

**INDICADORES AMBIENTALES Y EVALUACION DE LA DEGRACION DEL
RECURSO SUELO**

ADRIANA MARCELA JAIMES PORRAS
Cod. 2038211

**Monografía para obtener el título de
Especialista en Química Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2004**

**INDICADORES AMBIENTALES Y EVALUACION DE LA DEGRACION DEL
RECURSO SUELO**

ADRIANA MARCELA JAIMES PORRAS
Cod. 2038211

**Monografía para obtener el título de
Especialista en Química Ambiental**

Directora
M.Sc. Luz Yolanda Vargas F

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2004

A Dios por su inspiración.

A mis padres su gran apoyo.

A mis amigos su entusiasmo.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Orlando y Marlene por su gran apoyo y comprensión durante todo este tiempo.

Luz Yolanda Vargas Fiallo. Msc. Química. Directora de Monografía. Por su valiosa colaboración.

Gonzalo León Cote. Ingeniero Químico. Por su Valiosa orientación.

A Julián, Heyner, Johanna, Wilmer, Cristian, "Tocayo" y Yusara. Amigos y compañeros por su alegría, entusiasmo y motivación

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	14
1 FUNDAMENTO TEORICO	15
1.1 EL CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	15
1.1.1 Medida del desarrollo sostenible	16
1.2 LOS INDICADORES AMBIENTALES COMO PARÁMETROS CLAVES DE SOSTENIBILIDAD	17
1.2.1 Definición	17
1.2.2 Funciones	17
1.2.3 Principios	17
1.2.4 Tipología	18
1.2.5 Criterios para la Selección de un Indicador	19
1.2.5.1 Relevancia política	19
1.2.5.2 Características del proceso de análisis	19
1.2.5.3 Características de los datos base del indicador	19
2. INDICADORES Y DEGRADACION DEL SUELO	21
2.1 DEFINICIÓN DEGRADACIÓN DEL SUELO	21
2.2 CONSECUENCIAS DE LA DEGRADACIÓN	22
2.3 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN	23
2.4 PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS E INDICADORES DE DEGRADACIÓN FÍSICA	24
2.4.1 COMPACTACIÓN	24

2.4.1.1 Definición	24
2.4.1.2 Causas	24
2.4.1.3 Tipos De Compactación	25
2.4.1.4 Efectos Adversos	25
2.4.1.5 Medidas Preventivas	26
2.4.2 UNIDAD DE MEDIDA DEL INDICADOR COMPACTACIÓN	26
2.4.2.1 DENSIDAD DEL SUELO	26
2.4.2.1.1 Definición	26
2.4.2.1.2 Densidad aparente	27
2.4.2.1.3 Pasos para determinar la densidad aparente	27
2.4.2.1.3 Formula del indicador	30
2.4.2.1.4 Valores críticos de densidad aparente	30
2.4.2.2 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	30
2.4.2.2.1 Definición	30
2.4.2.2.2 Pasos para determinar la resistencia a la penetración	31
2.4.2.2.3 Unidad de medida	32
2.4.3 DEGRADACIÓN POR EROSIÓN	33
2.4.3.1 Definición	33
2.4.3.2 Tipos De Erosión	33
2.4.3.3 Causas	33
2.4.3.4 Efectos Adversos	34
2.4.3.5 Medidas Prevención	35
2.4.3.6 Unidad De Medida Del Indicador	35
2.4.3.7 Evaluación del indicador	35

2.5 PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS E INDICADORES DE DEGRADACIÓN QUÍMICA	42
2.5.1 DESEQUILIBRIO ELEMENTAL	42
2.5.1.1 CONTAMINACIÓN	42
2.5.1.1.1 Definición	42
2.5.1.1.2 Causas	42
2.5.1.1.3. Efectos adversos	43
2.5.1.1.4 control de la contaminación	46
2.5.1.1.5 Evaluación De La Contaminación Del Suelo	47
2.5.1.1.6 Unidad de medida	48
2.5.1.1.7 Como Se Determina La Contaminación	49
2.5.2 ACIDIFICACIÓN	50
2.5.2.1 Definición	50
2.5.2.2 Causas	51
2.5.2.3 Efectos Adversos	51
2.5.2.4 Unidad De Medida Del Indicador	51
2.5.2.5 Métodos de medición	52
2.5.3 SALINIZACIÓN	53
2.5.3.1 Definición	53
2.5.3.2 Causas	53
2.5.3.3 Efectos Adversos	55
2.5.3.4 Unidad de medida del indicador	55
2.5.4 SODICIDAD	57
2.5.4.1 Definición	57
2.5.4.2 Efectos adversos	58

2.5.4.3 Unidad de Medida del indicador	59
2.6 DEGRADACIÓN BIOLÓGICA	60
2.6.1 Definición	60
2.6.2 Pérdida de la Materia Orgánica	61
2.6.2.1 Definición.	61
2.6.2.2 La materia orgánica como indicador de la calidad	61
2.6.2.3 Causas	63
2.6.2.4 Efectos adversos	63
2.6.2.5 Importancia de conservar el contenido de materia orgánica	63
2.6.2.6 Unidad de medida del indicador	64
2.6.2.7 Valores de degradación biológica por pérdida de materia orgánica	64
2.6.3 REDUCCIÓN DE MICRO Y MACRO FAUNA	65
2.6.3.1 Organismos Presentes en la Fracción del Suelo	65
2.6.3.2. Causas	66
2.6.3.3. Unidad de medida	67
2.6.3.4 Como se determina la cantidad de microorganismos en el suelo	67
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Valores críticos de densidad aparente	30
Tabla 2 Efectos de algunos metales sobre las plantas	44
Tabla 3 Clasificación de la acidez	51
Tabla 4 Clasificación según la Salinidad del suelo	56
Tabla 5 Clasificación de la Degradación Biológica según la pérdida de la materia orgánica	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura presión-estado-respuesta	19
Figura 2 Tipos de Degradación del suelo	24
Figura 3 Impacto de las raíces por suelos compactados	25
Figura 4 Herramienta para la toma de muestra de la densidad aparente	28
Figura 5 Extracción de muestra para determinación de la densidad aparente	28
Figura 6 Determinación del volumen de excavación por método de Sustitución	29
Figura 7 Varillas para medir el cambio del nivel de la superficie	37
Figura 8 Ejemplos de balances de carbono en el suelo	63

RESUMEN

TITULO: INDICADORES AMBIENTALES Y EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL RECURSO SUELO*

AUTORA: JAIMES PORRAS, Adriana Marcela**

PALABRAS CLAVES: Indicadores, Degradación, Suelos

CONTENIDO:

Los Indicadores ambientales son una metodología que permiten predecir, planificar y evaluar la condición actual de los recursos. Teniendo en cuenta que el suelo es un recurso natural renovable a largo plazo y que debido a una mala gestión bien sea por su desconocimiento, o por falta de una adecuada planificación, puede quedar gravemente afectado negativamente por acciones directas o indirectas; es de vital importante contar con el conocimiento de las características de un suelo y los signos de degradación del mismo los cuales constituyen una etapa imprescindible en cualquier plan de gestión medioambiental brindándonos la información necesaria para corregir el problema o promover la planificación y la toma de decisiones antes de que éstos sean muy severos.

En el caso del recurso suelo los indicadores ambientales permiten Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del mismo generando una agricultura de alta producción. Entre los indicadores utilizados en dicha evaluación se encuentran la susceptibilidad a la compactación y la erosión, pérdida de la materia orgánica, salinidad y sodicidad del suelo, grado de contaminación y pérdida de macro y micro fauna. La materia orgánica es considerada el principal indicador de degradación del suelo ya que está directamente relacionado con la estabilidad de los agregados, la compactación, influye en retención de agua además de aportar la diversidad biológica necesaria para mantener numerosas funciones en el suelo.

Teniendo en cuenta la información recopilada se puede afirmar que el suelo es de vital importancia en el desarrollo socio económico de un país; por lo tanto, los entes encargados de velar por el medio ambiente deben tomar serias medidas en cuanto a su conservación ya que si se sigue utilizando de forma indebida llegará el momento en que no se pueda contar con suelos aptos para la agricultura. Además en cualquier estudio o proyecto que afecte al medioambiente debe tratarse inexcusablemente el recurso suelo ya que el tratamiento que a éste se le de afectará positiva o negativamente el mantenimiento del ecosistema.

*Monografía

**Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Msc. Luz Yolanda Vargas F

SUMMARY

TITLE: ENVIROMENTAL INDICATORS AND SOIL RESOUCCE DEGRADING EVALUATING*

AUTHOR: JAIMES PORRAS, Adriana Marcela**

KEYWORDS: indicators, degrading, soil.

CONTENTS:

Enviromental indicators are a methodology which permits to predict, planning and evaluating actual condition of resources. Having knowledge resource, and due to a had manage, well by its disregard, or lack of an adequate planning, could be seriously affected negative by direct seriously actions or non direct, it is very important to count with the knowledge of soil characteristics and degrading signs of itself which constituents a indispensable stage, in every environmental manage plan giving us necessary information for to problem correcting or promote planning and take of decisions before these would be several.

In case of soil resource environmental indicators permits to interpret and predict effects in manage over the quality of the same, generating a high production agriculture. Into useful indicators in evaluating it is founded the susceptible to compacting and erosion, loss of organic material, salinity and soil sodicity, pollution degree and loss of phaune micro and macro. Organic material it's considered the principal indicator of soil degrading because it is in directly relationship with stability of aggregates, the compacting, influence on water retaining moreover to bring necessary biological diversity for to maintent numerous soil functions.

Having knowledge of recopiled information it could be to affirmate that soil is of vital importance in social economic developing of a country that', the way, the people who take charge of keep for environmental, must to have serious measures in its conservation because if it keeps using on undue form, will come the moment when there is not competent soils for agricultures, moreover, in study or project that affects environment must to be traited without excuse the soil resource because the treatment that give to it will affect positive or negative ecosystem maintenance.

*Monography

**Sciences Faculty, Chemical school, Msc. Yolanda Vargas F.

INTRODUCCIÓN

Los tomadores de decisiones requieren de información oportuna, precisa y fiable acerca del medio ambiente y el desarrollo sustentable. Los indicadores poseen el potencial de constituir importantes herramientas en la comunicación de la información científica y técnica. Asimismo, pueden facilitar el acceso a dicha información a los diferentes grupos de usuarios, y así transformar la información en acción. De la misma forma desarrollar herramientas accesibles a los usuarios no-expertos; así como, la utilización de marcos de indicadores comunes, pueden facilitar no sólo la transformación de datos en información relevante, sino también la formulación de estrategias para la planificación y la formulación de políticas (CIAT-Banco Mundial-PNUMA, 2000).

En base a lo anterior y teniendo en cuenta que la toma de decisiones anticipada es tan importante para la agricultura sostenible como el reconocimiento de los problemas existentes; se hace necesario identificar los indicadores que permitan conocer la degradación de la tierra brindándonos la información necesaria para corregir el problema o promover la planificación y la toma de decisiones antes de que los problemas sean muy severos.

1. FUNDAMENTO TEORICO

1.1 EL CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En las últimas décadas, se han impulsado numerosos programas orientados a contribuir en la implementación de una nueva y necesaria manera de enfrentar el desarrollo económico. De concretar una nueva manera de abordar el desarrollo, es el llamado Desarrollo Sostenible.¹

Desde 1987, cuando la Comisión Brundtland de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (WCED) definió el desarrollo sostenible como el proceso destinado a satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer a su vez sus propias necesidades, se han propuesto muchas otras definiciones. Si bien es interesante desarrollar conceptos teóricos sobre desarrollo sostenible, es más difícil determinar que es lo que se debe hacer para llegar a los mismos³.

Desarrollo sostenible significa sostener el bienestar de los seres humanos a través del tiempo. Un corolario esencial de esta sentencia es la condición de que las acciones que se toman ahora, que es probable que tengan repercusiones negativas en el futuro de los seres humanos, estén asociadas con formas de compensación para el futuro. Desde que el capital proporciona los medios para llegar al bienestar, muchos expertos en desarrollo sostenible concuerdan en que esta compensación implica la transferencia de capital de base de las actuales a las futuras generaciones. El tema de la sostenibilidad traslada, por lo tanto, la provisión de al menos tanto capital *per capita* como el que tiene la actual generación (Serageldin, 1995).³

El capital total que deseamos sostener dentro y entre generaciones consiste de varios componentes separados:

- el capital natural- la tierra, el agua, el aire, el material genético, los ecosistemas y otros;
- el capital humano- el conocimiento, la ciencia, la cultura, la salud, la nutrición;
- el capital institucional- las escuelas, las universidades, la organización de la investigación, la infraestructura;
- el capital social- democracia, buen gobierno, derechos civiles, equidad, armonía social.³

1.1.1 Medida del desarrollo sostenible. Llevar los principios de desarrollo sostenible a la práctica significa cambiar la forma en que se toman decisiones para asignar recursos; la información es esencial y los indicadores juegan un papel fundamental señalando condiciones y tendencias en el desarrollo de una casa, de una comunidad, de un país o de grupos de países. Los indicadores son medios para llegar a un objetivo y guían a los planificadores para tomar decisiones sobre como usar los recursos naturales de un país. Los indicadores económicos tradicionales (consumo, ahorro, inversiones, etc.) proveen una versión distorsionada del progreso y deben ser complementados por medidas sociales y ambientales.³

En los últimos años se ha puesto de manifiesto una mayor preocupación por supervisar los recursos naturales de los países. Esto es particularmente importante para las economías de países en desarrollo en los que sus ingresos dependen de los recursos naturales. En los países dependientes de la agricultura la degradación del ambiente y la pobreza corren paralelamente, y la necesidad de satisfacer la demanda de alimentos a menudo lleva a la sobreexplotación del ambiente. Como consecuencia, el abastecimiento de bienes agrícolas y de servicios básicos se reduce generando así más pobreza y continuando de este modo el ciclo.³

