

LA COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

GERENCIA DE SUELOS

ESTUDIO PARA LA EVALUACIÓN Y MONITOREO
DE LA RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA-FORESTAL
EN EL SISTEMA DE MICROCUENCAS PRIORITARIAS
CUTZAMALA (FASE FINAL).

ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN Y MONITOREO
DEL IMPACTO DE LAS ACCIONES IMPLEMENTADAS
(INDICADORES BIOFÍSICOS).

MAYO 2014



DIRECTORIO DE LA COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

ING. JORGE RESCALA PÉREZ

DIRECTOR GENERAL

ING. JESÚS CARRASCO GÓMEZ

COORDINADOR GENERAL DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

ING. RAMÓN CARDOZA VÁZQUEZ

GERENTE DE SUELOS

DIRECTORIO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

DR. GILBERTO HERRERA RUÍZ

RECTOR

DR. AURELIO DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DR. EUSEBIO JR. VENTURA RAMOS

PROFESOR INVESTIGADOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

RESPONSABLE OPERATIVO DEL CONVENIO

PROYECTO:

ESTUDIO PARA LA EVALUACIÓN Y MONITOREO DE
LA RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA-FORESTAL EN EL
SISTEMA DE MICROCUENCAS PRIORITARIAS
CUTZAMALA (FASE FINAL)

DESARROLLADO PARA LA COMISIÓN NACIONAL FORESTAL POR:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECCIÓN DE VINCULACIÓN TECNOLÓGICA Y PROYECTOS
ESPECIALES

QUERÉTARO, QRO., MAYO DE 2014

ESTE DOCUMENTO ES DE CARÁCTER PÚBLICO, NO ES PATROCINADO NI PROMOVIDO POR PARTIDO POLÍTICO ALGUNO Y LOS RECURSOS CON QUE HA SIDO ELABORADO, PROVIENEN DE LOS IMPUESTOS QUE PAGAN TODOS LOS CONTRIBUYENTES. ESTÁ PROHIBIDO EL USO DE ESTE DOCUMENTO CON FINES POLÍTICOS, ELECTORALES, DE LUCRO Y OTROS DISTINTOS A LOS ESTABLECIDOS POR LA LEY FEDERAL DE TRANSPARENCIA Y ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA GUBERNAMENTAL. QUIEN HAGA USO INDEBIDO DE ESTE DOCUMENTO, DEBERÁ SER DENUNCIADO DE ACUERDO CON LA LEY APLICABLE Y ANTE LA AUTORIDAD COMPETENTE.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS..... i

ÍNDICE DE TABLAS..... ii

3. ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN Y MONITOREO DE LAS ACCIONES IMPLEMENTADAS Y DE LAS CONDICIONES DE REFERENCIA

(Indicadores Biofísicos).	1
3.1. Consideraciones Generales.	1
3.2. Indicadores	2
3.2.1. Tipos de indicadores.....	3
3.2.2. Características generales de los indicadores.....	6
Las características generales que deben cumplir los indicadores son:	6
3.3. Aplicación del esquema de monitoreo	6
3.3.1. Muestreo en la Fase Inicial (Evaluación).....	6
3.3.2. Diseño de muestreo en la fase inicial.....	7
3.3.3. Muestreo en la Fase Final (Monitoreo).....	9
3.4. Análisis de la Evaluación del Impacto de las Acciones.....	16
3.4.1. Sistema de Indicadores Integrados	16
3.5. Marco Metodológico	18
3.5.1. Condición del sitio.....	18
3.5.1.1. Porcentaje de la cobertura arbustiva, herbácea y basal del suelo.....	18
3.5.2. Propiedades físicas del suelo.....	22
3.5.2.1. Morfología del suelo.....	22
3.5.2.2. Textura	31
3.5.2.3. Densidad aparente.....	34
3.5.2.4. Índice de Estabilidad Estructural	37
3.5.2.5. Infiltración básica y conductividad hidráulica.....	39
3.5.2.6. Resistencia a la Penetración	44
3.5.2.7. Contenido de humedad del suelo	45
3.5.2.8. Profundidad del suelo	47
3.5.3. Propiedades Químicas	49
3.5.3.1. Carbono Orgánico.....	49
3.5.3.2. pH.....	50
3.5.3.3. Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.....	52
3.5.4. Funcionalidad hidrológica.....	55

