

Guía práctica para la medición de indicadores de salud de ecosistemas adhehados



Trabajo realizado dentro del Proyecto Dehesas & Montados en la Península Ibérica.
El objetivo del proyecto es mejorar el estado ecológico y la rentabilidad de la dehesa a través de la implementación de diversas prácticas culturales.
Proyecto coordinado por la Asociación Trashumancia y Naturaleza, WWF España, ANP-WWF Portugal, con el apoyo de la Fundación MAVA.

Coordinado por:



Con la asistencia técnica:



Con el apoyo de:



Contenido

1.	Introducción	6
1.1.	Propósito de la guía: objetivos, público destinatario y cómo utilizarla	6
2.	Diseño del plan de muestreo	6
3.	Relación de Indicadores por grado de prioridad	8
4.	Índice de Salud de Pastos (ISP).....	9
4.1.	Descripción del índice	9
4.2.	Materiales y equipamiento	11
4.3.	Procedimientos de evaluación	11
4.4.	Interpretación de los resultados	16
5.	Indicadores de calidad física del suelo	17
5.1.	Compactación: densidad aparente	17
5.1.1.	Descripción del indicador	17
5.1.1.	Materiales y equipamiento	17
5.1.2.	Procedimiento de evaluación.....	18
5.1.3.	Interpretación de los resultados	19
5.2.	Estructura del suelo: tipo, tamaño y estabilidad de agregados.....	19
5.2.1.	Descripción del indicador	19
5.2.2.	Materiales y equipamiento	20
5.2.3.	Procedimiento de evaluación.....	20
5.2.4.	Interpretación de resultados.....	22
5.3.	Erosión del suelo	22
5.3.1.	Descripción del indicador	22
5.3.2.	Materiales y equipamiento	23
5.3.3.	Procedimiento de evaluación.....	23
5.3.4.	Interpretación de los resultados	24
6.	Indicadores de calidad química del suelo	24
6.1.	Toma de muestras de Suelo	25
6.1.1.	Materiales y equipamiento	25
6.1.2.	Procedimiento de toma de muestras y análisis laboratorio	26
6.2.	Materia orgánica: color del suelo	26
6.2.1.	Descripción del indicador	26
6.2.2.	Materiales y equipamiento	27
6.2.3.	Procedimiento de evaluación.....	27
6.2.4.	Interpretación de los resultados	28
6.3.	pH del Suelo	28

6.3.1.	Materiales y equipamiento	28
6.3.2.	Procedimiento de evaluación.....	29
6.4.	Cromatografía de suelo.....	29
6.4.1.	Descripción del indicador	29
6.4.2.	Materiales y equipamiento	29
6.4.3.	Procedimiento de evaluación.....	30
6.4.4.	Interpretación de resultados.....	30
6.5.	Nutrientes disponibles en el suelo	31
7.	Indicadores de calidad biológica del suelo.....	32
7.1.	Microbiota del suelo	32
7.2.	Actividad de lombrices: abundancia de excretas.....	33
7.2.1.	Descripción del indicador	33
7.2.2.	Materiales y equipamiento	33
7.2.3.	Procedimiento de evaluación.....	34
7.2.4.	Interpretación de resultados.....	35
7.3.	Actividad de Hormigas: densidad de hormigueros	35
7.3.1.	Descripción del indicador	35
7.3.2.	Materiales y equipamientos.....	35
7.3.3.	Procedimiento de evaluación.....	35
7.3.4.	Interpretación de resultados.....	36
7.4.	Actividad de Coprófagos: estado de las bostas.....	36
7.4.1.	Descripción del indicador	36
7.4.2.	Materiales y equipamiento	36
7.4.3.	Procedimiento de evaluación.....	36
7.4.4.	Interpretación de resultados.....	37
8.	Indicadores de biodiversidad	37
8.1.	Vegetación: identificación de especies claves	37
8.1.1.	Descripción del indicador	37
8.1.2.	Materiales y equipamiento	38
8.1.3.	Procedimiento de evaluación.....	38
8.1.4.	Interpretación de resultados.....	39
8.2.	Mariposas: conteo por morfoespecies	39
8.2.1.	Descripción del indicador	39
8.2.2.	Materiales y equipamiento	39
8.2.3.	Procedimiento de evaluación.....	39
8.2.4.	Interpretación de resultados.....	40

9. Bibliografía	41
Anexo I. Fichas de campo.....	42
Anexo II. Guías fotográficas.....	52

1. Introducción

1.1. Propósito de la guía: objetivos, público destinatario y cómo utilizarla

Esta guía se enmarca dentro del Proyecto Dehesas & Montados en la Península Ibérica, liderado por la Asociación Trashumancia y Naturaleza, WWF España y ANP-WWF Portugal, con el apoyo de la Fundación MAVA. Para la elaboración de la guía se ha contado con la asistencia técnica de ACTYVA S. Coop. y la Universidad de Extremadura.

El Proyecto Dehesas & Montados en la Península Ibérica busca mejorar la biodiversidad, el estado ecológico y la rentabilidad de la dehesa a través de la implementación de diversas prácticas culturales como el pastoreo rotacional adaptativo y redileo. Para ello se han seleccionado una red de dehesas piloto donde se están implementando estas prácticas y evaluando sus efectos sobre la calidad del suelo y la biodiversidad.

El objetivo de esta guía es acercar a los destinatarios finales- técnicos de campo, gestores y ganaderos- una serie de indicadores de evaluación de la salud del ecosistema, biodiversidad y calidad del suelo, muchos de ellos testados en el marco del Proyecto. Se muestran indicadores de diferente complejidad para ser utilizados en función de los objetivos, la disponibilidad de recursos y la cualificación técnica. En todo caso la mayoría de indicadores seleccionados son de fácil aplicación y bajo coste, con el objetivo de que con un breve entrenamiento previo puedan ser evaluados por los propios ganaderos para la monitorización de sus prácticas y ser aplicados en un contexto de pago por servicios ambientales.

La presente guía está organizada en una secuencia de secciones que responden a los diferentes pasos a seguir y componentes del ecosistema a evaluar. Primero se explica qué elementos hay que tener en cuenta para diseñar el plan de monitorización (puntos de observación). A continuación, se describen los indicadores de evaluación de la salud del ecosistema, organizados en cuatro bloques: índice de salud de pastos, indicadores de calidad de suelo, indicadores de actividad biológica e indicadores de biodiversidad. En cada una de las secciones se realiza una descripción y explicación del interés del indicador, los materiales y equipamiento necesarios para su monitorización, así como una breve descripción del procedimiento de evaluación y la interpretación de los resultados. Por último, encontramos un apartado de bibliografía donde encontrar mayor información al respecto. En el apartado de anexos encontraremos los formularios para la evaluación en campo y las guías fotográficas en su caso.

2. Diseño del plan de muestreo

Para realizar la evaluación de los indicadores biológicos seleccionados primero deberemos diseñar el plan de muestreo, de tal manera que con el mínimo esfuerzo posible se obtengan resultados de fiabilidad suficiente.

Para ello se deberá seleccionar el tipo de muestreo a realizar, el número y localización de las estaciones de muestreo, el número de muestras por estación, así como el momento óptimo de realización del muestreo y la periodicidad del mismo. Definir el

número correcto de estaciones y su ubicación es crítico para la precisión de las estimaciones, lo cual dependerá del tamaño de la finca y su heterogeneidad y por su puesto estará restringido por la relación coste-beneficio y la transitabilidad del área a muestrear.

Para ello será preciso contar con un mapa de la finca en dónde se reflejen las diferentes unidades de vegetación presentes, así como caminos, cercados... Este mapa le podremos realizar fácilmente interpretando la ortoimagen de la finca, disponibles en el Centro de Descarga del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica)¹. Será preciso disponer de los límites de la finca, que tendrán que ser facilitados por la propiedad o ser descargado de la Sede Electrónica del Catastro².

Estrategia de muestreo: N° de estaciones, muestras por estación y calendarización

Existen diferentes estrategias de muestreo que podremos utilizar para realizar la evaluación y monitorización ecológica (Fig. 1).

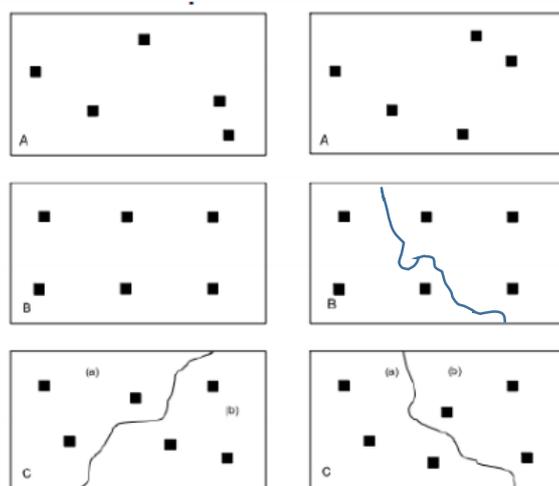


Figura 1. Algunos ejemplos de las formas de muestreo. A = Muestreo aleatorio, B = Muestreo sistemático, C=Muestro estratificado aleatorio. Las letras (a) y (b) indican el tipo de estrato (sea tipo de suelo, tipo de pendiente, tipo de vegetación) en los que se puede separar antes de muestrear aleatoriamente.

Se propone seguir un esquema de muestreo estratificado, con el que el número de estaciones deberá asignarse en proporción a la superficie que ocupa cada unidad de vegetación. El geoposicionamiento de las estaciones de muestreo nos permite muestrear en la misma zona cada año aumentando con ello la repetitividad de las estimaciones.

Una vez decidida la estrategia de muestreo a utilizar deberemos decidir el **número de estaciones de muestreo** lo que dependerá del tamaño, forma y variabilidad del sitio. Así, una finca muy homogénea en cuanto tipo del suelo, vegetación, topografía...requerirá un menor número de estaciones que una finca con gran heterogeneidad. Las unidades (teselas) a registrar en el mapa debe ser una **combinación de tipo de suelo y manejo**. En todo caso, dentro de cada finca se deberán diferenciar al menos los siguientes tipos de uso del suelo:

¹ <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

² <https://www.sedecatastro.gob.es/Accesos/SECAccDescargaDatos.aspx>

Clase 1: Pasto/cultivo desarbolado o con árboles muy dispersos (Fcc < 5%)

Clase 2: Pasto/cultivo arbolado 1 (Fcc 5-40)

Clase 3: Pasto arbolado 2 (Fcc 40-60)

Clase 4: Monte arbolado (Fcc>60 %)

Clase 5: Formación arbustivo (Monte desarbolado, solamente matorral)

Para la dehesa una estimación razonable de estaciones a evaluar es de una estación por cada 50 ha de cada unidad de uso de suelo. El número mínimo de estaciones por finca será tres. Habrá al menos una estación de muestreo por categoría representada en la finca, siempre y cuando el porcentaje sea mayor al 5 % de la superficie total de la finca.

Por otro lado, deberemos determinar el **número de muestras por estación** lo cual dependerá del atributo que estemos evaluando. La cantidad de muestras en cada estación tiene que permitir alcanzar el número de muestras totales de la unidad de muestreo.

En paralelo a la evaluación de cada estación seleccionada, se recomienda la recolección de un mínimo de **tres muestras o mediciones de cada una de las estaciones**. En general, cómo se comentó anteriormente, cuanto mayor sea la variabilidad de la finca mayor será el número de medidas necesarias para conseguir un valor representativo

Asimismo, en cada estación habrá que **ubicar el lugar dónde se realizará la monitorización y toma de muestras**, eligiendo para ello un sitio representativo de la zona, evitando los efectos del sesteo de los animales, puntos de agua, suplementación... Para la ubicación de la estación dentro de cada tipo de hábitat, se tendrá en cuenta la facilidad de acceso a la misma, localizándose en la proximidad de caminos, pero procurando al mismo tiempo una buena cobertura de la extensión de la finca.

Por último, habrá que decidir la **época del año en que se tomarán las muestras y con qué periodicidad** se realizará, lo cual dependerá del indicador que estemos evaluando. Una propuesta lógica es la evaluación anual (en primavera) de los parámetros más sencillos, y quinquenal o cuatrienalmente los más complejos y/o menos dinámicos.

3. Relación de Indicadores por grado de prioridad

En la Tabla 1 se relacionan los indicadores que se proponen y describen en las secciones siguientes. En la tabla se califica cada indicador por el grado de dificultad con objeto de facilitar la elección de los indicadores a utilizar en cada caso, en función del nivel de cualificación de cada persona y los requisitos de cada proyecto u objetivo.

Tabla 1. Relación de indicadores que se describen en esta guía.