Es esencial, por lo tanto, que todos los países, pero especialmente aquellos en desarrollo, tomen en consideración el control ajustado de sus recursos naturales -y los cambios de los mismos- por medio del uso de indicadores de la tierra, del agua, de los bosques, de la pesca y otros. En la agricultura sostenible y en el desarrollo rural, la integración de la información económica, social y ambiental en la planificación y en la toma de decisiones traslada en forma de estadísticas integradas los datos sobre productividad rural con medidas de los recursos humanos y naturales a los proyectos y sus tendencias ambientales fuera de los mismos.³

1.2 LOS INDICADORES AMBIENTALES COMO PARÁMETROS CLAVES DE SOSTENIBILIDAD

1.2.1 Definición. El concepto de indicador proviene del verbo latino *indicare*, que significa revelar, señalar. Lo cual, aplicado a la sostenibilidad, se concreta en un conjunto de parámetros especialmente diseñados para obtener información específica, según objetivos predeterminados, de algún aspecto considerado prioritario, de la relación sociedad- entorno natural.¹

1.2.2 Funciones. Los indicadores ambientales contribuyen a evaluar el estado del medio ambiente y los avances logrados hasta el momento en los diversos programas y políticas implementadas para tal efecto.¹

Los indicadores constituyen una herramienta de comunicación para informar sobre el estado de una materia en particular. Por ello, los indicadores responden a tres **funciones** principales:

- simplificación
- cuantificación
- comunicación ²

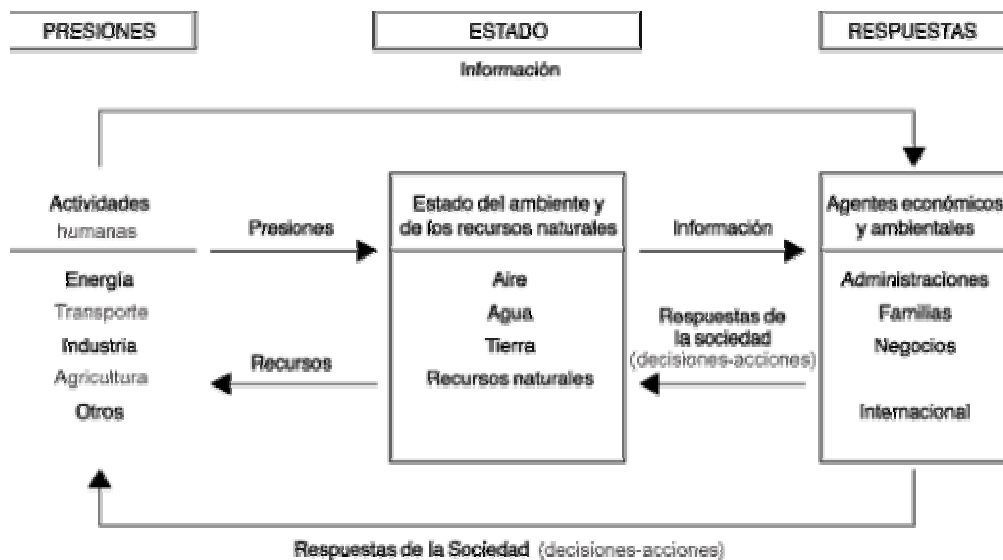
1.2.3 Principios. Los principios que deben respetar los indicadores para que sean de utilidad son los siguientes:

- Los indicadores deben ser medibles y posibles de analizar en series temporales. Los indicadores deben reflejar la evolución en el tiempo, de forma que puedan analizarse para prevenir o corregir tendencias negativas
- El número de indicadores debe ser reducido. Los usuarios deben familiarizarse con su presentación y significado, para conseguir que sean fácilmente comprensibles por todos los agentes implicados
- Los indicadores deben estar relacionados con los objetivos. De esta manera los indicadores pasan a ser herramientas de gestión que permiten fijar responsabilidades a los agentes que intervienen en la formulación y aplicación de políticas.

1.2.4 Tipología. Podemos reconocer varios modelos de razonamiento para abordar el tema de formulación de indicadores. Sin embargo, la línea de pensamiento es predominantemente una, un enfoque sectorial, adoptando una lógica vectorial (origen, dirección destino), que limita el resultado a un diagnóstico puntual, y no permite establecer relaciones intersectoriales. No permite por tanto su utilización en políticas preventivas, sólo contribuye al diagnóstico de la situación. Este es el denominado modelo PER(Presión-Estado Respuesta), Figura1, formulado por primera vez por la Organización para el Comercio y Desarrollo Económico, en 1994, y extendido a lo largo y ancho del mundo de los indicadores ambientales, con mayor o menor nivel de detalle, agregándosele alguna dimensión adicional a la lógica, debido a la creciente demanda de indicadores ambientales sintéticos, funcionales y que colaboren con las propuestas ambientalistas de aplicar políticas y programas preventivos. Sin embargo, esta línea de indicadores ambientales es incipiente y hoy por hoy, exploratoria.¹

El uso de los indicadores debe ser confeccionado de tal manera que sea posible trabajar con temas específicos sin tomar en consideración el nivel de análisis. La estructura mas usada como se menciono anteriormente es la de *presión-estado-respuesta*, la cual se adapta a los enfoques orientados a un tema determinado.³

Figura 1. Estructura presión-estado-respuesta



1.2.5. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UN INDICADOR

1.2.5.1. Relevancia política.

- Representativo de las condiciones ambientales, de la presión sobre el ambiente o de la respuesta de la sociedad.
- Fácil de interpretar y capaz de mostrar tendencias en el tiempo o espaciales.
- Sensible a cambios en la condición del ambiente y a las actividades humanas.
- Permita apreciar los cambios regionales.

1.2.5.2 Características del proceso de análisis

- Que esté teóricamente bien fundamentado.

1.2.5.3 Características de los datos base del indicador

- Que sea accesible con una razonable relación costo/beneficio.
- Que esté adecuadamente documentado.
- Que se actualice regularmente.

Algunos parámetros que no cumplen con dichas características, pero que tienen gran importancia para la comprensión del fenómeno, pueden ser integrados como información de contexto. De hecho, todo indicador será acompañado con elementos que faciliten su comprensión e interpretación.⁴

2. INDICADORES Y DEGRADACIÓN DEL SUELO

Durante siglos, todas las funciones del suelo eran mantenidas sin gran problema. Las dificultades surgieron a comienzos de este siglo, cuando el desarrollo creciente comenzó a entrar en conflicto con las funciones naturales del suelo. El aumento de asentamientos humanos y de infraestructuras, principalmente para las industrias y el transporte, el vertido de residuos, la extracción de minerales y la agricultura intensiva, entre otros, han ejercido y siguen ejerciendo una gran presión sobre el sistema suelo.

Algunas de estas alteraciones han sido positivas y han conducido a una mejora de ciertas funciones del suelo. Sin embargo, lo más habitual es que las actividades humanas provoquen un deterioro de las características de este medio, *lo cual suele conducir a la degradación de una o más de sus funciones.*

Para establecer una política adecuada de usos del suelo, el punto de partida lógico es la evaluación de la sostenibilidad y vulnerabilidad en su sentido más amplio. El principal objetivo ha de ser mantener el equilibrio adecuado que permita que sus funciones se desarrollen con normalidad.²

2.1 DEFINICION DEGRADACIÓN DEL SUELO

El suelo es un ente de la Naturaleza, cuyas características son el resultado de una larga evolución hasta alcanzar un equilibrio con las condiciones naturales. Hemos de tener claro que en esas condiciones ambientales no está incluida la acción de las civilizaciones humanas. El suelo es un componente del medio natural y como tal debe ser considerado como un suelo virgen, no explotado.

Es evidente que su continua y abusiva utilización por parte del hombre ha truncado su evolución y ha condicionado negativamente sus propiedades. Como resultado de esta abusiva utilización el suelo se deteriora, se degrada.

Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. Según la FAO - UNESCO la degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios.

La degradación del suelo es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre, bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc. Actualmente existe una fuerte tendencia que clama por una utilización racional del suelo cuyos principios se agrupan en lo que se conoce por Conservación de Suelos.

El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios, fibras y madera y, sin embargo, en muchas partes del mundo, el suelo ha quedado tan dañado por un manejo abusivo y erróneo que nunca más podrá producir bienes (FAO, 1976).

2.2 CONSECUENCIAS DE LA DEGRADACIÓN⁸

- Pérdida de elementos nutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg...). Puede ser de manera directa, bien al ser eliminados por las aguas que se infiltran en el suelo o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía, o de una forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos.
- Modificación de las propiedades fisicoquímicas: acidificación, desbasificación y bloqueo de los oligoelementos que quedan en posición no disponible.

- Deterioro de la estructura. La compactación del suelo produce una disminución de la porosidad, que origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad: como consecuencia se produce un encostramiento superficial y por tanto aumenta la escorrentía.
- Disminución de la capacidad de retención de agua: por degradación de la estructura o por pérdida de suelo.
- Pérdida física de materiales: erosión selectiva (parcial, de los constituyentes más lábiles, como los limos) o masiva (pérdida de la capa superficial del suelo, o en los casos extremos de la totalidad del suelo).
- Incremento de la toxicidad. Al modificarse las propiedades del suelo se produce una liberación de sustancias nocivas.

En definitiva, se produce un empeoramiento de las propiedades del suelo y una disminución de la masa de suelo. Estos efectos tienen dos consecuencias generales: a corto plazo, disminución de la producción y aumento de los gastos de explotación (cada vez el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos). A largo plazo: infertilidad total, abandono, desertización del territorio.⁸

2.3 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN ⁸

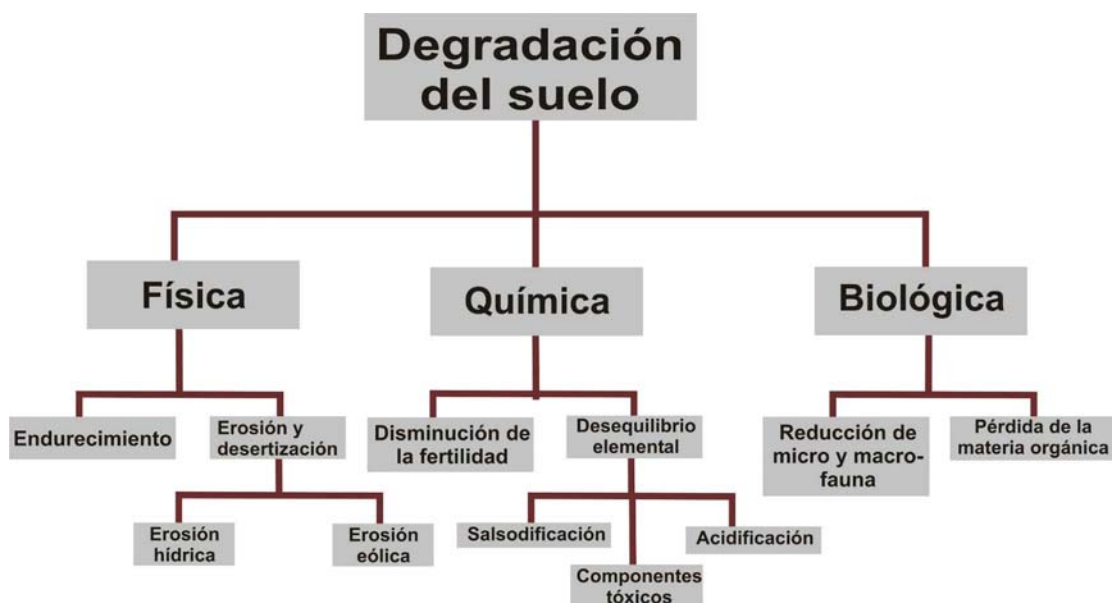
Como la degradación del suelo es un proceso muy complejo, debido a muy diferentes causas y consecuencias y efectos diversos, es muy difícil desarrollar un sistema único de evaluación.

Los principales organismos internacionales dedicados al medio ambiente se han venido preocupando de este grave problema y han desarrollado una serie de directrices de uso recomendado para las distintas naciones. En esta línea, FAO - UNESCO - PNUMA (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) han desarrollado un metodología para la evaluación de la degradación de los suelos de aplicación a todo el mundo (Metodología

Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos, FAO, Roma, 1980).