3.5.4.1.	Tipo y Grado de Erosión	55
3.5.4.2.	Formas de erosión	56
3.5.4.3.	Grados de erosión	58
3.5.4.4.	Pérdida Relativa de Suelo	59
3.5.5.	Vegetación	63
3.5.5.1.	Especies Plantadas	63
3.5.5.2.	Porcentaje de Supervivencia (por especie en el predio)	64
3.5.6.	Fauna	66
3.5.6.1.	Avistamiento de Fauna	66
3.6.	Análisis de Correlación	69
3.6.1.	Coefficiente de correlación lineal de Pearson	69
3.6.2.	Significación del coeficiente de correlación	70
3.6.3.	Interpretación del coeficiente de correlación	72
3.6.4.	Correlación y causalidad	72
3.6.5.	Aplicación Informática	73
3.7.	Bibliografía	74
ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
3.1. Estratos utilizados en la Fase Inicial del Estudio.	7
3.2. Estratos utilizados en la Fase Inicial del Estudio.	8
3.3. Sitios de muestreo de la Fase Inicial en las 18 microcuencas prioritarias.	9
3.4. Microcuencas de ampliación para el monitoreo de la restauración hidrológica-forestal en el Sistema de Microcuencas Prioritarias Cutzamala.	10
3.5. Sitios de muestreo de la Fase Final en las microcuencas prioritarias y de ampliación.	11
3.6. Triangulo de las texturas de los suelos (USDA).	24
3.7. Ejemplo de curvas para un suelo mal graduado y uno bien graduado. Obtención de D_{10} , D_{30} y D_{60}	34
3.8. Barrena de muestreo.....	35
3.9. Diferentes formas de expresar la infiltración de un suelo. (Valverde C. 2007).....	40
3.10. Método del doble cilindro	41
3.11. Infiltrómetro de Minidisco	42
3.12. Medición de la compactación mediante un penetrometro SC 900	45
3.13. Medidor de humedad en el suelo TDR.	46
3.14. Barrena helicoidal o de gusano.....	48
3.15. Cinco tipos de erosión superficial del suelo: laminar (sheet), formación de pedestales (pedestal), surcos (rill), terracetas (terrace) y escaldado (scald).	55
3.16. Erosión laminar	56
3.17. Erosión en pedestales.....	57
3.18. Erosión en a) surcos y b) cárcavas.....	57
3.19. Erosión en terrazas.	58
3.20. Terreno escaldado.	58
3.21. Establecimiento de parcelas de escurrimiento	60
3.22. Sistema de recolección de sedimentos y escurrimiento	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
3.1. Tipos de predios muestreados en la Fase Inicial del Estudio.....	6
3.2. Tipos de predios considerados en la Fase Final de Monitoreo.	10
3.3. Características de ubicación de los sitios de muestreo de la Fase Final en el Sistema de Microcuencas Prioritarias Cutzamala	12
3.4. Sistema de indicadores biofísicos para el monitoreo a nivel de sitio.....	16
3.5. Horizontes principales, transicionales y combinaciones comunes en suelos.....	23
3.6. Distribución de mallas	32
3.7. Coeficientes de uniformidad y curvatura (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989).....	33
3.8. Otros valores orientativos de densidad aparente.....	36
3.9. Clases de estabilidad de agregados de acuerdo al Índice de estabilidad (De Leenheer y De Boodt, 1958).....	38
3.10. Calificación de la profundidad del suelo.....	47
3.11. Clasificación del grado de erosión ¹	59

3. ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN Y MONITOREO DE LAS ACCIONES IMPLEMENTADAS Y DE LAS CONDICIONES DE REFERENCIA (Indicadores Biofísicos).

3.1. Consideraciones Generales.

El manejo y gestión de cuencas están articulados en un conjunto lógico y secuencial de pasos que incluye desde el reconocimiento de la cuenca y los actores, la caracterización y diagnóstico, la zonificación y ordenamiento del territorio, el establecimiento de la línea base, la formulación del plan de manejo o gestión, la implementación del mismo, el seguimiento, monitoreo y evaluación y finalmente la sistematización de experiencias y la comunicación. Dentro de esta lógica, el sistema de evaluación tiene su fundamento en un conjunto de indicadores que permiten identificar, caracterizar, cualificar o cuantificar la situación de partida, a fin de tener elementos objetivos con base en los cuales analizar y evaluar los avances, problemas, y resultados de las intervenciones, en el corto, mediano y largo plazo.

A dicho conjunto de indicadores se les denomina Línea Base, la cual se considera un componente esencial de todo proyecto o programa de manejo y gestión de cuencas hidrográficas. La gestión de cuencas tiene múltiples objetivos, además de que sus actividades cambian con el transcurso del tiempo, como también lo hacen las condiciones sociales, económicas y ambientales (Palacios M, 2006). Esto presenta un desafío considerable para el monitoreo y evaluación, lo que en primer lugar parte de un marco de referencia y una línea base para conocer los cambios a suscitarse en el proceso, y en segundo, debe ser enfrentado, ya que la razón de un enfoque estratégico es aprender y adaptarse.

Por lo tanto, el requerimiento central de la evaluación y monitoreo es seguir sistemáticamente las variables y procesos claves en un período de tiempo y en el espacio, y con base en ello, ver cómo se suscitan los cambios en dicho proceso. En los últimos años, se ha reconocido cada vez más, la importancia y necesidad de la evaluación y monitoreo como componente indispensable para el análisis, la

retroalimentación y la toma de decisiones en el ciclo del manejo, gestión, cogestión y restauración de cuencas hidrográficas (Rascon R, 2007).

La gestión integral, función de los indicadores para el monitoreo, implica aplicarla a los planes y acciones para una cuenca hídrica, en donde su rol es evaluar, pronosticar y corregir dichos planes en vista a el cumplimiento de los objetivos de la gestión. Concretamente, el monitoreo de la gestión de cuencas mediante indicadores es un proceso que proporciona información para ayudar a la planificación, desarrollo y gestión de los recursos hídricos (International Network of Basin Organization, ANBO, 2009). De esta manera, los indicadores estarán relacionados con las metas del plan de acción de la gestión de la cuenca y con los avances en la gestión integrada de los recursos hídricos.

Se pueden identificar varios criterios para elegir los indicadores. No todos los indicadores pueden cumplir con todos los criterios y los criterios pueden cambiar por diferentes circunstancias. En el contexto de tratar la gestión de los recursos hídricos, un criterio de gran alcance es que los indicadores se relacionan con los objetivos de la gestión de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas (Brachet y Valensuela, 2012).

Dado que en este año de evaluación no se monitorearon predios con prácticas establecidas, en este apartado se presenta los resultados de la evaluación biofísica de los estratos de vegetación y suelo de interés, y las condiciones socioeconómicas de las microcuencas, tratando de establecer valores y de referencia y relaciones entre las variables evaluadas. Estas variables serán tratadas como indicadores de las condiciones de los estratos de interés. De cualquier manera, se abordará de inicio la fundamentación de la definición de línea base y de la definición de indicadores.

3.2. Indicadores

El indicador es una expresión sintética y específica, que señala una condición, característica o valor determinado en el tiempo (¿Cuándo?), en la cantidad (¿Cuánto?) y en la calidad (¿De qué tipo?). Los indicadores pueden ser cualitativos y

cuantitativos, dependiendo de la naturaleza delo que se requiere evaluar. Pueden ser biofísicos, socioeconómicos o ambientales, y deben permitir el reconocimiento del éxito, fracaso o avance de la intervención. Los indicadores conducen a clarificar el significado y cumplimiento de los objetivos del plan, así como monitorear los avances.

