

Uso y manejo sostenible de suelos

Fundamentos y procedimientos selectos enfocados al
autoaprendizaje y la enseñanza guiada

Uso y manejo sostenible de suelos

Fundamentos y procedimientos selectos enfocados al
autoaprendizaje y la enseñanza guiada

Armando López Santos

Primera edición, Noviembre 2019

ISBN: 978-607-12-05537

D.R. © Universidad Autónoma Chapingo

km 38.5 Carretera México-Texcoco

Chapingo, Estado de México

C.P. 56230

Contacto en Chapingo, México

(595) 952-1500 ext. 5142

Correo-e: isbncapingo@gmail.com

Contacto en Bermejillo, Durango

(872) 776-0160, 90 ext. 1026

Correo-e: investigación@chapingo.uriza.edu.mx

Aviso legal

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del autor y del Departamento de Publicaciones de la Dirección General de Difusión Cultural y Servicio de la Universidad Autónoma Chapingo (DGDCyC-UACH).

Impreso en México

AGRADECIMIENTO Y CRÉDITOS

La presente obra es una derivación de la participación de diversos actores, a quienes se les agradece profundamente su dedicación y entrega en las diferentes facetas implicadas en su preparación.

Revisión Técnica

M.C. Jorge Alejandro Torres González

Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes

Dr. José Luis González Barrios

Centro Nacional de Investigación en Relaciones Agua, Suelo, Planta, Atmósfera,
Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias

Revisión de Estilo

Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

MAE Manuel de Jesús Azpilcueta Ruiz Esparza

Ing. Rolando Santillán Elizarrarás

Tipografía y apoyo secretarial

MI. Ma. Catalina Torres Martínez

DEDICATORIA

*La presente obra se la dedico a mis hijos y a
mi esposa, quien es un ejemplo de fortaleza
enfocada al engrandecimiento de la familia.
Asimismo, a mi madre que ha representado
en mi vida un acicate para procurar ser mejor
día con día.*

NOTA DEL AUTOR

Con respecto a los recursos de apoyo que se citan en el texto, primordialmente los apéndices, se aclara que éstos no forman parte del componente comercial que implica el contenido del presente libro. Dichos recursos se incluyen solo como apoyo didáctico, toda vez que es obligación del usuario citar la fuente original. Además, con respecto a la mención de marcas de productos y opiniones de otros autores, se aclara que no constituyen ninguna promoción y no representan de ninguna forma la opinión de las personas o de las instituciones referidas en la presente obra.

ABREVIATURAS

CBD

Convention on Biological Biodiversity (Convención en Diversidad Biológica)

CNULCD

Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación

CONAFOR

Comisión Nacional Forestal

CONAZA

Comisión Nacional para las Zonas Áridas

CP

Colegio de Posgraduados

DGDCyS-UACH

Dirección General de Difusión Cultural y Servicio, Universidad Autónoma Chapingo

Ee

Erosión eólica

Eh

Erosión hídrica

Ehs

Erosión hídrica del suelo

FAO

Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

FHIA-UE

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola-Unión Europea

GPS

Global Position System (Sistema de Posicionamiento Global)

INECC

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

IPBES

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas)

ITPS

Intergovernmental Technical Panel on Soils (Panel Técnico Intergubernamental en Suelos)

LDN

Land Degradation Neutrality (Degradación Neutral de la Tierra)

MEA

Millennium Ecosystem Assessment (Valoración de los Ecosistemas del Milenio)

PA

Posición aparato (topográfico)

PPN

Productividad Primaria Neta

PT

Pendiente del terreno

Qmax

Gasto máximo

RUSLE

Revised Universal Soil Loss Erosion (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada)

SARH

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

SADER

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

SEMARNAT

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

SINADES

Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales

SPP

Secretaría de Programación y Presupuesto

TNC

The Nature Conservancy (La Conservación de la Naturaleza)

UACH

Universidad Autónoma Chapingo

UNCBD

United Nations Convention on Biological Diversity (Convención de las Naciones Unidas para la Biodiversidad Biológica)

UNCCD

United Nations Convention to Combat Desertification

UNEP

United Nations Environment Programme (Programa Mundial de las Naciones Unidas para el Medioambiente)

UNFCCC

United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de Naciones Unidas en Cambio Climático)

URUZA

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

USA:

United States of America (Estados Unidos de América)

USLE

Universal Soil Loss Equation

UT/CT

Uso de la tierra/Cubierta de la tierra (natural o artificial)

WRBS

World Reference Base Soil (Base de Referencia Mundial de Suelos)

WSFS

World Society Food Security (Sociedad Mundial de Seguridad Alimentaria)

WWF

World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Vida Silvestre)

PRÓLOGO

Ante un nuevo paradigma mundial de lograr los objetivos de Desarrollo Sostenible al año 2030 y en especial en el tema de suelos, meta 15.3, que a la letra dice: *“Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con degradación neutra del suelo”*.

Al respecto, es evidente que la comunidad internacional ha retomado el enfoque de la sostenibilidad como una “apuesta” para remediar de algún modo el problema de la degradación de los recursos de la Tierra, y crear con ello un mejor futuro. Esto aplicado a los suelos adquiere una relevancia mayúscula en al menos tres aspectos: 1) en el equilibrio ecológico para la vida silvestre; 2) en el uso productivo; y 3) en la salud ambiental para beneficio de las personas como un derecho humano fundamental. Es decir, al relanzar el mensaje del *“Manejo Sostenible de Suelos”* como un concepto esperanzador y un medio para alcanzar objetivos mayores en relación a la seguridad alimentaria, la migración, el combate de la pobreza y la malnutrición.

La reactivación en la atención sobre la importancia del recurso suelo, ha quedado de manifiesto desde la primera década del presente siglo (XXI), ya que por iniciativa de la FAO en 2012 al formalizarse la Alianza Mundial de los Suelos se relanzó la necesidad de mejorar el conocimiento sobre el estado de los suelos, tarea que fue posible a partir del trabajo realizado por el Panel Técnico Intergubernamental de Suelos y culminado en 2015, contexto en el que también se emite la

Carta Mundial de los Suelos; y en 2017 destaca la publicación de las *Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible de los Suelos*.

Aunado a lo anterior y en concomitancia de esfuerzos, en 2015 la Interfaz Científico Política de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, adoptó el indicador de *Tendencias en el contenido de carbono orgánico en los suelos*, como uno de los tres indicadores mundiales para reportar los avances para Neutralizar la Degradación de las Tierras (NDT), a nivel global y en un horizonte de tiempo al 2030.

El reto NDT implica crear conciencia en la necesidad de revertir el deterioro de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, así como en el desarrollo de capacidades en las buenas prácticas, por ello, esta publicación constituye una herramienta importante para la formación de recursos humanos y educadores que concurren en espacios académicos, así como para profesionistas apoyarlos en el conocimiento básico y suficiente de uso y manejo perdurable del suelo en campo y técnicas que les permitan aplicar planes de manejo sostenible de suelos.

Jorge Luis García Rodríguez

Delegado Regional de la Comisión Nacional de las Zonas Áridas y
Vicepresidente por América Latina y El Caribe en el Bureau del Comité
Revisor de la Aplicación de la Convención de las Naciones Unidas de
Lucha contra la Desertificación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO Y CRÉDITOS	V
DEDICATORIA.....	VII
NOTA DEL AUTOR.....	IX
ABREVIATURAS.....	XI
PRÓLOGO.....	XV
ÍNDICE GENERAL.....	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXI

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia y justificación.....	3
CAPÍTULO II. SOSTENIBILIDAD EDÁFICA Y NDT.....	7
2.1 Problemática global.....	9
2.2 Problemática nacional.....	13
2.4 Literatura citada	21
CAPÍTULO III. BASES DEL MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS (MSS).....	25
3.1 Debate sobre la importancia del manejo sostenible de suelos.....	27
3.2 Aptitud edáfica y servicio ambiental dominante. Estudio de caso.....	33
CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN DE LOS SUELOS E IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS ESPECÍFICOS.....	41
4.1 Técnica de reconocimiento de rasgos del medio físico con apoyo de un sistema de posicionamiento satelital, GPS.....	43
4.2 Aproximación hacia la gestión integral del territorio.....	49
CAPÍTULO V. ERODABILIDAD EDÁFICA. FACTORES AMBIENTALES.....	59
5.1 Estimación de índices de erodabilidad a partir de ecuaciones de regresión.....	61
5.2 Técnica para determinar tipo y mecanismos de la erosión hídrica.....	69
5.3 Evaluación del grado de erosión de suelos mediante el método kappa.....	75
5.4 Estimación de la pérdida de suelo en cárcavas. Método de secciones transversales en poligonal abierta.....	81
CAPÍTULO VI. FLUJO SUPERFICIAL, SUS PROPIEDADES Y CÁLCULO.....	89
6.1 Propiedades morfológicas de una cuenca hidrológica.....	91
6.2 Estimación de la erosión hídrica del suelo en lotes de escurrimiento. Práctica demostrativa.....	97

6.3 Estimación del escurrimiento superficial por el método simplificado de las huellas máximas.....	103
CAPÍTULO VII. MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS.....	113
7.1 Análisis de la pendiente del terreno por distintos métodos.....	115
7.2 Trazado de curvas a nivel y con pendiente usando equipo de topografía.....	127
7.3 Levantamiento topográfico para el diseño y construcción de terrazas....	135
Apéndices.....	143
Apéndice 1. Cuestionario guía para el debate.....	145
Apéndice 2. Generalización de los servicios ecosistémicos para los recursos edáficos.....	147
Apéndice 3. Mapa de suelos de la Comarca Lagunera de Durango.....	149
Apéndice 4. Ejemplo de visualización de la capa edafológica.....	151
Apéndice 5. Ejemplo de visualización de la capa de municipios.....	153
Apéndice 6. Carta topográfica G13-08 en escala 1:250,000.....	155
Apéndice 7. Carta topográfica G13-09 en escala 1:250,000.....	157
Apéndice 8. Carta edafológica G13-08 en escala 1:250,000.....	159
Apéndice 9. Carta edafológica G13-09 en escala 1:250,000.....	161
Apéndice 10. Dx preliminar de propiedades edáficas en la capa arable.....	163
Apéndice 10A. Categorías calificativas para la evaluación empírica de suelos	164
Apéndice 11. Red de Estaciones Climatológicas de México.....	165
Apéndice 12. Carta de uso del suelo y vegetación G13-9 escala 1:250,000	167
Apéndice 13. Carta de uso del suelo y vegetación G13-8 escala 1:250,000	169
Apéndice 14. Manual de prácticas de edafología.....	171
Apéndice 15. Guía de campo para identificar tipo y grado relativo de erosión hídrica.....	173
Apéndice 16. Guía de Campo para determinar acciones de conservación de suelo y manejo de agua.....	175
Apéndice 16A. Ejemplo de aplicación del índice kappa.....	177
Apéndice 17. Plantilla para registro de datos de medición de una cárcava...179	
Apéndice 18. Plantilla para registro de datos.....	181
Apéndice 19. Plantilla para registro de datos de medición de dirección.....	183
Apéndice 20. Método de la probeta para determinar densidad aparente.....	185
Apéndice 21. Coeficiente de rugosidad n	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1. Degradación edáfica por influencia antrópica a nivel global.....	10
Figura II-2. Formas e importancia relativa del territorio nacional de la degradación de las tierras atribuible a influencia antrópica.....	16
Figura V-1. Cadenamiento y selección de transectos en una cárcava.....	85
Figura V-2. Disposición de estacas y banco de nivel.....	86
Figura V-3. Mediciones sobre la sección trasversal de una cárcava.....	86
Figura VI-1 Identificación de las huellas máximas, colocación de estacas y medición de la variable L en la sección trasversal del cauce.....	106
Figura VI-2. División de L en porciones iguales d.....	107
Figura VI-3. Perímetro mojado sobre el talud del cauce en su sección trasversal.....	107
Figura VI-4. Diagrama de mediciones de las alturas intermedias y extremas.....	108
Figura VI-5. Vista en planta de las ubicaciones para medir las alturas del terreno para medir la pendiente.....	109
Figura VII-1. Diseño de distribución de cuatro posiciones para el levantamiento de datos en campo.....	120
Figura VII-2. Disposición requerida e identificación de parámetros para medir la pendiente en campo.....	122
Figura VII-3. Modelo del dispositivo tipo A para medir pendiente del terreno.....	123
Figura VII-4. Disposición requerida para medir la altura para el cálculo de pendiente.....	124
Figura VII-5. Disposición de las variables a medir mediante el uso de teodolito con ángulo vertical.....	125

Figura VII-6. Trazo de la línea madre sobre la pendiente principal.....	131
Figura VII-7. Altura del aparato.....	131
Figura VII-8. Trazado de las líneas guía.....	132
Figura VII-9. Construcción de una terraza con base en la línea guía trazada.....	133
Figura VII-10. Modelo para el levantamiento de datos de campo para el diseño de terrazas mediante tres posiciones de aparato.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III-1. Matriz para el registro de datos edafológicos.....	38
Tabla IV-1. Formato sugerido para registro de datos de campo.....	47
Tabla IV-2. Rutinas y descripción para la ejecución de entrenamiento para el uso del GPS	47
Tabla V-2. Caracterización inicial por sitio en estudio.....	65
Tabla V-3. Dispositivos recomendados para medir una cárcava considerando sus dimensiones.....	84
Tabla VII-1. Distancias recomendadas de acuerdo a la pendiente del terreno y uso esperado.....	130

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Objetivo

Valorar la importancia del desarrollo de capacidades enfocada al manejo sostenible del suelo y la protección del medio ambiente.



Fuente: Autor, elaboración con fotos propias.

1.1 Importancia y justificación

Un país próspero, con un crecimiento económico armonizado es resultado del reconocimiento de la importancia económica y social de un buen ordenamiento de su territorio, incluido naturalmente sus recursos edáficos. Hay tres aspectos clave en el manejo sostenible del suelo (MSS), entendido éste como la capacidad de ser mantenido por un largo tiempo, sin interrupción, debilitamiento, o pérdida de su potencial o calidad, que son: *reducir* al máximo la pérdida de su fertilidad (física, química y biológica), *evitar* su sobre-explotación y de otros recursos igualmente importantes como el agua, flora y la fauna, así como *evadir* las malas prácticas que pudieran ejercerse sobre éste.

La práctica del MSS idealmente prevé el fomento de la diversidad biológica, la promoción de una agricultura sostenible para la seguridad alimentaria, la disminución de brechas sociales mediante la erradicación de la pobreza, el empoderamiento de la mujer, las medidas para hacer frente al cambio climático y el aumento de la disponibilidad de agua, y destacando que la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía son problemas de dimensión mundial y que siguen suponiendo un serio desafío para el desarrollo sostenible de todos los países, en particular los países en desarrollo.

En la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas celebrada en New York, USA en Septiembre del año 2000, donde participaron los representantes de 189 naciones, se acordaron retos definidos en ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)¹. En estos ODM destaca el

¹ <http://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-de-desarrollo-del-milenio/>

relativo al tema de recursos naturales y medioambiente (ODM 7A y 7B), ya que se asume que el *manejo sostenible de suelos* es un compromiso global, cuya implementación desde lo local se convierte al mismo tiempo en oportunidad para sociedad y gobierno, especialmente para los tomadores de decisiones y a todos aquellos pueblos y comunidades que les afecta directamente la problemática de la degradación de los recursos naturales.

En los ODM la premisa de la sostenibilidad (en el manejo del suelo), implica tomar en consideración todos los elementos que intervienen en la producción primaria, cuando ésta se basa en el uso de los recursos edáficos; es decir, en la producción agrícola, ganadera, forestal o de los servicios recreativos y de protección de la vida silvestre, el recurso suelo solo es un componente de todo un sistema que funciona a partir de múltiples relaciones e interacciones con otros componentes como el agua, la biota (plantas y animales) y la atmósfera.

En éste sentido, en el presente libro se ofrece parte de los elementos básicos requeridos para el desarrollo de destrezas y habilidades técnicas enfocadas a una intervención inteligente para la prevención de riesgos que puede traer consigo la degradación de los recursos naturales, particularmente para el suelo en dos de sus formas más importantes: la erosión hídrica y la erosión eólica.

El contenido del presente libro, cuya motivación tiene como fondo convertirlo en un recurso didáctico de autoaprendizaje y la enseñanza guiada de las buenas prácticas en el manejo sostenible del suelo, se presenta a partir de un enfoque dual: inductivos-deductivos. Es decir,

mediante la ejecución de los métodos de trabajo propuestos los aprendizajes serán bajo una lógica de doble vía de lo general a lo particular y viceversa.

Es así que, con excepción del Capítulo II donde se establece un marco de referencia para destacar la importancia de la sostenibilidad edáfica, bajo la premisa de Neutralidad en la Degradación de la Tierra (NDT), en los seis capítulos subsecuentes (II-VII), se presentan fundamentos breves y la secuencia ordenada y simple de catorce métodos selectos de trabajo, para los cuales se definen objetivos, principios metodológicos, requerimientos de material y equipo, procedimientos de ejecución, resultados esperados, así como la literatura citada y recomendada para consulta y el reforzamiento de aquellas tareas que así lo ameriten.

Además de lo anterior, como parte del contenido de la presente obra se incluye una sección de Apéndices como elementos de apoyo didáctico, citados en forma ordenada en el texto, cuyo contenido está incluido en un disco compacto, que integra formatos para el registro de datos de campo, cuyo diseño está preparado para su impresión y uso en campo; además, consta de tablas de consulta de datos debidamente referenciadas de acuerdo a su fuente original, así como archivos de trabajo para la realización de algunas prácticas en computadora. Los títulos de los seis capítulos son:

Capítulo III, Bases del manejo sostenible de suelos (MSS); Capítulo IV, Definición de la función del suelo e identificación de procesos edáficos específicos; Capítulo V, Erodabilidad edáfica.

Factores ambientales; Capítulo VI, Flujo superficial, sus propiedades y cálculo; y Capítulo VII, Manejo sostenible de suelos.

CAPÍTULO II. SOSTENIBILIDAD EDÁFICA Y NDT

Objetivo

Valorar la importancia del manejo sostenible de los recursos edáficos con base en la premisa de la neutralidad de la degradación de las tierras (NDT).



Fuente: Autor, elaboración con fotos propias.

2.1 Problemática global

En el reporte conocido como Valoración de la Degradación Global de la Tierra (GLADA, por sus siglas en inglés) se planteó que hasta el final de la pasada centuria (siglo XX) la superficie total continental (148.9 millones de km²) aproximadamente el 23% presentaba algún grado de degradación de los recursos naturales relativos a tres componentes: agua, suelo y vegetación (Nkonya *et al.*, 2011).

Con respecto a la degradación de los suelos, éste es un problema que incluye cuatro de sus formas típicas: erosión hídrica (Eh), erosión eólica (Ee), degradación química (Dq) y degradación física (Df), se estima en alrededor de 1964 km²; de ésta superficie, las que contribuyen en mayor medida (83.6%) corresponden a la erosión hídrica y erosión eólica, con el 55.7 y 27.9%, respectivamente; enseguida con el 15.8% se encuentran la química y física con 11.8 y 4.02%, respectivamente (Nkonya *et al.*, 2011).

Estas cuatro formas típicas de degradación de los recursos edáficos (Eh, Ee, Dq, Df), reportadas también en el Estatus Mundial del Recurso Suelo (*Status of the World's Soil Resources*) por el Panel Internacional de Expertos en Suelos (FAO-ITPS, 2015) reconocidas igualmente en cuanto a su distribución territorial (Figura II-1), se indica que las regiones con la mayor cantidad de áreas impactadas por orden de importancia son: Asia, 38%; África, 25.2%; América Latina, 15.6%; y Europa, 11.3%; en tanto que las regiones con el menor grado de degradación de sus territorios son: Australia-Pacífico, 5.2%; y América del Norte, 4.9% (Nkonya *et al.*, 2011; Stavi y Lal, 2015).

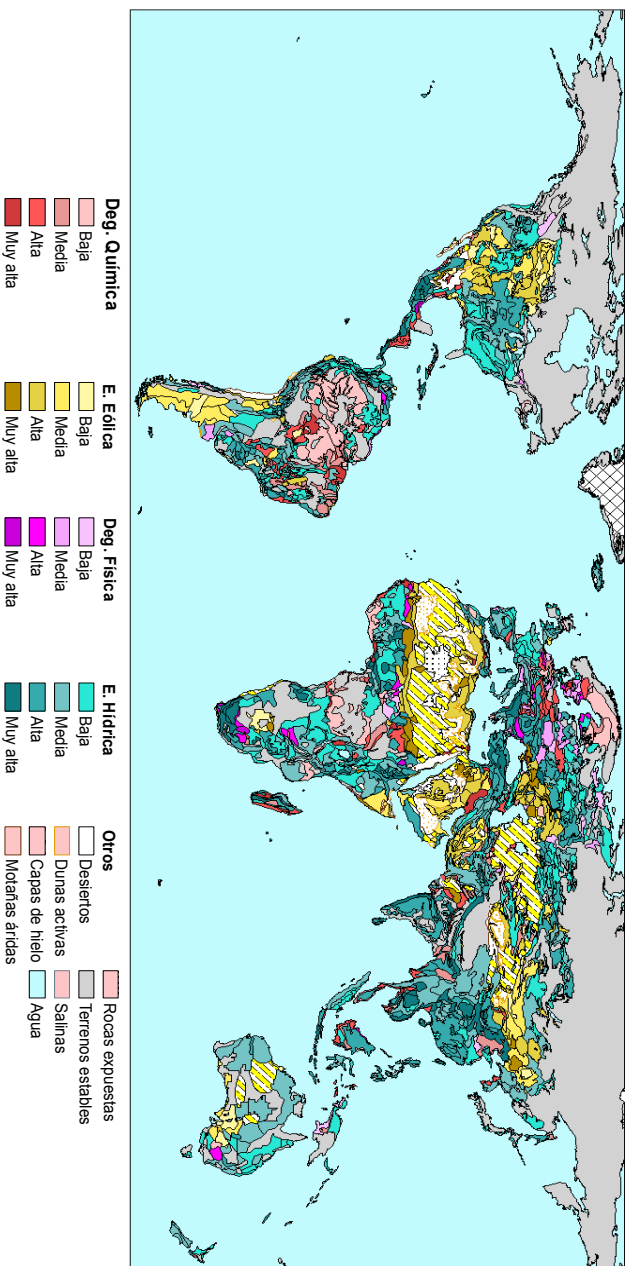


Figura II-1. Degradación edáfica por influencia antrópica a nivel global (Fuente: Nkonya *et al.*, 2011).

La situación y tendencias en la degradación de los recursos naturales detectadas desde finales del siglo pasado (CONAZA-FAO-UNICEF, 1995; UNFCCC-PNUD, 2004; IPCC, 2001; IPCC, 2007), si bien fueron una preocupación de la comunidad internacional, en la actualidad son alarmantes, ya que muchos de los impactos previstos desde entonces se han exacerbado ante el cambio climático, cuyos efectos sobre los sistemas naturales y antrópicos son cada vez más intensos y duraderos (IPCC, 2014; López-Santos, 2016; Cherlet *et al.*, 2018).

Por ejemplo, Cherlet *at al.* (2018), en el Atlas Mundial sobre Desertificación, señala que la consecuencia del deterioro es que en poco menos de 15 años (1999-2013) aproximadamente 20% de los territorios cultivados cuya superficie suma 9.7 millones de km², han mostrado una tendencia en su dinámica productiva persistentemente decreciente, de alto a moderado, o inestable por razones de estrés, como es el caso de las sequías que se han presentado en la década reciente (2000-2010) con periodos más prolongados asociados a temperaturas extremas (UNCCD, 2013).

Asimismo, en otros estudios (IPCC, 2014) se señala que, los principales alimentos a nivel mundial como son: soya, trigo, arroz y maíz, presentaron tasas negativas en los rendimientos por decenio entre 1960 y 2013 con máximos entre -2 y -3 %, respectivamente; específicamente para maíz, la tasa fue de -1.75 ± 1.25 %.

En éste mismo lapso de tiempo, la constante expansión de la población a razón de 1.14% anual, al pasar de 6.042 a 7.185 billones (WB, 2018), ha ejercido una presión sobre el territorio mediante la

intensificación de los sistemas de producción primaria en detrimento de los recursos naturales agua-suelo-vegetación (McKenzie y Williams, 2015; Sanz *et al.*, 2017; Cherlet *et al.*, 2018).