De forma general, se distinguen tres tipos de procesos de degradación del suelo: ¹¹

Figura 2. Tipos de Degradación del suelo



2.4 PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS E INDICADORES DE DEGRADACION FISICA

2.4.1 COMPACTACION. ¹¹

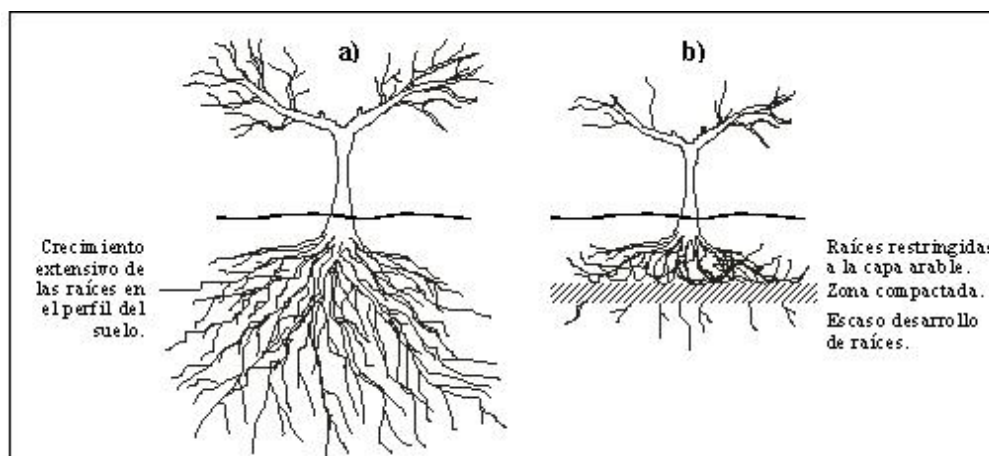
2.4.1.1 Definición. Es La reducción del volumen de una masa de suelo causado por una fuerza (peso) aplicada al suelo, dando lugar al aumento de densidad aparente de éste. ¹⁸

2.4.1.2 Causas. Es causada por el efecto repetitivo y acumulativo producido por la maquinaria agrícola pesada y por el pastoreo excesivo, en condiciones de humedad elevada del suelo. No es específica de suelos agrarios sino que también son susceptibles los lugares ocupados por edificios y las áreas recreativas muy frecuentadas. ¹

2.4.1.3 Tipos De Compactación: Existen dos tipos principales de compactación: la que se produce a poca profundidad o la que se produce a mayor profundidad, a nivel del subsuelo. La primera tiene lugar preferentemente en las fases preparatorias de la tierra para la siembra, con la utilización de fertilizantes y pesticidas. La compactación a nivel del subsuelo es causada por la maquinaria pesada utilizada durante la cosecha y por la diseminación de restos orgánicos de origen animal con tanques de gran capacidad que poseen ejes pesados. La compactación del suelo es potencialmente la mayor amenaza para la productividad agrícola.¹¹

2.4.1.4 Efectos Adversos. Modifica la actividad bioquímica y microbiológica del suelo, la pérdida de la materia orgánica. El mayor impacto físico que se produce, es la reducción de la porosidad, lo que implica una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas. Al mismo tiempo, las raíces tienen más dificultad en penetrar en el suelo y un acceso reducido a los nutrientes. La actividad biológica queda de esta forma, sustancialmente disminuida. Otro efecto de la compactación es el aumento de la escorrentía, disminuye la capacidad de filtración del agua de lluvia. Esto incrementa el riesgo de erosión producida por el agua y la pérdida de las capas superficiales de suelo y la consiguiente pérdida de nutrientes.¹ Cuando la compactación afecta a las capas más profundas del subsuelo, puede dar lugar a cambios irreversibles en la estructura edáfica.¹¹

Figura 3. Impacto de las raíces por suelos compactados



2.4.1.5 Medidas Preventivas. La compactación de la superficie del suelo es fácilmente eliminada roturando el suelo de forma adecuada y, eventualmente puede desaparecer después de un par de años si se deja que los procesos biológicos sigan su curso. La compactación del subsuelo, sin embargo, es más persistente y no puede ser eliminada fácilmente ya que las técnicas actuales no aportan soluciones a largo plazo. La mejor medida a aplicar es la prevención. En los suelos agrícolas, como la compactación es causada sobre todo por la maquinaria pesada, se puede prevenir incrementando el número de ejes y ruedas de la maquinaria agrícola, aumentando la anchura de los neumáticos y reduciendo su presión (Hakanson y Petelkau, 1994). El uso de vehículos más pequeños y ligeros no es precisamente beneficioso ya que requiere pasadas más frecuentes, que pueden dar un efecto contrario al deseado. Otra medida preventiva a aplicar es la referente a la planificación de las labores agrarias, por ejemplo evitar el uso de maquinaria pesada en condiciones de humedad. ¹

2.4.2 UNIDAD DE MEDIDA DEL INDICADOR COMPACTACION

La unidad de medida del indicador compactación del suelo es:

1. Porcentaje (%) de variación de la densidad aparente.
2. Porcentaje (%) de variación de la resistencia a la penetración.

2.4.2.1 Densidad del Suelo

2.4.2.1.1 Definición. Es una resultante de la relación masa a volumen. En el suelo, esta propiedad se determina bajo las formas de densidad real y densidad aparente. La diferencia entre una y otra radica en que se incluya o no en la determinación el volumen total de espacios porosos (densidad aparente), o el ocupado exclusivamente por las fracciones minerales y orgánicas, excluyendo cualquier espacio de poros (densidad real).

2.4.2.1.2 Densidad aparente. La densidad aparente es la relación existente entre el peso de un volumen dado de suelo seco a la estufa (105-110°C) incluyendo su arreglo estructural (sin disturbar) y el volumen de agua desalojado por el mismo. Se la denomina peso – volumen o densidad de campo. Una correcta interpretación de los valores de la densidad aparente permite derivar nuestras apreciaciones acerca de la capacidad productiva de los suelos, tales como aireación, movimiento del agua, grado de compactación, etc.

La densidad aparente del suelo varía generalmente entre 1.0 y 1.8 g/cm³. Los suelos orgánicos y los suelos minerales con altos contenidos de materia orgánica tienen una densidad aparente menor debido a su gran porosidad y liviandad. En suelos derivados de cenizas volcánicas, los valores de densidad aparente llegan en algunos casos a ser menores que la unidad. Con la disminución de la materia orgánica aumenta la densidad aparente.

2.4.2.1.3 Pasos para determinar la densidad aparente

1) Determinar volumen de la muestra:

- **Determinación por método directo**

Se obtiene una muestra no-disturbada de suelo con el volumen determinado por el volumen del cilindro portamuestra (medidas comunes: altura 20 cm, diámetro 10 cm, volumen correspondiente: 1570,8 cm³).

Detalles de la obtención de muestras no-alteradas de suelo muestran los siguientes dibujos:

1) Herramientas

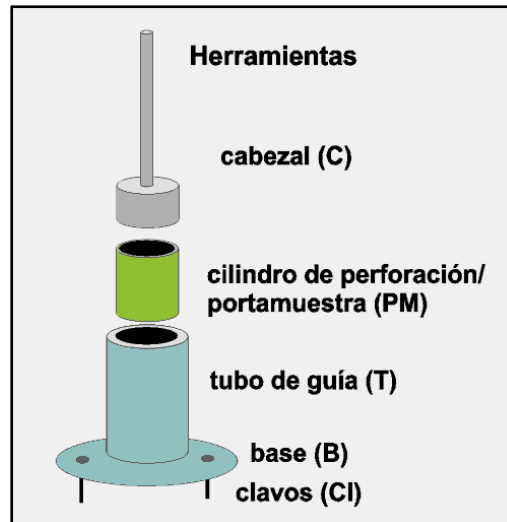


Figura 4. Herramienta para la toma de muestra de la densidad aparente

2) Extracción de la muestra

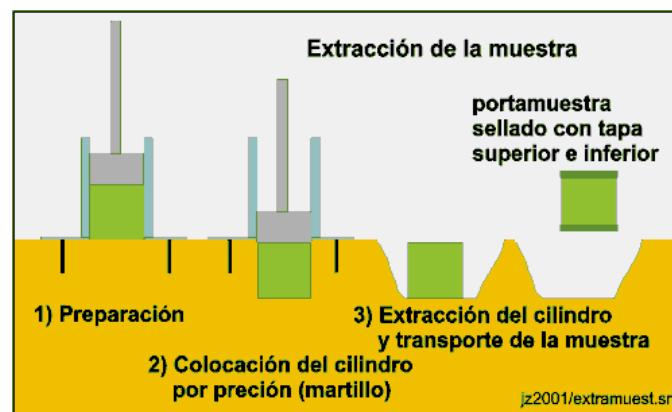


Figura 5. Extracción de muestra para determinación de la densidad aparente

2) Determinación por métodos indirectos

Estos métodos se aplican en el caso de que no se puede tomar una muestra no-disturbada (por ejemplo: una arena pura o una grava es difícil a obtener con el método directo, porque el material cae fácilmente del portamuestra).

Se toma una muestra disturbada de suelo. Luego se determina el volumen de la muestra por determinación del volumen de la excavación.

Se utilizan varias sustancias (por ejemplo arena, agua o yeso) para reemplazar el material excavado. También es posible medir las dimensiones de la excavación en el caso de volúmenes muy grandes y excavaciones geoméricamente homogéneos (excavación con paredes planas y ángulos rectos). En este último caso el error que se produce es insignificante debido al gran volumen de la muestra.

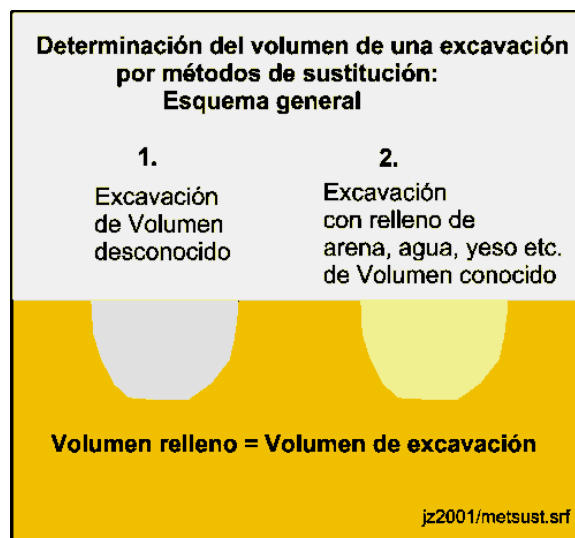


Figura 6. Determinación del volumen de excavación por método de sustitución

2) Secar y pesar la muestra

En la práctica no conviene secar toda la muestra para determinar la masa seca debido sobre todo al tiempo necesario para el secado de un volumen relativamente grande de material.

Normalmente se pesa la masa húmeda para obtener la densidad aparente. Luego se determina el contenido de agua de la muestra a base de tres fracciones pequeñas.

Con estos datos se calcula la masa seca y luego la densidad aparente del material seco.

2.4.2.1.3 Formula del indicador

La densidad aparente puede determinarse utilizando el método del cilindro de volumen conocido y utilizando ecuación 2:

$$D_{\text{aparente}} = \frac{\text{peso seco del suelo (g)}}{\text{volumen del cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

volumen del cilindro: $\pi * r^2 * h$

donde

r: radio del cilindro

h: altura del cilindro

2.4.2.1.4 Valores críticos de densidad aparente.

Tabla 1 Valores críticos de densidad aparente

TEXTURA	DENSIDAD
Franco-arcillosa	1.55
Franco-limosa	1.65
Franco-arenosa fina	1.80
Arenosa-franca fina	1.85

2.4.2.2 Resistencia a la Penetración²⁴

2.4.2.2.1 Definición. La resistencia a la penetración es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de las raíces de los cultivos, por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad. Esa resistencia no es propiedad particular del material, sino que es la suma de los efectos de diferentes características y propiedades, tales como densidad aparente, contenido de humedad, resistencia a la penetración y al corte, las

cuales, a su vez, son consecuencia de la distribución del tamaño de partículas, de la estructura, y de la composición mineral y orgánica presentes en el suelo. Su determinación es sencilla, rápida, y puede hacerse directamente sobre el terreno, permitiendo así realizar un alto número de mediciones que contrarrestan el problema de variabilidad espacial (Nacci y Pla, 1992).

2.4.2.2 Pasos para determinar la resistencia a la penetración

La penetrabilidad es un índice que puede ser evaluado a través de una determinación sencilla, rápida, y que puede ser hecha directamente sobre el terreno, permitiendo así realizar un alto número de mediciones que contrarrestan el problema de variabilidad especial.

Muchos estudios han utilizado el penetrómetro para caracterizar la resistencia natural del suelo. A pesar de la diversidad de equipos y métodos utilizados, existe evidencia de que la resistencia o dureza del suelo es caracterizada adecuadamente a través de estos equipos. De las informaciones obtenidas con estos penetrómetros se han establecido algunas relaciones empíricas entre las medidas y el crecimiento de raíces y emergencia de plántulas. También se han establecido relaciones entre las medidas obtenidas de resistencia a la penetración y otros parámetros de orden físico, tales como densidad aparente y contenido de humedad

Básicamente los equipos que se han venido utilizando pueden ser clasificados de acuerdo a la forma en que operen, en penetrómetros de impacto y penetrómetros de resorte. Los penetrómetros de impacto registran la resistencia opuesta por el suelo a la introducción de una punta de metal, cuando se aplica un impacto o golpe con un mazo que cae libremente desde una altura preestablecida. En el de resorte la punta de metal es introducida al suelo por la presión ejercida a través de un pistón sobre un resorte conectado a la punta.

Las lecturas obtenidas por equipos diferentes son difícilmente comparables en valores absolutos, ya que la resistencia a la penetración es influida por las

características del suelo, del equipo, y por la forma de rotura del suelo. Tal vez una de las mayores ventajas que presenta el penetrómetro como equipo de medición de la resistencia del suelo, sea su versatilidad para ser usado en campo directamente, pudiéndose en poco tiempo realizar un gran número de lecturas. Es por ello que resulta muy adecuado para obtener valores índices de la situación estudiada; sin embargo, dada la complejidad del efecto que evalúa debe ser complementado con otras mediciones.

El penetrómetro de impacto con punta cónica utiliza una punta de forma cónica con un ángulo de 30° , un área basal de 6 cm y una longitud de 4 cm. El impacto es producido por un mazo de 2 kg que cae libremente desde 50 cm de altura. Este equipo necesita que el horizonte de suelo a ser evaluado esté expuesto y en contacto directo con la punta de metal.

El penetrómetro de profundidad funciona también por impacto, y utiliza una punta cónica con un ángulo de 25° , área basal de 0,8 cm y una longitud de 1 cm. A esta punta se anexan varillas de acero de 50 o más centímetros de longitud y 0,7 cm de diámetro, enroscadas en el extremo superior, con marcas cada 5 cm, lo cual permite obtener un registro continuo de la resistencia a la penetración que ofrece el suelo, en sucesivas profundizaciones de 5 cm de la punta en el suelo. Esto permite la exploración de 50 o más centímetros de profundidad con muy poca disturbación del suelo.