Indicadores		Recomendación	Periodicidad
Índice de Salud de Pasto		Alta	Anual
Fertilidad Física del Suelo	Densidad Aparente	Alta	Anual
	Estructura del Suelo	Media	4 años
	Erosión	Alta	Anual
Fertilidad Química del Suelo	Materia Orgánica	Alta	Anual
	pH	Alta	4 años
	Cromatografía	Alta	Anual
	Contenido en Nutrientes	Baja	4 años
Fertilidad Biológica del Suelo	Microbiota del suelo	Baja	4 años
	Lombrices de tierra	Alta	Anual
	Hormigas	Alta	Anual
	Coprófagos	Alta	Anual
Indicadores de Biodiversidad	Plantas	Alta	Anual
	Mariposas	Media	Anual
	Insectos coprófagos	Media	Anual

4. Índice de Salud de Pastos (ISP)

4.1. Descripción del índice

El Índice de Salud de Pastos (ISP) es un indicador cualitativo, rápido y barato de aplicar, que indica el estado de salud de los pastos en relación al resultado ponderado de 11 indicadores biológicos que hacen referencia al funcionamiento de los procesos del ecosistema: ciclo del agua, ciclo mineral, flujo de energía y dinámica de la comunidad (Tabla 2). Dichos indicadores han de ser calibrados con áreas de referencia, lugares considerados como la mejor expresión de la biodiversidad, la estabilidad del sitio y la función del ecosistema dentro de un área ecológica. Estos lugares de referencias pueden estar dentro o fuera de la explotación.

Tabla 2. Matriz de evaluación de la salud de los pastos adherados: atributos, indicadores biológicos, rango de puntuación y proceso ecológico al que hace referencia.

NUM	ATRIBUTO	INDICADOR BIOLÓGICO	PUNT.	PROCESO ECOLÓGICO			
				CICLO DEL AGUA	CICLO MINERAL	FLUJO DE ENERGÍA	DINÁMICA DE LA COMUNIDAD
1	Cobertura del suelo	% suelo desnudo	20 a -20				
2	Compactación	Dureza de la costra superficial	0 a -10				
3	Erosión	Microsurcos, Cárcavas..	0 a -20				

4	Edafofauna	Evidencia de microfauna	10 a 0				
5	Descomposición de las bostas	Antigüedad de las bostas	10 a 0				
6	Gramíneas perennes	cobertura	10 a 0				
7	Leguminosas	Abundancia y vigor	10 a 0				
8	Arbustos	Tipo	10 a -10				
9	Arbolado	Salud adulto	10 a -10				
10		Regeneración	10 a -20				
11	Productividad	% potencial	10 a -10				

La puntuación del ISP oscila entre +100 a -100, donde las puntuaciones más negativas indican una degradación de los procesos ecológicos y puntuaciones más próximas a +100, una alta eficiencia en el funcionamiento del ciclo del agua, ciclo de nutrientes, flujo de energía y dinámica de la comunidad (Fig. 2).

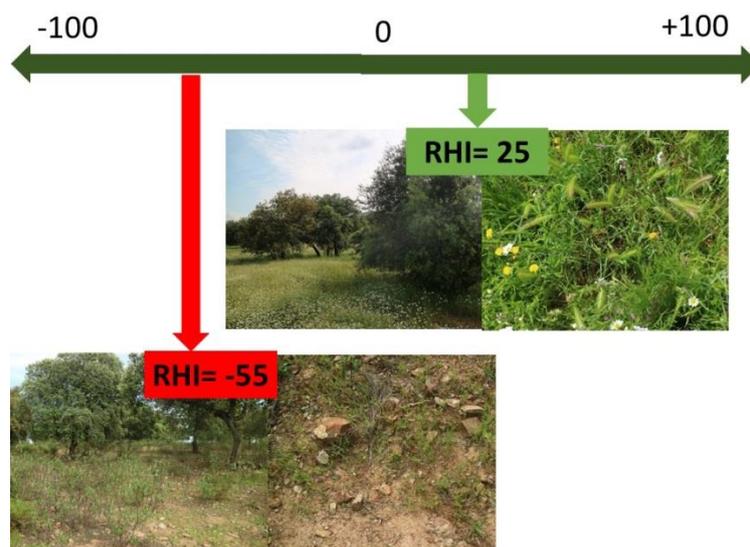


Figura 2. Ejemplos de puntuaciones del ISP con dos prácticas diferentes evaluadas en la misma fecha. En rojo, zona sin redileo en finca Mundos Nuevos ISP= -55. En verde, zona tras dos años de redileo en finca Mundos Nuevos ISP=+25.

4.2. Materiales y equipamiento

Para la evaluación del ISP son precisos los siguientes materiales y equipamientos:

- GPS o móvil con GPS
- Cámara de fotos
- Matriz de evaluación para el área ecológica (Anexo I)
- Lápiz
- Formulario de campo de evaluación de pastizales (Anexo I)

4.3. Procedimientos de evaluación

En la siguiente tabla se recogen datos relacionados con la época deseable de muestro, periodicidad de la misma, tiempo empleado en la evaluación, dificultad de medición y coste del mismo.

<i>Época de medición</i>	Primavera. Con 1/3 de las plantas en floración
<i>Periodicidad</i>	Anualmente
<i>Tiempo empleado</i>	5 minutos por muestra
<i>Dificultad</i>	Baja. Necesario entrenamiento previo
<i>Coste</i>	Bajo

En cada punto de muestreo se procederá a:

- 1) Bajar el punto del GPS
- 2) Realizar una fotografía panorámica y una fotografía de la cobertura del suelo
- 3) En base a la matriz de evaluación del área ecológica, el evaluador procederá indicador por indicador comparando las opciones que ofrece la matriz de evaluación (ver Tabla 1 en anexo I) con lo que observa en el terreno otorgando la puntuación correspondiente a cada indicador y anotando el resultado en el formulario de campo de evaluación de pastizales (ver Tabla 2 en anexo I).

La elección de los indicadores biológicos, así como su ponderación se hace en base al área de referencia del área ecológica de estudio. Para el área ecológica de la dehesa se han elegido los siguientes atributos e indicadores a evaluar:

- Cobertura del suelo: El primer indicador a evaluar será el porcentaje de suelo desnudo. Este indicador es clave para el buen funcionamiento del ecosistema, desempeñando un papel importante en el ciclo del agua y nutrientes. Un suelo desnudo favorecerá las pérdidas de agua por escorrentía, arrastrando con ello el suelo fértil y compactando el mismo. A la hora de evaluar este atributo consideraremos cómo cobertura del suelo las plantas vivas, restos de hojas, plantas senescentes, musgo, líquenes...así como cualquier otro elemento que proteja al suelo de la acción del agua, el sol, el viento...



Figura 3. Izda.: suelo con cobertura del 100 %. Dcha.: suelo con porcentaje de suelo desnudo mayor del 50 %

- **Compactación del suelo:** el siguiente atributo a evaluar será la compactación del suelo. Un suelo compacto no permite el paso de las raíces y la oxigenación del mismo. Para ello, evaluaremos la dureza de la costra superficial que nos indica el grado de compactación superficial del suelo (la más común en suelos con pastoreo). Los suelos más compactados requerirán que ejerzamos una alta presión con los dedos para romperse o incluso tengamos que utilizar un objeto metálico.
- **Erosión:** El siguiente atributo a evaluar es la erosión del suelo. La erosión es uno de los procesos más comunes y destructivos de fertilidad y salud del suelo. Para evaluar el éste atributo observaremos en el terreno si presenciamos signos de erosión: microsurdos, surcos y cárcavas u otros signos de erosión cómo la acumulación de materiales a favor de pendiente o el pedestaleo de las plantas.



Figura 4. Diferentes signos de erosión. Arriba izda.: cárcava. Arriba dcha.: surcos. Abajo izda.: pedestaleo de plantas. Abajo dcha.: acumulación de materiales por erosión hídrica.

- **Edafofauna:** La fauna del suelo como lombrices y escarabajos es la responsable de diversas funciones que favorecen una buena estructura del suelo, la descomposición de la materia orgánica y contribuyen al reciclado de nutrientes. Para evaluar este atributo observaremos el grado de abundancia de signos de actividad de microfauna (excretas de lombrices, hormigueros, nidos de araña...).



Figura 5. Signos de actividad de microfauna. Izda. Hormiguero. Drcha.: Resto de excretas de lombrices.

- **Descomposición de bostas:** el grado de descomposición de las bostas nos va a indicar en parte cómo está funcionando el reciclaje de nutrientes en el ecosistema. Para evaluar este indicador, tendremos en cuenta la antigüedad de las bostas que encontramos en el punto de muestreo. Para ello será preciso tener en cuenta que las bostas son más o menos frescas, ya que la descomposición de una bosta excretada en verano, sin humedad en el suelo será mucho más difícil. Las bostas momificadas tienen una descomposición casi nula adquiriendo un color blanquecino que las caracteriza.



Figura 6. Izda.: Bosta momificada. Drcha.: Bosta descomponiéndose rápidamente

- **Gramíneas perennes:** La importancia de las gramíneas perennes se debe al papel que desempeñan en el ecosistema. Su ciclo plurianual, sumado a sus raíces profundas y crecimiento en cepellón van a facilitar mayores coberturas del suelo, así como un mayor ciclo vegetativo, permaneciendo verdes durante más tiempo. Para evaluar este atributo se va a tener en cuenta el grado de cobertura de especies perennes en la estación de muestreo a evaluar.



Figura 7. Gramíneas perennes instalándose en la cerca

- **Leguminosas:** La importancia de las leguminosas deriva en primer lugar de la capacidad que tienen de fijar nitrógeno al suelo gracias a la asociación simbiótica con bacterias, mayoritariamente del genero *Rhizobium*. También suponen una fuente proteica importante para la alimentación del ganado. Para evaluar este atributo tendremos en cuenta el grado de abundancia y el vigor de las especies de leguminosas.



Figura 8. Especies de leguminosas características de la dehesa. Arriba izda.: *Medicago polymorpha*. Arriba dcha.: *Trifolium subterraneum*. Abajo izda.: *Ornithopus compressus*. Abajo drcha.: *Vicia lutea*

- **Arbustos:** Los arbustos pueden desempeñar un papel importante en el ecosistema, siempre y cuando las especies sean las deseables y se encuentren en una cobertura adecuada. Entre las funciones principales destacamos: contribución a la estabilidad del suelo, facilitación de la regeneración del arbolado, diversificación del paisaje, hábitat para muchas especies de fauna silvestre, además de constituir una reserva de forraje para el ganado de gran valor en los años menos favorables. Para evaluar este atributo vamos a tener en cuenta el tipo de arbusto presente, considerando la palatabilidad del mismo, así como su accesibilidad por parte del ganado. Especies poco palatables y poco accesibles por el ganado presentaran las puntuaciones más bajas.



Figura 9. Izda.: Zona con arbustos forrajeros y accesibles. Drcha.: zona con arbustos no palatables y no accesibles

- **Arbolado:** El arbolado desempeña un papel clave en los ecosistemas agrosilvopastoriles como la dehesa, además de suponer una fuente de recursos para la alimentación de la cabaña ganadera y fauna silvestre, desempeña una función primordial para el mantenimiento y estabilidad del ecosistema, influyendo en el balance del agua, ciclo de nutrientes y propiedades del suelo. Para evaluar este atributo tendremos en cuenta tanto la salud del arbolado adulto como la regeneración del mismo.
- **Salud del arbolado adulto:** Para evaluar éste indicador tendremos en cuenta el porcentaje de árboles sanos en la zona de estudio, realizando una evaluación del estado de salud de los diez árboles más próximos. Para ello, nos fijaremos en si presentan algún signo de decaimiento en la copa, teniendo en cuenta: el porcentaje de defoliación, coloración de las hojas, estado de los brotes y ramas... Por ejemplo, signos de árboles enfermos serán la transparencia de la copa de los árboles, la apariencia de colores anómalos en las hojas, la carencia de hojas en los extremos de las ramas o desecación de brotes.



Figura 10. Izda.: Árbol con defoliación moderada. Dcha.: Árbol sano con defoliación nula

- *Regeneración*: Para evaluar este indicador se tendrá en cuenta el número de renuevos en una hectárea., así como la altura de los mismos.



Figura 11. Izda.: Renuevos de más de 2m de altura. Dcha.: dehesa sin regeneración

- Productividad: Éste atributo hace referencia al porcentaje de productividad del sistema que estamos evaluando en referencia al porcentaje potencial. Para su evaluación tendremos en cuenta la productividad del estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo. Así, dehesas con los tres estratos presentes, con elevada producción de pastos en relación al clima y productividad media de la zona, con arbolado adulto sano y regenerándose, y con un estrato arbustivo presente obtendrá las máximas puntuaciones en este atributo.