Mediante la definición correcta de los indicadores se asegura que los objetivos del proyecto sean claros y precisos, ya que justamente sirven para demostrar con la evidencia correspondiente los logros obtenidos y poder consecuentemente monitorear los avances.

Al identificar y seleccionar los indicadores para una línea base es necesario tener en cuenta que estos son índices que permiten describir, medir y evaluar los cambios, efectos e impactos de las actividades realizadas por la intervención de un plan de manejo. Además, deben permitir valorar las condiciones iniciales o de base del proyecto y cuantificar los cambios producidos en el tiempo.

Los indicadores también deben hacer posible la evaluación de las estrategias administrativas y políticas implementadas durante el plan o proyecto. Un buen indicador debe ser útil, preciso, relevante, sensible a cambios durante la ejecución, de costo razonable y sencillo de calcular.

3.2.1. Tipos de indicadores

Existen diferentes formas de clasificar los indicadores, lo importante es establecer en cada caso lo que se quiere monitorear en función de los objetivos del plan de manejo, gestión o cogestión de cuencas.

De acuerdo al nivel de planificación y los objetivos establecidos en cada nivel se pueden distinguir cinco tipos de indicadores:

- a) Indicadores de Impacto: relacionados con los logros a largo plazo y las contribuciones de los planes, proyectos y programas al cumplimiento de la misión u objetivo superior de manejo, gestión o cogestión de la cuenca.

- b) Indicadores de efecto: relacionados con los logros a mediano plazo y las contribuciones de los planes, proyectos o programas al cumplimiento de los objetivos programáticos en una región específica.
- c) Indicadores de resultado: relacionados con los logros a corto plazo y las contribuciones del plan de manejo a resolver directamente problemas y necesidades de la cuenca.
- d) Indicadores de proceso/producto: relacionados con el plazo inmediato y las contribuciones de los componentes y actividades al cumplimiento de los propósitos establecidos en cada objetivo específico de la intervención.
- e) Indicadores de insumo: la información referente a los indicadores de insumos proviene en gran medida de registros contables y de administración. Los indicadores de insumos suelen dejarse al margen de los análisis de seguimiento de los proyectos, aunque forman parte del sistema de información gerencial. Se requiere un adecuado sistema contable para mantener información sobre el gasto y suministrar datos de costos para el análisis de los resultados en materia de productos.

En gestión de cuencas hidrográficas, se sugiere trabajar con los siguientes tipos de indicadores:

- a) Indicadores de productos: muestran lo que el plan efectivamente entrega, en función de cómo son invertidos los recursos. Se pueden relacionar con planes operativos anuales; por lo que se deben establecer y darles seguimiento, según los mecanismos establecidos, en ese contexto temporal.
- b) Indicadores de proceso: muestran el avance en procesos definidos en el plan, sin que ello signifique necesariamente que hay un producto, un resultado o un impacto concreto. Se puede relacionar a informes de avance del plan en función de procesos (ej. Avances en el proceso de cambio de actitudes, de fortalecimiento de la capacidad local, etc.).

-
- c) Indicadores de resultados: deben mostrar logros del plan de manejo en cuanto a denotar cambios cuantitativos y cualitativos vinculados a los objetivos específicos en la gestión de la cuenca. Por ejemplo cambios en el uso de tecnologías agrosilvopecuarias amigables con el ambiente, protección de las fuentes de agua para consumo humano, creación de una organización de cuencas, etc.
- d) Indicadores de impacto: relacionados principalmente con los logros a largo plazo y las contribuciones del plan de manejo al cumplimiento de la misión u objetivo superior de manejo, gestión o cogestión de la cuenca. Con frecuencia los proyectos, por su visión de corto plazo (menos de 5 años) difícilmente pueden lograr impactos en la gestión de la cuenca, por ejemplo cambios en la cobertura vegetal, cambios de actitudes en la población, mecanismos sostenibles de financiamiento, institucionalidad sostenible, mejoramiento de la calidad y disponibilidad de agua, etc. Con base en los factores de agregación de las actividades, variables y de sus interacciones, los indicadores se pueden clasificar en:
- e) Indicadores globales: en los proyectos de manejo de cuencas, recursos naturales o manejo del ambiente, la interacción e integración de acciones, generan productos variados en cantidad y complejidad. Muchos de ellos están agregados o relacionados a diferentes acciones; por ejemplo, la calidad del agua depende del manejo de la cobertura, uso y manejo del suelo y del comportamiento hidrológico, pero también para monitorear la calidad del agua se puede considerar muchos indicadores (físicos, químicos, biológicos). Evaluar una gran cantidad de indicadores puede resultar en un alto costo y difícil de monitorear, y en casos de no requerir detalles de variables, es mejor utilizar indicadores globales, que integren información para conocer el impacto del proyecto. Los indicadores globales generalmente no se utilizan para tomar decisiones de diseños o acciones específicas, sino más bien para aspectos estratégicos y decisiones generales.
-

3.2.2. Características generales de los indicadores

Las características generales que deben cumplir los indicadores son:

- Medibles, verificables y fáciles de cuantificar.
- Prácticos, de fácil y bajo costo de recolección.
- Posibles de involucrar a la población local.
- Deben ser realistas, confiables y alcanzables.
- Deben especificar un solo resultado medible por lograr.
- Las mediciones deben poder repetirse a través del tiempo.
- Deben ser sensibles a los cambios en el sistema.
- Las magnitudes deben indicar tendencias.
- Factibles de relacionar con otros indicadores.
- Deben ser válidos y eficientes (medir correctamente el elemento para el cual han sido formulados y justificar su costo).

3.3. Aplicación del esquema de monitoreo

3.3.1. Muestreo en la Fase Inicial (Evaluación)

En la Fase Inicial de Evaluación se estableció un esquema de muestreo que consideró los tipos de predios que se muestran en la Tabla 3.1, realizándose mediciones en 103 predios en total.