Recientemente, Sanz *et al.* (2017) reportaron que el nivel de la degradación territorial (DT) actual alcanza 24% de la superficie global – 23% + 1% en una década–, afectando con ello a 1.5 billones de personas, situación en la que la desertificación y el cambio climático, actuando de modo individual o combinado, están afectando los servicios ecosistémicos terrestres de regulación, soporte, provisión y culturales.

Ante esto, la necesidad de promover un enfoque de gestión sostenible de la tierra (GST) para el logro de la neutralidad de la degradación de la tierra (NDT) es un desafío asumido por la comunidad internacional (Grainger, 2015; Nkonya *et al.*, 2016; Kust *et al.*, 2017; Orr *et al.*, 2017; Sanz *et al.*, 2017; Cowie *et al.*, 2018).

NDT se define como: *“un estado por el cual la cantidad y calidad de los recursos de tierra necesarios para apoyar las funciones y servicios de los ecosistemas y mejorar la seguridad alimentaria se mantienen estables o aumentan dentro de las escalas y ecosistemas temporales y espaciales especificados”* (Orr *et al.*, 2017); cuya implementación, además de estar basada en la comunidad, podría involucrar cambios en las prácticas de manejo por los usuarios y posibles transformaciones para los diferentes usos de la tierra (Grainger, 2015; Orr *et al.*, 2017; Cowie *et al.*, 2018).

La ocupación (UT/CT) y productividad de la tierra (e.g. PPN) son dos de los tres indicadores adoptados por la UNCCD e IPBES,

enfocados a valorar alteraciones y tendencia en el comportamiento los servicios ecosistémicos (IPBES, 2018; Cowie *et al.*, 2018).

En el marco de referencia NDT Cowie *et al.* (2018) distinguen un enfoque binario sobre las decisiones en el uso de la tierra, *“...así como en una anticipación a los efectos positivos o negativos en el capital basado en la tierra, llevando un riesgo inherente: un área o una ganancia relativamente pequeña podría tener un contrapeso en igual área donde hay una pérdida mucho mayor”*.

2.2 Problemática nacional

México cuenta con una superficie total de poco más de 1.964 millones de km², esto sin incluir la parte marítima constituida por el Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva. La parte continental corresponde al 99.7%, en tanto que la superficie de islas comprende el 0.3 % restante. Ocupa el décimo tercer lugar en extensión territorial a nivel mundial y el quinto en el continente americano, después de Canadá, Estados Unidos, Brasil y Argentina (SEMARNAT-INECC, 2012).

La degradación de los recursos del territorio ciertamente no es nueva, ya que al menos en México se asocia a la formación de asentamientos humanos y su emancipación, con base en un conocimiento creciente y dominio de técnicas para facilitar o tomar ventaja de los elementos del paisaje de su entorno inmediato (Krasilnikov *et al.*, 2013; Ortega-Guerrero, *et al.*, 2018).

Por ejemplo, Ortega-Guerrero *et al.* (2018) mencionan que para los aztecas del Valle de México las chinampas (del Nahuatl, *chinamitl*)² en el Lago de Texcoco, conformaron un conjunto articulado flotante de sedimentos en torno a propiedades que comprendían una casa, un jardín, y sobre todo árboles, cuya función principal fue la producción de alimentos. Además, González (2006) menciona que la principal herramienta es la coa, que es en una especie de pala usada para la labranza, como abrir hoyos en la tierra y cultivar la milpa.

Su impacto en la DT, quizás incipiente o en los términos que haya sido, deberá ser valorado, ya que en algunos estudios (Butzer *et al.*, 2008; Krasilnikov *et al.*, 2013) los antiguos asentamientos de hace 4 mil a 7 mil años podría considerarse como precursores del deterioro de los recursos naturales en México (Ortega-Guerrero *et al.*, 2018).

Sin embargo, su manifestación actual es alarmante, pues en estudios recientes (CONAFOR-UACH, 2013) la DT se estima en 90.7% del territorio nacional (Figura II-2), lo que incluye tres componentes básicos: edáfico, hídrico y florístico; el componente edáfico, según ésta misma fuente, es del 69.7%, cuyo orden de importancia relativa para las cuatro formas típica ya mencionadas es el siguiente: 1°) Eh, 25.4%; 2°) Ee, 20.1%; 3°) Dq, 20.1%; y 4°) Df, 4.1%.

Aunque, se sabe que la presión de uso sobre los recursos de la tierra más importante es el que se verifica en la primera mitad del siglo pasado, en una estrategia conocida como Revolución Verde, iniciada en

² El Sistema de Chinampas fue declarado como Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO el 19 de abril del 2018. <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1118852/>

los Estados Unidos de Norteamérica entre 1960 y 1980, y después extendida a otros países como México, donde la relación costo/beneficio aún no es concluyente (González, 2006).

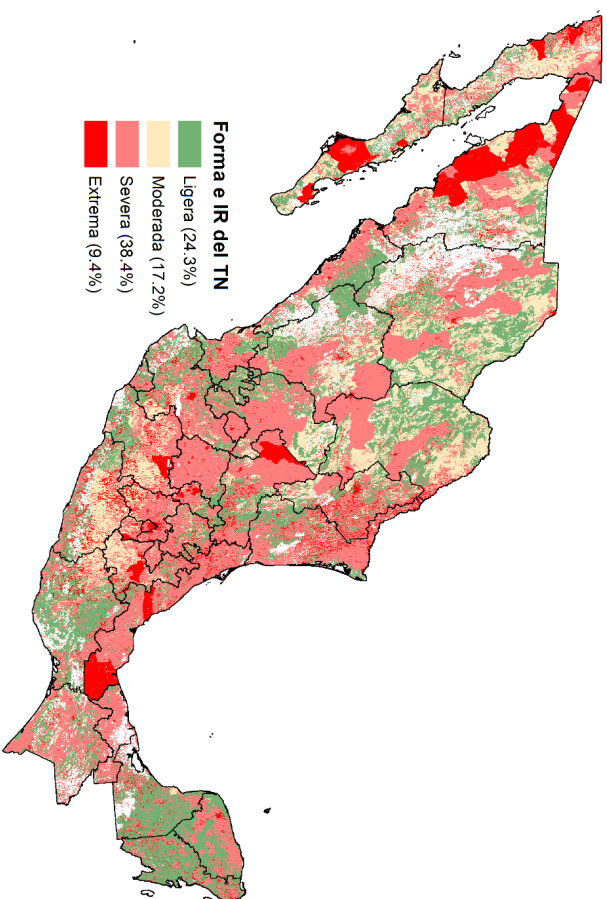


Figura II-2 Formas e importancia relativa (IR) del territorio nacional (TN) de la degradación de las tierras atribuible a influencia antrópica. (Fuente: Re-elaborado con base en CONAFOR-UACH, 2013)

2.3 Mejores prácticas para el MSS y NDT

La necesidad de MSS bajo el enfoque NDT, sin duda obliga a repensar en las consecuencias de la degradación de la tierra y en la necesidad de llevar a cabo un manejo sostenible de los recursos naturales, pues en muchos casos los recursos edáficos se están deteriorando rápidamente debido a la erosión, el agotamiento de los nutrientes, la pérdida de carbono orgánico, el sellado del suelo y otras amenazas, pero esta tendencia a decir de la FAO (2015) “...*puede revertirse siempre que los actores en cada caso (en los países) tomen la iniciativa en la promoción (y ejecución) de prácticas de manejo sostenible y el uso de tecnologías apropiadas*”.

Sanz *et al.*, (2017) mencionan que la idea de neutralidad (NDT) es una iniciativa que tiene por objeto detener pérdida de los recursos edáficos debido a la degradación de la tierra. Para ello, se establece un objetivo de gestión con dos vías: *primero*, evitando o reduciendo la degradación de los recursos del territorio; y *segundo*, revertir la degradación del pasado.

Para conseguir el equilibrio entre pérdidas y ganancias de los recursos de la tierra, y los edáficos en particular, es decir, conseguir así un estado sin pérdida neta de tierra fértil y productiva, debe promoverse, como ya se mencionó anteriormente, una GST, para evitar o reducir la nueva degradación que se produzca, en tanto que la degradación del pasado, se logrará mediante prácticas de restauración, rehabilitación y regeneración (FAO, 2017; Sanz *et al.*, 2017; Cowie *et al.*, 2018).

Ante el reto que se plantea en el enfoque NDT, se considera que las mejores prácticas a implementarse son aquellas que parten del análisis de la realidad que se pretende atender. En éste sentido Cowie *et al.* (2018), proponen tres aspectos a considerar bajo el enfoque NDT:

Primero, debe incluir aspectos socioeconómicos y biofísicos, además de un modelo de sistema conceptual, y describir la aplicación del modelo para implementar y monitorear NDT, lo que implica también su gobernanza.

Segundo, el desarrollo del marco conceptual (NDT) debe guiarse por una Teoría del Cambio acordada para NDT. Es decir, la implementación es una tarea que surge desde abajo con los usuarios de la tierra quienes ulteriormente aplicarán la tecnología cuando sea el caso.

Tercero, los conceptos de resiliencia deben informar el marco, reconociendo que las intervenciones NDT deben ser resistentes para implementar NDT y gestionar efectivamente la neutralidad de la degradación de la tierra a largo plazo.

Son 19 los principios que marcan la aplicación del marco conceptual NDT y que ayudan a prevenir resultados inesperados durante la implementación y el monitoreo de la NDT; aclarando que muchos de éstos son flexibles conforme a lo indicado por la Orr *et al.* (2017) y Cowie *et al.* (2018):

1. Mantener o mejorar el capital natural basado en la tierra.
2. Preservar los derechos de los usuarios de la tierra.

3. Respetar la soberanía nacional.
4. Para alcanzar la neutralidad, el objetivo de la NDT es igualar (ser el mismo que) el punto de referencia.
5. Considerar la neutralidad como objetivo mínimo: los países deben optar por establecer una meta más ambiciosa.
6. Integrar la planificación y la implementación de la NDT en procesos de planificación del uso del suelo.
7. Contrapesar pérdidas estimadas del capital natural basado en la tierra con intervenciones para revertir la degradación y alcanzar así la neutralidad.
8. Gestionar esta acción de contrapeso a la misma escala que la planificación del uso de la tierra.
9. Contrapesar “de igual a igual”; es decir, entre terrenos del mismo tipo.
10. Alcanzar el equilibrio entre la sostenibilidad económica, social y medioambiental.
11. Basar las decisiones relacionadas con el uso de la tierra en evaluaciones con múltiples variables, considerando el potencial de la tierra, su condición, la resiliencia y los factores sociales, culturales y económicos.

12. Aplicar la jerarquía de respuesta en la concepción de intervenciones para la NDT: Evitar > Reducir > Revertir la degradación de la tierra.

13. Aplicar un proceso participativo, que incluya a las partes interesadas -especialmente a los usuarios de la tierra- a la hora de diseñar, implementar y supervisar las intervenciones para alcanzar la NDT.

14. Reforzar la gobernanza responsable: proteger los derechos humanos -incluidos los derechos de tenencia-; desarrollar un mecanismo de revisión; y asegurar la rendición de cuentas y la transparencia.

15. Supervisar los indicadores globales de la CNUCLD basados en la tierra de la CNUCLD: la cubierta terrestre, la productividad de la tierra y las reservas de carbono.

16. Aplicar el enfoque “*one-out, all-out*” para interpretar los resultados de estos tres indicadores globales.

17. Hacer uso de indicadores nacionales y sub-nacionales que ayuden a interpretar y contribuyan a solventar las deficiencias de los servicios del ecosistema que no hayan sido cubiertas por los tres indicadores globales.

18. Aplicar la información y el conocimiento local para validar e interpretar el control de datos.

19. Desarrollar un enfoque de aprendizaje continuo: anticiparse, planificar, rastrear, interpretar, revisar, ajustar y crear el próximo plan.

2.4 Literatura citada

- Butzer, K.W., J.T. Abbott, C.D. Frederick, P. Lehman, E. Cordova, Oswald J.F. 2008. Soil-geomorphology and “wet” cycles in the Holocene record of north-central Mexico. *Geomorphology* 101:237–277
- Cherlet, M., C. Hutchinson, J. Reynolds, J. Hill, S. Sommer, von Maltitz, G. (Eds.) 2018. *World Atlas of Desertification*, Publication Office of the European Union, Luxembourg. Revisado (02/07/2018) en: <http://wad.jrc.ec.europa.eu>
- CONAFOR-UACH. 2013. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. Ed. CONAFOR, Zapopan, Jalisco, México. Revisado (08/11/2018) en: <http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/fomento/documentos/degradacion-tierras-desertificacion2.pdf>
- CONAZA-FAO-UNICEF. 1995. Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México PACD-México.
- Cowie, A. L., B.J. Orr, V.M.S. Castillo, P. Chasek, N.D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, M. Maron, G.I. Metternicht, S. Minelli, A.E. Tengberg, S. Walter, Welton, S. 2018. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science and Policy*, 79(2018): 25–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- FAO. 2015. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Revisado (04/01/2019) en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FAO 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, Italia. Revisado (02/02/2019) en: <http://www.fao.org/3/a-i6874s.pdf>
- FAO-ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR). Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations

- and Intergovernmental Technical Panel on Soils. First. Rome, Italy: FAO. [https://doi.org/ISBN 978-92-5-109004-6](https://doi.org/ISBN%20978-92-5-109004-6)
- González, P.B. 2006. La revolución verde en México. AGRÁRIA, São Paulo (4): 40-68. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.1808-1150.v0i4p40-68>
- Grainger, A. 2015. Is Land Degradation Neutrality feasible in dry areas? J. Arid Environ. 112 (A), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.014>.
- IPBES. 2018. Summary for policymakers of the thematic assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. R. Scholes, L. Montanarella, A. Brainich, N. Barger, B. ten Brink, M. Cantele, B. Erasmus, J. Fisher, T. Gardner, T. G. Holland, F. Kohler, J. S. Kotiaho, G. Von Maltitz, G. Nangendo, R. Pandit, J. Parrotta, M. D. Potts, S. Prince, M. Sankaran and L. Willemsen (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 28p.
- IPCC. 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- IPCC. 2001. Climate Change, 2001, the scientific basis. Revisado (26/05/2019) en: <http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/098487/2008/IPPC,%202001.pdf>
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Revisado (31/12/2018) en: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- Krasilnikov, P., R.J. Gutiérrez-Castorena, M.C. Ahrens, C.O. Cruz-Gaistardo, E. Sedov, y Solleiro-Rebolledo, S. 2013. World Soils Book Series. The Soils of Mexico. Edited by Alfred E Hartemink. First ed. SPRINGER. <https://www.springer.com/series/8915>
- Kust, G., O. Andreeva, y Cowie, A. 2017. Land Degradation Neutrality: concept development, practical applications and assessment. J.

- Environ. Manage. 195(6): 16–24.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.043>
- López-Santos, A. 2016. Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? Terra Latinoamericana, Vol 34(3): 239-249
- McKenzie F. C., y Williams, J. 2015. Sustainable food production: constraints, challenges and choices by 2050. Food Sec. 7(2): 221-233. doi: 10.1007/s12571-015-0441-1
- Nkonya, E., A. Mirzabaev, y von Braun, J. 2016. Economics of Land degradation and improvement: an introduction and overview, chap 1. In: Nkonya, E., Mirzabaev, A., von Braun, J. (Eds.), Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development. SPRINGER. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3>. Open. 978-3-319-19168-3 (eBook).
- Nkonya, E., N. Gerber, P. Baumgartner, J. von Braun, A. de Pinto, V. Graw, E. Kato, J. Kloos, y Walter, T. 2011. The economics of land degradation. Toward an integrated global assessment. Development Economics and Policy. Vol. 66. Peter Lang Publishing Group. Frankfurt, Gr.
- Orr, B.J., A.L. Cowie, V.M. Castillo Sanchez, P. Chasek, N.D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, M. Maron, G.I. Metternicht, S. Minelli, A.E. Tengberg, S. Walter, y Welton, S. 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany (hard copy), 978-92-95110-41-0 (electronic copy) 978-92-95110-42-7.
- Ortega-Guerrero, B., M.A. Albarrán-Santos, M. Caballero, I. Reyes-Corona, B. Gutiérrez-Méndez, y Caballero-García, L. 2018. Reconstrucción paleoambiental de la subcuenca de Xochimilco, centro de México, entre 18000 y 5000 años antes del presente: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 35(3): 254-267.
- Sanz, M.J., J. de Vente, J.L. Chotte, M. Bernoux, G. Kust, I. Ruiz, M. Almagro, J.A. Alloza, R. Vallejo, V. Castillo, A. Hebel, y Akhtar-Schuster, M. 2017. Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention

to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany. ISBN 978-92-95110-95-3 (electronic copy)

SEMARNAT-INECC. 2012. México. Quinta comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. SEMARNAT-INECC). ISBN: 978-607-8246-50-2. México, D. F.

Stavi, I., y Lal, R. 2015. Achieving zero net land degradation: Challenges and opportunities. J. Arid Environ, 112(A): 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.016>

UNCCD. 2013. Conferencia Científica de la CLD. Aspectos económicos de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía: Metodologías y análisis para la toma de decisiones. Revisado (05/2019) en: <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/986-spa.pdf>

UNFCCC-PNUD. 2004. Carpeta de Información sobre cambio climático. Revisado (31/12/2018) en https://unfccc.int/resource/docs/publications/infokit_2004_sp.pdf

WB. 2018. Data, Population total. Revisado (03/07/2018) from: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL>

CAPÍTULO III. BASES DEL MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS (MSS)

Objetivo

Discutir la importancia del MSS como un enfoque que puede ayudar a desarrollar y mantener suelos saludables, productivos y con más ganancias, tanto en el presente como para las generaciones futuras.



Fuente: Autor, elaboración con fotos propias.

3.1 Debate sobre la importancia del manejo sostenible de suelos

1. Fundamentación

En la filosofía del MSS, acuñado recientemente como Gestión Sostenible de Suelos (GSS) por la FAO (2017), se plantea el aprovechamiento del recurso edáfico basado en el enfoque teórico de integralidad, cuya premisa fundamental es el aprovechamiento de los recursos de la tierra por debajo de su tasa de regeneración (FAO, 2010; FAO, 2015; FAO, 2017).

Los recursos de la tierra, no deben ser considerados simplemente como el suelo y la superficie topográfica, sino que abarca muchos otros elementos como los depósitos superficiales, los recursos de agua, clima, así como las comunidades animales y vegetales que se han desarrollado como resultado de la interacción de esas condiciones físicas (FAO-UNEP, 2000; FAO, 2017).

La FAO (2010) en la primera década del presente siglo mencionaba que en cuanto al uso de los recursos de la tierra, se identifican dos escuelas de pensamiento. Por un lado, están los que asumen un carácter egocéntrico, y por el otro los que asumen un carácter holístico. Entre ambos, existe una gran brecha, ya que

mientras hay quienes se preocupan del futuro de la Tierra, frente a ésta postura hay otros que se preocupan del futuro de los usuarios de la misma.

Además de la FAO, hay otros organismos, tanto de las Naciones Unidas (UNFCCC, UNCBD, UNWSFS), como fuera de ésta (WWF, GREENPEACE, TNC, etc.)³, que siguen creando consensos en cuanto a la necesidad de profundizar el enfoque de la sustentabilidad; por ejemplo, en la actualidad entre los países miembros de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULCD), se promueve un enfoque de neutralidad de la degradación de la tierra (NDT o LDN por sus siglas en inglés), a partir de metas específicas al 2030 (López-Santos, 2016).

En atención a dicho llamado –lucha contra la desertificación y la sequía-, el Gobierno Mexicano a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el 16 de junio del 2017, se dieron a la tarea de coordinar los trabajos para formular la Estrategia Mexicana para Neutralizar la Degradación de las Tierras al 2030, atendiendo los compromisos de México ante la CNUCLD y en el marco de las actividades del Sistema de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES)⁴.

³ Se recomienda revisar lista de Organizaciones Gubernamentales y No Gubernamentales dedicadas a temas medioambientales:

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_environmental_organizations

⁴ Ver comunicado alusivo al evento referido en el texto:

<https://www.gob.mx/semarnat/prensa/semarnat-trabaja-estrategia-nacional-para-detener-la-degradacion-de-tierras>

2. Principio metodológico

Análisis y debate, previa lectura del Capítulo II y otras fuentes de información sugeridas, relativas al contexto global y nacional, para enfocar la atención a los retos y oportunidades del manejo sostenible de suelos, considerando la función educativa para la formación de recursos humanos consientes en la necesidad de desarrollar capacidades sobre las buenas prácticas en el manejo de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

3. Objetivo

Discutir la importancia del manejo sostenible de suelos ante la necesidad de desarrollar y mantener suelos saludables, productivos, valorando la relación costo/beneficio, tomando en consideración la tendencia de la degradación de las tierras a nivel global y nacional.

4. Material y equipo requerido

- +Notas sobre la lectura acordada previamente
- +Hojas de rotafolio
- +Pintarrón
- +Marcadores para pintarrón
- +Proyector

+Guía de debate ([Apéndice 1](#))

5. Procedimiento

En un máximo de dos horas, se aplicará la dinámica del debate a nivel grupal, la cual contará con cuatro etapas a saber: organización, análisis y discusión, debate y conclusiones.

Los tiempos específicos de cada etapa serán fijados previamente por el Profesor.

Las características de cada una de las etapas de la dinámica se describen a continuación:

+Organización.- La organización consiste en la conformación de equipos con un número conveniente de integrantes. Esto estará definido de acuerdo al número de alumnos que participan en la dinámica. Antes de iniciar la actividad, a cada equipo se le hará entrega de un cuestionario adicional a la guía de debate. Cada equipo deberá nombrar un moderador y un secretario.

+Análisis y discusión.- El análisis y discusión son acciones que se darán en el contexto de cada equipo, y habrán de atender el cuestionario antes mencionado, el cual deberá contestarse con base en la lectura del Capítulo II, y los documentos previamente proporcionada por el Profesor. El Secretario deberá tomar nota de los aspectos relevantes, así como de los consensos alcanzados durante ésta parte de la dinámica.

+Debate.- El debate es una acción que se realiza a nivel grupal tomando como base las notas recabadas por los Secretarios de cada equipo. En este caso el Profesor deberá fungir como

moderador, quien podrá proporcionar más información con el fin de enriquecer el debate.

+Conclusiones.- Las conclusiones constituyen el cierre de la dinámica. Para ello, se promoverá para que cada uno de los estudiantes expresen sus consideraciones sobre el tema abordado.

Nota importante: Es recomendable grabar la sesión con el fin de recuperar de manera efectiva los aspectos más relevantes de la dinámica.

6. Resultados

Cada equipo deberá entregar una relatoría de un máximo de tres cuartillas en formato libre.

Nota: En la sección de Apoyo documental por capítulo se incluyen grabaciones de la dinámica aplicada a modo de ejemplo. Además, estos mismos materiales grabados se pueden ver en *Youtube* a partir de los siguientes hipervínculos:

<https://youtu.be/BEbSWZ7LO-4>

<https://youtu.be/tu5MCZFJ2FY>

<https://youtu.be/Pu7DzQZhGow>

7. Literatura citada ⁵

- FAO. 2010. Taller regional sobre aplicaciones de la metodología de zonificación agro-ecológica y los sistemas de información de recursos de tierras en América Latina y el Caribe. 10p
- FAO. 2015. Global guidelines for the restoration of degraded forests and landscapes in drylands: building resilience and benefiting livelihoods. Forestry Paper No. 175. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia. Revisado (02/02/2019) en: <http://www.fao.org/3/a-i6874s.pdf>
- FAO-UNEP. 2000. El Futuro de Nuestra Tierra. Enfrentando el desafío. Guías para la planificación integrada para el desarrollo sostenible de los recursos de la tierra. 78p
- López-Santos, A. 2016. Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? Terra Latinoamericana 34: 239-249

⁵ Literatura incluida en el CD bajo la denominación: Material de lectura, Capítulo III.

3.2 Aptitud edáfica y servicio ambiental dominante. Estudio de caso

1. Fundamentación

Un primer paso para el correcto uso de los recursos del territorio (agua-suelo-planta-atmósfera) es el conocimiento sobre la vocación o aptitud que ésta tiene. La aptitud indica grado de idoneidad para llevar a cabo un uso específico del territorio, considerando el nivel o en qué medida satisface los requerimientos para la función esperada, considerando los efectos al medioambiente (Calvo-Flores, *et al.*, 1987; Krasilnikov *et al.*, 2013).

Es decir, una vez que se conoce la aptitud territorial (AT), el siguiente paso es identificar los riesgos en su uso y las necesidades socioeconómicas. Estos tres elementos son la base de la planificación (Calvo-Flores, *et al.*, 1987; Montiel-González *et al.*, 2017).