4.4. Interpretación de los resultados

En relación a la puntuación obtenida en el ISP podemos realizar las siguientes interpretaciones:

- Puntuaciones finales superiores a 40 puntos reflejan un pastizal saludable, con nulo a leve alejamiento del área de referencia de esa área ecológica. Esto implica que los servicios ecosistémicos provistos por ese pastizal se encuentran cerca del potencial conocido para ese ambiente.
- Valores positivos entre 15 y 40 puntos sugieren que los procesos de regeneración son predominantes, y que el sitio puede estar regenerándose.
- Valores entre 0 y 15 implican la ausencia de una tendencia definida, y que el sitio tiene un alejamiento moderado del área de referencia.
- Los valores negativos muestran la predominancia de procesos de desertificación, con disrupción de la mayoría de los procesos ecosistémicos. Los ISP negativos reflejan un alejamiento severo del potencial del ambiente, reflejado por el área de referencia.

5. Indicadores de calidad física del suelo

La fertilidad física hace referencia a la capacidad de un suelo para proporcionar un medio que retenga y facilite a las raíces agua y nutrientes, disponga de oxígeno y permita el buen desarrollo de las raíces. Para evaluar la fertilidad física de un suelo, en la presente guía se proponen los indicadores explicados a continuación.

5.1. Compactación: densidad aparente

5.1.1. Descripción del indicador

La densidad aparente es una medida del grado de compactación del suelo y es definida como la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las mismas.

Viene determinada por la textura del suelo y la densidad de los minerales que lo componen (arcilla, arena y limo), pero a su vez depende del contenido de materia orgánica y la abundancia de espacios porosos. La abundancia de espacios porosos depende de la agregación de las partículas del suelo, agregación que se ve facilitada por la materia orgánica. A mayor agregación, mayor presencia de macroporos, y menor densidad del suelo. La actividad biológica, incluida la penetración de raíces, y galerías excavadas por fauna edáfica, genera bioporos que igualmente contribuye a reducir la densidad aparente. La densidad aparente generalmente aumenta con la profundidad del suelo ya que a mayores profundidades encontramos menos contenido de materia orgánica, agregación y bioporos.

La densidad aparente puede ser alterada por prácticas como el pisoteo prolongado de los animales, sobrepastoreo, maquinaria agrícola, pérdida de la abundancia/actividad de la edafofauna ... que provocan pérdida de cobertura vegetal, materia orgánica, y estructura y/o porosidad del suelo.

5.1.1. Materiales y equipamiento

- Cilindro metálico de superficie conocida
- Maza
- Bloque de madera
- Cuchillo hoja ancha
- Bolsas de plástico
- Rotulador permanente
- Balanza de precisión (0,1 g)
- Estufa de secado

5.1.2. Procedimiento de evaluación

En la tabla de continuación se recogen datos relacionados con el método propuesto para su evaluación, la época deseable de muestreo, periodicidad de la misma, tiempo empleado en la evaluación, dificultad de medición y coste del mismo.

<i>Método propuesto</i>	Cilindro (Colie, 1936)
<i>Unidades</i>	g/cm ³
<i>Época de medición</i>	Primavera u otoño. Humedad en el suelo y temperatura templada
<i>Periodicidad</i>	Cada 4 años
<i>Tiempo empleado</i>	10 minutos por estación de muestreo/ 48 h secado muestra
<i>Dificultad</i>	Media
<i>Coste</i>	Bajo. Necesario acceso a estufa y balanza precisión

La toma de muestras se realizará con un cilindro de volumen conocido, tomando un total de 3 muestras por estación de muestreo. La ubicación de las mismas se realizará en zonas representativas de la parcela, evitando estar bajo la influencia de la copa de los árboles.

Una vez en el laboratorio, las muestras serán secadas en una estufa a 100 ° C durante aproximadamente 48 h. Posteriormente se tamizarán con un tamiz de luz de malla de 2 mm con el objetivo de separar la grava y la tierra fina. Debemos romper los agregados del suelo para asegurarnos que el material que no pasa el tamiz se trata de grava y no de pequeños agregados (terrones). Si es preciso debemos romper los agregados pasando una maza de amasar pan sobre la muestra de suelo colocada en una superficie dura.



Figura 12. Izda.: Materiales utilizados para la toma de muestras para el cálculo de la densidad aparente del suelo.
Drcha.: Estufa de secado

Una vez tamizadas las muestras se procederá al pesado de la porción de grava (> 2mm) y de la muestra total con una balanza de precisión. Conocido el peso total del suelo (grava + tierra fina) y el volumen que ocupa el mismo, se calcula la densidad aparente de las muestras. Teniendo en cuenta que la densidad de la grava es constante ($d_{\text{grava}} = 2,65$) se calcula la densidad aparente de la tierra fina.

Cálculos a realizar:

Densidad Aparente Total: $d_{\text{total}} = m_{\text{total}} / V_{\text{total}}$

Densidad Aparente de Tierra Fina: $d_{\text{tierra fina}} = (m_{\text{total}} - m_{\text{grava}}) / (V_{\text{total}} - V_{\text{grava}})$
 $V_{\text{grava}} = m_{\text{grava}} / 2,65$

Dónde:

d_{total} = Densidad aparente total de la muestra

m_{total} = Peso total de la muestra en gramos

V_{total} = Volumen total que ocupa la muestra en cm^3 .

$d_{\text{tierra fina}}$ = Densidad aparente de la tierra fina (< 2mm).

m_{grava} = Peso grava (> 2 mm) en gramos

V_{grava} = Volumen grava (> 2 mm) en cm^3 .

5.1.3. Interpretación de los resultados

La densidad aparente refleja la capacidad del suelo para funcionar como soporte estructural de las plantas, facilitando el movimiento del aire, agua y nutrientes por el mismo. Alta densidad aparente es un indicador de baja porosidad del suelo y compactación. Ésta puede dar como resultado un enraizamiento excesivamente superficial de la planta y un pobre crecimiento, influyendo la productividad del cultivo o de los pastos, aumentando el riesgo de asfixia radicular, reduciendo la capacidad de infiltración del agua, y aumento de escorrentía y erosión.

La siguiente tabla refleja según el NRCS del USDA valores ideales de densidad aparente para el crecimiento de las plantas para los diferentes tipos de suelo según su textura, así como los valores limitantes.

Tabla 3. Relación entre la densidad aparente y la textura del suelo. Fuente: USDA Natural Resources Conservation Services

<i>Textura del suelo</i>	<i>Densidad aparente ideal para el crecimiento de las plantas (g/cm³)</i>	<i>Densidad aparente que restringe el crecimiento de las raíces (g/cm³)</i>
Arenosa	< 1.60	> 1.80
Limosa	< 1.40	> 1.65
Arcillosa	< 1.10	> 1.47

5.2. Estructura del suelo: tipo, tamaño y estabilidad de agregados

5.2.1. Descripción del indicador

La estructura del suelo hace referencia a la organización de las partículas en el suelo, caracterizándose por la unión más o menos estable de las partículas individuales del suelo, especialmente de las más pequeñas (arcillas). La unión precisa de cementantes, entre los que destacan la materia orgánica, la actividad biológica (incluida la actividad microbiana) y los iones de calcio. La estructura del suelo está afectada por cambios en el clima, la actividad biológica, y las prácticas de manejo. La pérdida de agregados se relaciona con la presión directa sobre los mismos (pisoteo y maquinaria), y con la pérdida de materia orgánica. Es una propiedad que está íntimamente relacionada con la densidad aparente. Y la pérdida de la estructura del suelo se relaciona con la

disminución de la capacidad de infiltración de agua y pérdida de aireación, y por tanto aumento de las restricciones al crecimiento de las radicular.

El presente indicador consiste en la observación y descripción de la estructura del suelo en el campo de manera subjetiva y cualitativa.

5.2.2. *Materiales y equipamiento*

- Cinta métrica
- Pala ancha
- Vara metálica de 50 cm
- Formulario de campo de evaluación de la estructura del suelo (Anexo I)
- Guía fotográfica del USDA (Anexo II)

5.2.3. *Procedimiento de evaluación*

<i>Método propuesto</i>	Observación directa. Determinación tipo, tamaño y grado de estructuración
<i>Unidades</i>	Indicador Cualitativo
<i>Época de medición</i>	Primavera u otoño. Suelo ligeramente húmedo
<i>Periodicidad</i>	Cada 4 años
<i>Tiempo empleado</i>	10 minutos por estación de muestreo
<i>Dificultad</i>	Media
<i>Coste</i>	Bajo

La evaluación de la estructura del suelo se realizará mediante observación directa en campo a través de la descripción de una serie de parámetros como el tipo, tamaño y estabilidad de los agregados, para cada incremento de profundidad. Para ello se realizará un agujero en el suelo de unos 30 cm de profundidad con el fin de observar la estructura a diferentes profundidades, 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Se puede utilizar la tabla 3 del anexo I como guía para su evaluación.

Tipo de estructura: En primer lugar, evaluaremos el tipo de estructura en base a la forma de sus agregados. Diferenciando en:

- Granular, esferas imperfectas, usualmente del tamaño de la arena (como migas de pan);
- En bloques, cubos imperfectos con bordes redondeados o angulares
- Laminar de apariencia achatada o comprimida

Si no hay agregados, el aspecto es de grano suelto, una masa inconsolidada o bien masivo, como una masa coherente

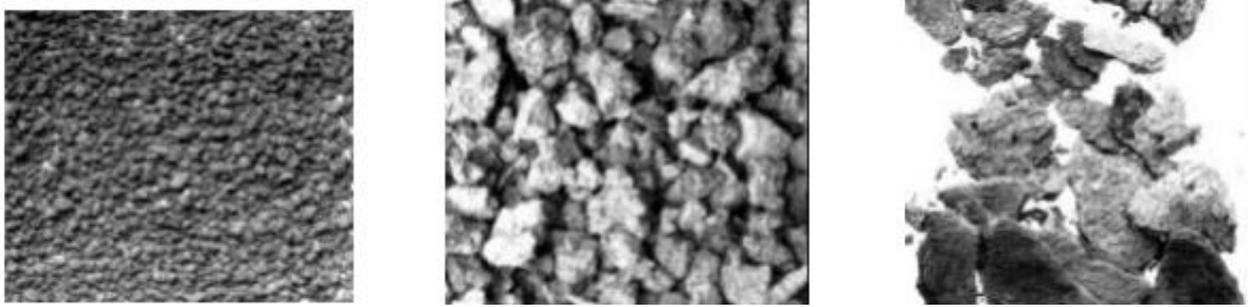


Figura 13. Tipos de estructura edáfica. Izda.: granular; Centro: en bloques; Drcha.: laminar. Fuente:
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf

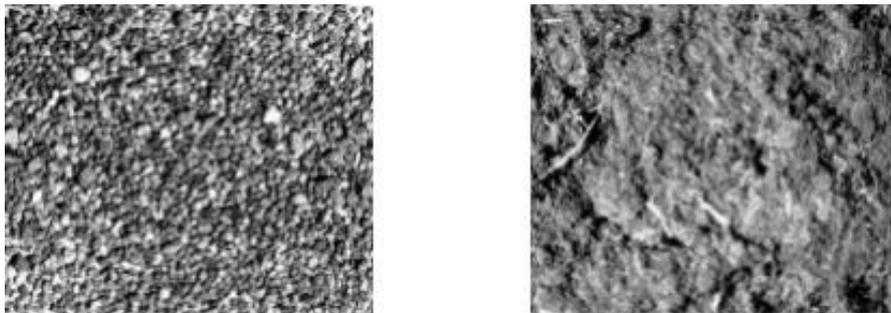


Figura 14. Suelo sin estructura. Izda.: Tipo grano suelto; Drcha.: masivo. Fuente:
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf

Tamaño de los agregados: Por definición, la clase de estructura describe el tamaño medio de los agregados individuales. En relación con el tipo de estructura de suelo de donde proceden los agregados, se pueden reconocer, en general, cinco clases distintas que son las siguientes

- Muy fina o muy delgada;
- Fina o delgada;
- Mediana;
- Gruesa o espesa;
- Muy gruesa o muy espesa

Estabilidad Estructural: entendida como la intensidad de agregación del suelo, medida por la cantidad de material que está agregado o no, y su resistencia a tensiones. Los diferentes grados de estructura que se clasifican entre:

- Estructura débil: está deficientemente formada por agregados indistintos, apenas visibles. Cuando es removida (o mantenida en agua) la estructura se quiebra en pocos agregados observables.
- Estructura moderada: se caracteriza por agregados bien formados y bien definidos. Cuando se extrae del perfil, el material edáfico se rompe en una mezcla de varios agregados bien formados. Los agregados se rompen lentamente al introducirlos en un vaso de agua.
- Estructura fuerte: se caracteriza por agregados bien formados y diferenciados que son duraderos y evidentes en suelos no alterados. Cuando se disturba, la estructura se quiebra en agregados muy evidentes. Los agregados no se rompen al introducirlos en un vaso de agua.