Tabla 3.1. Tipos de predios muestreados en la Fase Inicial del Estudio.

	LÍNEA BASE DE PREDIOS		
	INTERVENIDOS	POR INTERVENIR	CONSERVADOS
Predios estudiados:	Predios apoyados 2009-2011 (Con obras).	Predios a apoyar 2012 (Sin obras).	Predios conservados.
Descripción:	Las estimaciones de los indicadores se realizaron en terrenos contiguos a los predios apoyados de 2009-2011, en terrenos con las mismas condiciones topográficas, edafológicas, de degradación, de uso de suelo y vegetación, etc. que los predios antes de ser apoyados.	Las estimaciones de los indicadores se realizaron dentro de los predios que serían apoyados en 2012.	Se realizaron estimaciones en predios identificados como conservados y sin disturbios significativos, que permitieron considerarlos como ecológica e hidrológicamente funcionales.
Número de predios estudiados:	52	33	18

3.3.2. Diseño de muestreo en la fase inicial

Para los *Predios Intervenido* (2009-2011) y los *Predios por Intervenir* (2012) se utilizó un diseño de muestreo estratificado con asignación uniforme aleatoria.

En ese diseño se tomaron en cuenta 3 criterios fundamentales que inciden en el comportamiento del impacto de las obras de restauración:

1. Uso de Suelo y Vegetación
2. Grupos (Unidades) de Suelo
3. Microcuencas

Se generaron estratos que resultaron de la combinación espacial de los criterios 1: *Uso de Suelo y Vegetación* y 2: *Grupos de Suelo*. La combinación de ambos criterios generó 33 intersecciones o estratos (Figura 3.1). Este proceso de estratificación aportó homogeneidad dentro de los estratos y heterogeneidad entre ellos, con la finalidad de optimizar el esfuerzo de muestreo.

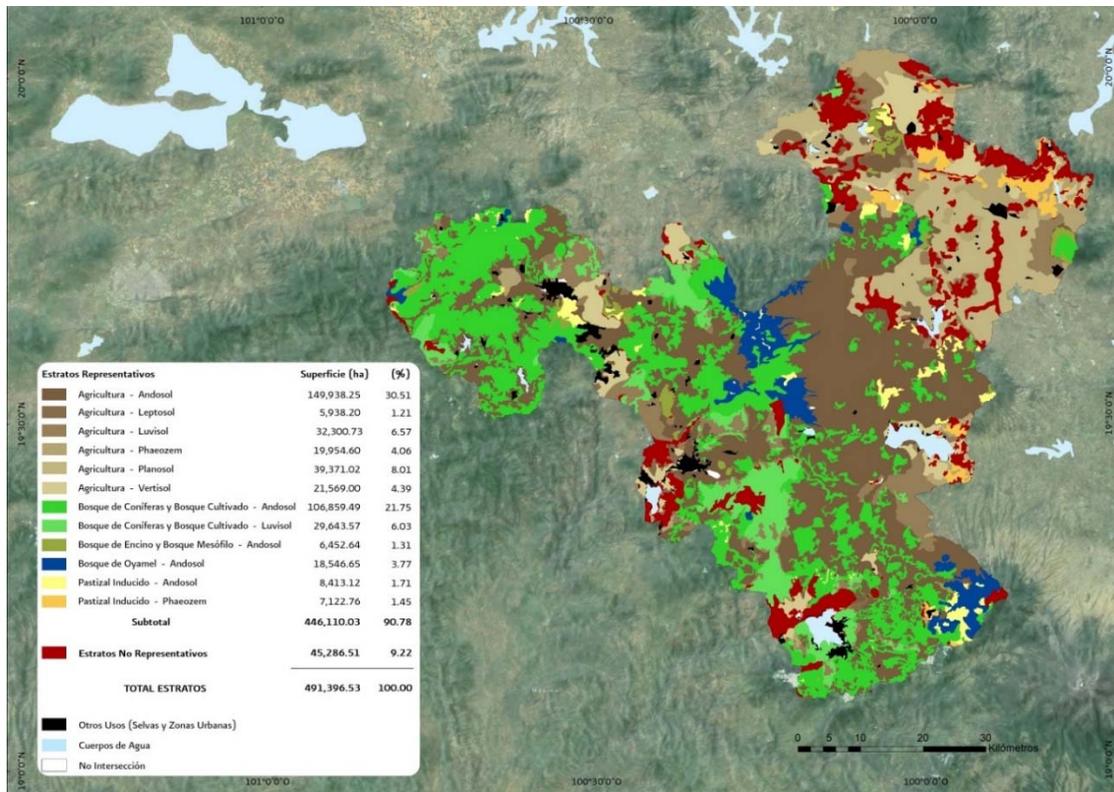


Figura 3.1. Estratos utilizados en la Fase Inicial del Estudio.

Por otra parte, de las 65 microcuencas que componen el Sistema de Microcuencas Cutzamala, se focalizó o delimitó el área de medición en campo de los indicadores integrados en sólo 18 microcuencas (Figura 4.2). Estas 18 microcuencas comprenden sólo el 27% de la superficie del Cutzamala, pero contienen alrededor del 60% de la superficie total apoyada por el PRFCHP hasta 2012. Lo anterior evitó diluir el esfuerzo de muestreo en las 65 microcuencas y permitió tener estimaciones más representativas con inferencias más útiles.

Con la finalidad de obtener representatividad en cada una de las 18 microcuencas, se eligió aleatoriamente 1 predio en cada estrato. Lo anterior resultó en un tamaño muestral de 85 predios (52 predios intervenidos 2009-2011 y 33 predios por intervenir 2012) (Figura 3.2).