En la actualidad, los riesgos ambientales por el uso inadecuado de los recursos de gran cantidad de territorios alrededor del mundo, han traído consigo situaciones críticas por la pérdida de la

biodiversidad, erosión edáfica, contaminación del agua, etc. (Nkonya *et al.*, 2016).

Por ello, en una revaloración sobre la AT en los Objetivos del Milenio se reconocen tres servicios ambientales: abastecimiento, apoyo, regulación y cultural (MEA, 2005).

El problema básicamente se centra en el aumento de la presión ejercida sobre los recursos naturales. Los límites de la capacidad de producción de los recursos involucrados vienen determinados por el clima, las condiciones del suelo y la fisiografía, y por el uso y manejo aplicados a las tierras (Calvo-Flores, *et al.*, 1987; Montiel-González *et al.*, 2017).

El manejo sostenible de los recursos de tierras o territorios, requiere de políticas correctas y una planificación basada en el conocimiento de estos recursos, las demandas de los usos sobre esos recursos, y las interacciones entre las tierras y los usos de las mismas (FAO-ITPS, 2015; IUSS Working Group WRB, 2015).

2. Principio metodológico

Estudio de caso basado en la interpretación de propiedades edáficas para deducir aptitud y capacidad de uso o servicio ambiental dominante. Para ello, el presente ejercicio se centra en la Comarca Lagunera de Durango.

3. Objetivo

Determinar aptitud edáfica y servicio ambiental dominante de un área geográfica determinada, como aproximación para una clasificación de suelos conforme a sus propiedades intrínsecas.

4. Material y equipo requerido

+ Consulta previa del documento: Base referencial Mundial del Recurso del Suelo (WRBS).

Opciones de consulta y descarga⁶:

Online:

<http://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>

Archivo electrónico en el CD:

FAO-2015. Base de referencia mundial del recurso suelo

+Tabla de servicios ecosistémicos para los recursos edáficos ([Apéndice 2](#))

+Mapa de suelos del área de interés ([Apéndice 3](#))

+Computadora con conexión a internet y Programa Google Earth® instalado

+Archivo kmz para visualizar y manipular en Google Earth del tema Edafología.

⁶ Véase nota del autor (En posteriores indicaciones para la descarga se omite el presente comentario)

Opciones de consulta y descarga ([Apéndice 4](#)):

Online:

https://drive.google.com/file/d/0Bznox8G_o7omTHRkcVUtaDFFNVU/view?usp=sharing

Archivo electrónico en el CD:

Apendice 4_Edafo_s2_CL_DGO.kmz

+Archivo *kmz* para visualizar y manipular en Google Earth del tema División Municipal de la Comarca Lagunera de Durango.

Opciones de consulta y descarga ([Apéndice 5](#)):

Online:

https://drive.google.com/file/d/0Bznox8G_o7omOEItVDN1anNwX00/view?usp=sharing

Archivo electrónico en el CD:

Apendice 5_CL_Durango_mpios.kmz

5. Procedimiento

Previamente a la sesión práctica, consultar las características de los Grupos de Suelo Principal (GSP) descritas en la WBRS, así como

la tabla de servicios ecosistémicos para los recursos edáficos del Apéndice 3. Una vez cubierto esto, seguir los siguientes pasos:

+Descargue o copie las coberturas o capas antes citadas ([Apéndice 4](#) y [Apéndice 5](#)) correspondientes a la unidad de estudio, disponibles en formato *kmz*, en el disco duro de la computadora. Procure una ruta de fácil acceso.

+Abrir programa Google Earth.

+Cargar las capas y verificar convergencia geográfica sobre el mapa base (imagen de satélite).

+Utilice el cursor y apunte sobre cada una de las Unidades de Suelo (polígonos) representadas en el mapa.

+En cada ocasión se despliega una pequeña ventana con información específica, para ello tome nota de ésa información para relacionarla con los servicios ambientales definidos por la FAO-ITPS (2015).

+Además de lo anterior tome nota de la distribución y ubicación relativa

6. Resultados

La información consultada sobre los mapas antes descritos, deberá integrarse en una base de datos en Excel de acuerdo al siguiente ejemplo (Tabla III-1).

Además de integrar la tabla con la información requerida, elaborar una breve descripción los resultados y otra de conclusiones.

Tabla III-1. Matriz para el registro de datos edafológicos.

Clave	Ubicación relativa	CalifS G1	CalifP G1	Unidad secundaria	CalifS G2	CalifP G2	Clase textural	Serv. Amb.Ppal.	Superficie km ² ó ha	IR(%)	Comentario
Superficie total											

CalifS = Calificador en la superficie; CalifP = Calificador en el perfil; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; IR(%)= Importancia relativa en porcentaje: $IR\% = \frac{\text{Superficie parcial}}{\text{Superficie total}} \times 100$

7. Literatura citada

- Calvo-Flores G.D., M.S. Marañón, R.D. Calvo-Flores. 1987. Metodología para la evaluación de la aptitud de los suelos del sector noroccidental de sierra nevada (granada) para usos agronómicos (agrícolas, forestales y ganaderos). Ecología 1: 5-25
- FAO-ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR). Main Report. FAO/ITPS. 658p. Printed in Rome, Italy. Revisado (23/07/2017) en: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>
- IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.
- Krasilnikov, P., R.J. Gutiérrez-Castorena, M.C. Ahrens, C.O. Cruz-Gaistardo, E. Sedov, y Solleiro-Rebolledo, S. 2013. World Soils

Book Series. The Soils of Mexico. Edited by Alfred E Hartemink. First ed. SPRINGER. <https://www.springer.com/series/8915>

MEA. 2005. Ecosystems and Human Wellbeing: synthesis. Island Press, Washington, DC. 155 p.

Montiel-González, I., S. Martínez-Santiago, A. López-Santos, y García-Herrera, G. 2017. Impacto del cambio climático en la agricultura de secano de Aguascalientes, México para un futuro cercano (2015-2039). Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 16(1), 1-13. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsza.2017.01.001>

Nkonya, E., Mirzabaev, A., von Braun, J., 2016. Economics of Land degradation and improvement: an introduction and overview, chap 1. In: Nkonya, E., Mirzabaev, A., von Braun, J. (Eds.), Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development. First edition 2016, Ed. SPRINGER. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3>. Open. 978-3-319-19168-3 (eBook).

CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN DE LOS SUELOS E IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS ESPECÍFICOS

Objetivo

Diseñar una metodología adecuada para el estudio de la calidad y salud edáfica acorde a la función definida y los procesos edáficos identificados del caso a estudiar.



Fuente: Autor, elaboración con fotos propias.

4.1 Técnica de reconocimiento de rasgos del medio físico con apoyo de un sistema de posicionamiento satelital, GPS

1. Fundamentación⁷

El GPS (Global Positioning System) es un sistema mundial de localización constituido por una constelación de 24 satélites, cada uno de ellos dotado con relojes atómicos, computadoras, emisores y receptores de radio y por estaciones terrenas que monitorean constantemente a cada uno de los satélites (Lillesand *et al.*, 2004; Letham y Letham, 2008).

Los Receptores GPS (RGPS) utilizan a estos satélites como puntos de referencias para calcular la latitud, longitud, altitud, velocidad y tiempo exacto, con aproximaciones en metros, y hasta en centímetros (Lillesand *et al.*, 2004; Letham y Letham, 2008).

Cada satélite transmite su posición y el tiempo exacto cada 1000 veces por segundo a la tierra, donde cada milisegundo, un receptor

⁷ Si conoce o está habituado al funcionamiento y manejo del receptor GPS, omita la realización de éste ejercicio práctico.

computarizado puede calcular a qué distancia se encuentra de un satélite en particular que se encuentra a la vista, multiplicando la velocidad de la luz por el tiempo transcurrido de la señal del satélite al RGPS. Al combinar las señales de varios satélites, el receptor puede establecer con "exactitud" su propia posición, altitud e inclusive la velocidad (Gómez, 2003; Martínez, 2013).

La idea básica de la determinación de la posición se basa en la triangulación de los satélites. Para "triangular" un RGPS, se calcula la distancia en base al tiempo de travesía de la señal a través de las capas de la atmósfera, conociendo de antemano la velocidad de la luz (Gómez, 2003; Martínez, 2013).

Para calcular el tiempo de travesía, los RGPS necesitan calcular los tiempos en ambos relojes, el del receptor y el del satélite, de una manera muy precisa, lo cual se realiza con algunos trucos. Además de la distancia, se necesita saber dónde están los satélites en el espacio (Gómez, 2003; Martínez, 2013).

2. Principio metodológico

Desarrollar destrezas y habilidades para el manejo eficiente de un RGPS, considerando como pieza clave la lectura previa del Manual

correspondiente al RGPS⁸ a emplear durante la práctica de campo.

3. Objetivo

Manejar un RGPS para georreferenciar rasgos del medio físico, mediante la obtención de coordenadas geográficas (xy) y alturas (z) de uno o más puntos o Waypoints (Wpt) asociados a un proyecto.

4. Material y equipo requerido

- +Receptor GPS
- +Manual del GPS. (Debe corresponder con marca y modelo)
- +Pilas en buen estado según se indique en el receptor GPS. Se recomienda llevar un juego de pilas extra, lo cual dependerá también del tiempo previsto para el trabajo de campo.
- +Formato impreso para registro manual de datos de campo
- +Tabla apoya papeles
- +Cámara fotográfica (en caso de que RGPS no la tenga integrada)
- +Lápiz con borrador
- +Cable para transferencia de datos

⁸ En la actualidad los RGPS son más sencillos para su manejo debido se ajustan a un manejo intuitivos, sin embargo para un trabajo profesional es más eficiente usar el Manual proporcionado para el usuario.

5. Procedimiento

Dependiendo de tamaño del grupo y de la disponibilidad de RGPS, es recomendable organizar equipos pequeños de dos a cuatro personas. El procedimiento que se describe a continuación se divide en acciones previas y acciones durante la jornada de campo.

5.1 Acciones previas

+Antes de iniciar la práctica, se deberá acordar una estrategia de trabajo que permita el manejo del GPS a cada uno de los integrantes del mismo equipo.

+Además, se recomienda dedicar un espacio de tiempo para aclarar dudas sobre la lectura previa del Manual, como se indicó anteriormente.

+Hacer los ajustes necesarios relativos al DATUM y las unidades requeridas para este fin.

+Identificar la rutina para el guardado de los Wpt en el RGPS que deberán almacenarse en la memoria del aparato, teniendo especial cuidado con la identificación que corresponda al conjunto de datos tomados en campo.

+Elaborar una bitácora de campo (libreta) como respaldo de los registros electrónicos realizados durante el proceso. Haga una bitácora para cada rutina. La forma que se sugiere llevar a cabo el registro de datos para tal fin es la siguiente (Tabla IV-1):

Tabla IV-1. Formato sugerido para registro de datos de campo.

Vértice o punto de referencia	Coordenadas geográficas (x, y, z)			Descripción del vértice o punto de referencia
	Latitud	Longitud	Altura	
1				
2				
...				
n				

5.1 Acciones durante la jornada de campo

Durante la jornada de campo se recomienda atender las tres rutinas que se describen a continuación (Tabla IV-2):

Tabla IV-2. Rutinas y descripción para la ejecución de entrenamiento para el uso del GPS.

Nombre de la rutina	Descripción	Objetivo
R1. Cálculo de pendiente	Registrar Wpt con el RGPS a lo largo de un recorrido, acompañados por cartografía e imágenes de satélite, procurando hacer descripciones representativas de cada punto marcado.	Uso y manejo de herramientas del GPS en tiempo real relacionadas con: guardado, creación de marcas de tierra, distancia, velocidad, vuelta atrás, rutas, trac y cálculo de área en campo.
R2. Cálculo de áreas en campo	Crear un trac de recorrido basado en un proyecto de cálculo de superficie, apoyándose en imágenes de satélite.	
R3. Pos-proceso	Transferir información del RGPS a una computadora mediante el uso de protocolos de conectividad específicos para el GPS.	Integrar información de campo a un SIG (Sistema de Información Geográfica).

6. Resultados

Los resultados pueden ser muy variados dependiendo del modelo de GPS a utilizar. Por ejemplo, hay modelos de RGPS que están provistos de medios de audio, video y cámara fotográfica. Si fuera el caso, es recomendable incorporar ilustraciones como fotografías de los Wpt-RGPS recabados en campo.

Los resultados básicamente comprende dos elementos: 1) el archivo electrónico capturado durante la jornada de campo para su transferencia a una computadora; y 2) la bitácora de campo que debe contener información complementaria de utilidad para mejorar la descripción de los puntos del RGPS y/o sitio de trabajo.

7. Literatura citada

- Gómez C. J. 2003. El uso del GPS en actividades desarrolladas en la naturaleza. Apuntes Educación Física y Deportes. Vol 3(73): 70-75. <https://www.raco.cat/index.php/ApuntsEFD/article/view/301333/390906>
- Letham L., y Letham, A. 2008. GPS Made Easy: Using Global Positioning Systems in the Outdoors. Editor Rocky Mountain Books. 187 P. ISBN: 1897522053, 9781897522059
- Lillesand, T.M., R.W. Kiefer, Y Chipman, J.W. 2004. Remote sensing and image interpretation. 5th Edition. John Wiley and Sons. 763 páginas.
- Martínez, E. 2013. Sistema mundial de localización por satélite (GPS). Publicado online en Eveliux.com. Consultado (15/03/2013) In: <http://www.eveliux.com/mx/sistema-mundial-de-localizacion-por-satelite-gps.php>

4.2 Aproximación hacia la gestión integral del territorio. Aplicación a un estudio de caso

1. Fundamentación

El manejo integral del agua y los suelos para una función productiva, bajo un enfoque de sustentabilidad requiere una gran cantidad de información y capacidad de análisis para la toma de decisiones (FAO, 1996; FAO-MADS, 2018).

La gestión adecuada de los suelos, está relacionada con el manejo de la cobertura y residuos vegetales, la biodiversidad, rotación de cultivos; así como con la práctica de la fertilización, los sistemas de labranza, el conocimiento de la variabilidad climática, la disponibilidad del agua, así como su manejo para los distintos usos, particularmente para obtención de cosechas (Perales *et al.*, 2009; FAO-MADS, 2018).

Por lo tanto, los recursos alrededor de una función productiva en el ámbito de la producción primaria, deben ser evaluados adecuadamente para que con ello sea posible prever el costo que implica llevarlo a un nivel suficiente para su correcto funcionamiento (Perales *et al.*, 2009; FAO-MADS, 2018).

Encontrar una falla en un sistema de producción puede ser relativamente sencillo, pero su corrección por lo general está condicionada a un asunto económico (Doran y Zeiss, 2000; FAO-MADS, 2018).

La selección de los indicadores de calidad es un camino ordenado para la evaluación de aptitud y capacidad de acuerdo a la función productiva (SEMARNAT, 2002; FAO-MADS, 2018).

Un enfoque podría ser solo en función del binomio agua-suelo como: 1) Proveedor de condiciones físicas, químicas y biológicas para los organismos del suelo; 2) Regulador y distribuidor del flujo de energía, agua, almacén y reciclaje de nutrientes y otros elementos; 3) Soporte de la actividad biológica y diversidad de plantas y producción animal; 4) Filtrado, amortiguador, degradación, inmovilización y desintoxicación de materiales orgánicos e inorgánicos; 5) Proveedor de soporte mecánico para las raíces de plantas y otros organismos (López-Santos *et al.*, 2009).

Todas estas funciones deberán estar orientadas para:

1) Enfocar esfuerzos en el mantenimiento y mejoramiento de la condición del suelo;

- 2) Evaluar prácticas y técnicas de manejo;
- 3) Relacionar la calidad del suelo con otros recursos;
- 4) Colectar información necesaria para determinar tendencias; y
- 5) Guiar las decisiones en el manejo de los suelos.

2. Principio metodológico

Desarrollo de conocimientos contextuales sobre el uso eficiente del suelo con fines agrícolas, así como habilidades para el empleo de herramientas y equipo para la medición de variables claves de la producción agrícola y el manejo y distribución del agua.

3. Objetivo

Describir las características de los sistemas de producción agrícola de la unidad de estudio elegida.

4. Material y equipo requerido

Primeramente, se aclara que el diseño del presente ejercicio está enfocado al caso de la Comarca Lagunera que comprende la porción suroeste de Coahuila y Noreste de Durango, la cual en lo sucesivo será

llamada: Comarca Lagunera. De manera que para otras regiones el diseño podrá variar en función de sus características propias y de otros elementos que se consideren pertinentes.

Aclarado lo anterior, a continuación se presenta una relación de los requerimientos por grupo de trabajo (por equipo si es el caso) para realizar las actividades que se describen en la sección de Procedimiento del presente capítulo. Para ello, es importante contar con las guías propuestas impresas por separado para usarse en campo.

+Aparato RGPS⁹

+Cinta métrica de 3 ó 5 m

+Cámara fotográfica

+Cartografía impresa del tema topografía en escala 1:250,000 de las coberturas correspondientes a la unidad de estudio. Opciones para consulta y descarga¹⁰:

Online:

<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/topografia/>

Archivo electrónico en el CD:

Apéndice 6_Topo-G13-8 ([Apéndice 6](#))

Apéndice 7_Topo-G13-9 ([Apéndice 7](#))

⁹ Se aclara que si va a usar por primera vez el Receptor GPS, se recomienda leer el manual de usuario del RGPS a utilizar, así como realizar un entrenamiento previo para su adecuado manejo en campo. Remítase a la Sección anterior (página 32)

¹⁰ Respecto a la descarga de la cartografía propuesta, obviamente dependerá de la cobertura definida como unidad de estudio. Se aclara además que el material sugerido es de acceso libre y se encuentra en distintos formatos.

+Cartografía impresa del tema edafología en escala 1:250,000 de las coberturas correspondientes a la unidad de estudio. Opciones para consulta y descarga (Apéndices 8 y 9):

Online:

<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/>

Archivo electrónico en el CD:

Apéndice 8_Topo-G13-8 ([Apéndice 8](#))

Apéndice 9_Topo-G13-9 ([Apéndice 9](#))

+Caja edafológica para uso en campo (Ver lista de materiales)

+Barrena tipo california o pala corta para jardín o “cajuelera”

+Lupa

+Tabla de colores Munsell

+10 Bolsas de plástico de 2 kg para tomar muestras

+Tabla apoya papeles (para tomar notas)

+Marcador tinta negra punto mediano

+Copias del formato de la Guía de Campo del [Apéndice 10](#) y [Apéndice 10A](#)

+Garrafa con agua (4 l)

+Lista de materiales que debe contener la caja edafológica para uso en campo:

1 gotero con ácido clorhídrico (HCl) diluido al 70%

1 gotero con peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

2 Placas de porcelana de 12 cavidades

1 Espátula chica

1 Pisseta con agua destilada

1 Porción de papel tornasol

5. Procedimiento

El procedimiento que a continuación se describe consta de dos partes: La primera, es información preliminar que debe ser parte de una investigación documental conforme al objetivo definido; en tanto que la segunda, parte de una estrategia de conducción para el desarrollo de habilidades de evaluación agrológica en campo. Ambas se describen a continuación:

5.1. Información preliminar

a) Generalidades

+Características ecológico-geográficas y socioeconómicas de la Comarca Lagunera. Utilice mapas a diferentes escalas de la región para representar la integración territorial.

+Ubicación geográfica, límites y colindancias.

+Superficie por tipo de uso del suelo de los municipios que conforman la Comarca Lagunera. Utilice cuadros y gráficas para explicar.

+Clima: a) tipo de clima y microclimas predominantes de la unidad de estudio, b) temperaturas: promedio, máximas y mínimas; b) lluvia: promedio anual, mensual y estacional.

Apoye esta descripción con gráficas y mapas de distribución de las principales variables climáticas. Con el fin de realizar una buena caracterización meteorológica se recomienda apoyarse en una consulta de las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. Opciones de consulta y descarga ([Apéndice 11](#)):

Online:

<http://smn.cna.gob.mx/es/component/content/article?id=42>

Archivo electrónico en el CD

Apéndice 11_EstacionesClimatologicas.kmz

b) Además, se recomienda consultar lo siguiente:

+Volumen y distribución de los recursos hidrológicos superficiales y subterráneos. Utilice cuadros y gráficas para explicar.

+Suelos: superficie y distribución de los principales suelos de la Comarca Lagunera.

+Vegetación: principales ecosistemas existentes en la Comarca Lagunera. Comente algunos problemas relacionados con el tema de las especies endémicas y en peligro. Para ello, se recomienda consultar, entre otros el marco Geoestadístico del INEGI. Opciones de consulta y descarga ([Apéndice 12](#) y [Apéndice 13](#)):

Online:

<https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>

Archivos electrónicos en el CD:

Apendice 12_USV-G13-8_250k.pdf (Apéndice 12)

Apendice 12_USV-G13-9_250k.pdf (Apéndice 13)

c) Especificidades sobre la infraestructura hidroagícola del Distrito de Riego # 017

+Obras hidráulicas: nombre de las obras y descripción por capacidad y longitud para: presas, represas y canales de distribución y de riego.

+Aprovechamientos subterráneos por tipo de uso y volumen de extracción.

+Estaciones hidrométricas y meteorológicas de la Comarca Lagunera. Nombre y ubicación (coordenadas geográficas).

5.2. Información de campo

a) Descripción de las obras hidroagícolas visitadas en el recorrido.

+Ubicación geográfica y uso primordial de las obras

+Importancia del uso actual

+Características técnicas y principio de funcionamiento

b) Descripción de las características generales con énfasis en las propiedades edáficas de los sitios visitados

+Nombre técnico del suelo, y si tiene un nombre local registrar ese dato.

+Propiedades físicas del suelo. Morfología: color, textura, dureza, densidad aparente, permeabilidad, profundidad, relieve y fase física.

+Propiedades químicas: pH y presencia de carbonatos.

+Propiedades biológicas: materia orgánica, densidad de raíces, galerías de lombrices y otros organismos del suelo.

+Registre algún testimonio relacionado con la problemática en el manejo del suelo y como el agricultor lo visualiza y lo resuelve.

6. Resultados

Informe documentado donde se aborde la descripción ecológico geográfica, apoyado con mapas y tablas de datos conforme a los puntos descritos en la sección 5.1. (Información preliminar), acompañada por el análisis preliminar de la información obtenida mediante la guía de campo.

7. Literatura citada

Doran, J.W., y Zeiss, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3–11

FAO. 1996. Manejo Integral del Suelo. Taller Regional sobre aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agro-Ecológica y los Sistemas de Recursos de Tierras en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile 10 p.

- FAO-MADS. 2018. Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Construcción participativa del diagnóstico de suelos. Diseño de planes de intervención. Prácticas de manejo sostenible de los suelos. Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia. ISBN 978-92-5-130425-9. Revisado (01/06/2019) en: <http://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>
- López-Santos, A., M. Cadena-Zapata, A. Zermeño-González, G. González-Cervantes, Sombrero-Sacristan, A. 2009. Cambio Climático y Vulnerabilidad Ecológica: Impacto en el Recurso Suelo como Sumidero de Carbono. En González Barrios, J. L., I. Sánchez Cohen (Dir. Libro). Manejo comparado de Cuencas Hidrológicas, Incertidumbre Climática, Vulnerabilidad Ecológica y Conflicto Social. Ediciones de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, la Red Temática del Agua del CONACYT y la Red Nacional de Innovación Agua y Suelo del INIFAP. Torreón, Coahuila, México. 282 p (ISBN: 978-607-95106-4-0)
- Perales A., O. Loli, J. Alegre, y Camarena, F. 2009. Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). Publicado en Ecol. apl. Vol.8 No2: 47-52. ISSN 1726-2216.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario oficial, segunda sección del 31 de diciembre del 2002. 85 p. Disponible en: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf>

CAPÍTULO V. ERODABILIDAD EDÁFICA. FACTORES AMBIENTALES

Objetivo

Estudiar los factores ambientales que intervienen en los procesos erosivos para calcular tasas de pérdida (ton/ha/año) de acuerdo al tipo de suelo en una cuenca hidrográfica.



Fuente: Autor, elaboración con fotos propias.

5.1 Estimación de índices de erodabilidad a partir de ecuaciones de regresión

1. Fundamentación

La erodabilidad se refiere a la susceptibilidad del suelo a la erosión por el agua o el viento, y este se identifica como un controlador secundario en la intensidad de los factores ambientales (USDA-ARS, 1997; Shabani *et al.*, 2014).

La susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (SEH) es determinada primordialmente por el potencial erosivo de la lluvia, la inclinación del terreno o grado de pendiente, la superficie y posición de captación o (área) de impacto de la lluvia, así como las cubiertas vegetales o de otra naturaleza en su superficie (FAO-ITPS, 2015), así como por la acción antrópica (Wang *et al.*, 2015; Darvishan *et al.*, 2016).

La erodabilidad es un proceso dinámico que varía por la interacción de factores físicos, químicos y mineralógicos del suelo. Diversos mecanismos de la erosión operan al mismo tiempo y cada uno está relacionado con una propiedad específica del suelo (USDA-ARS, 1997;

Wang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018). Wang *et al.* (2018) mencionan que la valoración de la erodabilidad edáfica definido en la ecuación USLE para determinar pérdida de suelo en toneladas por hectárea como factor K (FK), además de ser necesaria para predecir pérdida de suelo, también lleva a comprender los mecanismos y procesos erosivos que describen la resistencia al impacto de la lluvia debido a propiedades internas o intrínsecas del suelo.

Por tanto, FK puede ser determinada mediante ecuaciones de regresión como la propuesta por Wischmeier y Smith (1978), cuya expresión es la siguiente (Ecuación V-1):

$$FK = \left[\frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - MOS) M^{1.14} + 3.25 (S - 2) + 2.5 (P - 3)}{100} \right] \times 0.1317 \quad (\text{Ec. V-1})$$

Donde:

FK = factor de erodabilidad en la ecuación en toneladas-hora por Mega Julios por milímetro ($t \ h \ MJ^{-1} \ mm^{-1}$)

MOS = porcentaje de materia orgánica en el horizonte superficial.

M = parámetro que se define por la notación como: $M = \% \text{ de arena fina} + \% \text{ de limo} \times 100 - \% \text{ de arcilla}$.

S = tipo de estructura de suelo tamizado, que puede tomar los siguientes valores: 1 (gránulo muy fino y grumo fino), 2 (gránulo fino y

grumo fino), 3 (gránulo medio y grueso, grumo medio), 4 (gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso).

P = tipo de permeabilidad, cuyos valores podrían ser los siguientes: 1 (muy rápida a rápida), 2 (medianamente rápida), 3 (moderada), 4 (moderadamente lenta), 5 (lenta), 6 (muy lenta) (Tabla V-1).

El resultado de la Ecuación V-1 se multiplica por 0.1317, que es un coeficiente de conversión de unidades del sistema inglés al sistema métrico para obtener FK en $t\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$.

Tabla V-1. Definición de clases de infiltración y conductividad hidráulica saturada.

Clase	K_{hs}	
	cm/h	m/día
Muy lenta	0.1	0.03
Lenta	0.1 - 0.5	0.03 - 0.12
Moderadamente lenta	0.5 – 2.0	0.12 - 0.50
Moderada	2.0 – 6.0	0.5 - 1.50
Moderadamente rápida	6.0 – 12.0	1.50 - 3.0
Rápida	12.0 – 18.0	3.0 - 4.5
Muy rápida	> 18.0	> 4.5

Fuente: USDA-ARS, 1997

2. Principio metodológico

La erodabilidad edáfica puede determinarse a partir de las propiedades intrínsecas del suelo como son proporción de minerales primarios (arena, limo y arcilla), morfología ligada a tipo de estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad.

3. Objetivo

Estimar el índice de erodabilidad edáfica con base en información de laboratorio y campo para determinar de modo aproximado el grado de tolerancia a la pérdida de suelo.

4. Materiales y equipo requerido

Los materiales y equipo requerido para la realización de este ejercicio, dependerán de la información que se haya obtenido del procedimiento descrito en el Capítulo III (pág. 38). En caso de requerir apoyo para determinar éstas mismas variables remítase al Manual de Prácticas de laboratorio y campo de Edafología del Autor ([Apéndice 14](#)). La información requerida consta de lo siguiente:

+Datos de laboratorio para determinar las variables: MOS , M y S

+Datos de campo para determinar P

5. Procedimiento

+Calcular por separado cada parámetro de la ecuación de regresión propuesta (Wischmeier y Smith, 1978).

+Elaborar un concentrado de los datos iniciales que caracterizan el sitio o sitios de estudio como el que se indica en la Tabla V-2.

Tabla V-2. Caracterización inicial por sitio en estudio.

Sitio	1	3	3	CT	da	Pt	CC	PMP	MOS
	----- kg -----			Clase	$kg\ m^{-3}$	----- % -----			Clase
1									
2									
3									
n									

1= Arena; 2=Limo; 3=Arcilla; CT = Clase textural; MOS = Materia orgánica del suelo; da = densidad aparente.

+Para determinar el valor de P , utilice la calculadora de propiedades hidráulicas basada en el triángulo de texturas del Dr. Calderón Labs (2000/2002)¹¹.

¹¹ http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_Fisico_de_Suelos/Calculador%20Textural.htm

6. Resultados

Obtener los valores estimados de erodabilidad y compararlos con al menos dos referencias bibliográficas. Discuta sus resultados en un documento de al menos 2 cuartillas.

7. Literatura citada

- Darvishan, A.K., V. Homayounfar, y Sadeghi, S.H. 2016. "The Impact of Standard Preparation Practice on the Runoff and Soil Erosion Rates under Laboratory Conditions." *Solid Earth* 7 (5): 1293–1302. <https://doi.org/10.5194/se-7-1293-2016>
- FAO-ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. First. Rome, Italy: FAO. <https://doi.org/ISBN 978-92-5-109004-6>
- Shabani, F., L. Kumar, y Esmaeili, A. 2014. "Improvement to the Prediction of the USLE K Factor." *Geomorphology* 204: 229–34. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.008>
- USDA-ARS. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. *Agricultural Handbook* 730. Edited by and D.C. Yoder Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool. First ed. USDA-ARS.
- Wang, G., Q. Fang, B. Wu, H. Yang, y Xu, Z. 2015. "Relationship between Soil Erodibility and Modeled Infiltration Rate in Different Soils." *Journal of Hydrology* 528: 408–18. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.044>

- Wang, H., G. Zhang, N. Li, B. Zhang, y Yang, H. 2018. Geoderma Soil Erodibility influenced by Natural Restoration Time of Abandoned Farmland on the Loess Plateau of China. *Geoderma* 325 (Dec 2017): 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.037>
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture Agricultural Handbook, 537. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., USA. Revisado (03/03/2019) in: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

5.2 Técnica para determinar tipo y mecanismos de la erosión hídrica

1. Fundamentación

La erosión edáfica es el proceso de desgaste originado por separación y traslado de material particulado, que en algunos casos puede tratarse del componente más fértil del suelo por la acción de los factores ambientales, como son principalmente el agua y el viento; éste fenómeno puede verse acelerado por la acción del hombre debido a la ocupación del territorio, y además cuando realiza prácticas inadecuadas para la producción o protección de recursos (SARH-SPP-CP, 1991; CONAFOR-SEMARNAT, 2004; Taleshian *et al.*, 2018).

Cuando no se toman medidas de prevención o de disminución para controlar la pérdida de suelo, el problema de erosión llega a aumentar a un grado tal que los costos ambientales se multiplican, afectando por igual las cosechas o los aprovechamientos ganaderos, las condiciones del paisaje y la vida silvestre, con repercusiones en otros componentes de los ecosistemas como el hidrológico (León, 1984; SARH-SPP-CP, 1991; CONAFOR-SEMARNAT, 2004; Wang *et al.*, 2014).

En México, la erosión causada por el agua es la más importante, aunque también se estima que la eólica afecta entre 10 y 20% de su territorio. La primera se debe a que muchas de las tierras bajo cultivo son muy inclinadas, no tomándose las medidas necesarias para controlar la erosión (SEMARNAT, 2011).

En el Manual de Conservación de Suelos (SARH-SPP-CP, 1991), la erosión causada por el agua se divide en tres clases:

1) La primera, la más dañina, es la erosión superficial o laminar que apenas se nota, ya que lo que se pierde es una capa pareja (o similar) a lo largo y ancho de toda la superficie afectada;

2) En la segunda clase, predomina la erosión por surcos, que puede notarse fácilmente, en ésta los chorros de agua corren cuesta abajo formando pequeños surcos o arroyuelos y arrastrando algunos centímetros de tierra; y

3) La tercera clase está dominada por la erosión en zanjones y cárcavas: donde los chorros de agua corriendo cuesta abajo se unen en las hondonadas del terreno hasta formar grandes corrientes, éstas arrastran grandes cantidades de tierra y forman zanjones.

2. Principio metodológico

La cubierta vegetal proporciona protección al suelo al disminuir la energía de las gotas de lluvia, al aumentar su permeabilidad, reducir los escurrimientos superficiales y disminuir la velocidad del viento en la

superficie del suelo. A medida que las actividades humanas van modificando la densidad y distribución de la cubierta, los suelos quedan expuestos a los factores del intemperismo.

3. Objetivo

Valorar el problema de la erosión, así como de los principales agentes y formas en que ésta se presenta, con apoyo de recursos cartográficos y el uso de un receptor GPS en campo, para identificar las diferentes formas en que se presenta éste fenómeno, así como los mecanismos originados por el agua y el viento.

4. Materiales y equipo requerido

+Receptor GPS

+Cinta métrica de 3 m

+Cartografía temática de los temas edafología, geología y topografía del área de estudio

+Tabla apoyapapeles o libreta de campo

+Guía de campo ([Apéndice 15](#))

+Cámara fotográfica

5. Procedimiento

El procedimiento previsto para la realización de la presente práctica es el sistemático cuya descripción es la siguiente:

+Elegir un área representativa de la zona de estudio, la cual, puede estar definida por la delimitación de una cuenca hidrológica.

+Hacer un recorrido bajo un criterio previamente establecido. Se recomienda utilizar uno basado en el gradiente de altura o siguiendo los cauces de los arroyos.

+Definir estaciones de observación sistemáticas fundadas en un criterio de distancia, la cual, está en función de la zona de estudio; los transectos de un kilómetro con estaciones cada cien metros son adecuados.

+El uso de una copia de la carta topográfica es mucho mejor, sobre todo si se utiliza una ampliación sobre el área específica seleccionada, pero un croquis hecho en campo, con detalles de ubicación, podría ser suficiente para trasladar la información a un formato digital.

+En cada estación, con el GPS se deberán determinar las coordenadas geográficas, las cuales deberán ser anotadas en el croquis y ser guardadas en la memoria del mismo GPS, para su descarga posterior.

+Para cada punto elegido o estación, se deberán discutirse entre los miembros del equipo los detalles relacionados con: d1) la vegetación, d2) grado de erosión, d3) factor ambiental dominante e interpretación de la forma dominante.

+Realizar algunas mediciones que se consideren relevantes.

6. Resultados

El reporte derivado del presente ejercicio, en primer lugar corresponderá la descripción general del área de estudio. Para ello, es altamente recomendable incluir mapas con un enfoque transescalar, es decir deberán ser creados de lo general a lo particular.

Con respecto a la identificación de la erosión hídrica se pide que el reporte sea acompañado con una descripción y fotografías donde se ilustren diferentes ángulos.

Deberá contener una conclusión preliminar que será discutida en clase sobre la forma que deberá ser abordada la problemática observada.

7. Literatura citada

CONAFOR-SEMARNAT. 2004. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. 2da ed. México, D.F. 207p

León, A.R. 1984. Nueva Edafología, Regiones Tropicales y Áreas Templadas de México, características y propiedades de los terrenos y su influencia agrícola. Ed. FONTAMARA 107.

SARH-SPP-CP. 1991. Manual de Conservación de Suelos. Tercera edición Tomos I y II. Chapingo, Méx.

SEMARNAT. 2011. Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras. Ed. SEMARNAT-SINADES. ISBN: 978-607-7908-42-5

Taleshian, J., F. Ghajar, M. Sepanlou, y Emadi, M. 2018. Impact of land use change on soil erodibility. Global Journal of Environmental

Science and Management, 4(1): 59-70. Doi:
<http://10.22034/gjesm.2018.04.01.006>

Wang, B., Y. Yan, P., Ruo Y. Ke, K. Wang, y Wei, Y.M. 2014. An overview of climate change vulnerability: a bibliometric analysis based on web of science database. Natural Hazards 74 (3): 1649–66. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1260-y>

5.3 Evaluación del grado de erosión de suelos mediante el método kappa

1. Fundamentación

El método kappa se basa en el empleo de índices que son analizados por medio de la estadística discreta que calcula la concordancia entre dos observadores cuyo fin es determinar de modo categórico el estado en que se encuentra un problema en estudio (van Vliet *et al.*, 2011; Saldaña *et al.*, 2012; Lane *et al.*, 2014; Feng *et al.*, 2015).

El uso más frecuente de dicho índice como método de trabajo se da en la parte de visualización (fotointerpretación) para la identificación de rasgos del territorio; recurso también empleado como técnica de verificación mediante el empleo de imágenes de satélite (Feng *et al.*, 2015).

En México, los datos de erosión hídrica (Eh) o eólica (Ee), históricamente han sido contradictorios. Por ejemplo, López-Santos (2016) al considerar el promedio de tres fuentes consultadas —Garrido y

Cotler, 2010 (EH, 29.5 %; EE, 30.7 %); SEMARNAT, 2011 (EH, 11.8 %; EE, 9.5 %); CONAFOR-UACH, 2013 (EH, 35 %; EE, 20 %) — sobre la magnitud del Territorio Nacional (1.9 millones de km²), para ambos tipos de afectación: EH y EE, detectó incertidumbres de 15.2% y 13.8%, respectivamente; datos que evidentemente producen escenarios diferentes sobre una misma problemática.

Respecto a ésta controversia, la CONAFOR-UACH (2013) menciona que la causa más probable de esas divergencias tiene que ver con los métodos más comúnmente usados, que han incluido observaciones de campo, empleo de ecuaciones paramétricas como la USLE y RUSLE, y el desarrollo de algoritmos asociados a imágenes de satélite.

2. Principio metodológico

Observación experta de evidencias en terrenos dedicados a la agricultura de secano para su análisis y prueba de hipótesis.

3. Objetivo

Valorar acciones de conservación de suelos a partir de evidencias obtenidas en campo para su sistematización y análisis.

4. Material y equipo requerido

- +Receptor GPS
- +Mapas impresos como apoyo para realizar el trabajo de campo
- +Guía para evaluar acciones de conservación de suelo y uso del agua ([Apéndice 16](#))
- +Transporte
- +Tabla apoyapapeles
- +Lápiz con borrador
- +Cámara fotográfica

5. Procedimiento

Antes de acudir a campo, se deberá hacer una revisión sobre las características de cada uno de los 17 indicadores citados en el cuestionario ([Apéndice 16](#)). Los pasos recomendados para su aplicación son los siguientes:

- +Acudir por parejas a los sitios de evaluación, definidos y asignados previamente.
- +Cada persona debe utilizar un formato de modo independiente.
- +Llenar el formato de campo de manera ordenada, poniendo una marca (x), eligiendo una sola opción de las tres opciones posibles (Si/No/No sé).

+Tomar las fotografías que considere necesarias, procurando llevar un orden para asociarlas al registro de campo.

6. Resultados

Cuestionario con información recabada en campo para su posterior análisis estadístico e interpretación (Ver ejemplo en el [Apéndice 16A](#)).

7. Literatura citada

- CONAFOR-UACH. 2013. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo. Zapopan, Jalisco, México.
- Feng Q., J. Gong, J. Liu and Y. Li. 2015. Flood mapping based on multiple endmember spectral mixture analysis and random forest classifier: The case of Yuyao, China. *Remote Sens* 7: 12539-12562.
- Garrido, A. y Cotler, H. 2010. Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México. pp. 104-107. In: H. Cotler A., A. Garrido Pérez, N. Luna González, C. Enríquez Guadarrama y M. L. Cuevas Fernández (eds.). *Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y priorización*. PLURALIA. México, D. F.
- Lane Charles, R., H. Liu, B.C. Autrey, O.A. Anenkhonov, V.V. Chepinoga, y Qiusheng, W. 2014. Improved Wetland Classification Using Eight-Band High Resolution Satellite Imagery and a Hybrid Approach. *Remote Sens* 6: 12187-12216.
- López-Santos, A. 2016. Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? *Terra Latinoamericana*, 34: 239-249.

- Saldaña R. N., J.Á.G. Flores, S.B. García, A.S. Zavala, y Kristian, R.G. 2012. Discriminación y estimación del área con labranza de conservación empleando imágenes SPOT 4. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 847-862.
- SEMARNAT. 2011. Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ISBN: 978-607-7908-42-5. México, D. F.
- van Vliet, J., A.K. Bregt, y Hagen-Zanker, A. 2011. Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. *Ecological Modelling* 222: 1367–1375.

5.4 Estimación de la pérdida de suelo en cárcavas. Método de secciones transversales en poligonal abierta

1. Fundamentación

Una cárcavas, también conocida como torrentera o barranco, se identifica por una situación ruptura del terreno, por socavación repetida, y en algún grado, que ocasiona el flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía), creando con ello, una discontinuidad abrupta de la topografía del paisaje (Olds College, 1989; Rivera-Posada, 1998; González *et al.*, 2003).

La ocurrencia de las lluvias en la estación de verano, precedida por una sequía prolongada, una escasa o nula protección de la vegetación y el manejo deficiente de los suelos dedicados explotaciones agropecuarias y forestales en terrenos de ladera, favorecen el incremento en las tasa de pérdida de suelo y la generación de sedimentos (Rivera-Posada, 1998; González *et al.*, 2003).

La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, la destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos, o como consecuencia del uso y manejo inadecuado de los suelos y la ausencia de prácticas de conservación (Rivera-Posada, 1998; González *et al.*, 2003).

No siempre es fácil cuantificar la erosión que está ocurriendo, aun cuando se mantenga un área determinada bajo observación permanente. La medición de la cantidad de suelo perdido requiere la presencia de algunos puntos de referencia, y bajo condiciones naturales, dichos puntos son difíciles de detectar. Una de las formas de llevar a cabo la cuantificación de la erosión en cárcavas se basa en el método de secciones transversales (SARH-SPP-CP, 1991).

La medición de la erosión en una cárcava debe ser vista como un fenómeno dinámico, que cambia constantemente, por lo que, la cuantificación debe hacerse mediante reconocimiento periódicos con base en puntos de referencia bien identificados para poder calcular el espesor de suelo perdido.

2. Principio metodológico

La pérdida de suelo en metros cúbicos de un transecto de cárcava, se obtiene al multiplicar el espesor de suelo perdido por el área de la sección trasversal del transecto. La pérdida de suelo total en una

cárcava es igual a la suma de las pérdidas parciales en todos sus transectos por el número de transectos definidos en la medición de una cárcava.

3. Objetivo

Medir amplitud y profundidad de una cárcava para llevar a cabo la cuantificación del suelo perdido, en términos de masa y volumen, utilizando el método de secciones transversales en poligonal abierta.

4. Material y equipo requerido

+Aparato de topografía que puede ser: tránsito, teodolito o nivel montado.

+Estadal

+Cinta métrica de 30 metros

+Cuerda compensada

+Libreta de tránsito o formatos para las rutinas de nivelación ([Apéndice 17](#)) y rutina para el método de poligonal abierta ([Apéndice 18](#) y [Apéndice 19](#))

+Receptor GPS

+15 Estacas o clavos de 30 cm

+Marro o martillo

+Pincel

+Pintura roja o un bote de pintura en aerosol

+Varilla de 70 cm (para fijar un banco de nivel)

5. Procedimiento

5.1 Paso previo

Antes de llevar a cabo la evaluación de la erosión en cárcavas, es necesario hacer un reconocimiento del terreno donde se hará el trabajo de cuantificación, para poder determinar las características del mismo, y sobre todo, para determinar la forma en que se llevará a cabo la medición. El método a elegir dependerá de las dimensiones de la cárcava como se indica en la Tabla V-3.

Tabla V- 3. Dispositivos recomendados para medir una cárcava considerando sus dimensiones.

Cárcava	Profundidad (m)	Área drenada (ha)	Dispositivo recomendado para medir
Pequeña	< 1	< 2	Con cinta y cuerda
Mediana	1 a 5	2 a 5	Con cinta y cuerda
Grande	> 5	> 5	Con tránsito o nivel y estatal

Una vez cubierto lo anterior, la medición de las dimensiones de la cárcava en cuanto a su amplitud y profundidad requiere cubrir los siguientes pasos:

5.2 Selección de transectos

+Se selecciona un transecto que sea representativo de la cárcava y se ubican tres sitios como mínimo con separaciones de 10 metros, para determinar el área de c/u de las secciones transversales (Figura V-1).

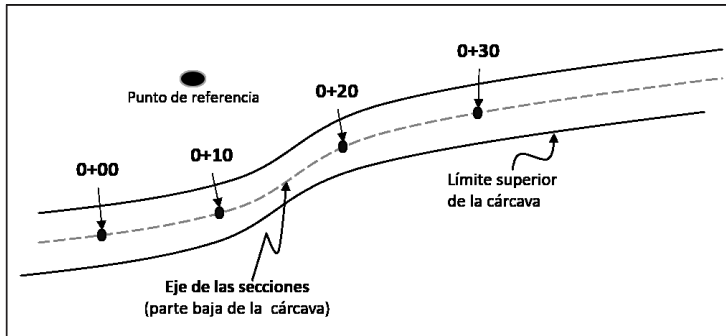


Figura V-1. Cadenamiento y definición del transecto (desde 0+00 hasta 0+30) en una cárcava.

5.3 Dimensionamiento

a) Medición de la amplitud

+Colocar dos o más estacas debidamente referenciadas, que constituyan un trazo de apoyo para efectuar levantamientos sucesivos de secciones transversales (Figura V-2).

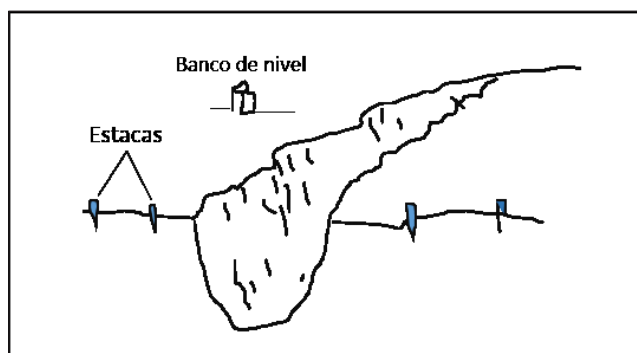


Figura V-2. Disposición de estacas y banco de nivel (BN).

+A determinados intervalos o después de haber transcurrido el periodo de lluvias, se cuantifica la ampliación de la cárcava hacia ambos márgenes.

a) *Medición de la profundidad*

+Con un aparato de topografía y estadal, se hace un levantamiento de las tres secciones, desplazándose el estadal a cada metro o cada cambio de pendiente como se muestra en la Figura V-3.

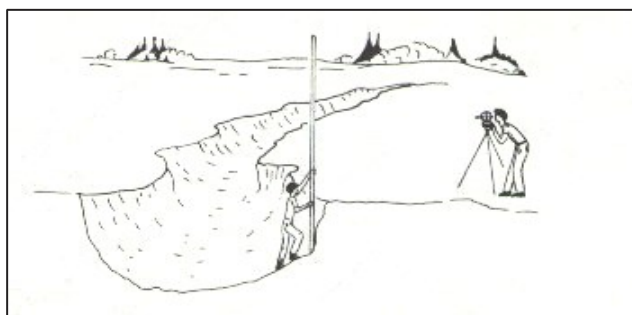


Figura V- 3. Mediciones sobre la sección trasversal de una cárcava.

5.4 Datos edafológicos

Los datos edafológicos requeridos para realizar los cálculos de pérdida de suelo en toneladas por sección de cárcava son: textura y densidad aparente. Para ello, se recomienda hacer una determinación de textura al tacto y tomar una muestra para determinar la densidad aparente por algún método de laboratorio. El método de la probeta da buenos resultados en éste tipo de estudios ([Apéndice 20](#)).

6. Resultados

6.1. Preliminar

En una escala conveniente, elaborar un plano de macro y micro localización del área de trabajo.

6.2. Estimación y evaluación de la erosión

A cada sección se le calcula su área inicial. Después del periodo de lluvias, se procede a levantar las secciones transversales nuevamente.

Con base en la información obtenida, se calcula el área final de las nuevas secciones. Además, se obtienen las diferencias de áreas en cada una de las secciones, las cuales, representan el área perdida por erosión en cada uno de los tramos de 10 metros.

Finalmente, se obtienen las diferencias de áreas en cada una de las secciones, las cuales, representan el área perdida por erosión en cada uno de los tramos de 10 metros.