Figura 15. Diferentes grados de estructura. Izqda.: Estructura débil. Centro: estructura moderada. Dcha.: estructura fuerte https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf

5.2.4. Interpretación de resultados

Una escasa o débil estructura en suelos de textura fina (arcillosa) es una muestra baja calidad física del suelo, con dificultades para la aireación de las raíces y para la infiltración del agua. Cuando se trata de suelos de textura gruesa (arenosos), no cabe esperar buena estructura o tampoco es tan relevante, pues los suelos arenosos ya presentan buena aireación e infiltración por naturaleza. Igualmente, la presencia de gravas también reduce la dependencia de una buena estructura edáfica.

5.3. Erosión del suelo

5.3.1. Descripción del indicador

La erosión del suelo es un fenómeno natural, que puede acelerarse por la actividad humana, por el cual el relieve se va desgastando debido a la acción del agua y/o el viento. La intensidad de la misma va a depender de la topografía, las características y manejo del suelo, y las condiciones climáticas. Cuando el agente erosivo es el agua se denomina erosión hídrica y cuando es el viento erosión eólica.

En relación a la erosión hídrica podemos diferenciar dos tipos de procesos erosivos a) los generados por el golpeteo directo del agua de lluvia o *splash* y b) los generados por los flujos de agua que arrastran y transportan materiales. En el primer caso, los efectos del mismo dependerán de la fuerza del impacto y la estabilidad de los agregados del suelo. Cuando las gotas de lluvia golpean sobre suelos desnudos, con débil estabilidad estructural, se produce un sellado y encostramiento gradual del suelo. Esto reduce la infiltración del agua de lluvia, aumentando la escorrentía superficial y el riesgo de erosión laminar, en regueros y cárcavas. El aumento de escorrentía superficial y erosión también ocurre cuando el suelo se satura en agua por deficiente drenaje interior, hecho que ocurre en suelos compactados y arcillosos con estructura deficiente.

La erosión genera la pérdida de la capa superficial del suelo, afectando por tanto a sus funciones y productividad, afectando a la capacidad de acumulación de materia orgánica y retención hídrica, pérdida de nutrientes... Asimismo, el sedimento eliminado por la erosión puede enterrar plantas y caminos, acumularse en arroyos, ríos y embalses, y degradar la calidad del agua.

Es difícil evaluar de manera directa la erosión, en la presente guía se propone realizar una evaluación visual en base a una serie de indicadores.

5.3.2. Materiales y equipamiento

- Cámara de fotos
- Cinta métrica 25 m
- Formulario de campo para evaluar la erosión (Anexo I)

5.3.3. Procedimiento de evaluación

<i>Método propuesto</i>	Evaluación visual
<i>Unidades</i>	Variable cualitativa
<i>Época de medición</i>	Cualquiera, pero preferible tras episodios de lluvias importantes
<i>Periodicidad</i>	Anual (algunas evidencias pueden no ser visibles en años siguientes)
<i>Tiempo empleado</i>	5 minutos por estación
<i>Dificultad</i>	Baja
<i>Coste</i>	Bajo

Se procederá a evaluar visualmente de manera semicuantitativa los indicadores de erosión de suelo reflejados en el formulario de evaluación de la tabla 4 del Anexo I.

En las estaciones de muestreo determinadas se evaluará en relación a la erosión no encauzada (*interrill*) la frecuencia de:

- Raíces expuestas
- Pedestales
- Signos de *splash*
- Pequeños escarpes
- Montículos
- Acumulaciones en obstáculos
- Irregularidades del terreno

Para el tipo de erosión encauzada (*rill*) evaluaremos la frecuencia de regueros y cárcavas, así como el tipo de cárcava y su actividad.



Figura 16. Signos de erosión hídrica. Izqda. arriba: Acumulación de materiales. Drcha. arriba: raíces expuestas. Izqda. abajo: regueros Dcha. abajo: cárcava

5.3.4. Interpretación de los resultados

El suelo desnudo, la compactación del suelo y los bajos contenidos en materia orgánica favorecen el aumento de escorrentía y la erosión hídrica. Por otra parte, una buena estabilidad de los agregados del suelo y una cobertura vegetal del mismo favorecen la resistencia a la erosión, mejorando la infiltración y disminuyendo con ello los procesos de escorrentía.

Por lo general, los suelos arenosos o arcillosos son menos erosionables que los suelos francos o limosos. Sin embargo, los suelos arenosos formados por rocas graníticas son altamente erosionables.

Una alta erosión del suelo es signo de degradación del mismo y pérdida de su funcionalidad y estructura.

6. Indicadores de calidad química del suelo

La fertilidad química hace referencia a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a las plantas. En este caso, se evaluarán indicadores como el pH del suelo, la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes.

pH

El pH se usa como un parámetro para expresar el grado de acidez o alcalinidad de una solución, consistente en medir en la misma concentración de iones hidronio (H_3O^+). Su valor es importante ya que tiene efectos sobre la solubilidad de los minerales, ya que a

ciertos valores de pH (<5,00 -> 9,00) algunos nutrientes (N, P, Ca, Mg, K) dejan de ser asimilables para las plantas. El grado de acidez o alcalinidad va a depender de diversos factores, como la litología dominante y procesos de meteorización, precipitaciones, la capacidad de intercambio catiónico y la fertilización.

Materia orgánica

La materia orgánica es clave en la calidad física, química y biológica del suelo, aumenta la estabilidad de los agregados, mejora la estructura del suelo e incrementa la porosidad del mismo, mejora la capacidad de retención de agua y la aireación. Por otra parte, se fomenta el reciclaje de nutrientes a través de la actividad microbiana y por ende la producción de biomasa vegetal disminuyendo con ello el riesgo de erosión.

Nitrógeno total

El nitrógeno es un nutriente esencial para las plantas, ya que forma parte de las proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos etc., además de formar parte de la molécula de la clorofila. Proviene de la atmósfera y se fija en el suelo gracias a la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico. Y mediante el proceso de amonificación y nitrificación el nitrógeno orgánico se convierte en nitrato asimilable por las plantas.

Fósforo disponible

El fósforo es un elemento químico que se encuentra presente en los suelos en forma de fosfatos y su importancia radica en que es un elemento clave para la formación de tejidos y órganos de las plantas, siendo el principal factor limitante en la producción de pastos del suroeste peninsular.

Cationes de cambio (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

El magnesio (Mg^{2+}) es un nutriente caracterizado por su gran movilidad, esencial para las plantas ya que constituye el elemento principal de la molécula de clorofila. El potasio (K^+) es un nutriente esencial requerido por las plantas en gran cantidad y aportando a las mismas mayor resistencia a enfermedades, sequías y heladas. El calcio (Ca^{2+}) es un nutriente secundario, importante en la regeneración de tejidos y en el mantenimiento del equilibrio químico.

A continuación, se proponen unos indicadores básicos para analizar la fertilidad química del suelo de manera cualitativa y rápida.

6.1. Toma de muestras de Suelo

6.1.1. Materiales y equipamiento

- Calador de suelo o pala
- Maza
- Bolsas de plástico
- Marcador permanente



Figura 17. Calador de suelo utilizado para realizar la toma de muestras de suelo.

6.1.2. Procedimiento de toma de muestras y análisis laboratorio

<i>Época de medición</i>	Primavera u otoño. Con humedad en el suelo
<i>Periodicidad</i>	Cada 4 años
<i>Tiempo empleado</i>	15 minutos por estación de muestreo
<i>Dificultad</i>	Baja para toma muestras. Necesario análisis laboratorio.
<i>Coste</i>	Según análisis de laboratorio a realizar

Para la toma de muestras de suelo se utilizará un calador de suelo o una pala para tomar al menos 50 gr de suelo/por muestra. Se procurará tomar las muestras a la misma profundidad y un volumen aproximado (5 cm de diámetro y 10 cm de profundidad puede ser suficiente para pastos). Es importante que el volumen de la muestra tenga forma cilíndrica para evitar sobrerepresentar una profundidad sobre otras. En cada estación de muestreo se recomienda tomar al menos 3 sub-muestras en zonas representativas de la parcela, que conformaran una muestra total que será introducida en una bolsa de plástico nombrada con rotulador permanente.

6.2. [Materia orgánica: color del suelo](#)

6.2.1. Descripción del indicador

El color del suelo nos puede ayudar a evaluar el contenido de materia orgánica. Aunque un suelo puede adquirir diferentes colores en relación al tipo de roca madre, el grado de humedad del mismo, los contenidos en hierro y manganeso, el contenido de materia orgánica también va a marcar la coloración de los mismos.

Así, por lo general, suelos más oscuros presentan mayores contenidos de materia orgánica que los suelos que presentan colores más pálidos.

6.2.2. Materiales y equipamiento

- Pala o calador de suelo
- Bandeja de plástico para depositar el suelo
- Carta de colores de suelo (carta Munsell)
- Formulario de campo para anotar resultados

6.2.3. Procedimiento de evaluación

<i>Época de medición</i>	Primavera. 2-3 días después de haber llovido.
<i>Periodicidad</i>	Cada 4 años
<i>Tiempo empleado</i>	5 minutos por estación de muestreo
<i>Dificultad</i>	Baja
<i>Coste</i>	Bajo

El color variará en función de la humedad del suelo, por lo que para poder comparar de un año a otro es recomendable hacer la medición unos 2-3 días después de haber llovido, o bien humedecer la muestra para anotar su color en húmedo.

Para ello, con la ayuda de una pala, extraeremos suelo de los 10 primeros cm y evaluaremos el color del mismo, anotando el valor alfanumérico del color que más se aproxime de la carta munsell. La relación de colores de esta tabla se basa en 3 propiedades del color: (1) el Matiz o Tono es el color espectral dominante (rojo, amarillo, verde, azul, violeta, y sus combinaciones); (2) el Valor o Luminosidad es la claridad u oscuridad del suelo, con valores que van de 0 (negro) a 10 (blanco); (3) el Cromo o Saturación es la pureza o fuerza del color que va de 1 (pálido) a 8 (brillante).

Aunque la clasificación se puede hacer manualmente, manejando la tabla de colores, en la actualidad existen lectores de colores de gran precisión. Un ejemplo es Chroma Meter CR400/410³.

Para facilitar la evaluación, se puede comparar la muestra obtenida en la parcela de estudio con una muestra obtenida en una zona de referencia próxima (un bosque, zona de altas densidades de arbolado...).

³ <https://www.indiamart.com/proddetail/soil-color-reader-spad-503-1418612633.html>



BUENA CONDICIÓN VS = 2
Suelo oscuro que se parece al del suelo tomado en la cerca o lugar protegido.

COND. MODERADA VS = 1
El color es algo más pálido que el del suelo de referencia, sin embargo el cambio no es mayor.

CONDICIÓN POBRE VS = 0
El color es significativamente más pálido que el del suelo de referencia.

Figura 18. Ejemplo de evaluación de la materia orgánica en base a su color. Fuente: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/14/guia-tecnica-de-campo-para-la-evaluacion-visual-de-los-suelos/>

6.2.4. Interpretación de los resultados

Cómo se ha comentado anteriormente los suelos oscuros van a estar relacionados con mayores contenidos en materia orgánica, mientras que los suelos pálidos con menores contenidos. El contenido en materia orgánica está relacionado con la fertilidad del suelo. Así suelos con mayores contenidos en materia orgánica serán más productivos, presentarán mayores capacidades de retenciones hídricas y disponibilidad de nutrientes para las plantas.

6.3. pH del Suelo

6.3.1. Materiales y equipamiento

- Frasco de al menos 100 mL con tapadera hermética
- Agua destilada (o pH neutro)
- Tira indicadora de pH o pH-metro

Actualmente existen en el mercado pH-metros portátiles de precisión⁴ y precio aceptable. La opción de tiras indicadoras⁵ es mucho más económica, pero mucho

⁴ pH-metro: Un ejemplo puede consultarse en <https://medidordeph.com/medidor-de-ph-digital-hanna-hi98107.html>, pero existen otros muchos en el mercado. Otro ejemplo es este, que incluye también lectura de conductividad eléctrica <https://es.omega.com/googlebase/product.html?pn=PHH-7200>

⁵ Tiras indicadoras: <https://phmetro10.com/tiras-reactivas/> y https://www.pidiscat.cat/es/572-p-13-analitica.html?selected_filters=654-tiras-indicadoras-ph-plastico

menos precisa, por lo que servirá para conocer el pH aproximado, pero no para un seguimiento temporal.