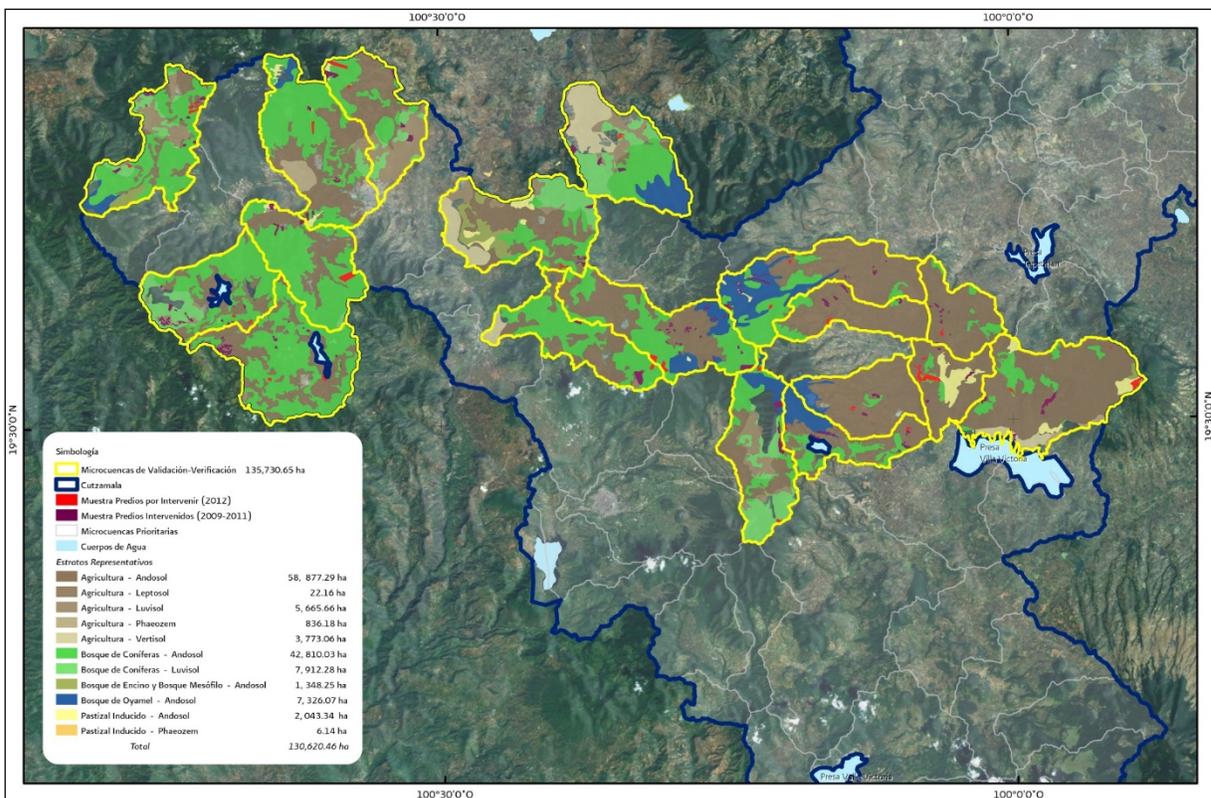


Figura 3.2. Estratos utilizados en la Fase Inicial del Estudio.

Para los Predios Conservados se utilizó un diseño de muestreo dirigido. Se eligieron predios sin disturbios significativos, que permitieron considerarlos como ecológica e

hidrológicamente funcionales. Se seleccionó un predio por cada una de las 18 microcuencas, lo que arrojó un tamaño muestral de 18 predios conservados.

Los sitios de muestreo de la Fase Inicial son los que se muestran en la Figura 3.3.

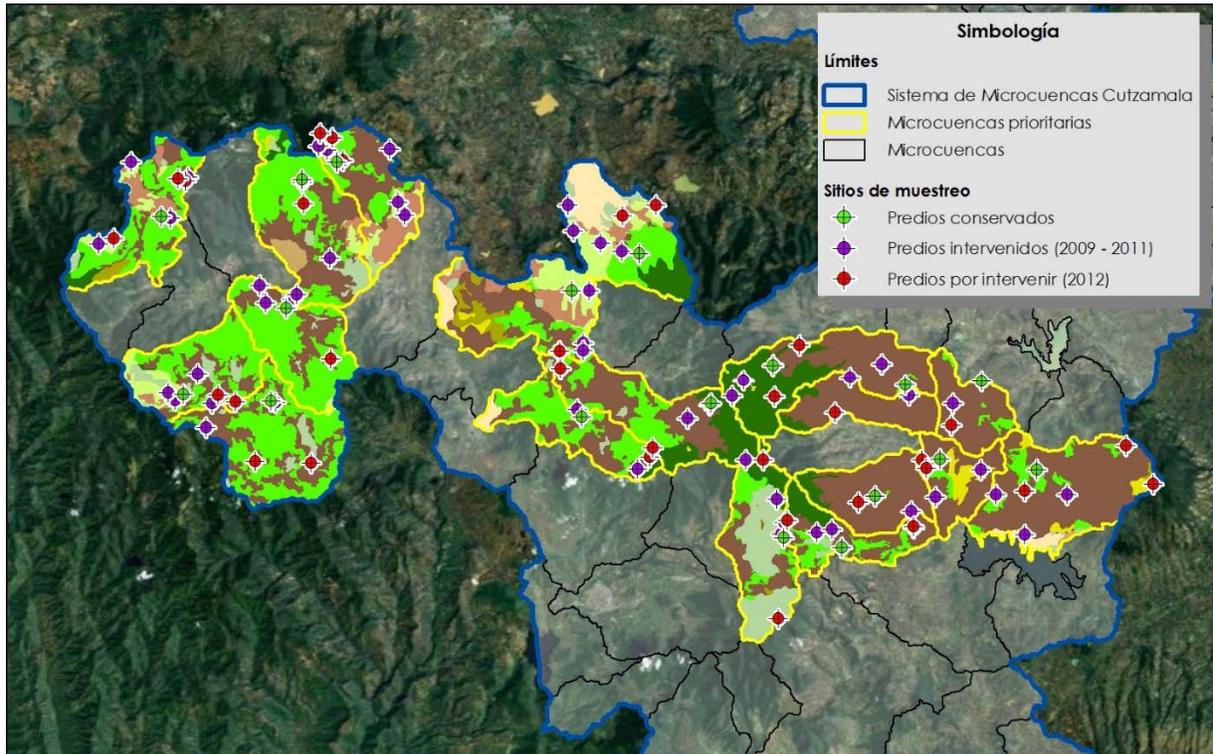


Figura 3.3. Sitios de muestreo de la Fase Inicial en las 18 microcuencas prioritarias.