El penetrómetro de resorte tiene una punta de metal que es introducida en el suelo por la presión ejercida a través de un resorte. Se diseñaron diferentes tipos de punta intercambiables entre sí, incluyendo puntas muy delgadas tipo aguja y puntas cilíndricas, de diferentes diámetros, así como resortes de diferente sensibilidad. Los resortes más sensibles permiten que este equipo pueda evaluar la resistencia de la costra superficial.

2.4.2.2.3 Unidad de medida. La unidad de medida puede ser dada en unidades de esfuerzo Pascales o Kilopascales.

2.4.3 DEGRADACIÓN POR EROSIÓN

2.4.3.1 Definición. La erosión es la pérdida selectiva de materiales del suelo. Por la acción del agua o del viento los materiales de las capas superficiales van siendo arrastrados. Si el agente es el agua se habla de **erosión hídrica** y para el caso del viento se denomina **erosión eólica**¹¹

El concepto de erosión del suelo se refiere a la **erosión antrópica**, que es de desarrollo rápido. Frente a ella está la **erosión natural o geológica**, de evolución muy lenta.

2.4.3.2 Tipos De Erosión.

1. Erosión Edáfica: Se entiende por erosión edáfica la pérdida del material que constituye la superficie del suelo debido a la acción del agua o el viento. A pesar de tratarse de un proceso natural, que afecta principalmente áreas de poca cubierta vegetal y fuertes pendientes, sometidas a la acción del agua y el viento, se ve acelerado por la acción humana.⁽¹¹⁾ Así, las prácticas agrícolas inadecuadas (tales como el laboreo siguiendo líneas de máxima pendiente, quema de los residuos de las cosechas, los residuos de las cosechas, sistemas de riego inapropiados, etc), el pastoreo intensivo, los incendios forestales provocados, el abandono de las tierras de cultivo frágiles y el desarrollo industrial y urbano son algunos factores que aceleran de manera considerable los procesos de erosión.

2. Erosión Eólica: se entiende por erosión eólica o erosión causada por el viento, es un fenómeno que ocurre generalmente en regiones planas y de poca lluvia, en donde la vegetación natural crece escasamente y ofrece, por lo tanto, muy reducida protección al suelo y en donde, además, soplan brisas o vientos de velocidad considerable.¹⁹

2.4.3.3 Causas. La erosión del suelo es un fenómeno complejo, en el que intervienen dos procesos: la ruptura de los agregados y el transporte de las partículas finas resultantes a otros lugares. Además de la pérdida de la capa de suelo, que contribuye a la desertización, las partículas arrastradas pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminación (plaguicidas, metales,

nutrientes, minerales, etc.). Se trata de un fenómeno natural pero que ha sido acelerado por las actividades humanas. La erosión puede ser causada por cualquier actividad humana que exponga al suelo al impacto del agua o del viento, o que aumente el caudal y la velocidad de las aguas de escorrentía. El riesgo de erosión por acción del agua es máximo en periodos de lluvias intensas en que el suelo se encuentra saturado de agua, con escasa cubierta vegetal y aumenta el movimiento del agua por la superficie del suelo. El efecto de la escorrentía resultante elimina cantidades importantes de suelo y origina regueros de erosión que actúan como ruta principal del agua, lo que aumenta el problema. ¹

La incidencia de la erosión por el viento, propia de climas áridos y semiáridos, es casi siempre debida a la disminución de la cubierta vegetal del suelo, bien por sobrepastoreo o a causa de la eliminación de la vegetación para usos domésticos o agrícolas ¹

2.4.3.4 Efectos Adversos. El fenómeno de la erosión tiene una serie de efectos negativos tales como la pérdida de fertilidad de los suelos agrícolas y forestales, la aceleración de los procesos de degradación de la cubierta vegetal, la disminución de la regulación natural de las aguas, el acortamiento de la vida útil de los embalses por deposición de las partículas erosionadas, además de condicionar la productividad de la actividad agraria y favorecer las inundaciones catastróficas.

La erosión geológica se ha desarrollado desde siempre en la Tierra, es la responsable del modelado de los continentes y sus efectos se compensan en el suelo, ya que actúan con la suficiente lentitud como para que sus consecuencias sean contrarrestadas por la velocidad de formación del suelo. Así en los suelos de las superficies estables se reproduce el suelo, como mínimo, a la misma velocidad con que se erosiona.

Es más, es muy importante destacar que la erosión natural es un fenómeno muy beneficioso para la fertilidad de los suelos.

Los impactos generados por la erosión del suelo son diversos y las consecuencias económicas de ellos derivados son difíciles de estimar. La erosión por el agua supone una pérdida de la capa fértil de los suelos que se estima en varios milímetros al año (Morgan, 1986). De igual forma se reduce la capacidad de retener agua.¹

Es difícil realizar una estimación de la cantidad de abonos y fertilizantes necesarios para reponer las pérdidas de nutrientes y materia orgánica perdidos por la erosión pero desde luego, lo que es seguro es que se traduce en grandes inversiones monetarias. La erosión del suelo afecta también a los ecosistemas, principalmente en las zonas donde se ha eliminado la cubierta vegetal provocando su destrucción total o parcial.¹

2.4.3.5 Medidas Prevención. Uno de los aspectos esenciales en los programas de control de la erosión es la predicción de los lugares y las épocas en que puede presentarse una excesiva erosión. La pérdida de suelo por erosión en un lugar y momento determinado depende de muchos factores que han sido combinados en una sencilla expresión llamada “ecuación universal de la pérdida de suelo”. Esta ecuación se utiliza actualmente a nivel mundial para la elaboración de mapas de erosionabilidad.¹

2.4.3.6 Unidad De Medida Del Indicador.

- La unidad de medida del indicador se da en Toneladas /Hectárea año
- Área en magnitud (cantidad) e importancia (tipo de erosión)

2.4.3.7 Evaluación del indicador

La evaluación del indicador puede ser por métodos directos o indirectos y cada uno tiene su fórmula. La erosión del suelo puede medirse de diferentes maneras:

1. Proceso de cálculo general del indicador por teledetección:

Se utilizan imágenes de satélite o fotografías aéreas, para extraer de allí la información sobre localización, tipo e intensidad de la erosión.

2. Proceso de cálculo de pérdida de suelo en campo:

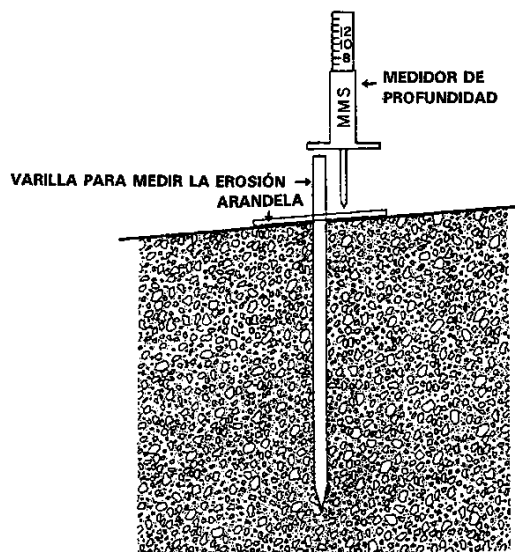
La medición directa de los cambios en el nivel del suelo resulta adecuada cuando la erosión está localizada, los índices de erosión son elevados y la posición de la erosión es predecible, como en las tierras en pendiente deforestadas, o los pasos del ganado a través de los pastizales. Esa medición no suele ser adecuada para las pérdidas de suelo de tierras cultivables debido a que el nivel de la superficie se verá afectado por el cultivo y los animales; Los cambios se pueden medir: a) en una dimensión con respecto al nivel de la superficie en un punto, o b) en dos dimensiones, para obtener un perfil o sección transversal, o c) en tres dimensiones para mediciones volumétricas de surcos o cárcavas.³

En la erosión producida por surcos o vías de escurrimiento, se miden la longitud de la sección erosionada y los cambios en el área transversal. En la erosión producida por cárcavas, normalmente se necesita información no sólo sobre la pérdida volumétrica, sino también sobre cuánto ha crecido la cárcava, por lo que también hay que medir los cambios en la longitud a medida que la cárcava se reduce. Otro método volumétrico consiste en medir o en calcular el volumen depositado por ejemplo en un abanico aluvial, o en un pozo de captación o embalse.³

También se pueden realizar mediciones indirectas como la utilización de Varillas para la medición de la erosión. (ver figura)

Este método ampliamente utilizado consiste en clavar en el suelo una varilla medidora de manera que en su parte superior se puedan "leer" los cambios en el nivel de la superficie del suelo. Conocidas con diversos nombres como postes, estacas y otros, las varillas pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore, que sea fácil de obtener y barato. Las barras de hierro redondas utilizadas para reforzar el hormigón pueden utilizarse a un costo reducido.

Figura 7 - Varillas para medir el cambio del nivel de la superficie



La varilla debe ser de una extensión que se pueda clavar en el suelo para obtener un dato concreto: 300 mm es una longitud corriente, puede ser menor si se trata de un suelo poco profundo o mayor si se trata de un suelo suelto. Es preferible que tenga un diámetro de unos 5 mm, ya que un espesor mayor puede interferir con la corriente de superficie y provocar su desgaste. Un dispositivo rectangular o cuadrado dará una distribución al azar de puntos con un espaciamiento adecuado para la zona que se está estudiando.

Existen otros métodos de medición indirecta como son los pines, las tapas, raíces descubiertas, altura de terrazas que pueden ser utilizados para el seguimiento y monitoreo del proceso.

3. Proceso de cálculo de pérdida de suelo por modelación: ¹²

Es conocido el modelo de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUYPS). Wischmeier y Smith la cual considera lo siguiente:

Esta Ecuación ha representado un instrumento valioso y eficaz durante casi cuarenta años. Sus buenas cualidades han inducido a que se intente utilizarla con fines para los que no estaba concebida, lo que ha motivado a veces que sea objeto de críticas injustificadas. Hubo un momento en que esto indujo al autor del sistema a explicar cómo se debería y cómo no se debería utilizar

(Wischmeier 1976). Su finalidad es muy sencilla y concreta. Proporciona un cálculo de la media de la pérdida anual de suelo de tierras arables bajo diversas condiciones de cultivo. La aplicación de este cálculo tiene por objeto dar a los agricultores y a los técnicos en conservación de suelos la posibilidad de elegir combinaciones de usos de la tierra, prácticas de cultivo y prácticas de conservación del suelo que mantengan la pérdida de suelo a un nivel aceptable; con la terminología actual se diría que tiene por objeto lograr que el sistema agrícola sea sostenible. Como se concibió para ser usada en el campo tenía que ser "fácil de resolver e incluir sólo factores cuyo valor en un lugar particular se pueda determinar a partir de los datos disponibles. Algunos detalles y perfeccionamientos posibles se sacrificaron en aras de la utilidad" (Wischmeier 1976).

La ecuación se presenta en la forma

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

donde:

A es la media de la pérdida anual de suelo en toneladas por hectárea

R es una medida de las fuerzas erosivas de las precipitaciones y la escorrentía

K es el factor de erosionabilidad del suelo, es decir, una cifra que refleja la susceptibilidad de un tipo de suelo a la erosión o sea la recíproca de la resistencia del suelo a la erosión

L es el factor de longitud, una relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo de una longitud específica de 22,6 metros

S es el factor de manejo, relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo de pendiente específica del 9%

C es un factor de manejo de los cultivos, relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo sometido a un tratamiento estándar de barbecho

P es el factor de la práctica de conservación, una relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo al que no se aplica ninguna práctica de conservación, es decir, arado en el sentido de la pendiente.

Estos elementos necesitan ciertas explicaciones, particularmente dado que inicialmente se originaron en unidades imperiales, y la conversión al sistema métrico o internacional ha sido la causa de múltiples errores y confusiones, agravados por el hecho de que las referencias del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos al tema (USDA 1978) contenía errores que se corrigieron en un suplemento de 1981.

Los factores L, S, C y P son cada uno de ellos relaciones sin dimensión que permiten comparar el lugar que se está estudiando con condiciones estándar de la base de datos.

R, el factor de erosividad, se calcula por el método del índice de erosión (EI_{30}) que es la suma de la energía cinética de cada tormenta (expresada en MJ/ha cuando se utilizan las unidades métricas en los Estados Unidos o en J/m^2 en Europa), multiplicada por la cantidad máxima de lluvia en un período de 30 minutos expresada en cm/h en los EE.UU. o en mm/h en Europa.

K, el factor de erosionabilidad, es la pérdida media de suelo en toneladas por hectárea para cada unidad del R métrico calculado por el método EI_{30} . En efecto, las unidades de K se eligen arbitrariamente, de modo que al multiplicarlas por R en sus unidades no convencionales, el producto se da en toneladas por hectárea.

Aunque R y C son factores anuales medios, se prevé una interacción entre ellos dentro del sistema. Por ejemplo, en primavera si el suelo está recién arado y sin ninguna cubierta vegetal y si las lluvias son altamente erosivas serán peligrosas, pero no constituirán ningún problema si son moderadas. Análogamente, la erosión del terreno después de la cosecha de otoño dependerá de la intensidad de las lluvias otoñales. Para prever esta posibilidad, el período vegetativo se puede dividir en varios períodos y los valores de C y R se calculan para cada uno de ellos. El efecto anual global es la suma del

producto correspondiente a cada período. Matemáticamente el efecto es el mismo:

$$C \times R = c_1r_1 + c_2r_2 + c_3r_3 \dots$$

El principio de una cuantificación por separado de las precipitaciones y de la erosionabilidad del suelo en tal forma que permita multiplicarlos juntos es igualmente válido en todas partes. Por supuesto, no existe ningún requisito teórico con respecto a esta forma y se podría construir un modelo en el que los efectos se agrupen por adición en lugar de multiplicación; sin embargo, esta forma es sencilla y funciona. Análogamente, el concepto de las relaciones sin dimensión para comparar una situación particular con un conjunto estándar de condiciones es asimismo transferible. Sería posible excluir alguno de los factores de las relaciones citadas o insertar otros, pero esto requeriría un programa de investigaciones complejo; un método más práctico consiste en tratar de establecer valores locales de los factores existentes.