6.3.2. Procedimiento de evaluación

El pH del suelo se determina sobre muestras tamizadas con tamiz de 2 mm y secas (idealmente 48 horas a 60 °C). Para ello se pondrá 20 g de suelo seco con 50 mL de agua destilada (o de pH neutro), y tras agitar y dejar mezclado unos minutos, se medirá con pH-metro o tiras indicadoras de pH.

<i>Época de medición</i>	Primavera. 2-3 días después de haber llovido.
<i>Periodicidad</i>	Cada 4 años
<i>Tiempo empleado</i>	5 minutos por estación de muestreo
<i>Dificultad</i>	Baja
<i>Coste</i>	Bajo

6.4. Cromatografía de suelo

6.4.1. Descripción del indicador

La cromatografía para el análisis de la calidad de suelo es una técnica cualitativa que nos permite ver en un soporte de papel cómo es la interacción entre minerales, materia orgánica y microorganismos.

A través de un análisis químico con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) preparada al 1% se solubilizan las sustancias nitrogenadas del metabolismo de los microorganismos presentes en la muestra, y cuanto mayor es el nivel de sustancias nitrogenadas mayor será la intensidad de colores presentes al ser expuestas a un papel de filtro especial impregnado con nitrato de plata.

6.4.2. Materiales y equipamiento

Una vez tomadas las muestras en campo, tras secarlas y moler 5gr de muestras se procederá a su análisis en el laboratorio. Para ello serán necesarios los siguientes materiales:

- Una caja de papel filtro Nº 1 de 15 cm (150mm) de diámetro.
- Una caja de papel filtro Nº 4 de 15 cm (150mm) de diámetro.
- Una caja de papel filtro Nº 6 de 9 cm (90mm) de diámetro.
- Balanza electrónica capaz de pesar de 1/2 g hasta 100 g.
- 15 cajitas Petri de 5cm de diámetro (pueden ser plásticas).
- 100 g de hidróxido de sodio o soda cáustica (obligatorio).
- 10 gr de nitrato de plata en cristales (obligatorio)

6.4.3. Procedimiento de evaluación

<i>Época de medición</i>	Primavera. Con tempero en el suelo
<i>Periodicidad</i>	Anualmente
<i>Tiempo empleado</i>	Variable según número muestras
<i>Dificultad</i>	Media
<i>Coste</i>	Medio

Siguiendo la metodología presentada por Restrepo y Pinheiro (2011), quienes se basaron en la metodología enseñada por Pfeiffer (1984) el protocolo para realizar una cromatografía de suelos es:

- 1) Preparar una solución de hidróxido de sodio (NaOH) o soda caustica al 1% en agua destilada para disolver la muestra de suelo que será analizada.
- 2) Preparar una solución de nitrato de plata (AgNO₃) al 0,5%.
- 3) Preparación del papel filtro circular. Perforación de la parte central, y corte de los rollitos, teniendo en cuenta la referencia de cada uno de ellos según la función que cumplirán.
- 4) Impregnación del papel filtro. Se deja impregnar los primeros 4 cm de papel con nitrato de plata, luego se retira el rollo y se deja secar dentro de una cámara oscura, no tiene que ser un cuarto oscuro, puede ser una caja de cartón que no deje filtrar nada de luz.
- 5) Mientras el papel se seca, se debe disolver los 5g de suelo en 50 mL de solución de NaOH. Esta mezcla debe quedar muy bien agitada. Finalmente se deja en reposo durante unas 6 horas, dependiendo del tipo de suelo analizado el tiempo de reposo puede pasar a ser hasta de 12 horas por ejemplo con un suelo altamente mineralizado sin mucha materia orgánica.
- 6) Se dispone a utilizar el sobrenadante de cada muestra para ponerla a “correr” en el papel filtro ya seco.
- 7) Se saca el rollo y se dejan secando de manera horizontal, y se van exponiendo gradualmente a la luz. 34 h. Se deben rotular con la información necesaria, conservados y guardados lejos de la humedad.

6.4.4. Interpretación de resultados

La interpretación se realiza revisando el tamaño, forma y los colores de cada una de las zonas que componen el croma, del centro hacia afuera: zona central, interna, intermedia, externa y periférica (Figura 19).

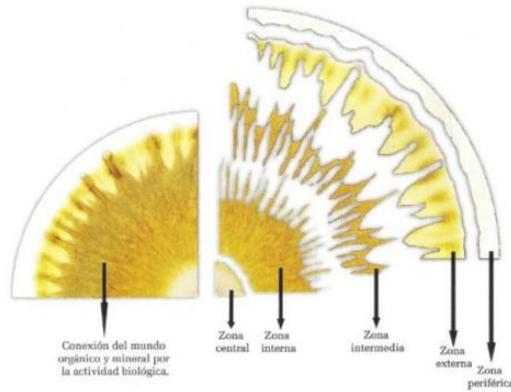


Figura 19. Zonas de cromatograma. Formas y colores “ideales”. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

Zona central (zona de aireación u oxigenación): La ausencia de ésta zona se debe a la degradación del suelo por compactación y ausencia de materia orgánica, así como una coloración negra, ceniza o gris de esta zona. Los colores blancos muy bien definidos indican altos contenidos de abonos nitrogenados o abonos químicos o constantes aplicaciones de herbicidas. Por otra parte, una coloración blanco cremosa que se desvanece para integrarse con la siguiente zona es evidencia de un suelo de buena calidad.

Zona interna (zona mineral): Zona donde se concentra la mayoría de reacciones con los minerales. Colores pardo o negruzco en esta zona indican una degradación del suelo probablemente muy mineralizado, erosionados, sin actividad biológica, ausencia de materia orgánica.

Zona intermedia (proteica o de la materia orgánica): En esta zona podemos observar la ausencia o presencia de la materia orgánica pero la presencia de materia orgánica no indica que esté integrada en el suelo, ni biológicamente activa.

Zona externa (enzimática o nutricional): Las diferentes terminaciones en ésta zona indican la abundancia y variedad nutricional. La terminación ideal corresponde a forma de “explosión y lunares enzimáticos”. Otras formas de terminación no deseables serían: plana circular y sin bordes, en dientes de caballo, en dientes puntiagudos, en agujas irregulares y en forma de granos de maíz.

6.5. Nutrientes disponibles en el suelo

El análisis del contenido de nutrientes en el suelo debe realizar en laboratorios especializados, por lo que aquí no se entra en los procedimientos, y sólo se indican los análisis que se recomiendan. Las muestras a enviar al laboratorio podrán conservarse a temperatura ambiente una vez secadas y tamizadas. Los parámetros a analizar, se recogen en la Tabla 4. En la tabla se incluye también la materia orgánica y pH antes descritos con técnicas sencillas.

Tabla 4. Relación de indicadores de la fertilidad química del suelo con las unidades de medida y técnicas a utilizar

<i>Indicador</i>	<i>Unidades de medida</i>	<i>Técnica</i>
pH		Electrometría
Materia orgánica	%	Walkey - Black (1947)/ Combustión seca
Nitrógeno total	% p/p	A. elemental/ Combustión seca
Fósforo disponible	mg/Kg	Colorimetría
Cationes de cambio (K+, Ca2+, Mg2+)	mg/Kg	ICP-MS /Espectrometría

7. Indicadores de calidad biológica del suelo

La fertilidad biológica de un suelo hace referencia a la actividad y diversidad de organismos que conforman la biota del suelo y que son claves en numerosas funciones del ecosistema como la descomposición de la materia orgánica y reciclaje de nutrientes. Incluye tanto la microbiota (microorganismos) como la mesofauna (insectos y otros invertebrados).

La evaluación de la microbiota aún es difícil de medir y costoso. En esta guía sólo se proponen dos técnicas indirectas de cuantificación de la microbiota del suelo y que deben realizarse en laboratorio (por lo que requiere tomar muestras de suelos y conservarlas en ultracongeladores). En el futuro, quizás no lejano, con el avance de las técnicas genómicas se podrá realizar un análisis directo, más completo, y quizás más barato, de la comunidad microbiana del suelo.

En cambio, la evaluación de la actividad de diferentes taxones de la mesofauna es más accesible y puede realizarse directamente en campo. Los indicadores de actividad biológica son una estimación indirecta, poco costosa y fácil de aplicar de la biodiversidad y funcionamiento ecológico del ecosistema. Los grupos recogidos a continuación han sido elegidos por el importante papel que desempeñan en el ciclo de los nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la productividad del sistema.

7.1. Microbiota del suelo

Aunque de gran interés para conocer el funcionamiento y calidad del suelo, no es fácil medirla, y aquí se exponen dos técnicas que son de gran interés, pero aún lejos de ser utilizadas de forma rutinaria a precios asequibles. Con la combinación de las dos técnicas se puede estimar la actividad, la biomasa y la diversidad funcional de la flora microbiana.

La biomasa microbiana representa la fracción del suelo responsable del reciclaje de nutrientes y energía, así como de la regulación de la transformación de la materia orgánica. Asimismo, la biomasa microbiana contribuye a la estructura y estabilidad del suelo. El método propuesto para la evaluación de la biomasa microbiana y su diversidad funcional es el análisis de los fosfolípidos de los ácidos grasos (PLFA, en inglés). Los ácidos grasos fosfolípidos son componentes estables de las paredes celulares de la mayoría de los microorganismos. Se trata de lípidos polares específicos para los diferentes subgrupos de microorganismos (Ej.: bacterias de Gram positiva y Gram

negativa, hongos, micorrizas, actinomicetos...). Los PLFA son extraídos de las muestras de suelo y analizados por cromatografía de gases, ofreciendo estimaciones sobre la composición y la biomasa de la comunidad microbiana.

β -Methyl-D-Glucoside	D-Galactonic Acid γ -Lactone	L-Arginine
Pyruvic Acid Methyl Ester	D-Xylose	D-Galacturonic Acid
L-Asparagine	Tween 40	i-Erythritol
2-Hydroxy-Benzoic Acid	L-Phenylalanine	Tween 80
D-Mannitol	4-Hydroxy-Benzoic Acid	L-Serine
α -Cyclodextrin	N-Acetyl-D-Glucosamine	γ -Hydroxy-Butyric Acid
L-Threonine	Glycogen	D-Glucosaminic Acid
Itaconic Acid	Glycyl-L-Glutamic Acid	D-Cellobiose
Glucose-1-Phosphate	α -Keto-Butyric Acid	Phenylethylamine
α -D-Lactose	D,L- α -Glycerol-Phosphate	D-Malic Acid
Putrescine		

Figura 20. Fuentes de carbono utilizadas en el ensayo de actividad microbiana con placas EcoPlate™

La actividad microbiana potencial se determina analizando el uso de diferentes sustratos orgánicos por los microorganismos del suelo, mediante la incubación de EcoPlates BIOLOG™. En este ensayo, un extracto de suelo se incuba con fuentes de carbono diferentes en una placa de microtitulación con un tinte redox, indicando la actividad microbiana del suelo. El resultado del ensayo es un perfil fisiológico cualitativo de las funciones potenciales dentro del comunidad microbiana. Las diferencias en los perfiles se pueden analizar por estadísticas multivariadas.

Para estos análisis se pueden utilizar las mismas muestras de suelo que se toman para el resto de análisis de suelo, pero sobre dos alícuotas que una vez tamizadas deben ser conservada a baja temperatura o bien ser enviada de forma inmediata al laboratorio para su análisis. La alícuota para el PLFA debe ponerse en un bote de plástico de 40 ml hasta rellenarlo en sus 3/4 partes; el espacio sobrante se rellena con algodón, se cierra el bote y se guarda a -80°C. Otra alícuota de suelo tamizado se pasa a un bote de plástico de 40 ml y se mantiene en refrigeración hasta el análisis de actividad enzimática (dos o tres días a posterior cómo máximo).

7.2. Actividad de lombrices: abundancia de excretas

7.2.1. Descripción del indicador

Las lombrices de tierra son organismos clave en la fauna del suelo debido a su influencia en la descomposición de la materia orgánica, desarrollo de la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes. El presente indicador evalúa la actividad biológica de este grupo en base al grado de abundancia de las excretas de estos organismos.

7.2.2. Materiales y equipamiento

- Cinta métrica de 25 m
- Marco de madera de madera o metal de 50 cm x 50 cm
- Lápiz
- Formulario de campo de densidad de actividad de lombrices (Anexo I)

7.2.3. Procedimiento de evaluación

En suelos muy fríos o muy calientes las lombrices migran a capas profundas del suelo, donde las temperaturas son más moderadas. Es por ello que es preferible realizar la evaluación en más primavera y otoño, cuando las temperaturas son más templadas.

