recomienda utilizar potreros con cobertura arbórea que provea sombra, reduciendo el estrés térmico, pero evitando densidades excesivas de arbustos que dificulten la movilidad y el encuentro entre machos y hembras. El acceso adecuado a sombra, agua y recursos forrajeros mejora el bienestar animal y contribuye indirectamente a la eficiencia reproductiva.

Finalmente, la selección genética es una herramienta de mediano y largo plazo. La elección de recursos genéticos locales, con buena prolificidad y rusticidad, permite aprovechar mejor los recursos del sistema y mejorar los índices reproductivos. El registro sistemático de partos, servicios y mortalidad de crías es esencial para identificar animales superiores y orientar los planes de selección.

En síntesis, el éxito del manejo reproductivo caprino en sistemas silvopastoriles depende de la planificación del servicio, la nutrición estratégica, el manejo sanitario, la planificación adecuada del manejo de pastoreo y el uso de genética adaptada. La integración de estas prácticas permite aumentar la productividad, reducir pérdidas y asegurar la sostenibilidad del sistema en el tiempo.

Bibliografía para consulta:

Cordoba, A B, Ledesma, O y Acuña, F. 2023. Producción de *Megathyrus maximus* y evaluación de parámetros productivos de una majada caprina en un Sistema silvopastoril del Chaco Semiárido. XII Congreso Internacional De Sistemas Silvopastoriles, II Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles, IV Seminario Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Montevideo, Uruguay. p. 248-254.

Córdoba, A. B., Stazionati, M., & Contreras, M. 2025. Efectos de la suplementación con semilla de algodón en la producción y composición de leche de cabra en un sistema silvopastoril agroecológico del Chaco Semiárido argentino. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 16(2), 01-12.

Meneses, R. 2017. Manual de producción caprina. Disponible en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/47ccd0d7-b25a-472d-8f97-9d11131e1fd5/content>

Manejo de agua para bebida

Por Ing. Agr. Ramon Fernández

La determinación de las necesidades de agua de los animales depende de la interacción de un gran número de factores (tipo de alimentación, temperatura y humedad ambiente, temperatura del agua de bebida, disponibilidad de agua, sales en el agua, estado fisiológico), habiendo variaciones y adaptaciones aún dentro de la misma especie.

En términos generales para estimar el consumo de agua, se pueden utilizar tablas orientativas, tanto de bovino como caprinos en condiciones normales.

En términos de calidad de agua para consumo animal, existen escalas con niveles de tolerancia a cantidad de sales, aunque también hay adaptaciones a nivel regional e incluso al agua local.

Para clasificar la aptitud de agua para bebida animal se considera el contenido de sales totales y especialmente le contenido de sulfatos y magnesio:

Tabla 14. Consumo de agua para bovinos y caprinos en condiciones normales.

Especie	Requerimiento de agua por día en ltrs
Vacas adultas secas	57
Vacas adultas productoras	80 a 130
Equinos	40
Cerdos en última etapa (55 Kgr peso vivo)	6 a 8
Cerdos en finalización (100 Kgr peso vivo)	8 a 12
Ovinos a 5 meses de gestación	7
Cabras productoras de carne	5
Cabras productoras de leche	12
Conejos machos adultos y conejas preñadas	0,5
Pollos de 1,3 Kgr de peso vivo	0,16
Gallinas de 2,2 Kgr de peso vivo	0,25

Fuente: Manual Técnico "Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe"

Autor: Dr. Manuel Anaya Garduño (México, 1.998)

Tabla 15. Clasificación de la aptitud del agua para bebida animal.

Tipo	BOVINOS (Carne)			BOVINOS (leche)			OVINOS y CAPRINOS			EQUI- NOS
	R.Seco	SO ₄	Mg	R.Seco	SO ₄	Mg	R. Seco	SO ₄	Mg	R. Seco
Excelente	< 2	< 1	< 0,2	< 1,6	< 0,8	< 0,6	< 2,2	< 0,9	< 0,2	-----
Buena	2-4	1-2	0,2-0,4	1,6-3,8	0,8-1,6	0,6-0,32	2,2-4,4	0,9-1,7	0,2-0,4	-----
Regular	4-7	2-3	0,4-0,45	3,8-5,6	1,6-2,4	0,32-0,36	4,4-7,7	1,7-2,6	0,4-0,48	-----
Tolerable	7-10	3-3,5	0,45-0,5	5,6-8	2,4-2,8	0,36-0,4	7,7-11	2,6-3	0,48-0,55	< 6,5
Mala	> 10	> 3,5	> 0,5	> 8	> 2,8	> 0,4	> 11	> 3	> 0,55	< 6,5