El factor de erosividad R es empírico, pero el concepto de basarlo en la energía y la intensidad de las precipitaciones ha sido ratificado en muchos países. Las primeras veces que se intentó aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en los trópicos se llegó a predicciones alarmantemente elevadas de pérdida de suelo; la razón de esto era que la base de datos de los valores de la energía de las precipitaciones obtenidos en los Estados Unidos no abarcaban las elevadas intensidades de las lluvias tropicales y la extrapolación dio motivo a crasos errores. Como resultado de ello, se hicieron múltiples intentos para hallar otros estimadores empíricos de la erosividad; estudios posteriores de las precipitaciones de alta intensidad en países de todo el mundo establecieron valores más realistas para la energía de las precipitaciones de alta intensidad, que se han incorporado actualmente a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. En su forma actual el cálculo de los valores de erosividad por el método es probable que sea razonable para la mayor parte de los regímenes de precipitaciones.

El factor de erosionabilidad del suelo K es probablemente menos transferible, dado que varios estudios han demostrado que el nomograma de la Ecuación

Universal de Pérdida de Suelo no es aplicable a muchos suelos tropicales y subtropicales (Vanelsonde *et al.* 1984). Los cuatro factores incorporados al nomograma son el porcentaje de limo mas arena muy fina, el contenido de materia orgánica, la estructura del suelo y la permeabilidad. Es probable que la causa de la discrepancia se origine en que el contenido de limo y de arena muy fina y el de materia orgánica sean inferiores en los suelos tropicales que en los suelos de textura media de la región centro occidental de los Estados Unidos. La única manera segura de establecer valores locales de K consiste en utilizar las parcelas de escorrentía en condiciones uniformes de barbecho. Es aceptado que, una vez que se ha establecido el valor de K para un suelo, puede considerarse permanente. Esta es una simplificación útil cuando se utiliza la Ecuación Universal correctamente y en las condiciones ideales, pero de hecho el valor puede cambiar como resultado del manejo del suelo; por ejemplo, la estructura del suelo puede cambiar como resultado de las labores culturales, y el contenido de materia orgánica se puede reducir con la cosecha o aumentar con la incorporación de abonos orgánicos. Existe asimismo evidencia de variaciones estacionales de los valores de K, particularmente en climas con estaciones secas y húmedas pronunciadas.

En la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo los factores de longitud de la pendiente L y la inclinación de la pendiente S esto se hace sólo en áreas de la conveniencia, dado que los dos factores se deducen de dos relaciones separadas y diferentes. La base de datos de los Estados Unidos en lo que respecta al factor de inclinación S se extiende hasta los 18°, pero es bastante probable que las características físicas del flujo de los fluidos y el transporte de sedimentos no sean iguales en pendientes muy inclinadas; este aspecto debe ser objeto de una investigación local. El factor de longitud L es menos probable que varíe y la necesidad de convalidar esta relación es secundaria. El factor de manejo de la cubierta vegetal C necesita ser investigado. Las rotaciones y variaciones de los cultivos en la región centro occidental de los Estados Unidos han sido investigadas y documentadas detalladamente; es evidente que el principal objetivo del factor C estriba en reflejar cuánta protección aporta al suelo la cubierta vegetal. Este principio será el mismo con cualquier práctica de cultivo, pero los trabajos de preparación del suelo y del manejo del cultivo

pueden ser muy distintos de los de la región centro occidental por lo que será conveniente proceder a investigaciones locales de C.

La práctica de conservación P es apenas aproximada en la Ecuación Universal si se la compara con la precisión con la que se calculan otros factores. Una de las razones de ello es que el efecto de trabajos importantes de la superficie, como las terrazas inclinadas con canal no puede evaluarse de manera satisfactoria en pequeñas parcelas. Foster, Moldenhauer y Wischmeier (1982) sugieren que la mayoría de las prácticas mecánicas como el establecimiento de curvas de nivel, el cultivo en franjas, las terrazas y los surcos siguiendo las curvas de nivel que se utilizan para aumentar la protección proporcionada por la rotación de cultivos, la cubierta y los residuos vegetales, son probablemente transferibles.

2.5 PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS E INDICADORES DE DEGRADACION QUIMICA

2.5.1 DESEQUILIBRIO ELEMENTAL

2.5.1.1 Contaminación

2.5.1.1.1 Definición. Por contaminación indicamos la existencia de un agente químico que está presente en el ambiente, a una concentración tal que genera un efecto fisiológico desfavorable en los organismos y, por tanto, puede causar un cambio ecológico.¹¹ Se consideran elementos tóxicos los metales pesados tales como Ag, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Sn y Zn, así como otros elementos, tales como Al, As y Se. Todos estos elementos son ubicuos, al menos en concentraciones traza. Además, algunos son requeridos por las plantas y animales como nutrientes esenciales. Bajo ciertas condiciones estos elementos se acumulan en concentraciones tóxicas, produciendo daños ecológicos.¹⁶

2.5.1.1.2 Causas. La contaminación del suelo es un fenómeno de origen antrópico que se produce como consecuencia de la liberación de sustancias

químicas, físicas o biológicas al medio terrestre durante los procesos productivos desarrollados por el hombre. La aplicación indiscriminada al terreno de lodos procedentes de depuradoras así como la aplicación excesiva de residuos ganaderos puede producir una degradación del suelo debido a una adición excesiva de nutrientes o contaminantes, como los metales pesados, o patógenos, algunos de los cuales pueden persistir en el suelo mientras que otros pueden transmitirse a la cadena trófica.^{11,16}

2.5.1.1.3. Efectos adversos. Dada la facilidad de transmisión de contaminantes del suelo a otros medios como el agua o la atmósfera, serán estos factores los que generan efectos nocivos, aun siendo el suelo el responsable indirecto del daño.

La presencia de contaminantes en un suelo supone la existencia de potenciales efectos nocivos para el hombre, la fauna en general y la vegetación. Estos efectos tóxicos dependerán de las características toxicológicas de cada contaminante y de la concentración del mismo. La enorme variedad de sustancias contaminantes existentes implica un amplio espectro de afecciones toxicológicas cuya descripción no es objeto de este trabajo.¹⁶

De forma general, la presencia de contaminantes en el suelo se refleja de forma directa sobre la vegetación induciendo su degradación, la reducción del número de especies presentes en ese suelo, y más frecuentemente la acumulación de contaminantes en las plantas, sin generar daños notables en estas. En el hombre, los efectos se restringen a la ingestión y contacto dérmico, que en algunos casos desembocan en intoxicaciones por metales pesados y más fácilmente por compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles.¹⁷

Indirectamente, a través de la cadena trófica, la incidencia de un suelo contaminado puede ser más relevante. Absorbidos y acumulados por la vegetación, los contaminantes del suelo pasan a la fauna en dosis muy superiores a las que podrían hacerlo por ingestión de tierra. Cuando estas sustancias son bioacumulables el riesgo se amplifica al incrementarse las concentraciones de contaminantes a medida que ascendemos en la cadena trófica, en cuya cima se encuentra el hombre. Las precipitaciones ácidas sobre

determinados suelos originan, gracias a la capacidad intercambiadora del medio edáfico, la liberación del ion aluminio, desplazándose hasta ser absorbido en exceso por las raíces de las plantas, afectando a su normal desarrollo.¹⁷

En otros casos, se produce una disminución de la presencia de las sustancias químicas en el estado favorables para la asimilación por las plantas. Así pues, al modificarse el pH del suelo, pasando de básico a ácido, el ion manganeso que está disuelto en el medio acuoso del suelo se oxida, volviéndose insoluble e inmovilizándose.¹⁷

La consecuencia más importante de la contaminación medioambiental es la aparición de efectos perjudiciales sobre los organismos vivos, incluyendo al hombre, y los ecosistemas. Estos efectos perjudiciales se centran en la aparición de problemas patológicos concretos en individuos y poblaciones y en la modificación de la estructura y función de comunidades y ecosistemas, y deben ser valorados desde un punto de vista ecotoxicológico.¹⁶

La presencia de metales como contaminantes pueden producir a las plantas diferentes alteraciones, tales como:²⁰

Tabla 2. Efectos de algunos metales sobre las plantas

METAL	EFFECTOS
ALUMINIO	Inhibición de la división celular, alteración de la membrana celular y de las funciones a nivel citoplásmico.
ARSÉNICO	Reducción del crecimiento y alteración de la concentración de Ca, K, P y Mn en la planta.
CADMIO	Inhibición de la fotosíntesis y la transpiración. Inhibición de la síntesis de clorofila. Modificación de las concentraciones de Mn, Ca y K.
COBRE	Desbalance iónico, alteración de la permeabilidad de la membrana celular, reducción del crecimiento e inhibición de la fotosíntesis.

CROMO	Degradación de la estructura del cloroplasto, inhibición de la fotosíntesis. Alteración de las concentraciones de Fe, K, Ca y Mg.
MERCURIO	Alteración de la fotosíntesis, inhibición del crecimiento, alteración en la captación de K.
PLOMO	Inhibición del crecimiento, de la fotosíntesis y de la acción enzimática.
ZINC	Alteración en la permeabilidad de la membrana celular, inhibición de la fotosíntesis, alteración en las concentraciones de Cu, Fe y Mg.

Los plaguicidas son contaminantes que deterioran el suelo. Ciertamente los plaguicidas representan una garantía para el mejoramiento de las cosechas, la producción de alimentos y la erradicación de epidemias, epizootias y plagas, pero su mala administración y su empleo excesivo conducen a la degradación del suelo.²⁰

Los detergentes son contaminantes del suelo y del agua, al ser acarreados por el drenaje provocan espuma y capas de diferente densidad y constitución químicas que cambian las características de las aguas y de los suelos, matando microfauna y microflora o favoreciendo su reproducción en exceso, lo que provoca una disminución del contenido de oxígeno y la putrefacción masiva que deteriora al suelo.²⁰

Los plaguicidas son todas aquellas sustancias químicas utilizadas para eliminar o controlar aquellos organismos hostiles al hombre, y se clasifican, por su composición química, por el tipo de organismo que destruyen, o por características como: persistencia, toxicidad, tendencia a disolverse en agua o a evaporarse. Su potencial como contaminante del medio ambiente depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.²⁰

2.5.1.1.4 Control de la Contaminación²³. Se puede definir el tratamiento y recuperación de suelos contaminados como un conjunto de operaciones que se deben realizar con el objetivo de controlar, disminuir o eliminar los contaminantes y sus efectos. Una de las posibles divisiones de los sistemas de tratamiento se establece en función de tres categorías de actuación:

1. No Recuperación: Cuando se opta por la medida de no recuperación del espacio, se debe tener en cuenta que se parte de un espacio contaminado, aunque el estudio de viabilidad determine esa opción. Así pues, se tiene que registrar la localización real del espacio. Esta sencilla solución evita una gama de problemas importantes generados a posterior, por un uso del suelo para el que ya no es adecuado (agricultura, residencial, espacios de ocio,...).

2. Contención o Aislamiento de la Contaminación: Consiste en establecer medidas correctas de seguridad que puedan controlar la situación presente, impidiendo la progresión de la contaminación en el medio y mitigando riesgos relacionados con esta dispersión de contaminantes.

Aislamiento: Consiste en aislar el foco emisor de la contaminación, limitando el potencial de migración y difusión de los contaminantes mediante la construcción de barreras superficiales y/o subterráneas, de forma que se impida la movilización horizontal de los contaminantes. Esta tecnología suele usarse como medida temporal para evitar la generación de lixiviados, la entrada de los contaminantes en los cursos de agua o la infiltración en las aguas subterráneas.

Reducción de las volatilizaciones: Pretende suprimir las corrientes de aire, para evitar la volatilización de compuestos orgánicos. Los métodos incluyen la reducción del volumen de poros del suelo, mediante la adición de agua, o por compactación o el sellado de la capa superficial del suelo mediante coberturas (con membranas sintéticas, arcillas, asfalto, cemento,...).

Control de lixiviados: El objeto es impedir la dispersión de contaminantes a través de las aguas recogiendo los lixiviados procedentes del suelo contaminado en aquellas situaciones en que ello sea posible, como en

vertederos controlados de residuos sólidos urbanos. Otro sistema de control consiste en el bombeo de las aguas subterráneas afectadas por la lixiviación de los contaminantes.

3. La elaboración de un plan de saneamiento precisa una cierta delimitación del resultado mínimo a alcanzar.

Se dividen en dos tipos de tratamiento y/o recuperación de suelos en dos grandes grupos:

1. Tratamiento IN SITU, que implican la eliminación de los contaminantes sobre el propio terreno, sin remoción del mismo.
2. Tratamiento EX SITU, en los que se produce la movilización y traslado del suelo a instalaciones de tratamiento o confinación.

2.5.1.1.5 Evaluación de la Contaminación del Suelo

El concepto de evaluación en medio ambiente es de gran importancia. Son muy numerosos los métodos existentes para llevar a cabo el muestreo y el análisis de muestras ambientales, recurriéndose habitualmente a criterios internacionales de orígenes diversos. La evaluación implica la utilización de numerosas herramientas con el objetivo último de conocer y valorar una situación, permitiendo el posterior planteamiento de actuaciones. Toda evaluación requiere como mínimo una toma de muestras y datos en campo y un posterior análisis en laboratorio.