Época de medición	Primavera u otoño. Humedad en el suelo y temperatura templada
Periodicidad	Anualmente
Tiempo empleado	10 minutos por transecto
Dificultad	Baja. Preferible entrenamiento previo
Coste	Bajo

La actividad de las lombrices se medirá evaluando en una escala de 1 a 5 la abundancia de restos de excretas de lombrices, donde 1 es que no hay signos de actividad y 5 donde hay una gran abundancia de restos de heces de lombrices.



Figura 21. Izda.: Lombriz de tierra. Drcha.: Abundancia elevada de excretas de lombrices

Para ello, se utilizarán marcos de 50 x 50 cm a lo largo de un transecto de 25 m (10 marcos por transecto). Se comenzará a 2 m desde el inicio del transecto y los marcos estarán separados entre sí 2 metros (Figura 21). Se realizarán 3 transectos en zonas representativas en cada estación de muestreo.

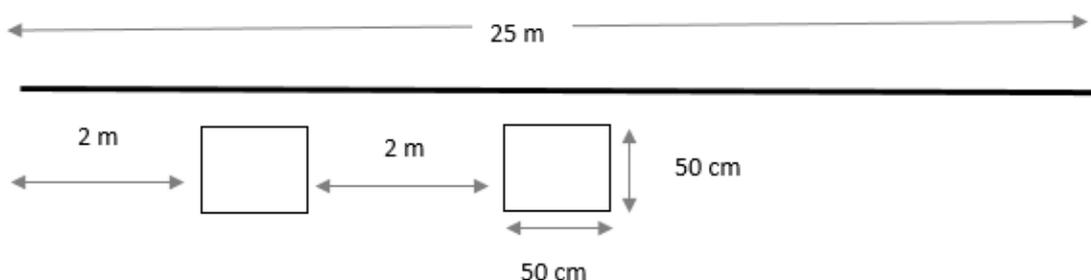


Figura 22. Representación gráfica del método de muestreo para evaluar la actividad biológica de lombrices

7.2.4. Interpretación de resultados

Abundancias mayores de actividad biológica de lombrices van a denotar un mejor funcionamiento del ciclo de nutrientes, con una mayor eficiencia en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes.

7.3. Actividad de Hormigas: densidad de hormigueros

7.3.1. Descripción del indicador

Las hormigas desempeñan un papel importante en el ciclo de nutrientes, en el enriquecimiento de los suelos, presentando una gran diversidad de interacciones tróficas y funcionando como agentes de control biológico de plagas. El presente indicador evalúa la actividad biológica de las hormigas a través de la estimación de la abundancia de hormigueros en una determinada superficie.

7.3.2. Materiales y equipamientos

- Cinta métrica de 25 m
- Lápiz
- Formulario de campo de densidad de hormigueros (Anexo I)

7.3.3. Procedimiento de evaluación

<i>Época medición</i>	Primavera u otoño. Humedad en el suelo y temperatura templada
<i>Periodicidad</i>	Anualmente
<i>Tiempo empleado</i>	10 minutos por transecto
<i>Dificultad</i>	Baja. Preferible entrenamiento previo
<i>Coste</i>	Bajo

Para la evaluación de la actividad biológica de lombrices se procederá a realizar un conteo del número de hormigueros a lo largo de un transecto de 25 m, a un metro a cada lado del transecto, representando un área total de 50 m². Se realizarán 3 transectos en zonas representativas en cada estación de muestreo. Finalmente obtendremos una medida de abundancia de n^o de hormigueros/superficie.



Figura 23. Instalación de transecto para medición de densidad de hormiguero

7.3.4. Interpretación de resultados

Abundancias mayores de actividad biológica de hormigas van a denotar un mejor funcionamiento del ciclo de nutrientes, con una mayor eficiencia en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes.

7.4. Actividad de Coprófagos: estado de las bostas

7.4.1. Descripción del indicador

El grupo de los coleópteros coprófagos desempeña un papel clave en el ciclo de nutrientes al reciclar el estiércol de los animales, siendo por tanto más sensibles a los cambios en el manejo del ganado. El presente indicador evalúa la actividad biológica de los coprófagos a través del estudio cualitativo del estado las bostas de los animales.

7.4.2. Materiales y equipamiento

- Cámara de fotos
- Lápiz
- Formulario de campo de estado de las bostas (Anexo I)
- Guía fotográfica de estados de las bostas (Anexo II)

7.4.3. Procedimiento de evaluación

<i>Época medición</i>	Primavera u otoño. Humedad y temperatura edáfica templada
<i>Periodicidad</i>	Anualmente
<i>Tiempo empleado</i>	5 minutos por bosta
<i>Dificultad</i>	Baja. Necesario entrenamiento previo
<i>Coste</i>	Bajo

Siguiendo el formulario de evaluación de actividad de coprófagos (ver anexo I) en cada estación de muestreo se evaluarán 10 bostas, teniendo en cuenta el estado de descomposición de las mismas, si están disgregadas completamente, o si por el contrario

la descomposición es muy lenta y la bosta está momificada. Además, se evaluará si las bostas presentan galerías, cómo está consumida la bosta, así como los animales asociados.

Las estaciones de muestreo elegidas serán aquellas en donde ha estado el ganado recientemente. Por otra parte, las observaciones deben hacerse en periodos favorables (primavera y otoño), y sobre bostas que fueron depositadas en esos periodos favorables. En la observación de otoño debemos excluir el estado de las bostas depositadas en verano, ya que con calor y poca humedad, las bostas se momifican muy rápido.



Figura 24. Arriba izqda.: bosta momificada. Arriba dcha.: coprófago consumiendo una bosta. Abajo izqda.: galería en bosta ovino. Abajo dcha.: galerías en bosta vacuno

7.4.4. Interpretación de resultados

Mayores grados de descomposición de las bostas van a indicar un mejor funcionamiento del ciclo de nutrientes y descomposición de la materia orgánica.

8. Indicadores de biodiversidad

8.1. Vegetación: identificación de especies claves

8.1.1. Descripción del indicador

Las plantas, a la vez de ser un indicador de producción primaria, constituyen una parte importante de la biodiversidad de los pastizales y brindan diferentes servicios para otros organismos (alimentos, refugio, sitios de reproducción, refugios, etc.), por lo que podrían ser un indicador indirecto de la diversidad de otros organismos. El presente indicador

consiste en la identificación de especies claves en el contexto de la dehesa y los pastizales (Tabla 7 de Anexo I). La presencia de mayor número de esas especies nos indica mayor diversidad florística global. La lista de especies indicadoras se ha realizado a partir del análisis de más de 300 inventarios florísticos.

8.1.2. *Materiales y equipamiento*

- Cinta métrica de 25 m
- 4 estacas para marcaje de la parcela
- Lápiz
- Guía fotográfica especies claves (Anexo II)
- Formulario de campo para la identificación de especies clave (Anexo I)

8.1.3. *Procedimiento de evaluación*

<i>Época medición</i>	Primavera. Plantas en floración
<i>Periodicidad</i>	Anualmente
<i>Tiempo empleado</i>	30 minutos por estación de muestreo
<i>Dificultad</i>	Media. Necesario entrenamiento previo
<i>Coste</i>	Bajo

En cada estación de muestreo, el área elegida para la identificación de las especies clave será de 10 x 10 metros (100 m²), y se ubicará en lugares representativos, evitando la sombra de los árboles y en favor de la pendiente. En la superficie de los 100 m² se identificarán todas las especies claves encontradas, anotándolas en el formulario de campo. La cobertura-abundancia de las diferentes especies se determinará utilizando la escala Braun-Blanquet (1979):

Tabla 5. Escala Braun-Blanquet (1979)

<i>INDICE</i>	<i>COBERTURA</i>
+	Presencia
1	< 5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	> 75%



Figura 25. Izda.: Instalación de parcela de 10x10m. Drcha.: Cuadrado de 1x1 (1m²) para determinar la abundancia de especies

8.1.4. Interpretación de resultados

A la hora de evaluar los resultados tendremos que tener en cuenta la riqueza de especies clave para el buen funcionamiento del ecosistema, así como la abundancia de las mismas. Un pastizal que presente un número elevado de especies claves para el buen funcionamiento, así como una alta abundancia de las mismas será signo de un funcionamiento adecuado de la dinámica de la comunidad vegetal.

8.2. Mariposas: conteo por morfoespecies

8.2.1. Descripción del indicador

Las mariposas diurnas son insectos del orden de los lepidópteros. La abundancia y riqueza de las mismas es un reflejo de la conservación de los recursos naturales. El presente indicador consiste en la identificación de las especies de mariposas encontradas a lo largo de un transecto a pie.

8.2.2. Materiales y equipamiento

- Cámara fotográfica
- Cronómetro
- Guía fotográfica especies (Anexo II)
- Formulario de campo para el conteo de morfoespecies de mariposas (Anexo I)

8.2.3. Procedimiento de evaluación

<i>Época medición</i>	Primavera, en horas centrales del día (10:00 a 15:00). A temperatura, nubosidad y viento óptimo (T > 13°C, nubosidad < 50%, viento < fuerza 4 según la escala de Beaufort)
<i>Periodicidad</i>	Anualmente
<i>Tiempo empleado</i>	15 minutos por transecta
<i>Dificultad</i>	Media. Necesario entrenamiento previo
<i>Coste</i>	Bajo

El procedimiento de toma de datos consistirá en la realización de transectos lineales a pie, a velocidad constante de 15 minutos en dónde se procederá a identificar las diferentes morfo-especies de mariposas, así como el número de individuos de cada una. El conteo de las diferentes morfoespecies de mariposas se realizará dentro de una banda de 2,5 m a ambos lados del observador y 5 m por delante de él (Figura 25).

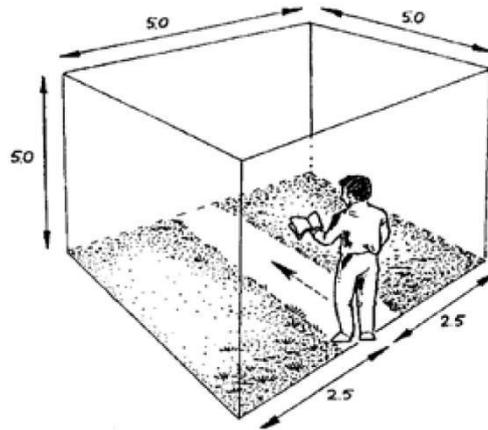


Figura 26. Representación de transectos para el conteo de morfoespecies

8.2.4. Interpretación de resultados

A priori, una comunidad de mariposas más biodiversa indicará un mejor funcionamiento de los procesos del ecosistema y una mejor conservación de los recursos naturales.

9. Bibliografía

- *Índice Salud de Pastos*

Estándar GRASS para la Regeneración y la Sustentabilidad de los Pastizales
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/nr/sustainability_pathways/docs/GRASS%20espanol.pdf

- *Indicadores de calidad de suelo*

USDA 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y la Salud del suelo
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf

Nature Resources Conservation Services. NRCS. Resources & Publication
<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/resource/>

Pulido M. 2014. Indicadores de calidad de suelo en áreas de pastoreo. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura
http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/1621/TDUEX_2014_Pulido_Fernandez.pdf?sequence=1

Tarjeta de Salud de los Ecosistemas Agrícolas. TSEA
<http://www.soilmicrobialecolgy.com/src/uploads/2015/05/TSEA-Castellano.pdf>

Nivia Torres, Ivonne Nathalia 2017. Análisis del uso de la cromatografía como herramienta cualitativa de diagnóstico de la fertilidad del suelo en sistemas de producción agrícola.
<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13593/1/1030537336.pdf>

Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2011). Cromatografía. Imágenes de vida y destrucción del suelo. Cali, Colombia: Feriva.