Fuente: J. A. Carrazzoni (INTA-R.S.PEÑA) "GANADERÍA SUBTROPICAL ARGENTINA"

Para asegurar un consumo de agua necesario para cada especie, es fundamental disponer las aguadas en cantidad suficiente en función de las distancias a recorrer a diario. A modo de referencia, un bovino adulto puede recorrer hasta 2000 metros en terreno plano y de unos 800 metros en terreno ondulado, sin aumentar significativamente los gastos energéticos de mantenimiento y no limitar la eficiencia productiva.

Bibliografía para consulta:

Basán Nickisch, M. H., 2010. Manejo de los recursos hídricos para áreas de secano - 2da Edición. INTA.

Bavera, Guillermo Alejandro. 2008. "Aguas y Aguadas para el Ganado". 3ra edición. Rio Cuarto, Cordoba.

Reservas forrajeras y suplementación

Por Ing. Agr. Ursula Ingrid Wolf Celoné

La estacionalidad en la producción forrajera del Chaco Semiárido hace que sea fundamental la necesidad y dependencia de reservas forrajera para cubrir el bache invernal y los requerimientos de todas las categorías animales, durante los meses de escases de forraje o latencia invernal de la producción.

En la práctica las reservas de forraje se implementan para cubrir déficit forrajero presente en la mayoría de los sistemas ganaderos y de esta manera sostener una determinada carga animal sin rescindir producción (kg de carne/ha/año), como así también puede ser utilizado para aumentar la carga animal con la finalidad de aumentar la producción de kg de carne.

Entre los tipos de alimentos más comunes en el norte argentino se pueden mencionar:

- **Forraje diferido en pie:** Consiste en trasladar forraje o pasto en pie de un momento de mayor producción a uno sin crecimiento. Se requiere de planificación para cerrar al pastoreo en la época de crecimiento la superficie necesaria para los meses de invierno. A modo de referencia, los niveles de PB del diferido están entre 4 y 6%, por lo que su aporte nutricional es principalmente fibroso.
- **Henos:** La henificación es una de las formas más usadas en la conservación de forraje, la misma es producida por el corte y posterior evaporación del agua contenida en los tejidos de la planta, logrando así conservar el rendimiento y valor nutritivo del forraje. Puede ser parvas, rollos y fardos. Los forrajes más utilizados para la confección de henos en nuestra región son alfalfa, sorgo y pasturas megatérmicas. Este tipo de reserva son generalmente externas al sistema o requieren de un servicio para su confección. El aporte proteico de los henos de alfalfa puede estar entre el 18-22 %, mientras que los henos de gramíneas no superan el 6%.
- **Silaje:** Es una técnica de conservación de forraje verde, que recurre a un proceso de fermentación en ausencia de oxígeno, en el cual el material vegetal picado, se compacta en un silo o bolsa. Por la acción de microorganismos, se acidifica impidiendo su deterioro y conservando sus propiedades nutricionales para alimentar al ganado en épocas de escasez de pasto. Los cultivos mayormente utilizados en el norte del país son el maíz y el sorgo, su aporte nutricional varía con el momento y forma de confección, aportando mayormente fibra de alta degradabilidad ruminal y energía.
- **Subproductos del cultivo de algodón:** a nivel regional, la industrialización del cultivo de algodón pone a disposición cascarrilla de algodón como fuente de fibra de baja calidad nutricional (PB < 4 %) y la semilla de algodón como fuente energética proteica (PB 28-36%) para incluir en estrategias de suplementación.

Tanto la confección o compra de reservas forrajeras, como las estrategias de suplementación requieren de planificación y presupuestación, la cual se recomienda realizar en el momento hacer el Balance Forrajero (otoño). Este trabajo previo permite asegurar la disponibilidad en el momento indicado de los recursos necesarios, evitando el pago de sobrepagos en situaciones de emergencia.

Bibliografía para consulta:

Bragachini, M.A.; Cattani, P; Giordano, J.M.; Peiretti, J.; Sanchez, F.; Urrets Zavalía, G. 2018. Manual técnico de forrajes conservados: tecnologías para producir alimentos en alta calidad y

aspectos relacionados a la eficiencia del uso de la maquinaria y el manejo nutricional. Ediciones INTA. EEA Manfredi.