- **Muestreo.**

Cualquier estudio de contaminación del medio, ya sea del aire, del agua o del suelo, comienza con la obtención de los datos sobre el estado inicial del mismo, ya que son imprescindibles al momento de adoptar medidas de tratamiento y control de la contaminación; y de su conservación.

Al diseñar una campaña de toma de muestras hay que tener en cuenta si éstas se van a tomar directamente en el foco emisor o bien el estudio se enfoca al

efecto producido en el medio. En el primer caso, se buscará la cantidad y tipo de contaminante, mientras que en el segundo se intentará cuantificar la dispersión, el grado de contaminación y la influencia que éste produce. La finalidad de la toma de muestras es conseguir que una fracción extraída del medio a estudiar sea representativa del medio, así como de fácil manipulación, determinación y conservación. Es esencial que la manipulación de la muestra no afecte a la composición de la misma desde que se toma hasta el momento en que se realiza el análisis.

Un problema de contaminación en el suelo, debe ser considerado de manera global. El suelo no es un medio aislado sino que guarda una estrecha relación con los demás componentes del ecosistema, de manera que las aguas profundas, superficiales, la atmósfera, la flora y fauna integran el medio receptor que debe ser considerado cuando un proceso contaminante afecta al suelo. En definitiva, todas las alteraciones producidas como consecuencia de proceso contaminante repercutirán en la materia viva e inerte del suelo a través de efectos o acciones directas o a través de aquellas que se ejerzan en compartimentos cercanos al ecosistema.¹⁶

2.5.1.1.6 Unidad de medida. El primer paso para valorar un proceso contaminante que afecta a un compartimiento de un medio ambiente, ya sea suelo, agua, atmósfera, etc., siempre ha sido el conseguir disponer de unos criterios o niveles de seguridad que nos permitan definir el carácter contaminante o no de los compuestos presentes. En el caso del suelo, por ser éste un medio cuyo interés se ha demostrado muy recientemente, se dispone de muy poca información acerca de niveles aceptables para los compuestos y sustancias que pueden estar presentes.¹⁶

Por esto, se utilizó y aun se sigue utilizando con frecuencia, aquellos que existen para organismos acuáticos, asumiendo que la migración de estos compuestos, y la de cualquier otro que se llegue a depositar en el suelo, tendrán como destino último las aguas subterráneas o las superficiales. Además se ha asumido la consideración de que los organismos terrestres son tan sensibles como los acuáticos, razón por la cual, asumiendo el equilibrio y

usando constantes de partición, se pueden calcular las concentraciones que representan un riesgo para el comportamiento del suelo.

En la actualidad no se ha desarrollado un indicador que determine el estado de degradación del suelo por contaminación, sin embargo existen pruebas o ensayos que permiten conocer el estado de contaminación de un suelo.

2.5.1.1.7 Como se Determina la Contaminación

La medida del desprendimiento de CO₂ se ha empleado para estimar la biomasa microbiana del suelo que realmente es activa. La medida de respiración del suelo en presencia de productos potencialmente tóxicos empleados puede permitir evaluar los daños causados por estos productos sobre las funciones fisiológicas de los suelos.

Puesto que la contaminación suele definirse como la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias y energías en el medio ambiente, es fácil entender que la forma “tradicional” de medir la contaminación haya sido el análisis fisicoquímico de muestras ambientales para determinar la concentración existente de esas sustancias introducidas por el hombre, y establecer comparaciones con las concentraciones existentes en zonas supuestamente no contaminadas o en la misma zona antes de sufrir la contaminación.

La valoración de la contaminación del suelo mediante análisis fisicoquímico exclusivamente, supone que se establezcan de antemano los contaminantes potenciales concretos que se van a considerar a lo largo del estudio. Un caso típico sería la persistencia de un plaguicida tras su aplicación directa en un suelo cultivado.

No obstante, en muchos casos el objetivo del estudio va más allá de la mera descripción de las concentraciones detectadas o de su evolución espacio temporal. En estos casos, la información toxicológica sobre el compuesto o compuestos analizados debe ser suficientemente amplia como para poder valorar los efectos de las concentraciones encontradas, tanto sobre los organismos vivos relacionados con el suelo, como sobre el ecosistema en su

conjunto. En caso contrario, se ve la necesidad de incluir en el estudio sistemas de valoración biológica, y en concreto ensayos de toxicidad, para poder alcanzar los objetivos.

Estos son procedimientos por el que un sistema biológicos (animales, plantas, microorganismos, células, etc.) se expone a un compuesto (o elemento) químico o agente físico, para estudiar las consecuencias de dicha exposición mediante la valoración de una serie de respuestas o parámetros de toxicidad en el sistema biológico (muerte de los individuos, alteraciones del crecimiento, incremento de la tasa de mutaciones, aparición de cáncer).

Existen una gran cantidad de tipos de ensayos que se pueden realizar en muestras de suelos, sin embargo, el estudio se concentrará en aquellos que mayor utilidad generan, y que están referidos fundamentalmente a la flora y la mesofauna del suelo. El ensayo toxicológico típico para la valoración de la toxicidad en suelos es el ensayo con gusanos de tierra con suelo artificial. Consiste en mantener gusanos de tierra, *Eisenia foetida*, *lumbricus terrestres* o *pheretima posthuma*, u otra especie semejante, en un suelo artificial (mezcla de turba esfágnea, arcilla caolinítica, arena de cuarzo y carbonato cálcico) al que se le añade la sustancia a ensayar, y contar el número de sobrevivientes a los 14 días. Con el dato obtenido a partir de 5 concentraciones en serie geométrica no separadas entre sí por un factor mayor que 1.8 se obtiene la CL_{50} o concentración letal media. Otro ensayo de valoración de suelos es el de germinación de una planta superior. En éstos ensayos se deben realizar controles que demuestren que el efecto observado se debe única y exclusivamente a la sustancia ensayada.

2.5.2 ACIDIFICACIÓN

2.5.2.1 Definición. La acidificación es la tendencia del complejo de cambio del suelo a cargarse con más cantidad de iones H^+ , con el consiguiente detrimento del resto de los cationes minerales.

2.5.2.2 Causas. Es un proceso natural que tiene lugar a través de diferentes mecanismos (p. e., lixiviación de las bases del suelo por el agua de lluvia o la disociación de ácidos carbónicos y orgánicos), el hombre, con el desarrollo de sus actividades económicas, especialmente las industriales y el tráfico rodado, puede acelerar en gran medida este proceso. La agricultura intensiva, la utilización inadecuada de fertilizantes y la deposición atmosférica de compuestos de azufre y nitrógeno (SO_2 , NO_x , NH_3), procedentes de actividades industriales así como de la utilización de combustibles fósiles, son las principales causas que pueden acelerar el proceso de la acidificación.

2.5.2.3 Efectos Adversos. Bajo estas condiciones(acidez) , el suelo, una vez agotada su capacidad de amortiguación, puede liberar elementos potencialmente contaminantes al medio ambiente que anteriormente se encontraban inmovilizados. Asimismo, la acidificación conduce a una pérdida de la fertilidad de los suelos producida, entre otros factores, por el lavado de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la destrucción de comunidades de organismos beneficiosos.

2.5.2.4 Unidad de Medida del Indicador. ¹³

Se mide en la relación suelo agua y comprende los iones H^+ en la solución del suelo. Es equivalente a la medida del pH en soluciones suelo agua. Su interpretación se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de la acidez

RANGO DE pH	CLASIFICACION
Mayor de 8.0	Muy alcalino
7.4-8.0	alcalino
6.6-7.3	Neutro o casi neutro
6.1-6.5	Ligeramente ácido
5.6-6.0	Moderadamente ácido
5.1-5.5	Fuertemente ácido

4.6-5.0	Muy fuertemente ácido
Menores de 4.5	Extremadamente ácido

2.5.2.5 Métodos de medición:

1. Colorimétricos

Es un método cualitativo bastante aproximado para determinar el pH del suelo en campo. El procedimiento más empleado en estudios de suelos, se basa en el cambio de color que presenta el suelo cuando se humedece con un indicador triple Hellige, compuesto de bromocresoles en presencia de sulfato de bario. El rango de pH se puede aproximar por estos métodos es de 0.5 unidades, si se compara con el método potenciométrico.¹³

Las tonalidades de color indicadoras del rango de pH por el método colorimétrico son las siguientes:

- pH fuertemente ácido dan colores amarillos.
- pH moderado o ligeramente ácidos dan colores amarillos verdosos
- pH neutro dan colores verdes
- pH alcalinos dan colores violetas y azulosos.¹³

2. Potenciométrico

Consisten en medir la diferencia de potencial que se establece entre la solución del suelo problema y una solución cuya concentración de iones de hidrógeno se conoce. Para efectuar medidas de pH en el potenciómetro se han sugerido diversas técnicas: Relación suelo-agua 1:1, 1:2.5, 1:5, 1:10. También se acostumbra efectuar la medida de pH en una solución salina neutra como KCl 1N en relación suelo-solución KCl 1:1, 1:25.

Para efectos prácticos la mayoría de los laboratorios de suelos del país, acordaron determinar el pH en relación suelo: agua como 1:1.¹³

2.5.3 SALINIZACIÓN

2.5.3.1 Definición. La salinización es el enriquecimiento del suelo en sales solubles por encima de los niveles tolerables por las plantas.

2.5.3.2 Causas.

- **Causas naturales¹⁴**

En primer lugar pueden proceder directamente del material original. Efectivamente algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias, contienen sales como minerales constituyentes. Por otra parte, en otros casos ocurre que si bien el material original no contiene estas sales, se pueden producir en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madre.¹⁴

Por otra parte, también las sales disueltas en las aguas de escorrentía, se acumulan en las depresiones y al evaporarse la solución se forman acumulaciones salinas. Muchos de los suelos salinos deben su salinidad a esta causa.¹⁴

También frecuentemente los suelos toman las sales a partir de mantos freáticos suficientemente superficiales (normalmente a menos de 3 metros). Los mantos freáticos siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y en las regiones áridas estas sales ascienden a través del suelo por capilaridad. En general, la existencia de mantos freáticos superficiales ocurre en las depresiones y tierras bajas, y de aquí la relación entre la salinidad y la topografía.

La contaminación de sales de origen eólico es otra causa de contaminación. El viento en las regiones áridas arrastra gran cantidad de partículas en suspensión, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros que pueden contribuir en gran medida a la formación de suelos con sales.¹⁴

El enriquecimiento de sales en un suelo se puede producir, en las zonas costeras, por contaminación directa del mar, a partir del nivel freático salino y por la contribución del viento.

En algunas ocasiones, la descomposición de los residuos de las plantas, liberan sales que estaban incluidas en sus tejidos y contribuyen de esta manera a aumentar la salinidad del suelo; otras veces las plantas contribuyen a la descomposición de minerales relativamente insolubles y a partir de ellos se forman sales. De cualquier manera, aunque este efecto ha sido mostrado por varios autores (examinando la salinidad de suelos sin vegetación y suelos con un determinado tipo de vegetación) globalmente este efecto carece de importancia.¹⁴

- **Contaminación antrópica**

La salinidad del suelo también puede producirse como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre. La agricultura, desde su comienzo, ha provocado situaciones de salinización, cuando las técnicas aplicadas no han sido las correctas.

La actividad agraria y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad: cuando se han empleado aguas conteniendo sales sin el debido control (acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos), o bien cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación.

2.5.3.3 Efectos Adversos. En las primeras fases de la salinización se pueden producir serios daños sobre los cultivos por las dificultades creadas para la absorción de agua y nutrientes o por la toxicidad directa de alguno de los elementos. Consecuentemente la economía de las regiones afectadas, por lo general basada en la agricultura frutícola y hortícola, se ve altamente perjudicada por la reducción del rendimiento de las cosechas. En fases más avanzadas se produce la destrucción de la estructura del suelo, inutilizándolo para su uso agrícola tradicional⁽¹¹⁾

La salinización de los suelos constituye un problema doble ya que por un lado hipoteca el uso agrícola de los recursos naturales, poniendo en peligro la economía de las regiones afectadas, y por otro dificulta el abastecimiento de productos agrícolas exclusivos de estas zonas al resto de los países europeos.

Pero el fenómeno de la salinización no afecta únicamente a las regiones de clima árido, también tiene lugar en zonas que se ven afectadas por el hielo durante varios meses del año, ya que normalmente se recurre a esparcir sal por las carreteras y aeropuertos para luchar contra el hielo y de este modo mantener abiertas las infraestructuras al tráfico rodado o aéreo. Una vez que el hielo se funde, la escorrentía de las aguas arrastra la sal a los cauces, produciéndose la salinización de los terrenos en los que la pendiente es casi nula o bien se remansa el agua en ellos.¹¹

2.5.3.4 Unidad de medida del indicador

Medida de la salinidad: conductividad eléctrica (CEs)

La conductividad eléctrica ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, hoy día las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m). Por tanto la CEs refleja la concentración de sales solubles en la disolución.

Para distinguir suelos salinos de no salinos, se han sugerido varios límites arbitrarios de salinidad. Se acepta que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido en sales excede del 1%. La clasificación americana de suelos, Soil Taxonomy, adopta el valor de 2 dS/m como límite para el carácter salino a nivel de gran grupo y subgrupo, pues considera que a partir de ese valor las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil (y por tanto la génesis) quedan fuertemente influenciadas por el carácter salino. Mientras que el laboratorio de salinidad de los EE.UU. ha establecido el límite de 4 dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas (punto de vista, pues, aplicado).