3.3.3. Muestreo en la Fase Final (Monitoreo)

El monitoreo se efectuó en las 18 microcuencas de la fase inicial. Adicionalmente, se realizó una ampliación del diseño de muestreo que contempló las microcuencas de ampliación (Figura 3.4). Estas microcuencas se localizan al sur del Sistema de Microcuencas Prioritarias Cutzamala, en la cuenca río Cutzamala, y al norte del Sistema de Microcuencas Prioritarias Cutzamala, en la porción correspondiente a la cuenca río Lerma-Toluca. Este aumento del número de microcuencas a monitorear permitió ampliar la superficie estudiada del Sistema Cutzamala y cubrir las porciones de las 2 Cuencas (que incluso pertenecen a 2 Regiones Hidrológicas diferentes) del Sistema de Microcuencas Prioritarias.

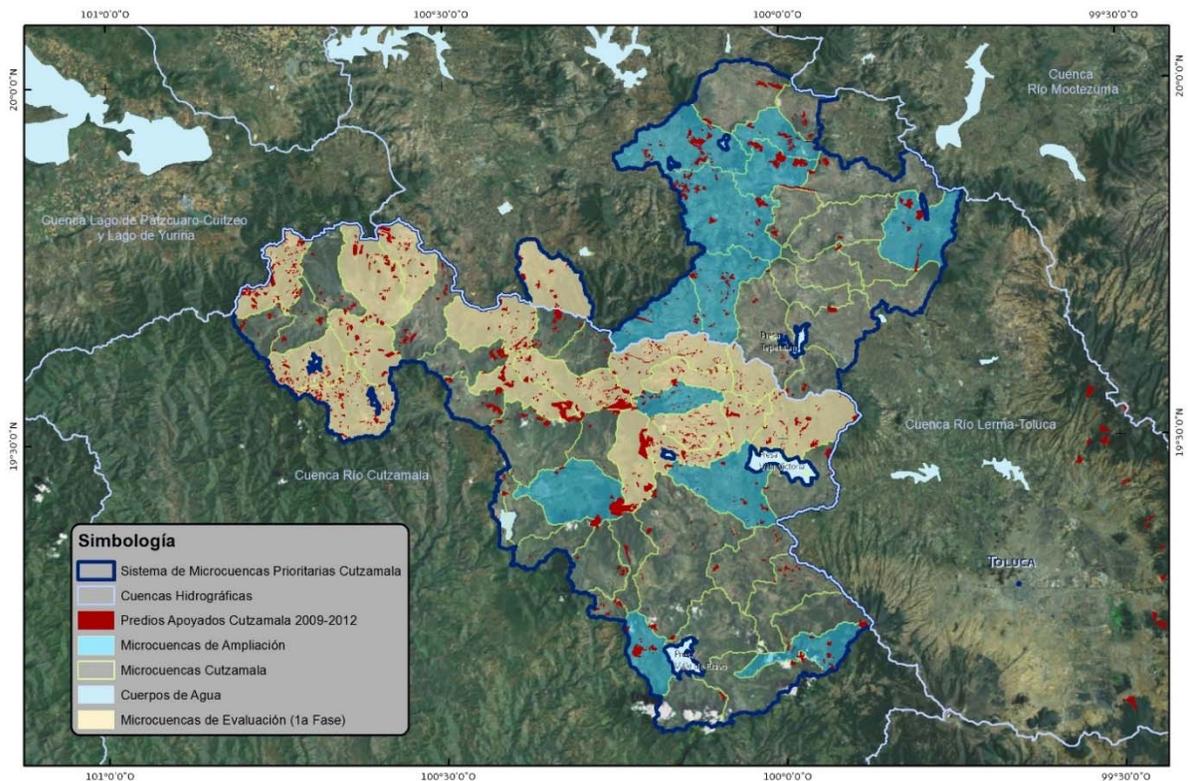


Figura 3.4. Microcuencas de ampliación para el monitoreo de la restauración hidrológica-forestal en el Sistema de Microcuencas Prioritarias Cutzamala.

Por lo anterior, las labores de monitoreo se realizarán en 30 microcuencas (18 microcuencas de evaluación y 12 microcuencas de ampliación). Los tipos de predios considerados en la Fase Final de Monitoreo se seleccionaron de acuerdo a la tipología presentada en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Tipos de predios considerados en la Fase Final de Monitoreo.

	PREDIOS INTERVENIDOS EN 2009-2011	PREDIOS INTERVENIDOS EN 2012	PREDIOS POR INTERVENIR EN 2013	PREDIOS CONSERVADOS	PREDIOS DEGRADADOS	TOTAL
Predios a monitorear:	Predios apoyados 2009-2011 (Con obras)	Predios apoyados 2012 (Con obras)	Predios a apoyar 2013 (Sin obras)	Predios conservados	Predios degradados	
Descripción:	El monitoreo deberá realizarse dentro de los predios apoyados de 2009-2011.	El monitoreo deberá realizarse dentro de los predios apoyados en 2012.	El monitoreo deberá realizarse dentro de los predios con asignaciones 2013.	El monitoreo deberá realizarse en predios identificados como conservados y sin disturbios significativos, que puedan ser considerados como ecológica e hidrológicamente funcionales.	Las mediciones del monitoreo deberán realizarse en predios degradados, tanto en el suelo como en la cobertura vegetal.	