- *Indicadores de biodiversidad*

Herbario de la Universidad de Navarra. Flora pratense y forrajera cultivada de la Península Ibérica <http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/inicio.htm>

Las mariposas diurnas de Sierra Nevada
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=746e0a8d8b856310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=e6f1ee9b421f4310VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang_es

Anexo I. Fichas de campo

Tabla 1. Matriz de Evaluación del Índice de Salud de Pastos (área ecológica de dehesa). Fuente: Adaptación estándar GRASS

NUM.	ATRIBUTO	INDICADOR DE PROCESO	PUNTUACIÓN	GRADO DE ALEJAMIENTO DEL AREA DE REFERENCIA				
				N-L	L-M	M	M-E	E-T
1	SUELO DESNUDO	% SUELO DESNUDO	20 A -20	< 5% 20	5 a 10% 10	10-25% 0	25 a 50% -10	> 50% -20
2	ESTABILIDAD/RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE	DUREZA DE COSTRA SUPERFICIAL	0 A -10	Suelo suelto (como mantequilla)	Leve encostramiento evidente.	Encostramiento delgado, débil, rompe fácil.	Encostramiento evidente, duro, requiere presión con los dedos para romperse.	Encostramiento duro, requiere objeto metálico para romperse.
				0	0	0	-5	-10
3	EROSION HIDRICA	MICROSURCOS ACTIVOS	0 A -20	No se observan	No se observan	No se observan	La formación de microsurcos es moderadamente activa y bien definida en todo el sitio	La formación de microsurcos es severa y bien definida en casi todo el sitio
		SURCOS ACTIVOS		No se observan	No se observan	No se observan	Surcos visibles de ancho menor a 2 cm	Surcos muy visibles, de ancho mayor a 2 cm
		CARCAVAS ACTIVAS		No se observan	No se observan	No se observan	Se observan con escasa frecuencia cárcavas activas	Se observan comunmente cárcavas activas
		TOTAL		0	0	0	-10	-20
4	EDAFOFAUNA	EVIDENCIA DE MICROFAUNA	10 A 0	Los signos de actividad de microfauna son abundantes y fáciles de encontrar	Leve a moderada reducción en los signos de microfauna.	Moderada reducción de los signos de microfauna. Algunos componentes ausentes	Poca abundancia de signos de microfauna en relación al potencial del sitio	Casi nulos signos de microfauna. Ausencia de componentes del ecosistema
				10	5	0	0	0
5	DESCOMPOSICIÓN DE BOSTA	ANTIGÜEDAD DE BOSTAS	10 A 0	La bosta se descompone rápidamente, las bostas no están momificadas. Mucha actividad de insectos	La bosta se descompone algo más lento, pero las bostasmomificadas son minoría. Moderada actividad de insectos	Algo de descomposición pero la mayoría de la bostas están momificadas. Poca actividad de insectos	Descomposición muy lenta, bostas momificadas. Escasa actividad de insectos	Descomposición muy lenta, bostas de mas de dos años. Escasa actividad de insectos
				10	5	0	0	0

NUM.	ATRIBUTO	INDICADOR DE PROCESO	PUNTUACIÓN	GRADO DE ALEJAMIENTO DEL AREA DE REFERENCIA				
				N-L	L-M	M	M-E	E-T
6	GRAMINEAS PERENNES	COBERTURA	10 A 0	> 20%	5 a 20%	< 5%	< 5%	< 5%
				10	5	0	0	0
7	LEGUMINOSAS	ABUNDANCIA Y VIGOR	10 A 0	Son abundantes > 20%, vigorosas y se reproducen	10-20%, vigor medio	0-10%, vigor bajo	No hay	No hay
				10	5	0	0	0
8	ARBUSTOS	TIPO	10 A -10	Especies arbustivas forrajeras con buen vigor y reproducción	Especies arbustivas forrajeras con buen vigor y sin reproducción	No hay	Especies arbustivas no palatables o no accesibles (jara, adelfa, zarzas)	Especies arbustivas no palatables o no accesibles muy abundantes y vigorosas
				10	5	0	-5	-10
9	ARBOLADO	SALUD DE ADULTOS	10 A -10	Mas del 75% de los arboles estan sanos	Entre el 60 y 75% de los arboles estan sanos	Entre 40 y 60% de los arboles estan sanos	Entre 20 y 40% de los arboles estan sanos	< 20% de los arboles estan sanos o hay < 15 pies /ha
				10	5	0	-5	-10
		REGENERACION	10 A -20	> 100 /ha renuevos, al menos 50% pasa de 2 m-	50-100/ha, 25 a 50 % supera 2 m-	20-50/ha, solo el 10% supera los 2 m	1-20 arboles, no supera los 2 m	sin regeneracion
				10	5	0	-10	-20
10	PRODUCTIVIDAD	% DEL POTENCIAL (considerar los 3 estratos)	10 A -10	Excede el 80% de la producción potencial del sitio para primavera u otoño basada en el clima reciente, Máxima fotosíntesis	60-80% de la producción potencial del sitio basado en el clima reciente	40-60% de la producción potencial del sitio basado en el clima reciente	20-40% de la producción potencial del sitio basado en el clima reciente	Menos del 20% de la producción potencial del sitio basado en el clima reciente. Mínima Fotosíntesis
				10	5	0	-5	-10

Tabla 3. Formulario de campo para evaluar la estructura del suelo. Fuente: USDA

9. Observaciones de Suelo y Estimaciones		Fecha	Clase para Indices de Estructura				
Descripción		Estructura			Clase a		
		Tipo	Tamaño	Grado			
Profundidad del horizonte superior (pulgadas)		Granular	Fino, Medio, Grueso	Débil	2		
		Granular	Fino, Medio, Grueso	Moderado	4		
Raíces		Granular	Fino, Medio, Grueso	Fuerte	5		
		En bloques	Muy fino, Fino, Medio	Débil	1		
		En bloques	Muy fino, Fino	Moderado	4		
Capa compactada		En bloques	Muy fino, Fino, Medio	Fuerte	5		
		En bloques	Medio	Moderado	3		
Textura del Suelo		Laminar	Delgado, Medio, Grueso	Muy friable b	3		
		Laminar	Delgado, Medio, Grueso	Friable b	2		
Otros		Laminar	Delgado Medio, Grueso	Firme o Muy Firme b	1		
		Masivo			1		
		Grano suelto			1		
Nota: a) La Clase 5 es la mejor. b) Sustituya la resistencia horizontal a ruptura en húmedo.							
Estructura del Suelo					Fecha	NOTAS:	
Profundidad (pulgadas)	Tipo	Tamaño	Grado	(A) Clase	(B)		(A) x (B)
0 -4					3		
4 -8					2		
8 -12					1		
* Indice de estructura: ((Total-6)/24) x 100					Total		

Tabla 4. Formulario de campo para la evaluación de la erosión hídrica. Fuente: Adaptado de Pulido M. 2014

Finca:					Evaluador:
Fecha:					Nº estación/coordenadas:
Erosión Hídrica					
a) Interrill					
	0	1	2	3	Comentarios
<i>Raíces expuestas</i>					
<i>Signos de splash</i>					
<i>Pedestales de splash</i>					
<i>Pequeños escarpes</i>					
<i>Montículos</i>					
<i>Acumulaciones en obstáculos</i>					
<i>Irregularidades del terreno</i>					
O= Ausente; 1= Poco frecuente 2= Moderadamente frecuente 3= Muy frecuente					
b) Rill (regueros y cárcavas)					
	0	1	2	3	Comentarios
<i>Regueros</i>					
<i>Cárcavas</i>					
O= Ausente; 1= Poco frecuente 2= Moderadamente frecuente 3= Muy frecuente					
<i>Tipo de cárcava</i>	Valley-Botton	Bank-gully	Slope	Comentarios generales:	
1					
2					
3					
<i>Actividad</i>	No activa	Mod. Activa	Muy activa		
1					
2					
3					

Tabla 5. Formulario de campo para la evaluación de la actividad biológica de lombrices y hormigas

Finca:	Evaluador:
Fecha:	Nº estación/coordenadas:

Lombrices				
Medida	Abundancia (1-5*)			Comentarios
	T 1	T 2	T 3	
<i>1 (2-2,5 m)</i>				
<i>2 (4,5-5 m)</i>				
<i>3 (7-7,5 m)</i>				
<i>4 (9,5-10 m)</i>				
<i>5 (12-12,5 m)</i>				
<i>6 (14,5-15 m)</i>				
<i>7 (17-17,5 m)</i>				
<i>8 (19,5-20 m)</i>				
<i>9 (22-22,5 m)</i>				
<i>10 (24,5-25 m)</i>				

**Desde 1 que es que no hay signos de actividad hasta 5 donde hay una gran abundancia de restos de heces de lombrices*

Hormigueros		
	Hormigueros	Comentarios
<i>Transecto 1</i>		
<i>Transecto 2</i>		
<i>Transecto 3</i>		

Tabla 6. Formulario de campo para la evaluación de la actividad biológica de coprófagos

Finca:	Evaluador:
Fecha:	Nº Estación/coordenadas:

Número de bosta evaluada	Puntuación* (0-10)	¿Hay Galerías en las bostas? Si/No	¿Cómo está consumida la bosta? <i>Extremamente (E), Internamente (I), Externa e Internamente (E+I)</i>	¿Ves algún animal asociado? Si/No	Aunque no se identifiquen las especies, ¿qué número de animales diferentes has observado y en qué cantidad?- <i>Observar durante 30sg</i>	Comentarios
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Atributo	Indicador de proceso	Grado de alejamiento del área de referencia					
		Nulo a leve 1 (N-L1)	Nulo a leve 2 (N-L2)	Nulo a leve 3 (N-L3)	Moderado (M)	Moderado a extremo (M-E)	Extremo a total (E-T)
Descomposición de bosta	Antigüedad de bostas (coprófagos)	La bosta está completamente disgregada y aparecen montones de tierra que cubren parte de la bosta tanto lateralmente como en el centro.	La bosta está muy trabajada ya que aunque no está completamente disgregada (existen porciones enteras) sí aparecen montones de tierra debidos a la excavación de los coleópteros.	La bosta está trabajada pero únicamente se observan excavaciones de pequeño tamaño por debajo de la bosta. No se observa en estos casos una disgregación evidente.	La bosta se descompone algo más lento, pero las bostas momificadas son minoría. Moderada actividad de insectos	Algo de descomposición pero la mayoría de las bostas están momificadas. Poca actividad de insectos	Descomposición muy lenta, bostas momificadas. Escasa actividad de insectos
		10	8	6	4	2	0

Tabla 7. Formulario de campo para la evaluación de las especies claves de plantas

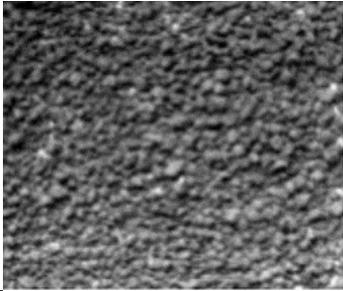
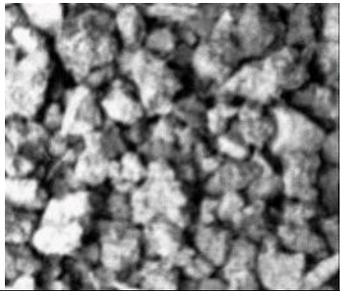
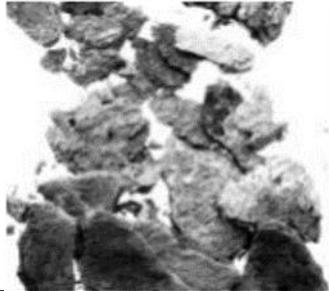
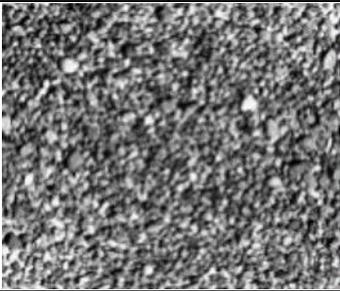
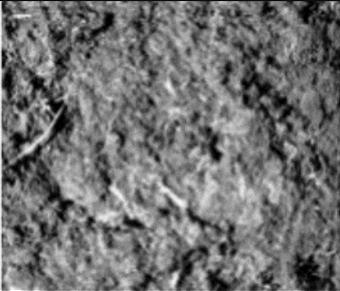
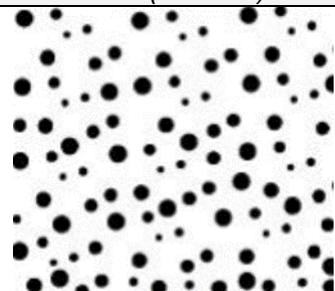
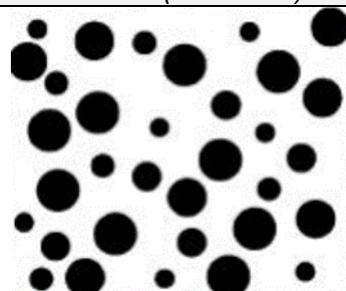
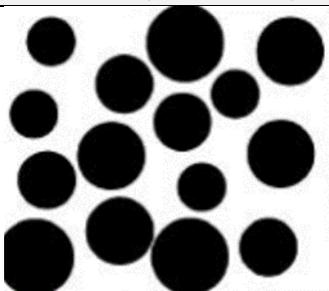
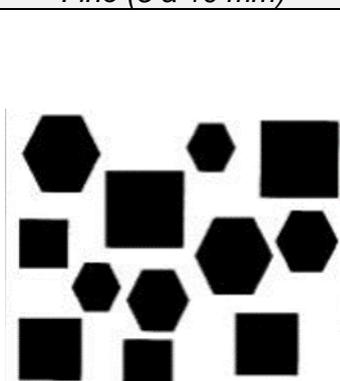
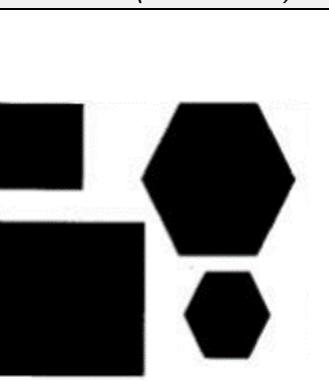
Especies	Nº Especies Conectadas	Coefficiente de Correlación	Abundancia (Braun-Blanquet)
<i>Anagallis arvensis</i>	406	0.251	
<i>Briza minor</i>	349	0.233	
<i>Carex divisa</i>	266	0.143	
<i>Crassula tillaea</i>	297	0.218	
<i>Dactylis glomerata</i>	401	0.159	
<i>Euphorbia exigua</i>	316	0.145	
<i>Filago gallica</i>	313	0.154	
<i>Gaudinia fragilis</i>	450	0.327	
<i>Hypochoeris glabra</i>	320	0.210	
<i>Hypochoeris radicata</i>	340	0.183	
<i>Jacobaea vulgaris</i>	358	0.286	
<i>Juncus bufonius</i>	421	0.146	
<i>Juncus capitatus</i>	328	0.193	
<i>Lathyrus angulatus</i>	345	0.203	
<i>Linum bienne</i>	328	0.251	
<i>Ornithopus pinnatus</i>	412	0.172	
<i>Parentucellia viscosa</i>	361	0.324	
<i>Petrorhagia dubia</i>	261	0.178	
<i>Plantago lanceolata</i>	456	0.218	
<i>Poa bulbosa</i>	416	0.191	
<i>Ranunculus paludosus</i>	398	0.244	
<i>Rumex acetosella</i>	410	0.140	
<i>Sanguisorba verrucosa</i>	312	0.209	
<i>Senecio lividus</i>	279	0.145	
<i>Serapias lingua</i>	275	0.145	
<i>Sherardia arvensis</i>	411	0.153	
<i>Silene gallica</i>	453	0.404	
<i>Sonchus oleraceus</i>	296	0.148	
<i>Spergularia purpurea</i>	359	0.302	
<i>Stachys arvensis</i>	428	0.226	
<i>Stellaria media</i>	308	0.152	
<i>Trifolium bocconeii</i>	302	0.194	
<i>Trifolium cernuum</i>	283	0.161	
<i>Trifolium dubium</i>	387	0.188	
<i>Trifolium glomeratum</i>	428	0.245	
<i>Trifolium resupinatum</i>	305	0.166	
<i>Trifolium stellatum</i>	294	0.192	
<i>Trifolium strictum</i>	302	0.150	
<i>Tuberaria guttata</i>	303	0.267	
<i>Vulpia muralis</i>	356	0.169	