6.3. Estimación de pérdida de suelo

La estimación de pérdida de suelo para toda la cárcava deberá hacerse en términos de volumen y de masa.

7. Literatura citada

- Brady, N.C. and Weil, R.R. 1996. The Nature and Properties of Soils. Eleventh ed. Ed. Prentice-Hall. New Jersey, USA.
- Donahue, R.L., Miller, R.W. and Shickluna, J.C. 1983. Soils, an Introduction to soils and plant growth. Fifth ed. Ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.
- González M.P., M.J. Polo, I. Masip, A. Márquez, y Giráldez, J.V. 2003. Importancia del flujo subsuperficial en la iniciación de cárcavas en la campiña andaluza. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI. 397-402
- Hausenbuiller, R.I. 1978. Soils Science, principles and practices. Second ed. Wm Brown Company Publisher. Dubuque, Iowa, USA.
- Olds College. 1989. Soils Investigation 1. 6° ed., Ed. Olds College, Land & Horticulture Sciences. Olds Alberta, Can. 1997.
- Ortíz, V.B., y Ortiz, S.A. 1984. Edafología. 7 ed., Ed. Universidad Autónoma Chapingo, Dpto., de Suelos. Chapingo, Méx. 1990
- Rivera-Posada, J. H. 1998. Control de cárcavas remontantes en zonas de ladera mediante tratamientos biológicos. AvancesTécnicos Cenicafé No. 256. Colombia.
- SARH-SPP-CP. 1991. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Tercera edición. Chapingo, Méx.

CAPÍTULO VI. FLUJO SUPERFICIAL, SUS PROPIEDADES Y CÁLCULO

Objetivo

Emplear técnicas para caracterizar las propiedades del flujo superficial y cálculo para determinar su posible uso de acuerdo a la aptitud territorial.



Fuente: Autor, elaboración con fotos propias.

6.1 Propiedades morfológicas de una cuenca hidrológica

1. Fundamentación

El concepto de cuenca parte de una noción concreta de la realidad física delimitada por áreas definidas de homogeneidad territorial, teniendo como eje el sistema hidrológico que se verifica en tiempo y espacio. En este sentido, Branson *et al.* (1981) dicen que:

“...la cuenca de drenaje es la unidad lógica de la superficie de la tierra para el uso en el estudio de las relaciones entre las características de la forma de la tierra y sus procesos. La cuenca es un integrador natural de variables tales como la precipitación, humedad del suelo, evapotranspiración, escurrimiento, vegetación, litología y estructura, erosión y descarga de sedimentos, como estos se relacionan con las entradas y las salidas en un sistema hidrológico abierto”.

Las características discretas de las formas de la tierra, tales como pendiente o canales, pueden ser medidas y estudiadas fuera del contexto de la cuenca. Sin embargo, la interacción de procesos y la ruta

del agua y sedimentos a través del sistema son mucho más manejables si la cuenca es empleada en términos de un uso productivo. Además, las relaciones pueden desarrollarse en porciones pequeñas o transectos de cuenca y extendidas acumulativamente en dirección corriente abajo a lo largo de las áreas de drenaje (Branson *et al.*, 1981; Chow *et al.*, 1994).

2. Principio metodológico

El estudio de las formas de la tierra y los procesos, pueden ser descritos de manera cuantitativa con un propósito general de clasificación.

3. Objetivo

Caracterizar la cuenca desde el punto de vista de su hidrología superficial en cuanto a: i) Las características del sistema de corrientes; ii) Características areales de la cuenca de drenaje; iii) La relación entre la geomorfología y las características hidrológicas; y iv) La evaluación de los procesos económicos asociados a la producción primaria.

4. Material y equipo requerido

+Mapa de interés en formato digital (Carta topográfica georreferenciada)

+Computadora

+Programa para digitalizar

5. Procedimiento

Hay varias formas para identificar los límites de una cuenca hidrológica sobre un mapa topográfico en formato digital. Una forma podría ser mediante la identificación del parteaguas para el posterior trazado perimetral; otra, es a partir de la digitalización de cada una de las corrientes superficiales, permanentes y perennes, así como los cuerpos de agua, iniciando desde la planicie hasta la parte más alta donde se divide el escurrimiento en dos.

Logrado esto, entonces se procederá a realizar las siguientes mediciones:

5.1. Características del sistema de corrientes

El sistema de corrientes de la cuenca de drenaje se expresa cuantitativamente en términos de orden, longitud, densidad y relación de bifurcación. Para lo cual, se deberá utilizar el método de Strahler (1952) que consiste en lo siguiente:

“Considerar todas las corrientes iniciales como tributarios de primer orden, por lo que las de segundo orden son aquellas corrientes que conectan a las de primer orden, y así sucesivamente corriente abajo.”

Con base en lo anterior, se deberá tener: i) La definición del orden del sistema de corrientes; ii) La cuantificación de las corrientes de acuerdo a su frecuencia; y iii) La clasificación del sistema de corrientes de acuerdo a los modelos más comunes.

5.2 Características areales de la cuenca de drenaje

En esta parte se deberá medir la densidad de drenaje, la forma de la cuenca y el área de drenaje. Cada una de las cuales se describen a continuación:

+Calcular la densidad de drenaje con base en lo definido por Horton (1932), quien lo define como la longitud de las corrientes dentro de una cuenca por unidad de área, o kilómetros de canal ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$) y puede expresarse de la siguiente forma (Ecuación VI-1):

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Li}{A} \quad (\text{Ec. VI-1})$$

Donde:

□ Li = sumatoria de las corrientes, desde 1 hasta n

A = es el área total de la cuenca de drenaje

+Calcular la forma de la cuenca a partir del concepto de circularidad, esto significa considerar la relación de circularidad (C), que se define como la relación del área de la cuenca (Ab) sobre el área de un círculo teniendo el mismo perímetro (Ac), que se expresa de la siguiente forma (Ecuación VI-2):

$$C = \frac{Ab}{Ac} \quad (\text{Ec. VI-2})$$

+Para determinar Ac , aplicar:

$$Ac = \left[\frac{P}{2\pi} \right]^2 \quad (\text{Ec. VI-3})$$

Donde:

P = es el perímetro, cuyo valor es conocido

5.3 Relieve

El relieve de la cuenca deberá realizarse por sección (alta, media y baja) de cuenca.

6. Resultados

Analizar los resultados de la medición e integrarlos en un cuadro resumen para incorporarlo a su reporte final.

7. Literatura citada

- Branson, F.A., G.F. Gifford, K.G. Renard, y Hadley, R.F. 1981. Rangeland Hydrology. Society for Range Management, Denver Colorado. Kendal/Hunt, Publishing Company. Dubuque, Iowa, USA y Toronto, Ontario, Can. P 1
- Chow, V.T., R.D. Maidment, y Mays, W.L. 1994. Hidrología Aplicada. 1ra. ed en Español, Ed. McGRAW-HILL, Inc. Impreso en Colombia 2000.
- Horton, E.R. 1932. Drainage-basin characteristics. EOS, Vol 13(1): 350-361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>
- Strahler, A. N. 1952. Dynamic basis of geomorphology. Bull. Geol. Soc. Amer. 63: 923-938

6.2 Estimación de la erosión hídrica del suelo en lotes de escurrimiento. Práctica demostrativa

1. Fundamentación

La erosión hídrica del suelo (EHS) es un fenómeno, considerado como el principal problema de degradación de los recursos naturales a nivel global con poco más de 10.9 millones de km².

En México la superficie afectada por éste mismo fenómeno es 1.354 millones de km², lo que representa alrededor del 70% del territorio nacional (López-Santos, 2016; Martínez-Santiago *et al.*, 2017); tal magnitud se debe a la existencia de una combinación de montañas y valles en la mayor parte del territorio nacional (Cotler, 2003).

El fenómeno de la EHS, inicia con el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo y el desprendimiento de partículas –cuando el suelo está desnudo el impacto es mucho mayor– para continuar con la formación de flujo. La magnitud de los sedimentos las corrientes de agua puede obedecer a multitud de causas: deforestación, cambios en el uso

del suelo, laboreo mecánico, sobrepastoreo, etc. (Flores-López *et al.*, 2003; Santacruz, 2012; Pérez-Salinas, 2017)

Diversas investigaciones se han llevado a cabo (Flores-López *et al.*, 2003; Montes-León *et al.*, 2011; Santacruz, 2011; Phomcha *et al.*, 2012; Pérez-Salinas, 2017) para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos de suelo incluso a nivel de cuenca hidrológica, así como para evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas utilizando parcelas de erosión o lotes de escurrimiento (Montes-León *et al.*, 2011).

Sin embargo, poco se ha hecho por enfocar estudios con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos o bien como diagnóstico de la situación del recurso natural suelo a nivel regional en México.

2. Principio metodológico

Análisis de información sobre al menos un estudio de caso relativo a factores que determinan la erosión edáfica.

3. Objetivo

Determinar tasa de erosión considerando todos los parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en

inglés) para relacionarlo con datos de sedimentación en lotes de escurrimiento.

4. Material y equipo requerido

- +Probeta de plástico de 1000 ml
- +Contenedor de agua de 19 l
- +Embudo
- +Recipientes de 1 l para tomar muestras
- +Etiquetas
- +Marcadores
- +Filtro

5. Procedimiento

- +Después de un evento de lluvia, acudir al sitio del experimento
- +Mida el nivel líquido de los contenedores de 50 l
- +Saque el contenedor que se encuentra bajo el nivel del suelo para muestrear
- +Antes de tomar la muestra, coloque un tapón y agite con fuerza para evitar que el sedimento se quede en el fondo del recipiente.
- +Si el contenido del contenedor es suficiente, tire una porción y enseguida tome la muestra hasta llenar el recipiente de litro.

+En caso de que el contenido sea menor a un litro, entonces utilice la probeta de un litro para medir la cantidad muestreada.

+Identifique debidamente cada muestra y traslade al laboratorio.

+Una vez que tenga sus muestras en el laboratorio, proceda a realizar el filtrado para obtener el peso del sedimento

6. Resultados

Para obtener la pérdida de suelo por sedimentación para un determinado evento, la memoria de cálculo debe atender lo siguiente, aplicando las Ecuaciones VI-4 y VI-5:

$$TEHS_{en} = S_{en} \times AL \quad (\text{Ec. VI-4})$$

$$PS_{en} = \frac{TEHS_{en} \times 10000}{AL} \quad (\text{Ec. VI-5})$$

Donde:

$TEHS_{en}$ = Tasa de erosión de suelo para un evento de lluvia en particular, en la que el evento (e) puede tener valores desde 1 hasta n

PS_{en} = Pérdida de suelo en kg por hectárea para un evento determinado.

S_{en} = Sedimentos en kg para un evento de lluvia determinado (en)

AL = Área definida para el lote de escurrimiento en m^2

10,000 = Constante para convertir a kg por hectárea

7. Literatura citada

- Cotler, A.H. 2003. Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. Instituto Nacional de Ecología, in Sánchez O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis Publishers, Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. 1 Eds. INE-SEMARNAT, Mexico, 153-161.
- Flores-López, H., M. Martínez-Menes, E. Oropeza-Mota, Carrillo-González, R. 2003. Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. Terra Latinoamericana. 21 (2). pp. 233-244.
- López-Santos, A. 2016. Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México?. Terra Latinoamericana 34: 239-249
- Martínez-Santiago S., A. López-Santos, G. González-Cervantes, y Esquivel-Arriaga, G. 2017. Evaluating the impacts of climate change on soil erosion rates in central Mexico. AIMS Geosciences, 3 (3): 327-350
- Montes-León, M.A., E.M. Uribe-Alcántara, y García-Celis, E. 2011. Mapa Nacional de Erosión Potencial: Tecnología y Ciencias del Agua, Vol 2(1): 5-17. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531972001>
- Pérez-Salinas J.E. 2017. Relación entre la erosión hídrica y el grado de erosionabilidad de dos unidades de Suelo del norte y centro de México. Tesis de maestría. Mayo 2017.
- Phomcha, P., P. Wirojanagud, T. Vangpaisal, y Thaveevouthti, T. 2012. Modeling the impacts of alternative soil conservation practices for an agricultural watershed with the SWAT model. Procedia Engineering, Vol. 32, núm. 0, pp. 1205-1213.

Santacruz De León, G. 2011. Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México. Aqua-LAC. 3 (1). Pp 45-53.

6.3 Estimación del escurrimiento superficial por el método simplificado de las huellas máximas

1. Fundamentación

Por definición, el escurrimiento superficial es la porción de la precipitación pluvial que fluye de manera permanente o intermitente, desde un área de captación hacia cauces formados como arroyos, canales o ríos, para formar o contribuir en cuerpos de agua tales como lagos, depósitos subterráneos, o incluso el mar; la evaluación de su comportamiento es un aspecto clave en el manejo integral del suelo, puesto que permite aproximarse al conocimiento de la disponibilidad de agua (Linsley *et al.*, 1986; Reyes-Gomez *et al.*, 2007).

Sin embargo, hay que reconocer que en corrientes no instrumentadas o sin sistemas de medición, el cálculo de volumen por retener o almacenar, para determinar el caudal que pasa por un lugar determinado, puede tener errores derivados de los métodos de estimación, tanto para los cálculos de gabinete, como las mediciones realizadas en campo (SARH-SPP-CP, 1991).

Para el cálculo de flujo o gasto en una cuenca hidrográfica que cuenta con datos pluviográficos (gráficas del pluviómetro) se recomienda el empleo del Método Racional, de lo contrario, si solo se tienen datos de precipitación diaria (lluvia acumulada en 24 h) alternativamente debe emplearse en Método Racional Modificado, pero la medición directa de corrientes de flujo, cuando no se tienen estructuras establecidas, entonces está bien el uso de Método Simplificado de la Huellas Máximas (SARH-SPP-CP, 1991).

2. Principio metodológico

El cálculo de escurrimiento superficial por el método simplificado de las huellas máximas se recomienda para las corrientes de flujo intermitente donde se puedan observar las huellas dejadas por el agua en eventos de flujo máximos. La estimación del flujo superficial se basa en el siguiente principio (Ecuación VI-6):

$$Q = A \times V \quad (\text{Ec. VI-6})$$

Donde:

Q = gasto máximo en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

A = área de la sección transversal del cauce en m^2

V = velocidad de la corriente de flujo en m s^{-1}

3. Objetivo

Calcular la cantidad máxima de agua que fluye en forma superficial por el cauce de un arroyo con un comportamiento intermitente.

4. Material y equipo requerido

- +Cinta métrica de 3 m
- +Cuerda de 50 m
- +Estadal
- +Manguera de 30 m
- +Cinta adhesiva para papel
- +Guía de campo
- +Receptor GPS
- +Garrafón con 20 l de agua
- +Cámara fotográfica
- +Estacas, al menos dos
- +Martillo o marro
- +Machete
- +Pala
- +Libreta de campo
- +Lápiz

+Calculadora

5. Procedimiento

5.1 Variables a medir en campo para el cálculo del área hidráulica de la sección

Para calcular el área, es necesario observar la forma geométrica del cauce formado por los taludes y la base. El cauce puede tener la forma de columpio ("U"), rectangular, o triangular. Para las dos primeras formas se recomienda el siguiente procedimiento:

Caso 1: Cuando el cauce tiene forma de columpio ("U"):

+Identificar las huellas máximas dejadas por la corriente de agua, de un evento anterior, en ambos taludes del cauce y colocar una estaca a cada lado y medir la longitud horizontal (L), como se indica en la Figura VI-1.

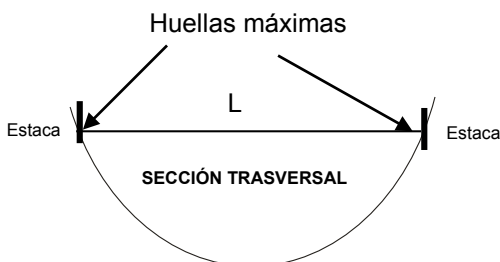


Figura VI-1. Identificación de las huellas máximas, colocación de estacas y medición de la variable L en la sección transversal del cauce.

+Dividir la longitud L en porciones iguales (d). El ancho de las porciones debe variar entre 0.5 a 2.0 m de acuerdo con el ancho de la cárcava y lo sinuoso de la misma (Figura VI-2).

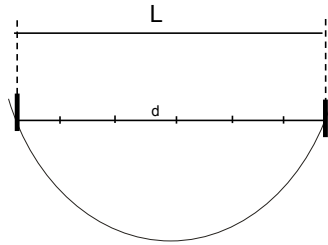


Figura VI-2. División de L en porciones iguales d .

+Medir el “perímetro mojado” (P), entre los límites marcados por las estacas, sobre el talud del cauce (Figura VI-3).

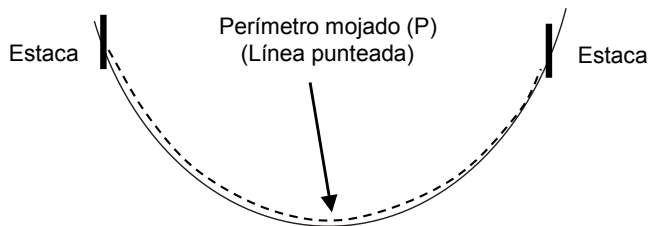


Figura VI- 3. Perímetro mojado (P) sobre el talud del cauce en su sección transversal.

+Con una cinta métrica o con el estadal, para cada porción definida por d se miden las alturas intermedias (h_i) y las alturas extremas

(h_e y h_e') que se producen entre el piso de la cauce y la línea horizontal definida por ambas huellas (máximas), de acuerdo a las porciones d definidas (Figura VI.4).

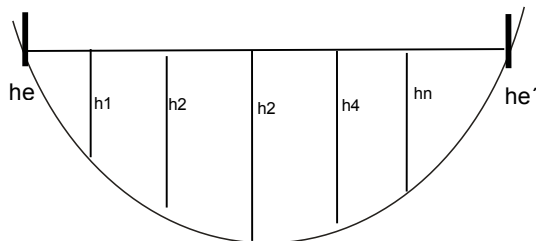


Figura VI- 4. Diagrama de mediciones de las alturas intermedias h_i y extremas h_e y h_e' .

Caso 2: Cuando el cauce tiene forma de "V":

+Se repiten los pasos a, b y c, y solamente se miden las alturas intermedias h_i . En este caso debido a la forma del cauce no es necesario medir las h_e .

5.2 Observaciones y mediciones de campo para calcular velocidad de flujo

La velocidad de flujo (v) indicada en la fórmula de gasto (Ecuación 1) se basa en la fórmula de *Manning*, cuya expresión es la siguiente (Ecuación VI-7):

$$v = \frac{r^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (\text{Ec. VI-7})$$

Donde:

r = radio hidráulico en m

S = pendiente media del cauce en m/m

n = coeficiente de rugosidad definido por Horton (Consultar [Apéndice 21](#)).

De acuerdo a lo anterior, las variables por medir en la misma rutina del trabajo de campo son las siguientes:

+Cálculo de pendiente media del cauce.- La pendiente media del cauce debe ser medida sobre el eje del cauce en 40 m. Desde el centro de la sección transversal tomada como centro, medir 20 m aguas arriba y 20 m aguas abajo (Figura VI-5).

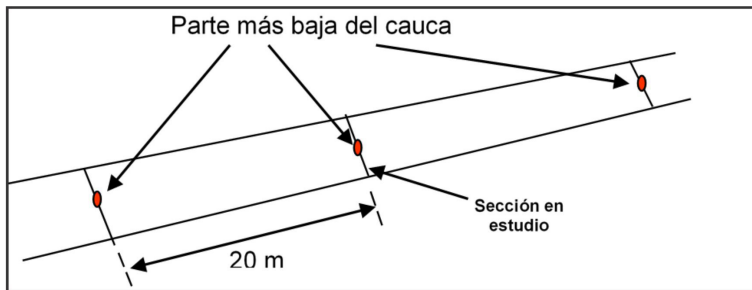


Figura VI-5. Vista en planta de las ubicaciones para medir las alturas del terreno para medir la pendiente.

Nota importante:

Hay varias formas para medir la pendiente en el cauce. Puede ser utilizando nivel y manguera, con receptor GPS, con tránsito o nivel

montado. En pendientes poco pronunciadas no se recomienda el uso del receptor GPS, excepto si se utiliza uno de precisión como el Movil Mapper de MAGELLAN®.

+Coeficiente de rugosidad n .- El coeficiente de rugosidad de Horton se determina tomando como guía el cuadro del Apéndice 21. A esta inspección del cauce y taludes es indispensable complementar con fotografías.

6. Resultados

Con los datos obtenidos en campo se calcula el área según la forma de la sección y la velocidad de flujo hidráulico de acuerdo a lo siguiente:

6.1. Para el caso de haber medido una sección en forma de columpio o de “U” (Ecuación VI-8):

$$A = \left[\frac{he}{2} + \sum_1^n hi + \frac{he'}{2} \right] \times d \quad (\text{Ec. VI-8})$$

Donde:

A = área de la sección en m^2

d = es el ancho de cada porción en m

he = altura extrema en m

he' = altura extremas prima en m

hi = suma de todas las alturas extremas desde $h1 = 1$, hasta hn en m

6.2 Para una sección transversal en forma de “V” (Ecuación VI-9):

$$A = d \times \sum_{i=1}^n hi \quad (\text{Ec. VI-9})$$

6.3 Cálculo de la velocidad del flujo

La velocidad de flujo (V) mostrada anteriormente (Ecuación 2), requiere determinar al radio hidráulico (r). Para ello, se calcula de la siguiente manera (Ecuación VI-10):

$$r = \frac{A}{P} \quad (\text{Ec. VI-10})$$

Donde A es el área de la sección ya calculada y P es el perímetro mojado medido al inicio.

7. Literatura citada

- Linsley, R.K., M.A, Kohler, y Paulhus J.L.H. 1986. Hidrología para Ingenieros. Segunda ed. Ed. McGRAW-HILL. México, D.F. 386p.
- Reyes-Gomez, V.M, D. Viramontes-Pereida, N.E. Miranda-Ojeda, P.B. Sanchez-Fernandez, y Viramontes-Olivas, O.A. 2007. Hydrological and environmental role of the hydraulic properties of superficial soil in the Conchos river watershed. Ingenieria Hidraulica en Mexico. Vol. 22, no. 4, pp. 33-46. Oct-Dec 2007.
- SARH-SPP-CP. 1991. Manual de Conservación de Suelos y Agua. Tercera ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

CAPÍTULO VII. MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS

Objetivo

Generar información en campo para la toma de decisiones en el manejo sustentable de suelos de ladera.



Fuente: Autor, elaboración con fotos propias.

7.1 Análisis de la pendiente del terreno por distintos métodos

1. Fundamentación

La pendiente del terreno (PT) se define como el grado de inclinación natural o constructiva, respecto a un eje horizontal. Cuando la PT se mide como el desnivel entre varios puntos contiguos representativo de un área, entonces su valor promedio se convierte en una variable de gran influencia, que puede actuar de manera individual o combinada con otros factores que definen la o las funciones de la tierra (SARH-SPP-CP, 1991).

La importancia de la PT y otras variables asociadas a la topografía, tiene que ver con datos auxiliares de gran valor en la toma de decisiones enfocados al mejoramiento, conservación y rehabilitación de los suelos. Por ejemplo, puede ayudar a resolver problemas asociados al manejo del agua, control de la salinidad, trazo de canales, drenes para el desalojo de excedentes de agua, surquería, etc. (López-Santos *et al.*, 2017).

En terrenos de uso agrícola o ganadero, ésta variable puede convertirse en un factor limitante difícil de modificar o corregir. Es decir, en terrenos con pendientes muy pronunciadas, por ejemplo mayores al 5%, con suelos poco profundos los riesgos ambientales y económicos suelen ser mayores. Por ejemplo, Şensoy y Kara (2014) experimentaron la forma de la pendiente (uniforme, cóncava y convexa), y encontraron que la pendiente uniforme, para 20 suelos de textura fina y poco profundos (5-30 cm), tuvieron máximos de producción de sedimentos entre 3.1 y 5.5 ton ha⁻¹.

La PT se puede medir de diversas formas, según la disponibilidad de equipo y la necesidad de precisión. A nivel de gabinete, por ejemplo se puede utilizar la cartografía básica que contenga curvas de nivel, o bien los modelos digitales de elevación; en campo, se puede usar desde el nivel de manguera, receptor de precisión GPS, o los tradicionales aparatos de topografía como el nivel montado o el teodolito (Ferres, 2017).

2. Principio metodológico

Determinación de la pendiente del terreno para su análisis y toma de decisiones para un manejo sustentable de los recursos naturales.