	PREDIOS INTERVENIDOS EN 2009-2011	PREDIOS INTERVENIDOS EN 2012	PREDIOS POR INTERVENIR EN 2013	PREDIOS CONSERVADOS	PREDIOS DEGRADADOS	TOTAL
Diseño de Muestreo Fase Inicial:	52	33	0	18	18	121
Ampliación del Diseño de Muestreo:	18	34	18	12	12	94
Total de predios a monitorear:	70	67	18	30	30	215

Con la finalidad de obtener representatividad en la selección de los sitios de muestreos, se eligieron aleatoriamente los nuevos predios correspondientes al área de ampliación, considerando las especificaciones establecidas en la Tabla 4.2, obteniendo de esta manera los Sitios de Muestreo que se presentan en la Figura 4.5 y que en la Tabla 3.3 se especifican algunas características generales de cada uno de ellos.

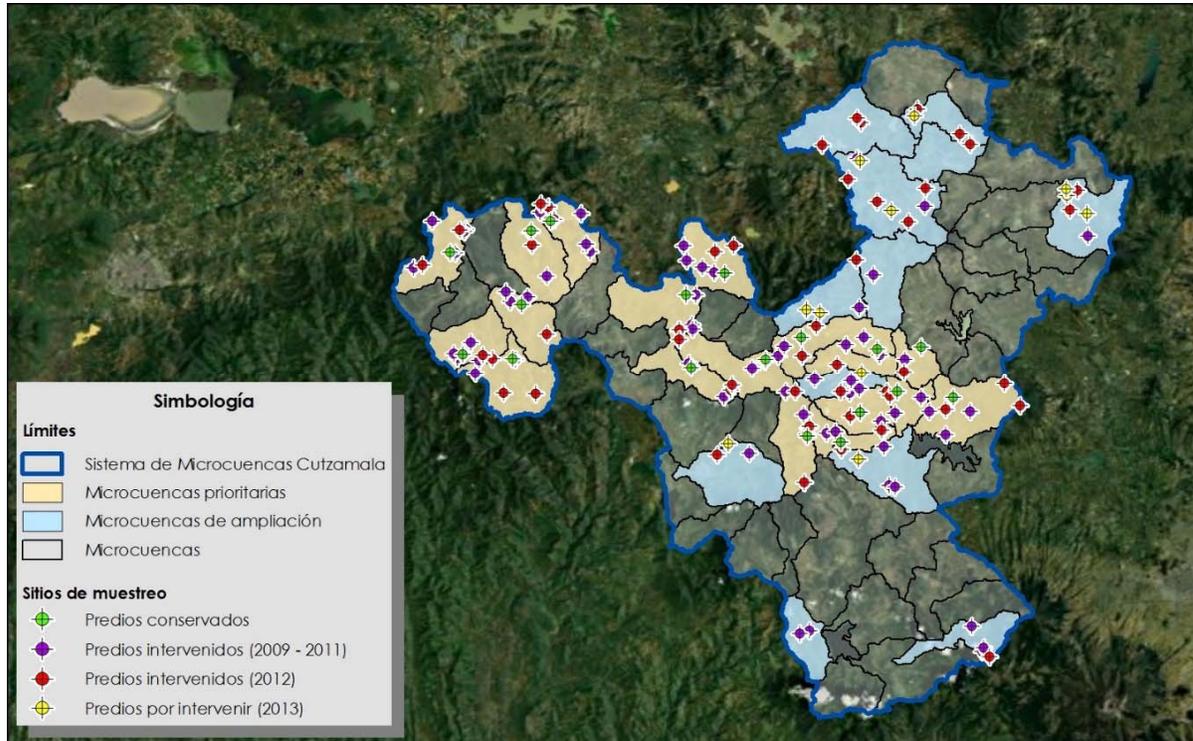


Figura 3.5. Sitios de muestreo de la Fase Final en las microcuencas prioritarias y de ampliación.

Tabla 3.3. Características de ubicación de los sitios de muestreo de la Fase Final en el Sistema de Microcuencas Prioritarias Cutzamala

CLAVE	COORDENADAS UTM		PREDIO	ESTADO	MUNICIPIO	MICROCUENCA
	X	Y				
E-1	322,643	2,164,511	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Agostitlán
E-2	328,790	2,166,715	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Agostitlán
E-3	388,759	2,166,681	2009-2011	México	San José del Rincón	Barrio San Francisco San Nicolás Guadalupe
E-4	387,242	2,158,334	2009-2011	México	San José del Rincón	Cerrillo Chico
E-5	391,250	2,160,738	2009-2011	México	Villa Victoria	Cerrillo Chico
E-6	338,924	2,189,201	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Maravatío	Ciudad Hidalgo
E-7	340,269	2,183,361	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ciudad Hidalgo
E-8	333,351	2,189,159	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ciudad Hidalgo
E-9	339,662	2,184,512	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ciudad Hidalgo
E-10	332,597	2,189,460	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ciudad Hidalgo
E-11	373,603	2,155,114	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Crescencio Morales
E-12	373,862	2,156,056	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Crescencio Morales
E-13	373,187	2,158,158	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Crescencio Morales
E-14	356,036	2,172,067	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Irimbo
E-15	356,057	2,171,425	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Irimbo
E-16	356,584	2,176,729	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Aporo	Irimbo
E-17	360,871	2,160,815	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Manzana La Cofradía
E-18	355,517	2,166,120	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Manzana La Cofradía
E-19	365,252	2,165,335	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ocampo
E-20	370,442	2,161,662	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Ocampo
E-21	367,201	2,166,504	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ocampo
E-22	321,076	2,186,729	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Ojo de Agua de Bucio
E-23	316,018	2,188,089	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Ojo de Agua de Bucio
E-24	319,518	2,183,120	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Ojo de Agua de Bucio
E-25	313,120	2,180,834	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ojo de Agua de Bucio
E-26	385,304	2,155,610	2009-2011	México	Villa Victoria	Potrero de San Diego
E-27	376,737	2,155,196	2009-2011	México	Villa de Allende	Potrero de San Diego
E-28	378,074	2,155,502	2009-2011	México	Villa de Allende	Potrero de San Diego
E-29	321,947	2,169,322	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Pucuat
E-30	319,918	2,166,944	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Pucuat
E-31	323,199	2,166,630	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Pucuat
E-32	319,319	2,167,610	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Pucuat
E-33	385,078	2,157,074	2009-2011	México	Villa Victoria	Potrero de San Diego
E-34	327,964	2,175,601	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Bartolo Cuitareo (Cuitareo)