Balbuena, O. y Kucseva, C.D. 2002. Utilización de la Semilla de Algodón en la Alimentación de Bovinos para Carne. Idia XXI (INTA), Año II, Nro. 2. pp 69-72. ISSN: 987-521-0044-7.

ANEXO 6: MARCO LEGAL Y PASOS ADMINISTRATIVOS PARA SOLICITAR UN PLAN DE MANEJO MBGI

El Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI), propone el manejo integral del ecosistema forestal como una alternativa de desarrollo frente a otros modelos de producción ganadera no sustentables, a través de la adopción de tecnologías de bajo impacto ambiental. En este contexto, Santiago del Estero ha sido pionera en el desarrollo de experiencias e investigaciones en busca de esta integralidad, que han servido de base para esta estrategia.

El MBGI surge en el año 2015 como una estrategia político-técnica nacional que articula herramientas técnico-financieras entre las autoridades nacionales a cargo de las políticas ambientales y agropecuarias¹; y a la cual adherían las provincias interesadas en su desarrollo. Como parte de su implementación, se genera el Comité MBGI Técnico Nacional y los comités MBGI técnicos provinciales, que constituyen la instancia participativa de asesoramiento y apoyo técnico para la implementación del MBGI.

Durante el periodo 2015-2022, se desarrollaron los primeros sitios pilotos MBGI y un sistema de indicadores a nivel predial para la región chaqueña. A partir del 2022, se conforma un esquema de implementación del Fondo Nacional para el Enriquecimiento y la Conservación de los Bosques Nativos (FNECBN), a través de planes estratégicos MBGI provinciales. Mediante este fondo, cada provincia asigna partidas presupuestarias para la promoción de estos planes, lo que a su vez que se consolidan como un lineamiento técnico estratégico para la implementación de la Ley N°26.331².

Luego de una evaluación de las primeras experiencias piloto, durante el 2022 se actualizan los Principios y Lineamientos Nacionales del MBGI, mediante la Resolución Conjunta N°2/2022³ y el plan Nacional de MBGI mediante Resolución Conjunta N° 3/2023⁴.

Particularidades de la planificación MBGI

El plan MBGI debe lograr en forma simultánea mantener o mejorar la producción, la integridad del ecosistema y sus servicios y el bienestar de las comunidades asociadas. Además, de cumplir con los siguientes principios:

1. *Contar con los contenidos mínimos para Planes de Manejo Sostenible de Bosques.* Se considera que el plan se encuentra dentro de las categorías II y/o III del OTBN de la Ley N° 6.892, y que reúnen las precisiones técnicas detalladas en el presente protocolo. A los

¹ Convenio de articulación Institucional N°32/2015, firmado el 27 de febrero de 2015, entre la ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) de la Nación Argentina.

² Los lineamientos emergen en la Resolución N°360/2018 y los Planes Estratégicos en la resolución N°497/22, del COFEMA

³ <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/360000-364999/363918/norma.htm>

⁴ Disponible en: <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/385000-389999/386090/resconj3.pdf>

finés de evaluar el impacto del plan en la superficie de bosque, el profesional formulador debe considerar también tanto la ubicación del predio en relación a corredores biológicos como la presencia de acuerdos previos asumidos en las revisiones del OTBN 2015 con relación a superficies agrícolas preexistentes.