3. Objetivo

Calcular la pendiente del terreno a partir de datos obtenidos en campo mediante distintos métodos.

4. Material y equipo requerido

A continuación se enlistan el material y equipo requeridos de acuerdo a tres métodos a utilizar:

4.1 Método 1. Con nivel de manguera

- +Dos estadales
- +Al menos 20 m de manguera transparente de 3/8 de diámetro
- +Cinta métrica de 30 m
- +Garrafón con agua limpia
- +Cinta adhesiva para papel
- +Marcador de punto medio
- +Tabla apoya papeles
- +Lápiz con borrador
- +Cámara fotográfica

4.2 Método 2. Utilizando dispositivo tipo A

+Dos maderas con las mismas dimensiones como se indica a continuación: espesor = 0.75"; ancho = 2.5"; largo = 2.1 m de largo

+Una madera con las siguientes dimensiones: espesor = 0.75"; ancho = 2.5"; largo = 1.1 m.

+Un tornillo con tuerca y rondana plana de 2.5"

+2 clavos de 2.5"

+Cordel de algodón (de 2 a 3 m)

+Plomada

+Diez estacas de 20 cm de largo

+Marcador de punto medio

+Tabla apoya papeles

+Lápiz con borrador

+Cámara fotográfica

4.3 Método 3. Con equipo topográfico

+Aparato de topografía (nivel montado o teodolito)

+Dos estadales

+Diez estacas de 20 cm de largo

+Marcador de punto medio

+Tabla apoya papeles

+Lápiz con borrador

+Cámara fotográfica

4.4 Método 4. Con receptor GPS

+Receptor GPS

+Diez estacas de 20 cm de largo

+Marcador de punto medio

+Tabla apoya papeles

+Lápiz con borrador

+Cámara fotográfica

5. Procedimiento

El procedimientos para la tomada de datos y calcular la pendiente del terreno, debe iniciar con base en una estrategia que permita tener una representación correcta grado y dirección de la pendiente.

Para una hectárea, se recomienda utilizar un diseño de distribución como el que se muestra en la Figura VII-1.

Este método, consiste en colocar cuatro posiciones pivote (PP) que deberán marcarse con números romanos I, II, III y IV. Para cada PP, hacer ocho lecturas, fijando la primera lectura hacia el norte y las

siguientes hacia la derecha en el sentido de las manecillas del reloj. El radio de cada círculo será fijado a los 10 m.

Este parte del procedimiento aplica para los cuatro métodos que se describen a continuación.

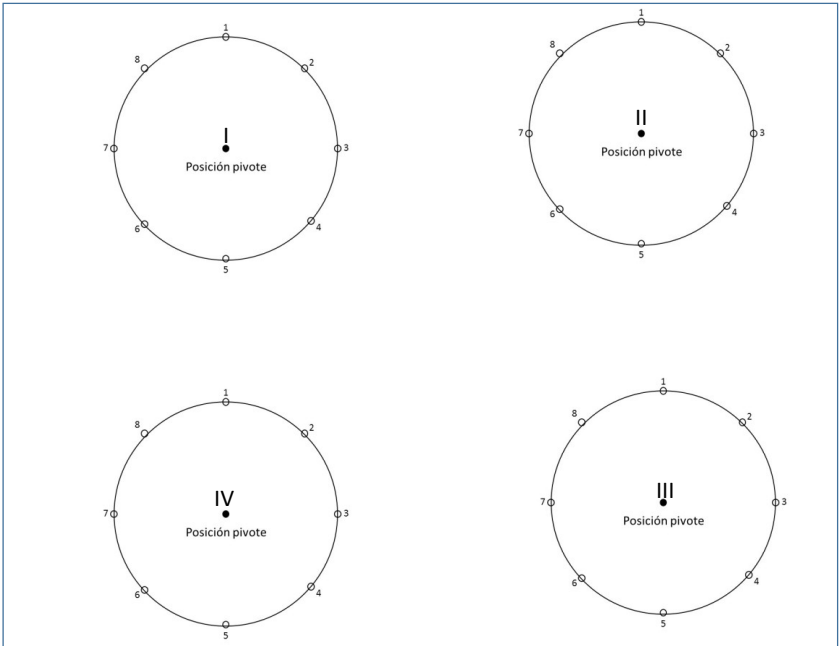


Figura VII-1. Diseño de distribución de cuatro posiciones para el levantamiento de datos en campo.

5.1 Método 1. Con nivel de manguera

El método de nivel con manguera transparente (tipo albañil) para calcular la pendiente, es muy sencillo y consta de varios pasos que se describen a continuación:

- +Verificar que la manguera esté en buen estado.
- +Si la manguera se mantuvo almacenada (enrollada) se recomienda estirla para deshacer arrugas o marcas que puedan afectar el movimiento del agua en su interior.
- +Llenar la manguera con agua por gravedad, desde un extremo más alto que en la salida.
- +Al momento del llenado dejar correr libremente, verificando al mismo tiempo que no haya burbujas en su interior.
- +Una vez que la manguera se ha llenado, fijar un extremo de la manguera con cinta adhesiva para papel o masking tape.
- +En la posición pivote colocar el estadal que tiene la manguera fijada (con la cinta masking tape).
- +El extremo libre de la manguera deberá moverse en cada posición del círculo, conforme a lo indicado inicialmente.
- +Las mediciones de altura y distancia se harán conforme a la forma como se muestra en la Figura VII-2.
- +El valor de la pendiente se obtendrá por la diferencia de altura entre las dos posiciones del estadal sobre la distancia horizontal entre ambos. Es decir (Ecuación VII-1):

$$S = \frac{h_1 - h_2}{d} \times 100 \quad (\text{Ec. VII-1})$$

Donde:

S = Pendiente del terreno en porcentaje

h_1 = Altura leída en la primera posición del estadal en m

h_2 = Altura leída en la segunda posición del estadal en m

d = Distancia horizontal entre las dos posiciones de estadal en m

100 = para convertir en porcentaje

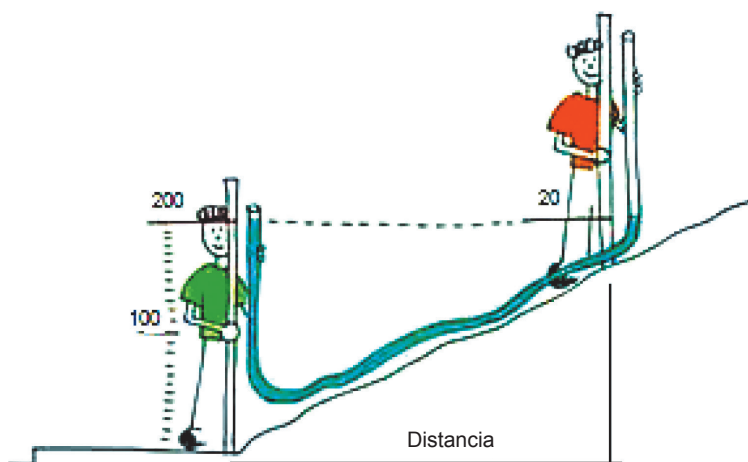


Figura VII-2. Disposición requerida e identificación de parámetros para medir la pendiente en campo. (Fuente: Wikipedia)

5.2 Método 2. Con dispositivo tipo A

Este método, al igual que el anterior (Método 1), es sencillo y de fácil aplicación. Es de una exactitud adecuada comparado con otros métodos de campo. Si no se cuenta con el dispositivo tipo A, entonces se requiere armar el dispositivo con los componentes antes indicados, cuyo modelo se muestra en la Figura VII-3.

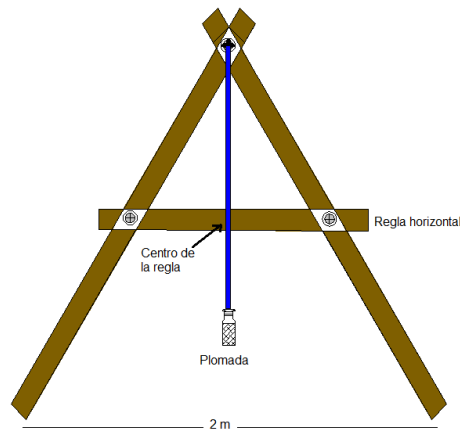


Figura VII- 3. Modelo del dispositivo tipo A para medir pendiente del terreno. (Fuente: Wikipedia)

El procedimiento a seguir para medir la pendiente se describe a continuación:

+Primero, se deberá colocar dispositivo tipo A en dirección de la pendiente del terreno.

+Después, se debe subir la parte (pata) que queda al lado más bajo de la pendiente hasta hacer coincidir el hilo de la plomada con el centro de la regla horizontal.

+Enseguida se mide la altura (x) que hay desde el suelo, hasta la punta de la pata del nivel que queda en el aire, como se muestra en la Figura VII-4.

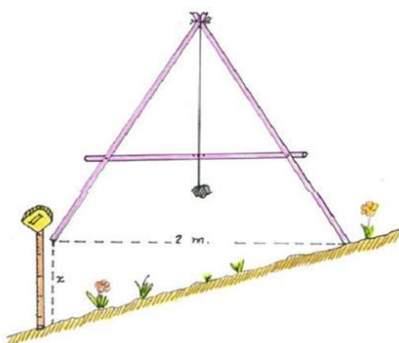


Figura VII- 4. Disposición requerida para medir la altura (valor de x a la izquierda) para el cálculo de pendiente. (Fuente: Wikipedia)

5.3 Método 3. Con equipo topográfico

La medición de las variables para el cálculo de la pendiente con equipo topográfico obedece al mismo principio cuando se utiliza nivel montado; sin embargo, presenta algunas diferencias cuando la pendiente se calcula por trigonometría, como se muestra en la Figura VII-5.

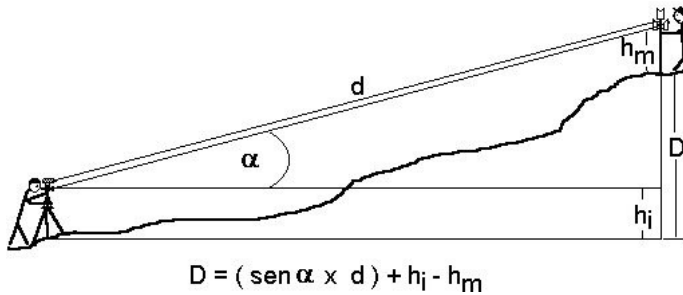


Figura VII-5. Disposición de las variables a medir mediante el uso de teodolito con ángulo vertical. (Fuente: Wikipedia)

Este método requiere seguir los siguientes pasos:

- +Utilizar el patrón de distribución indicado al inicio (Figura VII-1), para centrar y nivelar el aparato de topografía. En este caso se puede emplear otra forma de distribución, por ejemplo en forma de cuadrícula en todo el terreno con equidistancias de 20 m.
- +Desde la posición del pivote, tomar cada una de las ocho lecturas, verificando que el aparato se mantenga nivelado.
- +Si se utiliza el ángulo vertical, fijar la posición horizontal en cero grados, para proceder a medir el ángulo y la distancia sobre el terreno.

5.4 Método 4. Con receptor GPS

La medición de la pendiente con receptor GPS es mucho más sencilla. Sin embargo, la exactitud de las mediciones dependerá de la precisión del RGPS empleado.

En éste caso, se sugiere usar el patrón de distribución ya mencionado hasta donde sea posible.

6. Resultados

Documento de descripción de los métodos empleados y análisis de resultados, acompañado con mapa(s) con porcentajes y dirección de la pendiente o pendientes con memoria de cálculo.

7. Literatura citada

- Ferres C.E. 2017. Fitotecnia: Principios de agronomía para una agricultura sostenible. 1 ed. Ed. MUNDI-PRENSA. 628p. ISBN: 9788484765240
- López-Santos, A., P. Bueno-Hurtado, J.G. Arreola-Ávila, Pérez-Salinas, J.E. 2017. Conservation activities of soils identified through kappa indices in northeast of Durango, Mexico. AGROCIENCIA Vol 51(6): 591-605
- SARH-SPP-CP. 1991. Manual de Conservación de Suelos. Tercera edición Tomos I y II. Chapingo, Méx.
- Şensoy, H., and Kara, Ö. 2014. Slope shape effect on runoff and soil erosion under natural rainfall conditions. iForest, 7: 110-114

7.2 Trazado de curvas a nivel y con pendiente usando equipo de topografía

1. Fundamentación

El trazado de curvas de nivel y con pendiente, es una tecnología agronómica que forma parte de prácticas enfocadas a la conservación de suelo, así como para mejorar la conducción y aprovechamiento del agua de las escorrentías. Cuando el objetivo de uso de la tierra es para el establecimiento de cultivos en terrenos inclinados, o con diferentes grados de pendiente, su aplicación es altamente recomendada, debido a también ayuda a controlar la erosión (SARH-SPP-CP, 1991; FHIA, 2004; Khaledi *et al.*, 2016).

Para realizar una buena aplicación de ésta tecnología de conservación, es necesario tener un análisis previo de la pendiente del terreno, de las características climáticas de la zona, así como del grado y tipo o tipos de pendientes que presenta el terreno de interés. Incluso, puede darse el caso de que se tenga que prescribir como medida conveniente la combinación de surcos y terrazas. La atención requerida

para pendientes uniformes debe ser diferente para pendientes escarpadas, de lo contrario la tecnología aplicada puede llegar a ser contraproducente (SARH-SPP-CP, 1991; FHIA, 2004; Rashid *et al.*, 2016).

Por ejemplo, Rashid *et al* (2016) demostraron que mediante la aplicación de ésta tecnología aplicada en terrenos de uso agrícola ubicados en un clima semiárido en Pakistán (33.55° N, 72.58° E), fue posible mejorar la disponibilidad de humedad en un 16%, y al mismo tiempo disminuyó la producción de sedimentos, así como la pérdida de nutrientes debido a un incremento del 20% en la producción de trigo.

2. Principio metodológico

Estudio de las características topográficas del terreno, basado en la pendiente, el clima predominante, propiedades edafológicas y posibilidades socioeconómicas, para prescribir tecnología adecuada para la conservación de los suelos y del agua.

3. Objetivo

Realizar un trazo de curvas a nivel en campo en preparación al surcado al contorno.

4. Material y equipo requerido

- +Aparato de topografía (nivel montado o teodolito)
- +Dos estadales
- +Diez estacas de 20 cm de largo
- +Marcador de punto medio
- +Tabla apoyapapeles
- +Lápiz con borrador
- +Cámara fotográfica

5. Procedimiento

La práctica de trazado de curvas de nivel o con pendiente, debe ejecutarse una vez que se tenga el estudio de la pendiente del terreno. Con los datos de campo de la pendiente, es recomendable hacer una modelación previa, de manera que se tenga una idea clara la localización del punto o los puntos de partida para realizar el trazo correctamente.

Además de ello, deberá tomar en cuenta el uso esperado del terreno como se muestra en la Tabla VII-1. El procedimiento, para realizar el trazo se muestra a continuación:

- +Se traza una línea madre sobre la pendiente principal, tomando como base las distancias mostradas en la Tabla V-1, de manera

que cada punto se colocará una estaca y éste será la base para el trazado de líneas guía (Figura VII-6).

Tabla VII-1. Distancias recomendadas de acuerdo a la pendiente del terreno y uso esperado.

Pendiente	Distancia entre las obras de conservación	
	Granos básico y hortalizas	Cultivos densos y permanentes
5	20	25
10	15	20
15	10	18
20	9	16
25	8	15
30	7	14
35	6	13
40	6	12
45	-	10
50	-	9
55	-	8
Más de 60	-	7

Fuente: SARH-SPP-CP, 1991.

+Sobre la base de cada estaca, se llevará a cabo el trazado de la línea guía. Para ello, al utilizar el nivel montado o el tránsito, procurar que el aparato esté bien nivelado y con el vertical en cero grados (para el tránsito).

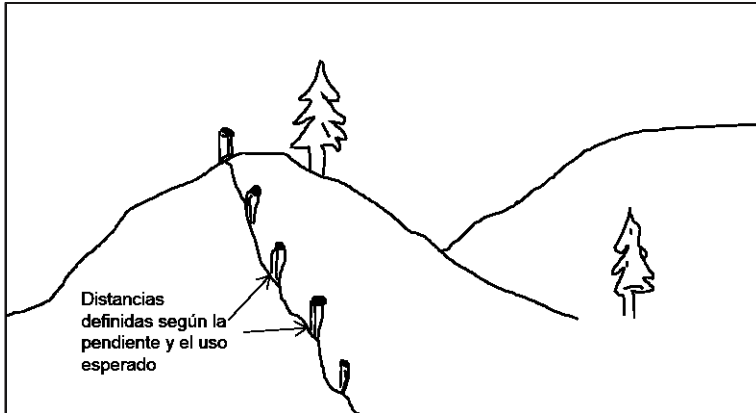


Figura VII- 6. Trazo de la línea madre sobre la pendiente principal.
(Fuente: Wikipedia)

+Para facilitar el trabajo, utilizando un estadal o con cinta métrica tomar la altura del aparato (Hap), que se mide desde el piso a la parte media del visor observado a través del lente, como se indica en la Figura VII-7.

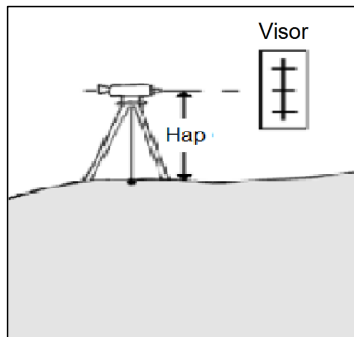


Figura VII-7. Altura del aparato. (Fuente: Wikipedia)

+La altura del aparato, se tomará como un valor constante para el trazado de las líneas guía. La línea guía deberá marcarse con estacas y se emplearán tantas como sea necesario, según las características del terreno (Figura VII-8).

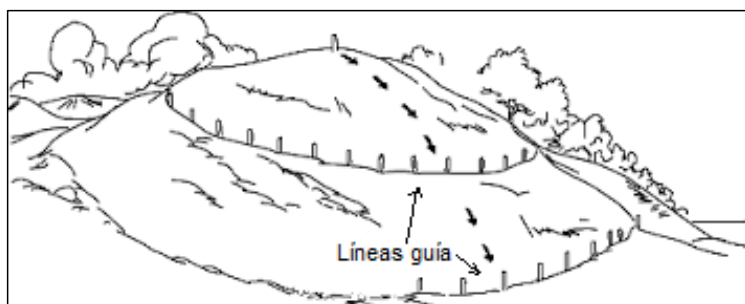


Figura VII-8. Trazado de las líneas guía. (Fuente: Wikipedia)

+El trazo marcado con estaca en el terreno, será la base para realizar trabajos posteriores.

Nota importante:

Si es el caso de la construcción de terrazas y surcado al contorno, la línea guía trazada y marcada debidamente (con estacas o cualquier otro elemento) será la ruta que deberá seguir el operador de la maquinaria agrícola (Figura VII-9).



Figura VII- 9. Construcción de una terraza con base en la línea guía trazada. (Fuente: Propia)

6. Resultados

Reporte con datos de campo y evidencias gráficas.

7. Literatura citada

FHIA-UE. 2004. Guía sobre prácticas de conservación de suelos. Consultado (27/07/2017) in: http://fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/gppracticconssuelos.pdf

Khaledi, A.D., V. Homayounfar, y Sadeghi, S.H. 2016. The impact of standard preparation practice on the runoff and soil erosion rates

under laboratory conditions. *Solid Earth*, 7: 1293–1302. doi:10.5194/se-7-1293-2016

Rashid, M., O. Rehman, S. Alvi, R. Kausar, y Akram, M.I. 2016. The effectiveness of soil and water conservation terrace structures for improvement of crops and soil productivity in rainfed terraced system. *Pak. J. Agri. Sci.* Vol. 53, 1: 241-248. doi: 10.21162/PAKJAS/16.1502

SARH-SPP-CP, 1991. *Manual de Conservación de Suelos y Agua*. Tercera ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

7.3 Levantamiento topográfico para el diseño y construcción de terrazas

1. Fundamentación

La erosión del suelo tiene que ver con el desprendimiento y arrastre de la capa superficial del suelo por efecto del viento, el agua, y en algunas regiones la nieve y el deshielo (Donahue *et al.*, 1983).

Dicho problema es mayúsculo si tomamos en cuenta que precisamente (en la parte superficial del suelo) es donde se localiza normalmente la mayor actividad biológica, puesto que los mayores contenidos de materia orgánica están en este lugar (Brady y Weil, 1996; López, 2000).

Diversas fuentes (Hausenbuiller, 1978; Ortiz y Ortiz, 1984; SARH-SPP-CP, 1991) han confirmado que bajo condiciones naturales sin disturbio de la vegetación, se necesitan cerca de 300 años para producir 25 mm de suelo superficial, pero cuando existe alteración del suelo por el laboreo, pastoreo, etc., se acelera el intemperismo y el período de formación se reduce a más o menos 30 años.

Las prácticas mecánicas, son aquellas que se realizan con implementos agrícolas, aditamentos especiales o mano de obra y consisten en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en terrenos con pendiente. Estas prácticas incluyen: 1) surcado al contorno, 2) terrazas, 3) surcado lister, 4) labores de subsoleo, 5) canales de desviación y 6) cauces empastados.

Cada una de las prácticas mecánicas arriba citadas, requieren de estudios técnicos y socioeconómicos previos a su implementación, y su relevancia es función de la magnitud del problema que se quiere atender. Es decir, la elegibilidad de un terreno para llevar a cabo alguna práctica de conservación, restauración o prevención, debe responder al menos en tres criterios básicos: costos económicos, participación social e impacto ambiental (CONAFOR, 2012).

Finalmente, es importante señalar que los resultados pueden ser óptimos si se complementan con prácticas vegetativas.

2. Principio metodológico

De manera particular, para el surcado al contorno y los sistemas de terrazas, es importante considerar invariablemente como ejes de decisión los siguientes aspectos: topografía (pendiente natural del terreno), clima (precipitación y temperatura), pedregrosidad, así como los tipos de suelos.

3. Objetivo

Ejecutar trabajos de campo (fundamentalmente topográficos) en los lugares identificados con algún problema de erosión, o bien, cuya orientación sea al aprovechamiento de agua para uso doméstico y abrevadero. En tal caso, se prevén las siguientes rutinas:

a) Determinación de la viabilidad de surcado al contorno o una combinación con terrazas en terrenos con diferentes pendientes;

b) Trazos de líneas guía para el surcado al contorno en terrenos de uso agrícolas o en su caso con un potencial previamente identificado; y

c) Levantamiento alti-planimétrico para generar información suficiente para el diseño de terrazas.

4. Material y equipo requerido

+Transito electrónico equipado con tripie, plomada óptica sin brújula.

+Nivel con tecnología láser, equipado con tripie, batería y repuesto, cables de recarga y estadal abatible.

+Estadal con graduación al centímetro

+Brújula de bolsillo

+Restirador de plancheta y tripie

+Binoculares

+Radio comunicación

+Cámara fotográfica

+Cartografía en escala 1: 50,000 de los temas: topografía y uso del suelo

+Receptor GPS

+Cinta métrica de 30 y 3 m

+Machete

+Papel bond para rotafolio, cinta adhesiva para papel

+Estacas de 30 a 40 cm de longitud

5. Procedimiento

+Hacer una representación preliminar del terreno en papel, para localizar puntos de referencia para establecerlos como bancos de nivel y hasta donde sea posible, establecer una cuadrícula para facilitar la toma de alturas de estatal en cada vértice (Figura VII-10).

+Si no es posible realizar el cuadriculado, tomar las cotas o alturas del estatal, guiados con un tránsito para sistematizar su captura.

+Anotar las cotas del estatal en dos versiones: en el plano preliminar, como el modelo cuadriculado, mostrado en la Figura VII-10, y en la libreta de tránsito.

+Analizar la información en gabinete para obtener las curvas de nivel.

+Obtener la pendiente y su orientación.

+Representar todos los detalles posibles que puedan influir en el trabajo de ejecución.

+Diseñar el sistema de terrazas de acuerdo a las necesidades de manejo.