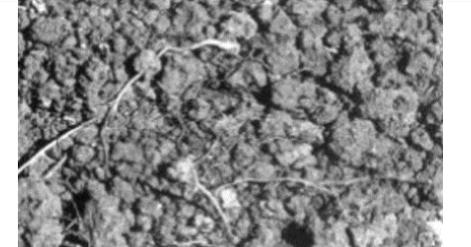
Tabla 8. Formulario de campo para la evaluación de mariposas

Finca:	Evaluador:
Fecha:	Nº estación/coordenadas:
Hora:	Viento:
Nubosidad:	Temperatura (°C):

* Realizar muestreo en horas centrales del día (10:00 a 15:00). A temperatura, nubosidad y viento óptimo ($T > 13^{\circ}\text{C}$, nubosidad $< 50\%$, viento $<$ fuerza 4 según la escala de Beaufort)

MARIPOSAS BLANCAS O AMARILLA			
Nombre especie	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3
<i>Pieris brassicae</i>			
<i>Pieris rapae</i>			
<i>Pontia daplidice</i>			
<i>Euchole sp.</i>			
<i>Colias crocea</i>			
<i>Gonepteryx sp.</i>			
Especie sin identificar			
MARIPOSAS MARRONES			
<i>Pyronia cecilia</i>			
<i>Pararge aegeria</i>			
<i>Lasiommata megera</i>			
<i>C. pamphilus</i>			
Especie sin identificar			
MARIPOSAS GRANDES			
<i>Charaxes jasio</i>			
<i>Vanessa atalanta</i>			
<i>Cynthia cardui</i>			
<i>Maniola jurtina</i>			
<i>Papilio machaon</i>			
<i>Danaus chrysippus</i>			
Especie sin identificar			
MARIPOSAS AZULES/GRISACEAS			
<i>Lycaena phlaeas</i>			
<i>Leptotes pirithous</i>			
<i>Lampides boeticus</i>			
<i>Aricia cramera</i>			
Especie sin identificar			

ESTRUCTURA DEL SUELO		
Guía fotográfica para evaluar la estructura del suelo. Fuente: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf		
TIPO DE ESTRUCTURA		
<i>Granular</i>	<i>En bloques</i>	<i>Laminar</i>
		
<i>Grano suelto (sin estructura)</i>		<i>Masivo (sin estructura)</i>
		
TAMAÑO DE LOS AGREGADOS		
<i>Para estructuras granulares</i>		
<i>Fino (< 2 mm)</i>	<i>Medio (2 a 5 mm)</i>	<i>Grueso (5 a 10 mm)</i>
		
<i>Para estructura en bloques</i>		
<i>Muy fino (< 5 mm)</i>	<i>Fino (5 a 10 mm)</i>	<i>Medio (5 a 10 mm)</i>
		

Para estructura en láminas		
<i>Fino (< 2 mm)</i>	<i>Medio (2 a 5 mm)</i>	<i>Grueso (5 a 10 mm)</i>
		
ESTRUCTURA DE LOS AGREGADOS		
<i>Débil</i>	<i>Moderada</i>	<i>Fuerte</i>
		

ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE COPRÓFAGOS

Guía fotográfica para evaluar el estado de las bostas

	<p>NULO A LEVE 1 (N-L1)</p> <p>(10 puntos)</p> <p>La bosta está completamente disgregada y aparecen montones de tierra que cubren parte de la bosta tanto lateralmente como en el centro.</p>
	<p>NULO A LEVE 2 (N-L2)</p> <p>(8 puntos)</p> <p>La bosta está muy trabajada ya que, aunque no está completamente disgregada (existen porciones enteras) sí aparecen montones de tierra debidos a la excavación de los coleópteros.</p>
	<p>NULO A LEVE 3 (N-L3)</p> <p>(6 puntos)</p> <p>La bosta está trabajada pero únicamente se observan excavaciones de pequeño tamaño por debajo de la bosta. No se observa en estos casos una disgregación evidente.</p>
	<p>MODERADO (M)</p> <p>(4 puntos)</p> <p>La bosta se descompone algo más lento, pero las bostas momificadas son minoría. Moderada actividad de insectos</p>



**MODERADO A EXTREMO
(M-E)**

(2 puntos)

Algo de descomposición, pero la mayoría de las bostas están momificadas. Poca actividad de insectos



**EXTREMO A TOTAL
(E-T)**

(0 puntos)

Descomposición muy lenta, bostas momificadas. Escasa actividad de insectos

BIODIVERSIDAD DE PLANTAS

Guía fotográfica para evaluar las especies clave de plantas

GRAMÍNEAS

Briza minor



Dactylis glomerata



Gaudinia fragilis



Poa Bulbosa



Vulpia muralis



LEGUMINOSAS

Ornithopus pinnatus



Trifolium dubium

Trifolium bocconeii



Trifolium glomeratum

Trifolium cernuum



Trifolium resupinatum



Trifolium stellatum



Trifolium strictum



Lathyrus angulatus



Hypochoeris glabra



Hypochoeris radicata



Senecio lividus

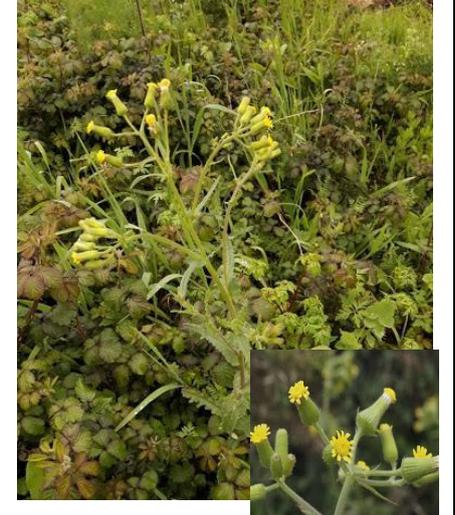
COMPUESTAS



Sonchus oleraceus



Jacobaea vulgaris



Filago gallica



Sonchus oleraceus



Jacobaea vulgaris



Filago gallica

OTRAS FAMILIAS

Tuberaria guttata



Ranunculus paludosus



Anagallis arvensis



Juncus bufonius



Juncus capitatus



Carex divisa



Plantago lanceolata



Rumex acetosella



Crassula tillaea



Stellaria media



Spergularia purpurea



Silene gallica



Petrorhagia dubia



Sherardia arvensis



Stachys arvensis



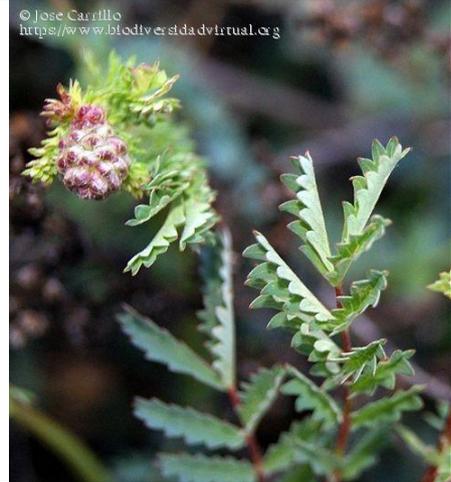
Linum bienne



Serapias lingua



Sanguisorba verrucosa



Euphorbia exigua



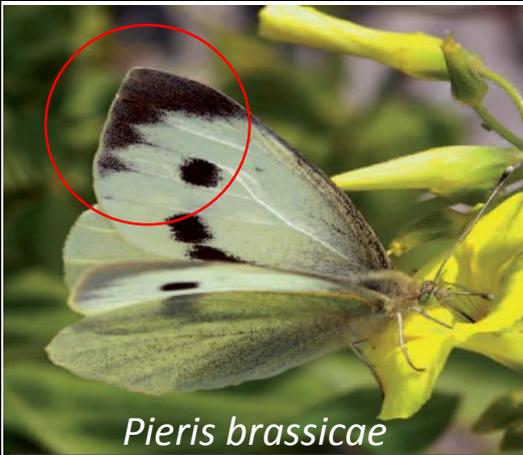
Parentucellia viscosa



BIODIVERSIDAD DE MARIPOSAS

Guía fotográfica para evaluar la biodiversidad de mariposas

MARIPOSAS BLANCAS O AMARILLAS



Pieris brassicae



Pieris rapae



Pontia daplidice



Euchloe crameri



Euchloe tagis



Euchloe belemia



Colias croceus



Gonepteryx sp

MARIPOSAS MARRONES



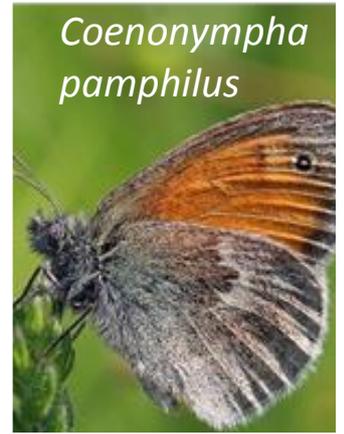
Pyronia cecilia



Pararge aegeria

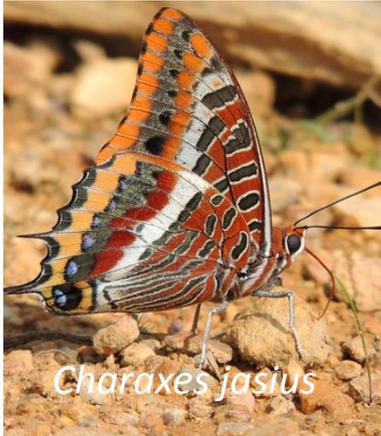


Lasioommata megera



Coenonympha pamphilus

MARIPOSAS GRANDES



Charaxes jasius



Vanesa atalanta



Cynthia cardui



Maniola jurtina



Papilio machaon



Danaus chrysippus

MARIPOSAS AZULES/GRISACEAS



Lycaena phlaeas



Leptotes pirithous



Lampides boeticus



Aricia cremera