Tabla 4. Clasificación según la Salinidad del suelo

SALINIZACIÓN	
Clase	Aumento C.E. dS/m/año
Nula o ligera	< 2
Moderada	2 - 3
Alta	3 - 5
Muy alta	> 5

En base a la CEs el United States Salinity Laboratory de Riverside establece los siguientes grados de salinidad.

- 0 - 2 Suelos normales
- 2 - 4 Quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles. Suelos ligeramente salinos.
- 4 - 8 Quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos. Suelos salinos.
- 8 - 16 Sólo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes. Suelos fuertemente salinos.
- > 16 Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables. Suelos extremadamente salinos.

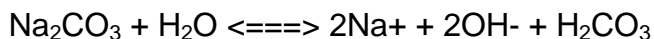
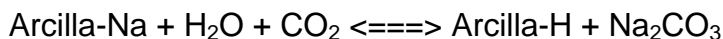
La CE de un suelo (CEs) cambia con el contenido en humedad, disminuye en capacidad máxima (se diluye la solución) y aumenta en el punto de marchitamiento (se concentran las sales). Se ha adoptado que la medida de la CEs se hace sobre el extracto de saturación a 25°C. A una muestra de suelo se le añade agua destilada a 25°C hasta conseguir la saturación y se extrae el agua de la pasta mediante succión a través de un filtro.

2.5.4 SODICIDAD

2.5.4.1 Definición. La sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Junto a estas sales de base fuerte NaOH y ácido débil (H_2CO_3), existen importantes cantidades de sales sódicas neutras carentes de propiedades alcalinizantes (principalmente cloruros y sulfatos) y sales de calcio y magnesio.

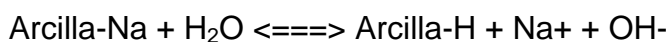
Un elevado contenido en Na^+ en la solución del suelo, en relación con el Ca^{++} y Mg^{++} , da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provocaría, dada su baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides y, con ellos, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. Según varios autores la concentración de Na^+ frente al Ca^{++} y Mg^{++} en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el Na^+ pueda desplazar al Ca^{++} y Mg^{++} en el complejo de cambio, dada la menor energía de adsorción del sodio. Es generalmente admitido que para que el sodio juegue un importante papel en la evolución del suelo, es decir, para que se produzca la alcalinización, la concentración de sodio adsorbido frente a los otros cationes ha de superar el valor crítico del 15%, o sea $\text{Na} / \text{S} > 15\%$ (S = suma de otros cationes adsorbidos).

Las arcillas saturadas en Na tienen propiedades particulares, en presencia de agua de lluvia por tanto con CO_2 disuelto, se hidrolizan, liberando Na^+ y OH^- según la siguiente ecuación:



Como consecuencia el medio se alcaliniza rápidamente, alcanzándose valores de pH progresivamente cada vez más altos; 9, 10 o incluso más.

Las ecuaciones anteriores se pueden simplificar en una:



2.5.4.2 Efectos adversos. La alcalinización del perfil produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan, los agregados estructurales se destruyen. Las arcillas y los ácidos húmicos se iluvian, acumulándose en el horizonte B, formándose un horizonte de acumulación de arcillas sódicas, es decir, que se origina un horizonte nátrico (si la intensidad de la iluviación es suficiente). Los cambios estacionales producen el hinchamiento y contracción de las arcillas sódicas (montmorillonita) formándose una estructura prismática fuertemente desarrollada. Finalmente, como el medio se ha vuelto fuertemente alcalino, la cristalinidad de las arcillas disminuye, se vuelven inestables, parte de ellas se descomponen, se destruyen los vértices y aristas superiores de los prismas originándose una estructura muy peculiar llamada columnar que presenta la cara superior de los prismas redondeada. En ocasiones, los humatos sódicos iluviados se acumulan en estas superficies revistiéndolas de colores muy oscuros.

Este proceso se puede dar directamente en el suelo o puede aparecer a continuación del proceso de salinización, cuando se produce el lavado de las sales más solubles y se acumulan los carbonatos y bicarbonatos sódicos.

En los suelos sódicos, es el sodio el que causa la toxicidad, que podemos centrar en tres vías distintas: efecto nocivo del sodio activo para el metabolismo y nutrición de las plantas; toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones; elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos (Simón, 1996).

De las sales solubles son los sulfatos los que menos toxicidad presentan. Las sales cloruradas son altamente tóxicas. Las sales sódicas presentan una toxicidad muy alta y además su efecto adverso se ve aumentado por el elevado pH que originan (9,5 a 10,5).

2.5.4.3 Unidad de Medida del indicador

Medida de la sodicidad: PSI y RAS

La concentración en Na se puede medir bien en la solución del suelo o bien en el complejo de cambio. En el primer caso se denomina razón de adsorción de sodio (RAS) y en el segundo hablamos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

En los suelos es muy importante determinar que tipo de cationes predominan en el complejo adsorbente (si es el Ca^{++} o por el contrario el Na^+). El porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos se denomina porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

$$\text{PSI} = 100 \times \text{Na} / \text{CIC}$$

Siendo CIC la capacidad de intercambio de cationes (en ocasiones llamada capacidad de cambio de cationes y representada por CCC).

Se considera que un suelo puede empezar a sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el $\text{PSI} > 15\%$.

Otra manera de determinar la sodicidad de un suelo es evaluar la concentración de Na^+ en la solución del suelo en vez de medir su concentración en el complejo adsorbente como hace el PSI. Para estimar así el grado de sodificación, Richards et al., (1954) proponen la razón de adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} en $\text{mmol} / \text{dm}^3$ de las soluciones salinas:

$$\text{RAS} = \text{concentrac. de } \text{Na}^+, \text{ dividido por la raíz cuadrada de la suma de las concentr. de } \text{Ca}^{++} \text{ y } \text{Mg}^{++}$$

A partir del RAS se puede calcular el porcentaje de sodio intercambiable (PSI):

$$\text{PSI} = 100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS}), \text{ dividido por } 1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS})$$

Se puede relacionar, así mismo, la presión osmótica OP con la conductividad eléctrica del extracto ECs, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{OP} = 0,36 \times \text{ECs (mmhos/cm)}$$

De esta forma se evalúan los suelos sódicos, cuando la CE es menor de 4 dS/m a 25°C y el PSI es mayor de 15%, siendo los suelos salinos-sódicos aquellos que tienen un a CE mayor de 4 dS/m a 25°C y un PSI mayor de 15%.

Quedan por consiguiente establecidas las siguientes categorías de suelos:

- Suelos Normales: CE < 4 dSm⁻¹ a 25°C y PSI < 15%
- Suelos Salinos: CE > 4 dSm⁻¹ a 25°C y PSI < 15%
- Suelos Sódicos: CE < 4 dSm⁻¹ a 25°C y PSI > 15%
- Suelos Salino-Sódicos: CE > 4 dSm⁻¹ a 25°C y PSI > 15%

FAO ponen de manifiesto la importancia climática en la formación de estos suelos. Consideran que existe un alto riesgo de salinización de suelos cuando el índice P/ETP es inferior de 0,75.

2.6 DEGRADACION BIOLOGICA

2.6.1 Definición. El resultado inmediato de la degradación biológica es la pérdida de la materia orgánica, cuyas consecuencias principales son un aumento de la degradación física, la pérdida de nutrientes y un aumento de la escorrentía que acelera los procesos erosivos.

Podemos definir la degradación biológica como aquella que hace referencia a los procesos que aumentan la velocidad de mineralización de la materia orgánica. La descomposición de la materia orgánica es función de la actividad microbiana, la cual a su vez lo es de la temperatura y humedad del suelo.

2.6.2 Pérdida de la Materia Orgánica.

2.6.2.1 Definición. La materia orgánica es vital para que el suelo pueda realizar sus funciones clave por lo que resulta un factor determinante de la fertilidad del suelo y de resistencia frente a la erosión. Las propiedades del suelo sobre las que más influencia tiene la materia orgánica son la estabilidad, el tamaño y la distribución de los agregados, la densidad, la economía del agua, y el régimen térmico. Asimismo, garantiza la capacidad de cohesión y amortiguación del suelo, lo que contribuye a limitar que la contaminación difusa del suelo llegue al agua. (11)

La acumulación de materia orgánica en el suelo es un proceso lento, mucho más lento que la mineralización de la misma. Este proceso de acumulación se ve favorecido por el empleo de técnicas y prácticas adecuadas de gestión, la mayoría de las cuales son eficaces también a la hora de prevenir la erosión, aumentar la fertilidad y potenciar la biodiversidad del suelo. (11)

2.6.2.2 La materia orgánica como indicador de la calidad.

La mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica es el principal indicador y el que ejerce una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad.⁹

Reeves (1997) señala que el carbono orgánico es el atributo más analizado en estudios de larga duración y es escogido como el indicador más importante de calidad del suelo y de sustentabilidad agronómica, debido a su efecto sobre otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.⁹

La materia orgánica está relacionada con otros indicadores físicos, como profundidad y color del suelo, estructura edáfica, infiltración y escorrentía superficial, cobertura vegetal y facilidad de laboreo. También está asociada a indicadores químicos, como formas asimilables de nutrientes y pérdidas de bases, e indicadores biológicos, como producción de biomasa, cantidad de raíces y actividad de indicadores invertebrados.

Kapkiyai et al. (1999) señalaron que la fracción joven de la materia orgánica resulta clave para interpretar cambios en la fertilidad del suelo y puede ser utilizada como un índice de su calidad. De similar manera, Biederbeck et al. (1998) comprobaron que las fracciones lábiles de la materia orgánica son indicadores más sensibles a los cambios en la calidad del suelo que el carbono orgánico y el nitrógeno total. En este caso, la sensibilidad disminuyó en el siguiente orden: tasa de mineralización potencial del nitrógeno > mineralización del carbono > estabilidad de los agregados en húmedo > fracción liviana de la materia orgánica del suelo > materia orgánica y nitrógeno total.⁹

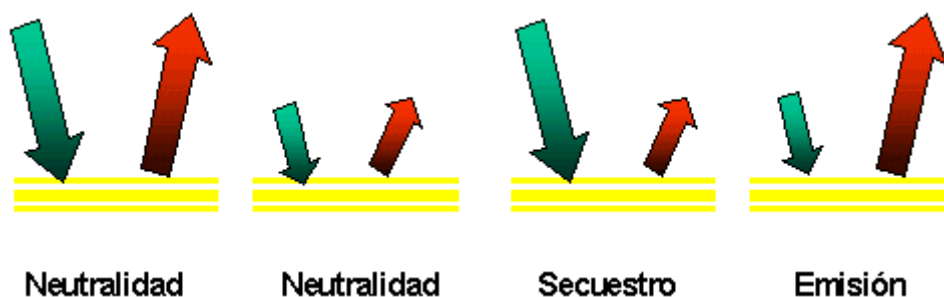
Recientemente, en el Congreso Brasileiro de la Ciencia del Suelo, se destacó que la materia orgánica joven (fracción >53 µm) resultó cuatro veces más sensible que la materia orgánica total como indicador de calidad de suelo.

La materia orgánica joven está compuesta principalmente por fragmentos de raíces parcialmente descompuestas (Cambardella y Elliott, 1993). El incremento de esta fracción es dependiente del aporte anual de residuos de cultivos. Al respecto, resultan importantes los resultados obtenidos por Duiker y Lal (1999), quienes evaluaron el efecto de la aplicación de distintos niveles de residuos de trigo y sistemas de labranza sobre el secuestro o pérdida de carbono orgánico. Luego de ocho años de siembra directa y siembra convencional continua comprobaron un efecto positivo de la tasa de aplicación de residuos sobre la materia orgánica en todos los tratamientos de labranza. A su vez, luego de 11 años de mediciones, Campbell et al. (1997) comprobaron una estrecha relación entre los indicadores más sensibles de calidad y el promedio anual de rastrojo producido.⁹

Unger et al. (1997) concluyeron que la labranza conservacionista es efectiva para mantener la materia orgánica del suelo solamente cuando moviliza una adecuada cantidad de residuos.

En la Figura 8 se muestran posibles balances de carbono, con situaciones que mantienen un equilibrio aparente en el tiempo (Neutralidad); suelos donde aumenta el contenido de carbono (Secuestro) y suelos con pérdida de carbono (Emisión).

Figura 8. Ejemplos de balances de carbono en el suelo



2.6.2.3 Causas. Se produce una pérdida importante de materia orgánica del suelo, por la combustión. Ello produce una desestabilización de los agregados, y una disgregación progresiva de los mismos. La materia sólida puede así ser eliminada del suelo por la acción erosiva del agua de lluvia o del viento. En suelos que son constantemente cultivados, las prácticas agrícolas (preparación, riesgos, cosechas, etc.) agotan la materia orgánica del suelo.

2.6.2.4 Efectos adversos. Los cambios en los contenidos de materia orgánica atribuibles al manejo afectan algunas propiedades físicas de los suelos, aumentos en la densidad aparente, susceptibilidad a la compactación, disminución de la estabilidad estructural y reducción en la velocidad de infiltración y en la conductividad hidráulica (Quiroga, 1994).

2.6.2.5 Importancia de conservar el contenido de materia orgánica¹⁵. La materia orgánica es uno de los factores clave en el manejo del suelo ya que es la encargada de un gran número de funciones en el suelo. Es el sustrato de los microorganismos que viven en el suelo, el alimento natural. Ellos hacen las transformaciones en el suelo cuyo producto luego aprovecha la planta.¹⁵

También tiene la función de mantener la estructura física del suelo. Si el suelo pierde materia orgánica, pierde su capacidad de resistir los cambios provocados por el uso. Los agregados se hacen más débiles. Los poros tienden a ser más chicos o directamente a perderse, limitando el intercambio de gases y el pasaje del agua y retención de agua.