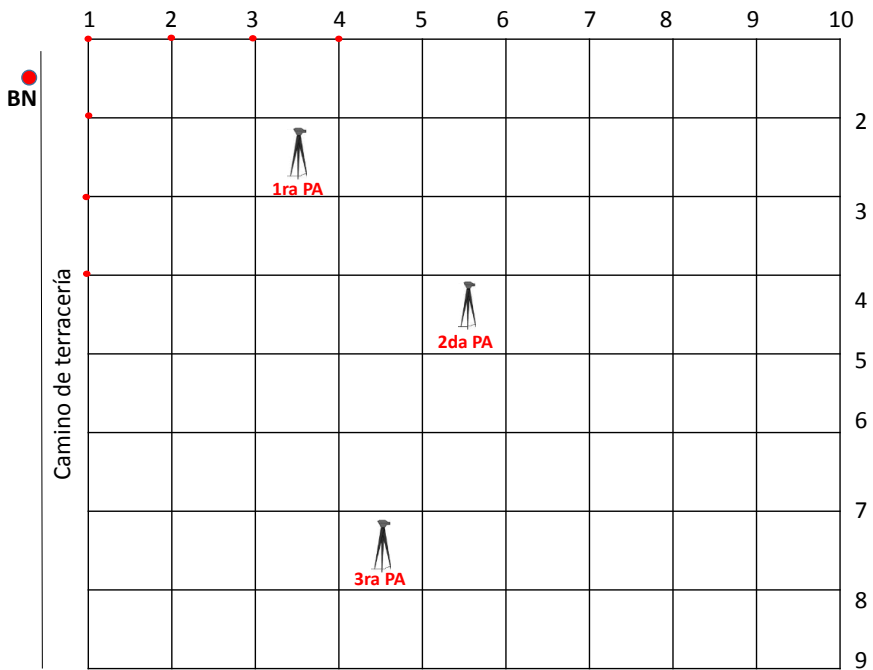


Figura VII-10. Modelo para el levantamiento de datos de campo para el diseño de terrazas mediante tres posiciones de aparato (PA).

6. Resultados

Elaborar plano donde se represente cada área de trabajo con la tecnología propuesta. Para el caso del Sistema de Terrazas, hacer el diseño considerando al menos lo siguiente:

- a) Estimación de intervalos: horizontal (IH) y vertical (IV).
- b) Ajustar los intervalos a la disponibilidad de maquinaria.
- c) Evaluar la necesidad de desagües.
- d) Diseño del canal, de acuerdo a las características de Qmax en la terraza.

7. Literatura citada

- Brady, N.C. and Weil, R.R. 1996. The Nature and Properties of Soils. Eleventh ed. Ed. Prentice-Hall. New Jersey, USA.
- CONAFOR. 2012. Criterios técnicos para la ejecución de los proyectos de conservación y restauración de suelos 2012. Coordinación General de Conservación y Restauración, Gerencia de Suelos
- SARH-SPP-CP. 1991. Manual de Conservación de Suelos y del Agua. Tercera edición. Chapingo, Méx.
- Donahue, R.L., Miller, R.W. and Shickluna, J.C. 1983. Soils, an Introduction to soils and plant growth. Fifth ed. Ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.
- Hausenbuiller, R.I. 1978. Soils Science, principles and practices. Second ed. Wm Brown Company Publisher. Dubuque, Iowa, USA.
- López-Santos, A. 2000. Ecosistemas y Agroecosistemas, algunos puntos de referencia para su estudio. Ed. URUZA-UACH. Bermejillo, Dgo.

Ortiz, V.B., y Ortiz, S.A. 1984. Edafología. 7 ed., Ed. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. Chapingo, Méx. 1990

Olds College. 1989. Soils Investigation 1. 6° ed., Ed. Olds College, Land & Horticulture Sciences. Olds Alberta, Can. 1997.

Apéndices

Apéndice 1. Cuestionario guía para el debate

Técnica: **Debate**

Carrera(s): _____

Asignatura: _____ Grado: _____

Unidad de Aprendizaje: _____

Objetivo del capítulo: Valorar la importancia del MSS como una herramienta que puede ayudar a desarrollar y mantener suelos productivos y con más ganancias tanto en el presente como para las generaciones futuras.

Conocimientos: 1.1. Los Recursos de la Tierra y la Población: a) definición de Tierra y uso de la Tierra; b) Funciones de la Tierra; c) La Relación básica: Tierra, Población y Estrategias de Manejo; d) Los Recursos de la Tierra bajo estrés; 1.2. La necesidad de un enfoque integrado: a) Planificación, limitaciones y necesidades; 1.3. Introducción al análisis de los elementos principales necesarios para Implementar un enfoque Integrado; 1.4. Situación actual y estrategia nacional en el manejo sustentable de tierras.

Enunciado de la actividad de aprendizaje:

Control de lectura para el análisis de conceptos relacionados con los conocimientos básicos de la asignatura.

Instrucciones

Una vez leídos los documentos entregados por el profesor, tomar como guía para la discusión cinco temas propuestos. Para ello, primero serán abordados por equipo durante 30 minutos, cuyas conclusiones deberán ser expuestas por un relator a nivel grupal. Los resultados de este debate deberán formar parte del ensayo mediante el cual se evaluará al final de la Unidad 1.

Temas propuestos como guía para la discusión

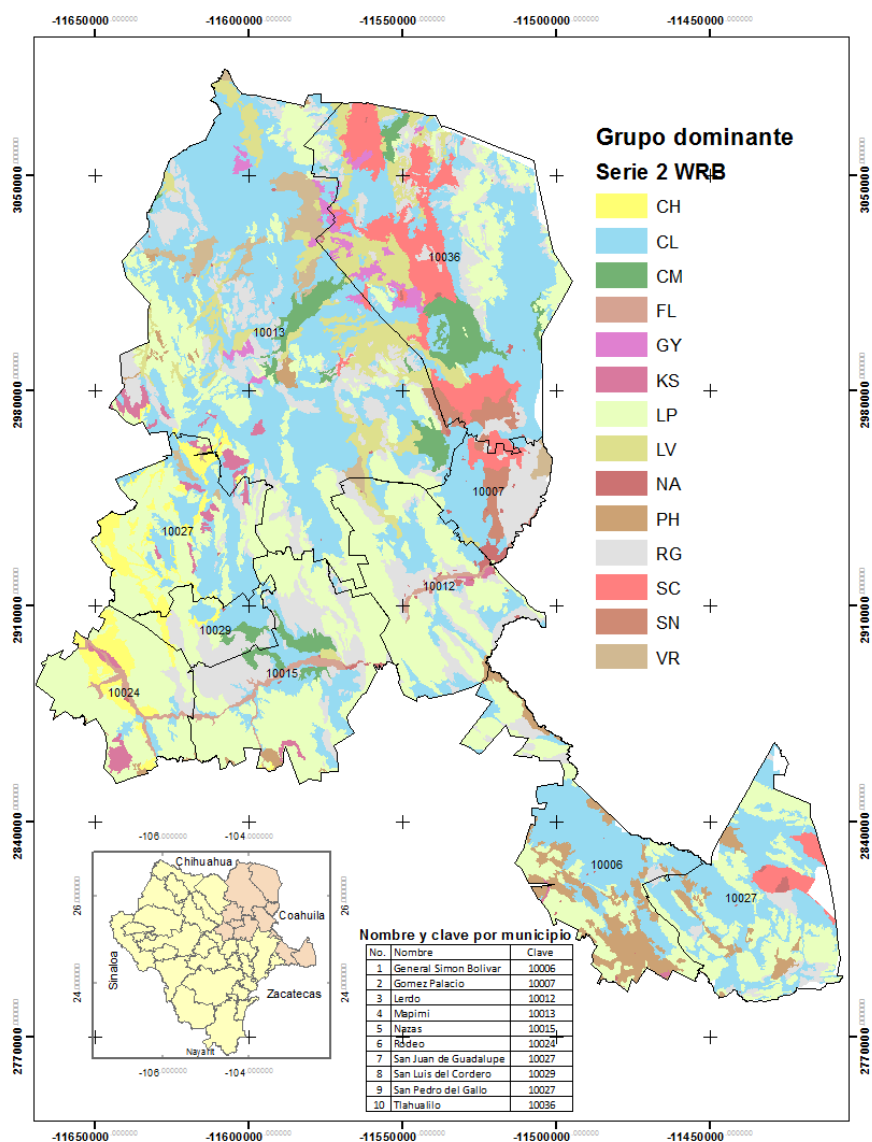
1. Defina los siguientes conceptos: a) suelo; b) tierra y recursos; c) uso de la tierra; d) cobertura de la Tierra.
2. Comente brevemente las diferencias entre suelo y tierra
3. Explique con sus propias palabras las funciones de la tierra definidas por la FAO-UNEP, 2000 (Libro: El Futuro de Nuestra Tierra, enfrentando el desafío),
4. Analice la problemática mundial y nacional sobre el estado que guardan los recursos de la tierra, considerando los síntomas del problema de la presión sobre los recursos de la tierra.
5. Con sus propias palabras explique la espiral: los recursos de la tierra y las actividades de la población

Apéndice 2. Generalización de los servicios ecosistémicos para los recursos edáficos.

Reference Soil Groups	Ecosystem Services					Major Service
	Food	Climate	Water	Cultural	SUM	
Histosols (HS)	2	5	5	3	15	Climate Change
Anthrosols (AT)	5	5	5	4	19	Food Security
Technosols (TC)	1	3	2	4	10	Infrastructure
Cryosols (CR)	0	5	2	3	10	Climate Change
Leptosols (LP)	1	1	2	1	5	Water runoff
Vertisols (VR)	4	2	3	1	10	Food Security
Solonetz (SN)	1	1	1	1	4	Very few
Solonchaks (SC)	1	1	1	1	4	Very few
Podzols (PZ)	1	3	1	1	6	Biomass
Ferralsols (FR)	2	4	3	1	10	Biomass
Nitisols (NT)	4	3	4	1	12	Food Security
Pinthosols (PT)	2	1	2	1	6	Biomass
Planosols (PL)	1	1	1	1	4	Very few
Gleysols (GL)	2	1	3	1	7	Food Security
Stagnosols (ST)	2	1	3	1	7	Water storage
Andosols (AN)	5	3	5	1	13	Food Security
Chernozems (CH)	5	4	4	1	14	Food Security
Kastanozems (KS)	3	4	2	1	10	Food Security
Phaeozems (PH)	4	4	3	1	12	Food Security
Umbrisols (UM)	3	3	3	1	10	Water runoff
Durisols (DU)	1	1	1	1	4	Very few
Calcisols (CL)	1	1	2	1	5	Very few
Gypsisols (GY)	1	1	1	1	4	Very few
Retisols	2	1	2	1	6	Biomass
Acrisols (AC)	2	1	2	1	6	Food Security
Lixisols (LX)	2	1	2	1	6	Food Security
Alisols (AL)	1	1	2	1	5	Biomass
Luvicols (LV)	3	2	2	1	8	Food Security
Cambisols (CM)	3	2	3	1	9	Food Security
Regosols (RG)	2	1	1	1	5	Biomass
Arenosols (AR)	1	1	1	1	4	Biomass
Fluvisols (FL)	4	2	4	2	12	Food Security
Wassents	0	2	2	1	5	Very few

Fuente: FAO-ITPS, 2015 (Tabla 3.1. p42)

Apéndice 3. Mapa de suelos de la Comarca Lagunera de Durango

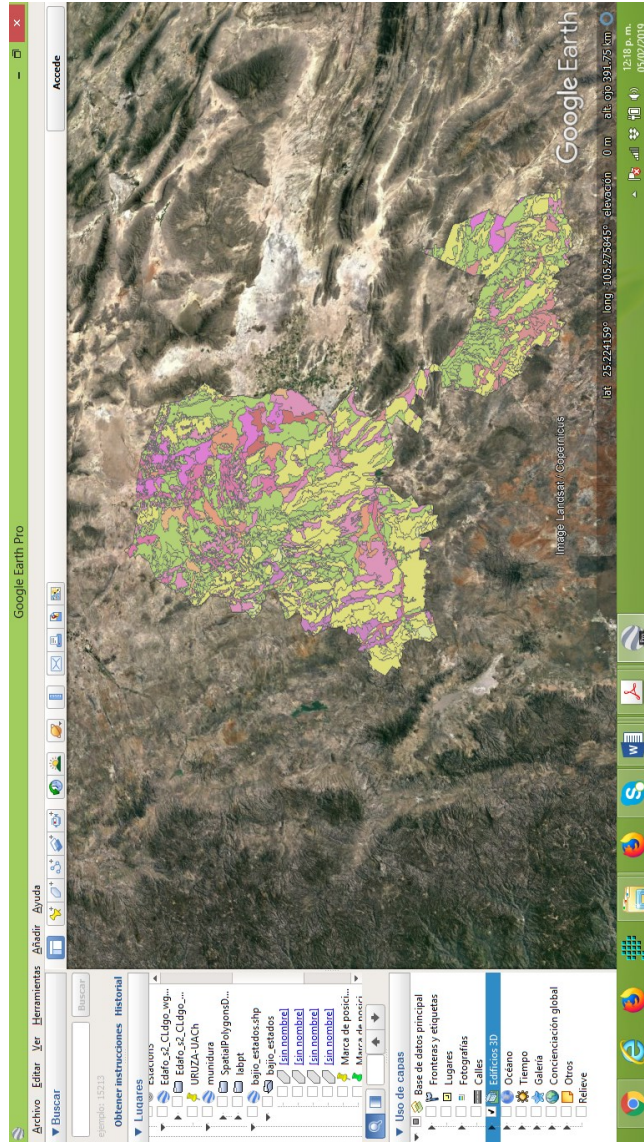


Ver lista de GSP en la siguiente página

Nombre y clave de los Grupos de Suelos Principales (GSP)
identificados en la Comarca Lagunera de Durango con base en
la WRB

Nombre GSP	Clave
Chernozem	CH
Calcisol	CL
Cambisol	CM
Fluvisol	FL
Gleysol	GY
Kastanozem	KS
Leptosol	LP
Luvisol	LV
Phaozem	PH
Regosol	RG
Solonchak	SC
Solonets	SN
Vertisol	VR
No aplica	NA

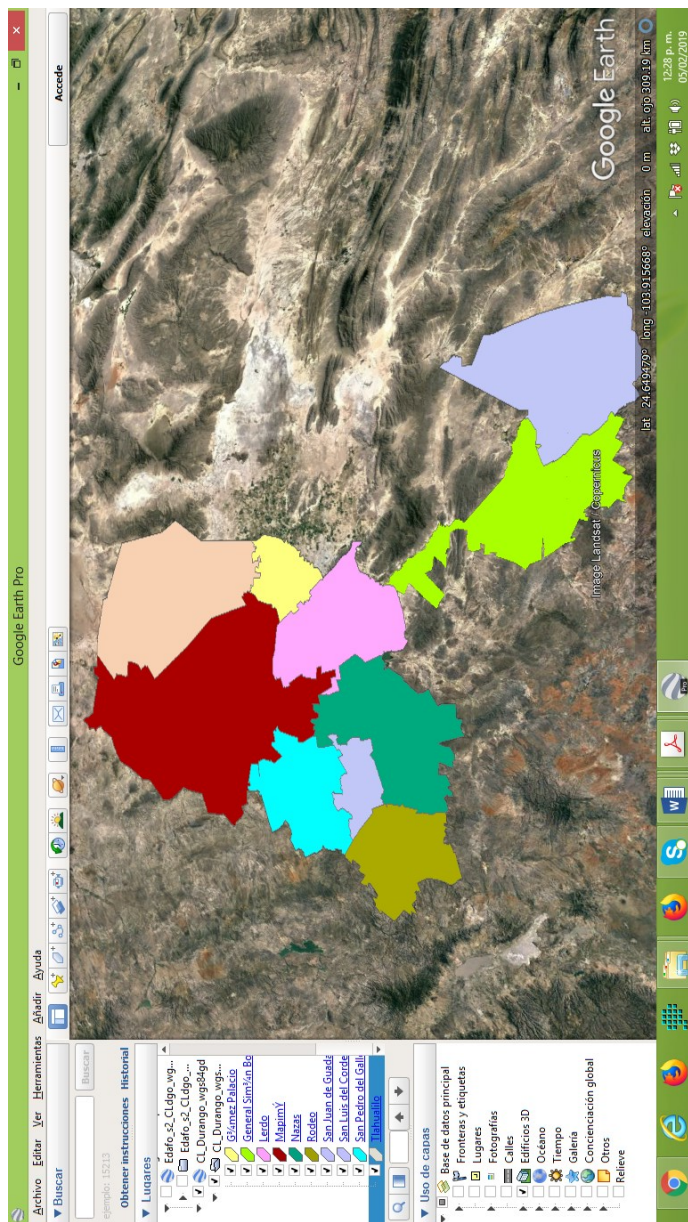
Apéndice 4. Ejemplo de visualización de la capa edafológica en Goolge Earth



Nota:

Descargar del CD con el nombre de archivo: [Apéndice 4_Edafo_s2_CL_DGO.kmz](#)

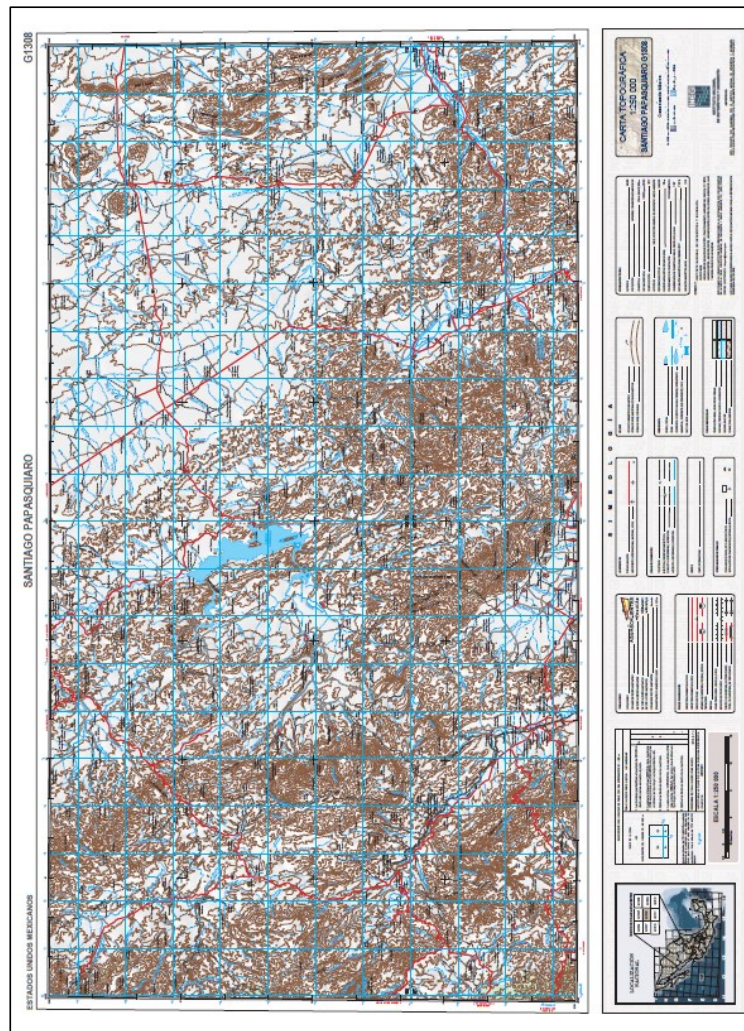
Apéndice 5. Ejemplo de visualización de la capa de municipios en Goolge Earth



Nota:

Descargar del CD con el nombre de archivo: [Apéndice 5_CL_Durango_mpios.kmz](#)

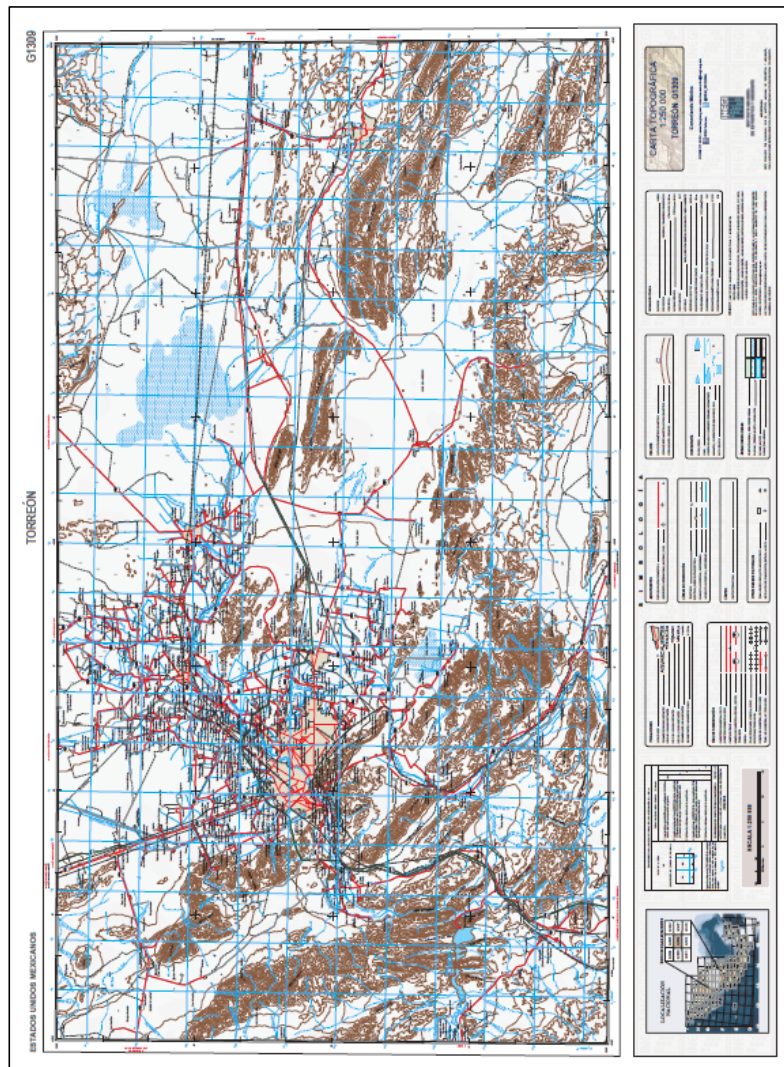
Apéndice 6. Carta topográfica G13-08 en escala 1:250,000



Nota:

Descargar del CD con el nombre de archivo: [Apéndice 6_Topo-G13-8_250k.pdf](#)

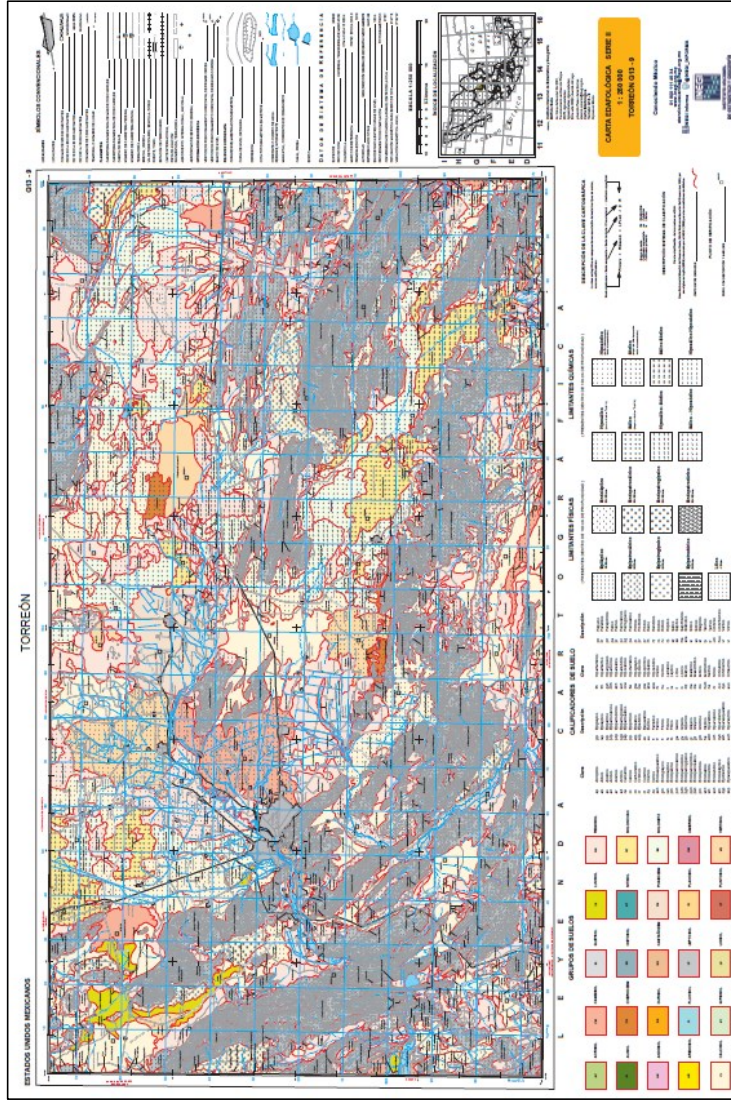
Apéndice 7. Carta topográfica G13-09 en escala 1:250,000