2. *Mantener un área exclusiva para la conservación de biodiversidad, el mantenimiento de la conectividad, preservación del acervo genético de las especies que ocupan el predio y el resguardo de la fauna asociada.* Se debe adjuntar la cartografía y estimaciones de superficies necesarias para evaluar el cumplimiento del lineamiento. De acuerdo a los criterios técnicos provinciales del año 2024, los planes deberán mantener un 10 % mínimo de su superficie como área de conservación de la biodiversidad en sentido estricto, la que puede variar según criterio de la ALA (Autoridad Local de Aplicación), cuando se deban tener en cuenta aspectos de conservación ligados a zonas de protección como corredores biológicos, zonas de lagunas, bañados, ríos, cauces, bajos, salinas, o humedales, serranías, cuencas hídricas, como también reservas provinciales y/o nacionales.
3. *Manejar el estrato arbustivo asegurando la permanencia de un mínimo de 30% de la cobertura arbustiva por hectárea de bosque nativo intervenida.* La ALA puede requerir elevar este porcentaje si el área de conservación de la biodiversidad es inferior al 10 %, y/o cuando la cobertura arbórea preexistente no alcance un umbral que asegure el funcionamiento y provisión de servicios del ecosistema. En caso de desarbustados mecánicos, se debe utilizar maquinaria adecuada para minimizar impactos negativos. Se debe adjuntar información cartográfica y estimaciones que permitan calcular el área cubierta y el estado inicial del estrato arbustivo, así como la planificación del impacto de las intervenciones previstas en la superficie y estructura residual. De acuerdo con los lineamientos técnicos provinciales del año 2024, para la presentación de planes MBGI los planes podrán, en una primera etapa, realizar Rolado de Baja Intensidad-RBI (manteniendo el 30 % de sotobosque) en un 40 % de la superficie, con la posibilidad de extender en una segunda etapa, a otro 50 %, bajo la condición de correcto cumplimiento de la primera, alcanzando de este modo el 90 % de la unidad de manejo. Esta segunda etapa podrá ser de un porcentaje variable según la superficie de la unidad productiva, en favor del área de conservación de la biodiversidad.
4. *Incluir acciones para conducir la estructura del bosque (regeneración, mantenimiento de la estructura y aprovechamiento de productos) y monitorear su estado periódicamente.* A tal efecto, se recomienda la revisión de los parámetros solicitados tanto en el presente protocolo como en los requisitos mínimos para la presentación de planes de manejo en el marco de la Ley No 26.331.
5. *El manejo ganadero explicitado en el plan de manejo integral debe adecuarse a las posibilidades reales del sistema, en un horizonte temporal que tenga en cuenta la variabilidad interanual de las condiciones ambientales.* Los requisitos sobre este lineamiento se encuentran detallados en el presente protocolo.
6. *Contar con un sistema de prevención y control de incendios forestales y de pastizales asociados, así como de sequías prolongadas.*
7. *Contar con un diseño apropiado de aguadas para lograr un uso productivo eficiente sin perjuicio del funcionamiento del bosque.*

Para la presentación de planes MBGI en la provincia de Santiago del Estero, administrativamente, el plan debe contar con lo siguiente:

1. Presentación del formulario para el tipo de plan disponible en: <https://mproduccion.datacentersgo.gob.ar/index.php/departamento-de-bosques-nativos/>).
2. Firma conjunta de los profesionales habilitados para su elaboración, los cuales deben estar inscriptos en el registro de profesionales de la DGByF, adjuntando su correspondiente orden de trabajo emitida por el CPIA.
3. Inscripción de la propiedad en el registro de la DGByF.
4. Inscripción del productor titular en el registro de la DGByF.
5. Evaluación Ambiental del Plan propuesto, firmada por un profesional habilitado por la Dirección General de Medio Ambiente de la provincia.

Esta publicación institucional brinda un marco técnico para la implementación del Manejo de Bosques con Ganadería Integrada –MBGI– en predios productivos de Santiago del Estero. Describe metodologías para medir indicadores forestales, ganaderos y de calidad de suelos, con umbrales de interpretación y periodicidad recomendada, a fin de promover el manejo sustentable de los ecosistemas sin afectar la productividad.

Contenidos principales:

- **Capítulo 1:** Identificación y mapeo de sitios ecológicos y estados de la vegetación. Base para la sectorización de predios bajo MBGI.
- **Capítulo 2:** Medición de indicadores forestales: Densidad, Área basal, Distribución diamétrica, entre otros.
- **Capítulo 3:** Medición de indicadores ganaderos: Balance forrajero, Eficiencia reproductiva y Productividad, para bovinos y caprinos.
- **Capítulo 4:** Medición de indicadores de suelos: Materia orgánica, Textura, Densidad aparente, Conductividad eléctrica y pH.

Incluye seis anexos con evaluación de oferta y demanda forrajera, escalas de condición corporal, normas de manejo y suplementación, y el marco legal para la presentación de planes MBGI.

Destinada a técnicos, productores e instituciones, esta guía aporta herramientas validadas para conciliar producción y conservación del bosque nativo.



UNSE
Universidad Nacional
de Santiago del Estero



Subsecretaría
de Medio Ambiente

COLEGIO DE GRADUADOS
EN CIENCIAS FORESTALES