La materia orgánica es el reservorio de nitrógeno en el suelo, si disminuye el contenido de materia orgánica se reduce la capacidad del suelo de aportar nitrógeno a los cultivos. Algo similar ocurre con otros nutrientes (p.ej. fósforo, azufre).¹⁵

Además de todo eso, en las últimas décadas, se está dando importancia al manejo de suelo en cuanto a su posibilidad de influir en lo que se denomina secuestro de carbono. Todos sabemos que el dióxido de carbono es uno de los gases que provocan el efecto invernadero. Cuando se mineraliza la materia orgánica o se descomponen los residuos se elimina a la atmósfera una gran cantidad de ese gas.

Si a través de manejo podemos fijar materia orgánica al suelo en lugar de mineralizarla tan activamente, estaríamos reduciendo una buena parte del dióxido de carbono que surge del suelo hacia la atmósfera.¹⁵

2.6.2.6 Unidad de medida del indicador

Disminución de materia orgánica porcentaje en el año. (%/Año)

El contenido de materia orgánica se puede determinar por métodos de laboratorio.

2.6.2.7 valores de degradación biológica por pérdida de materia orgánica

Tabla 5. Clasificación de la Degradación Biológica según la pérdida de materia orgánica

Degradación biológica	
Clase	Disminución M.O. %/año
Nula o ligera	< 1
Moderada	1 – 2.5
Alta	2.5 – 5
Muy alta	> 5

2.6.3 REDUCCION DE MICRO Y MACRO FAUNA

2.6.3.1 Organismos Presentes en la Fracción del Suelo. Las bacterias ocupan, generalmente, según el número de individuos el primer lugar, y según el peso de su masa total están en equilibrio con los hongos. Por eso tienen también la importancia mayor, aunque no en todos los aspectos. Las especies bacteriales del suelo son: *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Acromobacter*, *Micrococcus*, *Flavobacterio*, *Azotobacter*, *Rizobio*, *Nitrosomas* y *Nitrobacter*.

Los *actinomicetos* ocupan según su número, generalmente, el segundo lugar. Los más frecuentes son: *Streptomices* y *Nocardia*. Tienen importancia especial en la descomposición de la quitina. Además, son formadores de antibióticos.

Los hongos demuestran predominancia en lugares más secos. Los representantes más frecuentes son: *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma* y *Aspergillus*. Son capaces de atacar residuos orgánicos, hasta los de más difícil descomposición, como por ejemplo, la lignina por basidiomicetos.

Las algas tienen importancia especial como litobiontes en la meteorización biológica de las rocas, y así, en la formación de los suelos. En los trópicos tienen importancia especial en el cultivo de arroz inundado, allá se presentan: *cianofíceas*, *Clorofíceas*, *Diatomeas* y *Flagelatos*.

La microfauna del suelo se compone de *Protozoarios*, *Turbelarios*, *Rotíferos*, *Nemátodos* y *Tardígrados*. Viven en su mayoría de bacterias, actinomicetos y hongos y tienen su importancia en el mantenimiento de un equilibrio biológico. Habitan por lo general, en la mera superficie del suelo, o en la rizosfera de las plantas mayores.

En la mesofauna pertenecen los animales de entre 0.1 a 10mm de longitud. En ella hay muchos artrópodos, con su importancia mayor entre los *Oribátidos* y *Colembolos*, que son predescompositores de los residuos orgánicos. Un grupo muy importante en la mesofauna son los *enquítridos* del tipo de los anélidos de la clase de los oligoquetos. Ellos se nutren entre otras cosas, de nemátodos vivos y son por eso importantes en su control.

Entre la mesofauna tienen la mayor importancia las lombrices de tierra con las especies principales de *Dendrobaena*, *Lumbricus*, *Alolobofora*, *Octoclasio* y *Eisenia*. Se nutren de residuos vegetales, que introducen en la tierra, mezclándolos en sus intestinos con material mineral, formando en sus excrementos complejos organominerales resistentes, que mejoran la estructura y retención de nutrientes en el suelo. Además, por cavar sus pasillos, aumentan la aireación y el drenaje del suelo. Estas producen anualmente hasta 100Ton de humus/Ha.

Lombrices faltan únicamente en lugares de condiciones extremas, tales como exceso o falta de agua, suelos de poca profundidad, ausencia de materia orgánica, suelos extremadamente ácidos o alcalinos y suelos muy densos. La especie de *Dendrobaena*, es la única que aguanta la mayor acidez (hasta pH 3.5).

Otros grupos importantes entre la macrofauna son los isópodos y los miriápodos. Los insectos tienen en el suelo más importancia en su estado de larva. Otro grupo relevante especialmente para la descomposición de la celulosa, son los moluscos. Los vertebrados del suelo son en su mayoría animales dañinos para los cultivos, con excepción de los insectívoros.

El estudio del estado biológico puede servir como un marcador del estatus del suelo, es decir, como un indicador de su calidad, lo cual irá ineludiblemente unido a la fertilidad natural de dicho suelo. Así, tal y como ponen de manifiesto diversos autores, la estimación del estado biológico del suelo puede resultar útil para detectar posibles procesos degradativos que no podrían detectarse con métodos tradicionales de detección (el estado de la cubierta vegetal, contenido en carbono orgánico total, etc.).²³

2.6.3.2. Causas.²¹ La densidad del suelo restringe enormemente las condiciones de la vida de los organismos, sea por falta de penetración del agua, o por falta de circulación del aire, su enriquecimiento en gas carbónico y su empobrecimiento en oxígeno; otra de las causas que puede influenciar la composición microbial es el cambiar el pH del suelo.

2.6.3.3. Unidad de medida. En la actualidad no se conoce un indicador que determine este tipo de degradación sin embargo existen métodos que permiten conocer el número de microorganismos presentes en el suelo.

2.6.3.4 Como se determina la cantidad de microorganismos en el suelo.²²

1. Cuento de la diversidad y abundancia de macroartrópodos y lombrices de tierra

Tiempo requerido: 1 horas y media (1 hora para extraer las muestras y 1/2 hora para clasificar los organismos).

Materiales requeridos: Por lo menos dos campos con diferentes prácticas de manejo de suelo (preferiblemente incluir un campo con labranza convencional y otro con labranza cero).

Pala, preferiblemente con hoja plana.

Palín de mano (pala para jardinería).

Regla (en centímetros).

Frasquitos llenos de alcohol (70% etanol). 5 frasquitos por campo.

Bolsas plásticas para guardar los frasquitos.

Marcador para etiquetar las bolsas plásticas (muestras).

Pailas plásticas (1 por campo) para guardar frascos (con un volumen de tres galones) con el fin de recoger el agua que pasa a través de los tamices.

Muestreo:

1 Marcar un cuadro (20 x 20 cm.) en la superficie del suelo. Colocar la pala plana, verticalmente, sobre uno de los lados del cuadro. Usar el pie para empujar con fuerza la pala a una profundidad de aproximadamente 25 cm. Suavemente saque la pala del suelo. Haga lo mismo en otros tres sitios de terreno a analizar.

2. Colocar los tamices en el plástico amarillo uno sobre otro. Los tamices deben estar en orden, de acuerdo con el tamaño de los huecos de la malla

(los tamices con aberturas grandes deben estar sobre los tamices con aberturas pequeñas).

3. Usar el palín para remover los primeros 5 cm. de cama (materia orgánica en descomposición) y suelo, y colocar sobre el tamiz. Suavemente deshaga con sus dedos todos los terrones grandes.

4. Levantar todos los tamices a la vez. Mantenerlos sobre el plástico amarillo; rápidamente rote y bata los tamices de modo que el suelo gire alrededor de los tamices, pero sin botarlo. Continuar hasta que el suelo haya pasado a través del tamiz.

5. Buscar en el suelo cernido sobre el plástico amarillo (o en la palangana). Anotar todos los microorganismos en la hoja de datos. Deposite cualquier organismo no identificado en los frascos. Coloque los frascos, etiquetados con el nombre del campo y el estrato de suelo (profundidad) en una bolsa plástica.

6. Repita el paso #5 en el suelo que quedó en cada uno de los tamices.

7. Arrojar el suelo de los tamices y del plástico amarillo (NO coloque el suelo de nuevo en el agujero). Repita los pasos 3 y 6 en el suelo entre 5 y 15 cm. de profundidad.

8. Repetir los pasos 3 y 6 en el suelo entre 15 y 25 cm. de profundidad.

9. Usted ha terminado con este campo. Si desea tomar muestras de otro campo, debe repetir el procedimiento arriba mencionado.

10. Regresar al laboratorio. Utilice la guía de identificación para identificar los organismos en sus frascos. Registre sus nombres en la hoja de datos.

Evaluación de los resultados:

1. Por cada práctica del manejo de suelo del cual tomó muestras, calcule el promedio de organismos encontrados en cada categoría (promedio de lombrices, zompopos, etc.).

Teniendo en cuenta la información recopilada se puede concluir que el suelo es un recurso natural renovable a muy largo plazo y que debido a una mala gestión bien por su desconocimiento, o por falta de una adecuada planificación, puede quedar gravemente afectado negativamente por acciones directas o

indirectas. El conocimiento de las características de un suelo y el reconocimiento de los signos de degradación del mismo, constituyen una etapa imprescindible en cualquier plan de gestión medioambiental, ya que es el soporte de la vida en nuestro planeta.

Cualquier estudio o proyecto que afecte al medioambiente debe tratar inexcusablemente el recurso suelo ya que el tratamiento que a éste se le de, afectará positiva o negativamente al mantenimiento del ecosistema.

CONCLUSIONES

1. La degradación del suelo es consecuencia de una mala utilización del recurso suelo por parte del hombre ya sea por acciones directas o indirectas produciendo modificaciones en las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas conllevando a su deterioro.

2. Los Indicadores ambientales son una metodología que permiten predecir, planificar y evaluar la condición actual de los recursos. En el caso del recurso suelo permiten Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del mismo generando una agricultura de alta producción. Entre los indicadores utilizados en dicha evaluación se encuentran la susceptibilidad a la compactación y la erosión, pérdida de la materia orgánica, salinidad y sodicidad del suelo, grado de contaminación y pérdida de macro y micro fauna.

3. La materia orgánica es considerada el principal indicador de degradación del suelo ya que está directamente relacionado con la estabilidad de los agregados, la compactación, influye en retención de agua además de aportar la diversidad biológica necesaria para mantener numerosas funciones en el suelo.

4. Es indispensable crear conciencia que el recurso suelo también es de vital importancia en el desarrollo; por lo tanto los entes encargados de velar por el medio ambiente deberían tomar serias medidas en cuanto a su conservación ya que si se sigue utilizando de forma indebida llegará el momento en que no se pueda contar con suelos aptos para la agricultura.

BIBLIOGRAFIA

CASTRO F, Hugo E. FUNDAMENTOS PARA EL CONOCIMIENTO Y MANEJO DE SUELO AGRICOLAS. Instituto Universitario Juan de castellanos, Tunja: Produmedios. 1998 **(13)**

GOMEZ, Luís Hernando. SUSTIANABLE MANAGEMENT OF WATER RESORCES AND ENVIRONMENTAL INDICATOR: A VALUATION METHODOLOGY. Memorias II seminario Internacional Sobre Medio Ambiente y Desarrollo sostenible. Bucaramanga: UIS. 1996 **(6)**

LOPEZ, Francisco AND AYALA, Francisco. CONTAMINACIÓN Y DEPURACIÓN DE SUELOS. Instituto Tecnológico Geominero de España. 1995 **(16)**

NEAVE, P. KIRKWOOD, V and DUMANSKI, J. REVIEW AND ASSESSMENT OF AVAILABLE INDICATORS FOR EVALUATING SUSTANINABLE LAND MANAGEMENT. Canada: Centre for Land and Biological Resources Research. 1995 **(5)**

SISTEMA DE INFORMACION AMBIENTAL DE COLOMBIA. PRIMERA GENERACIÓN DE INDICADORES DE LA LINEA BASE DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. IDEAM, Instituto Alexander Humbolt, INVEMAR, IIAP, Instituto Amazónico de Investigaciones Cientificar: Bogotá. 2002 **(18)**

SUAREZ DE CASTRO, Fernando. CONSERVACIÓN DE SUELOS. Madrid: Salvat Editores: Madrid. 1965 **(19)**

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA DE COLOMBIA, CORPORACION BIOMA. MEDIO AMBIENTE Y AGRICULTURA ECOLOGICA. Primer Congreso Internacional de Agricultura Biológica y Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá. 1994 **(21)**

<http://www.aacrea.org.ar/soft/nro275.htm> **(8)**

<http://www.aaprotrigo.org/tecnologia/laboress/labraconve.htm> **(15)**

http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp#1.%20ORIGEN **(23)**

<http://www.clades.cl/index.htm> **(4)**

<http://www.ciat.cgiar.org/indicators/indicadores/> **(2)**

http://www.euskadi.net/indicadores_ambientales/indice_c.htm **(1)**

<http://edafologia.ugr.es/Revista/tomo7tr/a113v7tt.htm> **(7)**

<http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/origen.htm> **(14)**

http://www.eco-sitio.com.ar/contaminacion_del_suelo.htm **(17)**

<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s09.htm#c%C3%A1lculo%20de%20la%20p%C3%A9rdida%20de%20suelo> **(12)**

<http://www.fao.org/DOCREP/004/W4745S/w4745s07.htm#TopOfPage> **(3)**

http://www.miliarium.com/Proyectos/Suelos/ArchivosMemoria/contaminaci%C3%B3n_suelos.asp **(11)**

http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v42_1-2/v421a080.html **(24)**

<http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/20hoja.html> **(20)**

<http://ppathw3.cals.cornell.edu/iipmweb/Chapter8.pdf> **(22)**

<http://www.udep.edu.pe/recursoshidricos/PAU2.htm> **(9)**