Nota

Descargar del CD con el nombre de archivo: [Apéndice 6_Topo-G13-9_250k.pdf](#)

Apéndice 9. Carta edafológica G13-09 en escala 1:250,000



Nota

Descargar del CD con el nombre de archivo: [Apéndice 9_Edafo-G13-9_250k.pdf](#)

Apéndice 10. Dx preliminar de propiedades edáficas en la capa arable (0-30 cm)

ASIGNATURA: _____ GRADO: _____ No. EQUIPO _____ NOMBRE (S) DEL (LOS) ALUMNO(S) PARTICIPANTES: _____

FECHA Y HORA _____

I DATOS DE IDENTIFICACION

Nombre de la localidad más cercana _____ Municipio _____ Estado _____
Coordenadas geográficas del sitio de observación: x _____, y _____, z _____ m

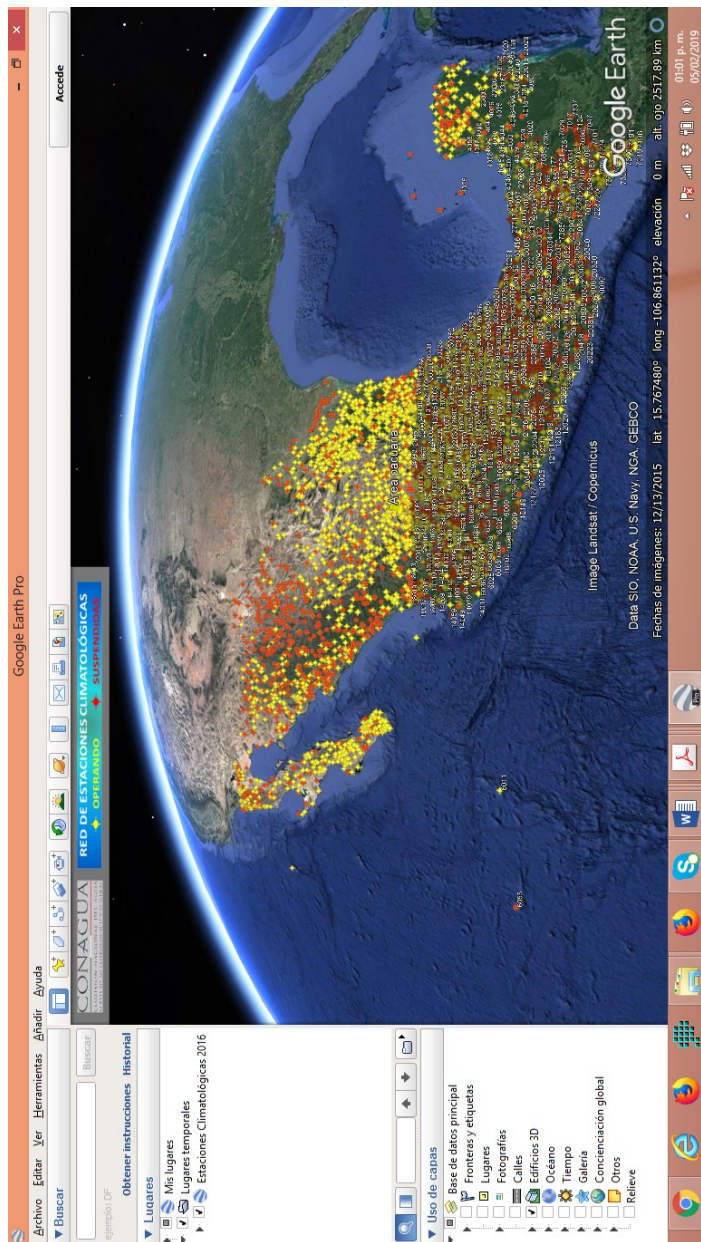
Variable edafológica	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Observaciones
Textura				
Estructura				
Densidad aparente				
Color en seco				
Consistencia (dureza)				
Permeabilidad				
Drenaje				
Profundidad de coloides lixiviados				
Reacción al HCl				
Reacción al H ₂ O ₂				
Densidad de raíces				
Densidad de galerías				
Densidad de herbáceas				
Densidad de arbustivas				
Pendiente media del terreno				

Observaciones adicionales:

Apéndice 10A. Categorías calificativas para la evaluación empírica de suelos

INDICADOR	CATEGORÍAS PROPUESTAS (*)		
Profundidad en cm.	Poco profundo	Medianamente profundo	Profundo
Textura	Fina (1)	Media (2)	Gruesa (3)
Estructura	Columnar grande o pequeña	Agregada o terronosa pequeña, mediana o grande	No definida
Color en seco	Claro	Medianamente claro	Oscuro
Color en húmedo	Claro	Medianamente claro	Oscuro
Consistencia	Blanda	Suave	Dura
Permeabilidad	Permeable	Medianamente permeable	Muy permeable
Drenaje	Lento	Medianamente lento	Rápido
Profundidad de coloides lixiviados	Poco profundo	Medianamente profundo	Muy profundo
Reacción al HCl	Reacción nula	Reacción media	Reacción fuerte
Potencial biótico	Malo	Regular	Bueno

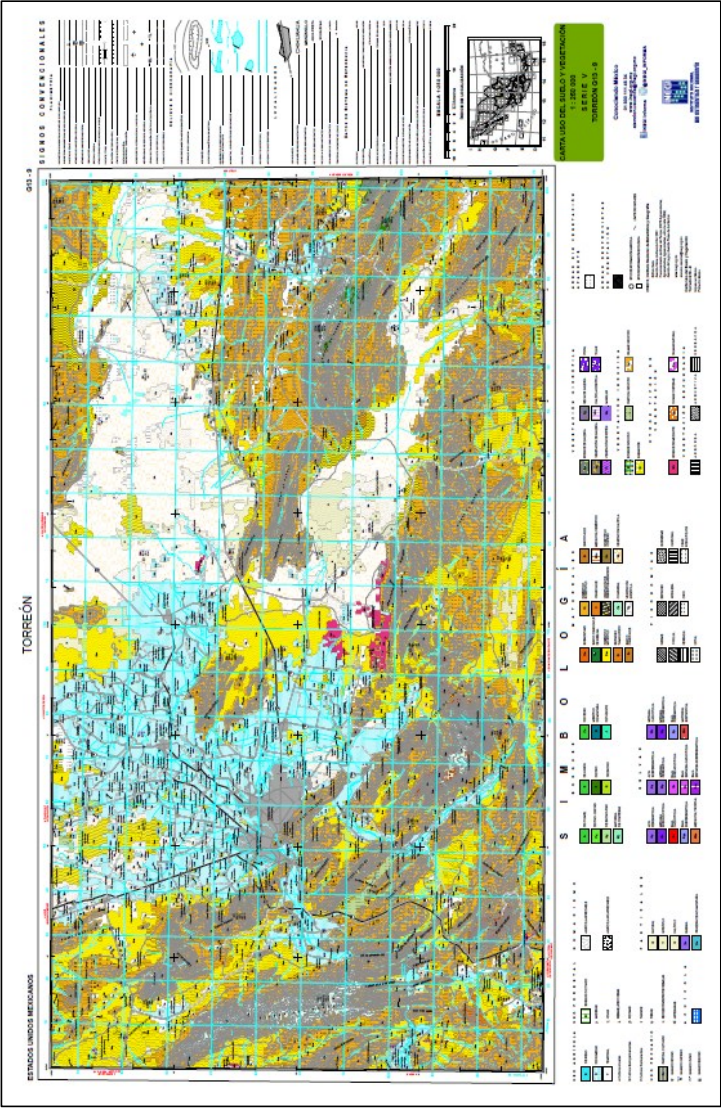
Apéndice 11. Red de Estaciones Climatológicas de México para visualización, consulta y descarga de datos



Nota:

Descargar del CD con el nombre de archivo: *Apéndice 11_EstacionesClimatologicas.kmz*

Apéndice 12. Carta de uso del suelo y vegetación G13-9 escala 1:250,000



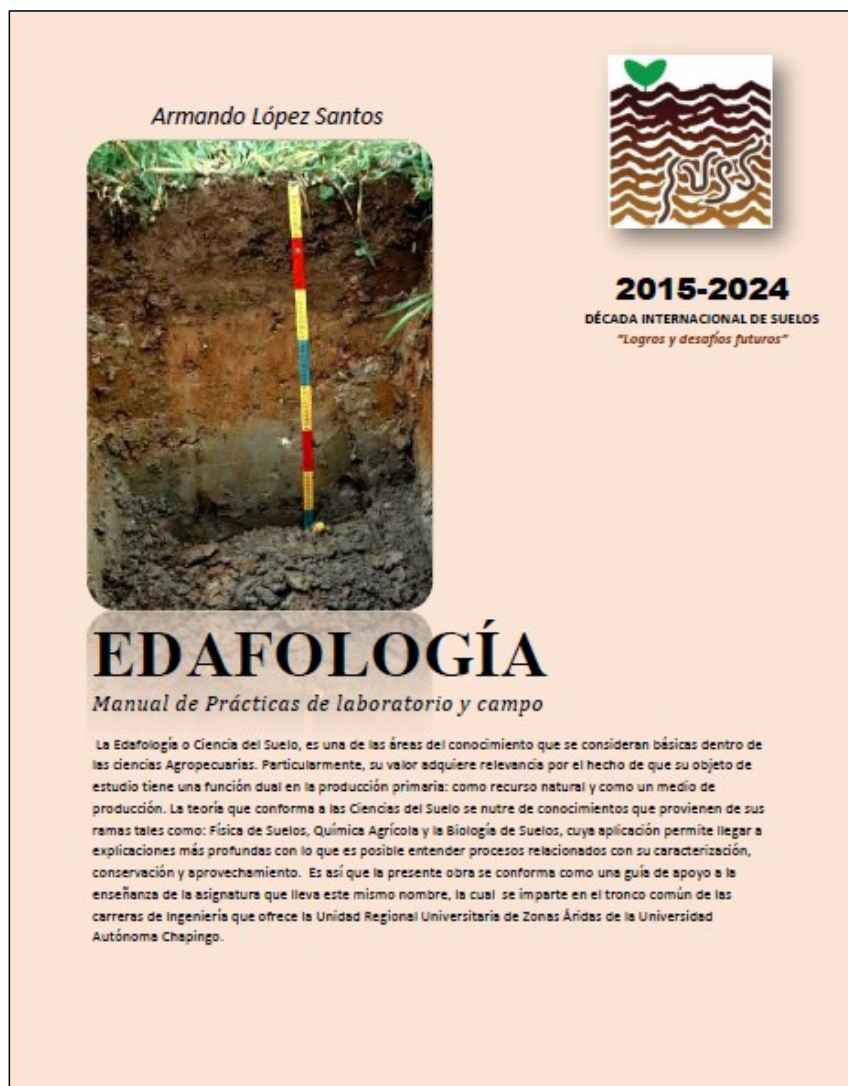
Nota:

Descargar del CD con el nombre de archivo: [Apéndice 12_USV-G13-9_250k.pdf](#)



Descargar del CD con el nombre de archivo: *Apendice 13_USV-G13-8_250k.pdf*

Apéndice 14. Manual de prácticas de edafología

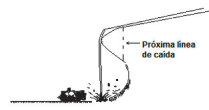
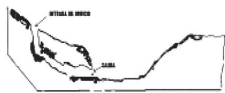


Nota:

Descargar del CD con el nombre de archivo: [Apéndice](#)

[14_ManualPracticas_Edafología_ACTUALIZADO_nov2017.pdf](#)

Apéndice 15. Guía de campo para identificar tipo y grado relativo de erosión hídrica

Tipo de erosión	Modelo gráfico	Grado relativo		
Breve descripción		Bajo	Med	Alto
Erosión por lluvia.- La fuerza erosiva de las gotas de lluvia es más importante que la de los escurrimientos superficiales, ya que las gotas de lluvia adquieren velocidades de caída que varían de 2.7 a 9.5 m/s, mientras que el flujo superficial apenas alcanza velocidades cercanas a 1 m/s.				
Erosión por canalillos.- la erosión laminar y en canalillos, teóricamente es un remoción uniforme en capas delgadas del suelo y su deslizamiento superficial por efecto de la pendiente.				
Erosión en cárcavas.- este tipo de erosión es una forma más avanzada de la erosión por canalillos, donde la profundidad alcanzada tiende a ser mayor que en el anterior caso, y no siempre puede ser cruzada con maquinaria agrícola.				
Erosión por caminos.- la erosión en caminos, por el paso de vehículos puede ser crítico en épocas de lluvia cuando no hay un mantenimiento adecuado.				
Erosión en pináculos.- esta forma de erosión se produce por la presencia de canales verticales a los lados de las cárcavas, que se profundizan y dejan al pináculo aislado, quedando con una capa más resistente, a menudo de grava y piedra coronando el pedestal.				
Erosión en pedestales.- esta forma de erosión puede ser incipiente como resultado del salpicamiento, y en casos extremos se puede manifestar con una forma parecida a la erosión en pináculos, pero con la diferencia que en este caso vamos a encontrar montículos o mesetas coronados con vegetación.				
Erosión por remontante.- esta forma de erosión es un proceso geológico que se presenta en las paredes de las cárcavas. La caída que se forma en la orilla de la cárcava, arroja el material salpicado contra la parte baja de su frente que se erosiona, dejando la parte superior sin sustento; cuando el peso de la parte sobresaliente es grande esta se desprende, dando lugar a otra nueva cara vertical, comenzando el nuevo ciclo erosivo.				
Erosión tubular.- se da por la presencia de tubos continuos y subterráneos. Esta ocurre cuando el agua que fluye se infiltra a través de la superficie del suelo y se mueve hacia abajo hasta encontrar una capa menos permeable. El agua tiende a moverse sobre las capas menos permeables hacia una salida, si es que existe; por lo tanto, a la salida del tubo el material puede ser arrastrado por el agua.				

Notas importantes:

1. Amplíe las descripciones que se presentan en la presente guía con sus propias observaciones.
2. Agregue información adicional como coordenadas geográficas, croquis, mapas, fotografías, etc., de los lugares específicos donde se haga la evaluación.

Apéndice 16. Guía de campo para determinar acciones de conservación de suelo y manejo del agua

Objetivo: Recabar información de campo mediante la observación experta con el fin de valorar acciones de conservación de suelos para su posterior sistematización y análisis.

Metodología de campo: Como parte del procedimiento metodológico, se aplicará un índice *Kappa* que consiste en que los registros se hagan por parejas, para lo cual, cada uno deberá llenar un formato de acuerdo las apreciaciones que cada uno tenga.

Datos de la parcela:

Fecha: _____, hora: _____. Estado del tiempo: _____ No. Parcela: _____

Datos de ubicación obtenidos con GPS en el centro de la parcela:

Latitud (y) _____, Longitud: _____, Altura (m): _____

A continuación se presentan los indicadores planteadas a manera de preguntas para las que debe haber una respuesta afirmativa (si) o negativa (no).

Indicador	Si	No	No se
I. Color obscuro del suelo			
1. Se debe a que ha llovido recientemente			
2. Se hizo una buena preparación de la cama de raíces en años anteriores			
3. Se debe a que tiene un buen contenido de materia orgánica			
4. Se debe a las propiedades químicas			
II. Incorporación de residuos de cosecha			
1. Hay evidencia de residuos de cosecha sobre la superficie de la cosecha anterior			
2. Los esquilmos están enterrados en la capa superior del suelo (30 cm de prof)			
3. Los esquilmos están concentrados sobre la superficie en una parte de la parcela			
III. Profundidad del suelo			
1. La parcela está ubicada en suelos con profundidades adecuadas (>100 cm)			
2. Hay evidencia de un buen manejo de ésta variable como un factor limitante			
IV. Pendiente			
1. Es evidente del manejo de esta variable porque hay surcado al contorno			
2. El terreno está reconfigurado de su forma original			
3. Está terraceado			
5. Tiene una combinación de surcos y terrazas			
V. Manejo del agua			
1. Hay evidencia de que las parcelas son favorecidas para aprovechar el agua de lluvia			
2. Cuenta con estructuras de control parcelario			
VI. Erosión del suelo			
1. Hay zanjas dentro de la parcela			
2. Pérdida de la capa arable			

Observaciones adicionales:

Levantó

Apéndice 16A. Ejemplo de aplicación del índice kappa

ACCIONES PARA CONSERVACIÓN DE SUELOS IDENTIFICADAS MEDIANTE ÍNDICES KAPPA AL NORESTE DE DURANGO, MÉXICO

CONSERVATION ACTIVITIES OF SOILS IDENTIFIED THROUGH INDICES KAPPA INDICES IN NORTHEAST OF DURANGO, MEXICO

Armando López-Santos^{1*}, Palmira Bueno-Hurtado², J. Guadalupe Arreola-Ávila¹, J. Emmanuel Pérez-Salinas¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Km. 40 Carretera Gómez Palacio-Chihuahua, 35250, Bermejillo, Durango, (alopez@chapingo.urua.edu.mx). ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID-RASPA-INIFAP), Gómez Palacio, Durango.

RESUMEN

La estimación de la erosión edáfica basada en modelación, como con la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) o la USLE revisada (RUSLE), considera la acción antrópica (factor C) para los usos de la tierra y tiene limitaciones para detectar cómo sucede esa influencia. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un procedimiento para identificar la presencia o ausencia de acciones de conservación de suelos a partir de la observación experta de evidencias en terrenos dedicados a la agricultura de secano, del Norte de Durango, México. La unidad de estudio (UE) de 2250 km², incluyó a San Pedro del Gallo y San Luis del Cordero (25° 21' N y 25° 59' N; -104° 29', -104° 1' O y clima árido y semiárido). El diseño experimental fue completamente al azar sobre la cobertura de parcelas agrícolas de la UE. Un cuestionario con seis categorías y 15 indicadores se empleó con la técnica Kappa-Cohen. La información se analizó con tablas de contingencia del módulo de estadísticas descriptivas en SPSS[®] (IBM, NY, USA). Los resultados mostraron concordancias significativas ($p \leq 0.05$) y altamente significativas ($p \leq 0.001$), que representaron acuerdos sustanciales (Kappa=0.686). Esto indicó que 52 % de los casos del estudio no realizan prácticas adecuadas de manejo del agua de lluvia para favorecer los cultivos, y no incorporan materia orgánica; así, la práctica para el control de la erosión edáfica no es una prioridad para los agricultores de la UE.

Palabras clave: conservación de suelos, erosión hídrica, observación experta

ABSTRACT

Estimation of soil erosion based on modeling, as with the Universal Soil Loss Equation (USLE) or the revised USLE (RUSLE), considers anthropogenic action (factor C) for land uses and has limitations to detect how that influence happens. The objective of this research was to develop a procedure to identify the presence or absence of soil conservation actions based on the expert observation of evidence on lands dedicated to rainfed agriculture in northern Durango, Mexico. The study unit (UE) of 2250 km², included San Pedro del Gallo and San Luis del Cordero (25° 21' N and 25° 59' N; -104° 29', -104° 1' W and arid and semiarid climate). The experimental design was completely randomized on the coverage of UE agricultural plots. A questionnaire with six categories and 15 indicators was used with the Kappa-Cohen technique. The information was analyzed with descriptive statistics module contingency tables in SPSS[®] (IBM, NY, USA). The results showed significant ($p \leq 0.05$) and highly significant ($p \leq 0.001$) concordances, which represented substantial agreement (Kappa=0.686). This indicated that 52 % of the study cases do not perform adequate rainwater management practices to favor crops, and do not incorporate organic matter thus, the practice for the control of soil erosion is not a priority for UE farmers.

Key words: soil conservation, water erosion, expert observation

INTRODUCTION

In Mexico, data on water (EH) or wind erosion (EE) have historically been contradictory. For example, López-Santos (2016) considered three sources with EH and EE values: 29.5 and 30.7 % (Garrido and Cotler, 2010), 11.8 and 9.5 %

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.
Recibido: abril, 2016. Aprobado: enero, 2017.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 591-605, 2017.

Nota:

Para consultar la versión completa de la obra hay dos opciones de descarga:

Descargar del CD con nombre de archivo: [Apendice16A_MetodoKapa_aLopez-et al-AGROCIENCIA-51\(6\)-2017.pdf](#)

En línea: <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2017/ago-sep/art-1.pdf>

Plantilla para el registro de datos de campo para medir la profundidad de una cárcava mediante una rutina de nivelación utilizando equipo topográfico.

Fecha de realización:

Participantes: _____

[illegible]

Observaciones adicionales:

Apéndice 18. Plantilla para registro de datos para determinar dirección de desarrollo de una cárcava

Plantilla para el registro de datos de campo para establecer la dirección de una cárcava mediante el levantamiento de una poligonal abierta utilizando teodolito y brújula.

Nombre la la práctica: _____

Fecha de realización: _____

Participantes: _____

[illegible]

EST = Estación; PV = Punto visado; DIST = distancia en metros; RMO = Rumbo magnético observado

Apéndice 19. Plantilla para registro de datos de medición de dirección de una cárcava mediante receptor GPS

Plantilla para el registro de datos de campo para establecer la dirección de una cárcava mediante el levantamiento de una poligonal abierta utilizando receptor GPS.

Nombre la la práctica: _____

Fecha de realización: _____

Participantes: _____

VERTICE	COOR X	COOR Y	DESCRIPCIÓN

Nota: utilice el datum WGS84 en grados, minutos y segundos

Apéndice 20. Método de la probeta para determinar densidad aparente

El método de la probeta para determinar el valor de la densidad aparente, es muy sencillo y es aceptable en términos de la Norma Oficial Mexicana en materia de Fertilidad de suelos. Su sencillez es tanto por el tiempo requerido para su determinación, así como por la cantidad de material empleado. Fundamentalmente consiste en desalojar el aire contenido en una muestra de suelo tamizado vertido sobre un contendor que permita conocer el volumen ocupado.

Material y equipo

- Probeta de plástico de 50 ml
- Balanza analítica
- Franela
- Tapón de hule
- Suelo tamizado a 2 mm

Procedimiento

- Pesar 40 g de suelo seco (Pt)
- Poner el suelo en la probeta y taparla con el tapón de hule
- Humedecer la franela y exprimir el exceso de humedad y doblarla tres veces
- Colocar la franela doblada sobre la mesa
- Sobre la franela golpear la probeta 30 veces con una frecuencia de un golpe por segundo y con una trayectoria vertical de 30 cm. La intensidad de cada golpe debe permitir el asentamiento del suelo y no la emisión del mismo hacia la boca de la probeta.
- Luego de concluida la serie de golpes, lea el volumen final (V) que ocupa el suelo y anotar el dato.

Cálculos

La densidad aparente (Da) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Pt}{V}$$

Apéndice 21. Coeficiente de rugosidad n

El coeficiente de rugosidad n es un parámetro que determina el grado de resistencia, que ofrecen las paredes y fondo del canal al flujo del fluido. Mientras más áspera o rugosa sean las paredes y fondo del canal, más dificultad tendrá el agua para desplazarse. A continuación se presentan los valores del coeficiente de rugosidad n , propuestos por Horton para el cálculo de la Velocidad de flujo en la ecuación de *Manning*.

Superficie	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianamente Buenas	Malas
(1) Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendiduras, ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
(2) Igual al (1) pero con algo de hierba y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
(3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.033	0.035	0.040	0.045
(4) Igual al (3), de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente	0.040	0.045	0.050	0.055
(5) Igual al (3), algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
(6) Igual al (4), secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
(7) Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
(8) Playas muy enhierbadas	0.075	0.100	0.125	0.150

Fuente: SARH-SPP-CP. 1991

Nota:

El coeficiente de rugosidad n ha sido muy estudiado por muchos investigadores en el laboratorio, por lo que se han elaborado tablas para los diferentes valores, dependiendo del material que aloja al canal.

Uso y manejo sostenible de suelos

***Fundamentos y procedimientos
selectos enfocados al autoaprendizaje y
la enseñanza guiada***

LA PRESENTE OBRA SE TERMINÓ DE IMPRIMIR EN NOVIEMBRE DE 2019 EN LOS TALLERES DE:

Grupo
 **Arte Gráfico, S.A. de C.V.**
HERFA

Av. Corona # 454 Sur Col. Sta. Rosa C.P. 35040 Gómez Palacio, Dgo. México
Tel. (871) 227-72-00 al 05 E-mail: clientes@herfa.com.mx

La edición consta de 500 ejemplares.