CLAVE	COORDENADAS UTM		PREDIO	ESTADO	MUNICIPIO	MICROCUENCA
	X	Y				
E-35	330,249	2,175,967	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Bartolo Cuitareo (Cuitareo)
E-36	327,371	2,177,175	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Bartolo Cuitareo (Cuitareo)
E-37	398,854	2,158,561	2009-2011	México	Villa Victoria	San Marcos de La Loma
E-38	395,130	2,155,035	2009-2011	México	Villa Victoria	San Marcos de La Loma
E-39	392,569	2,158,582	2009-2011	México	Villa Victoria	San Marcos de La Loma
E-40	333,647	2,179,569	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Matías Grande (San Matías)
E-41	330,664	2,176,386	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Matías Grande (San Matías)
E-42	331,142	2,186,259	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Matías Grande (San Matías)
E-43	382,507	2,170,175	2009-2011	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
E-44	369,257	2,167,329	2009-2011	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
E-45	372,849	2,170,166	2009-2011	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
E-46	370,260	2,168,738	2009-2011	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
E-47	379,671	2,168,981	2009-2011	México	San José del Rincón	Santiago Jaltepec
E-48	384,877	2,167,422	2009-2011	México	San José del Rincón	Santiago Jaltepec
E-49	357,592	2,180,940	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Senguio	Senguio
E-50	354,728	2,184,257	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Senguio	Senguio
E-51	359,437	2,180,174	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Senguio	Senguio
E-52	355,154	2,182,005	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Senguio	Senguio
AMP0911/1-01	381,788	2,174,690	2009-2011	México	San José del Rincón	Guarda de La Lagunita (Las Canoas)
AMP0911/1-02	386,351	2,147,204	2009-2011	México	Villa de Allende	Loma de Juárez
AMP0911/1-03	364,781	2,152,114	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Heroica Zitácuaro
AMP0911/1-04	380,286	2,161,421	2009-2011	México	San José del Rincón	Los Lobos
AMP0911/1-05	381,752	2,162,105	2009-2011	México	San José del Rincón	Los Lobos
AMP0911/1-06	380,498	2,163,354	2009-2011	México	San José del Rincón	Los Lobos
AMP0911/2-01	385,584	2,153,131	2009-2011	México	Villa Victoria	Loma de Juárez
AMP0911/2-02	400,716	2,121,630	2009-2011	México	Temascaltepec	Corral de Piedra
AMP0911/3-01	399,048	2,125,512	2009-2011	México	Amanalco	Corral de Piedra
AMP0911/3-02	400,900	2,122,251	2009-2011	México	Temascaltepec	Corral de Piedra
AMP0911/3-03	374,859	2,163,609	2009-2011	México	San José del Rincón	Los Lobos
AMP0911/5-01	383,952	2,179,724	2009-2011	México	San José del Rincón	San Miguel El Centro
AMP0911/5-02	416,940	2,185,782	2009-2011	México	Atlacomulco	Santiago Acutzilapan
AMP0911/6-01	391,852	2,190,367	2009-2011	México	El Oro	El Oro de Hidalgo
AMP0911/8-01	381,427	2,197,649	2009-2011	Michoacán de Ocampo	Contepec	El Oro de Hidalgo
AMP0911/9-01	374,057	2,124,890	2009-2011	México	Valle de Bravo	Colorines
AMP0911/9-02	372,640	2,124,420	2009-2011	México	Valle de Bravo	Colorines
T-1	331,932	2,161,357	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Agostitián

CLAVE	COORDENADAS UTM		PREDIO	ESTADO	MUNICIPIO	MICROCUENCA
	X	Y				
T-2	326,973	2,161,481	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Agostitlán
T-3	388,654	2,164,704	2012	México	San José del Rincón	Barrio San Francisco San Nicolás Guadalupe
T-4	386,035	2,161,638	2012	México	San José del Rincón	Cerrillo Chico
T-5	386,456	2,160,926	2012	México	San José del Rincón	Cerrillo Chico
T-6	334,736	2,188,221	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ciudad Hidalgo
T-7	333,849	2,190,251	2012	Michoacán de Ocampo	Maravatío	Ciudad Hidalgo
T-8	332,744	2,190,615	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ciudad Hidalgo
T-9	371,960	2,161,627	2012	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Crescencio Morales
T-10	373,302	2,147,615	2012	México	Villa de Allende	Crescencio Morales
T-11	353,926	2,171,333	2012	Michoacán de Ocampo	Aporo	Irimbo
T-12	354,008	2,171,312	2012	Michoacán de Ocampo	Aporo	Irimbo
T-13	361,962	2,161,881	2012	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Manzana La Cofradía
T-14	354,015	2,169,775	2012	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ocampo
T-15	362,233	2,162,720	2012	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ocampo
T-16	320,848	2,186,430	2012	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Ojo de Agua de Bucio
T-17	314,498	2,181,323	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ojo de Agua de Bucio
T-18	320,181	2,186,607	2012	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Ojo de Agua de Bucio
T-19	385,278	2,155,740	2012	México	San José del Rincón	Potrero de San Diego
T-20	374,114	2,156,284	2012	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Potrero de San Diego
T-21	325,291	2,166,782	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Pucuat
T-22	323,732	2,167,384	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Pucuat
T-23	380,425	2,157,894	2012	México	San José del Rincón	Ramejé El Deposito Ejido
T-24	333,672	2,170,658	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Bartolo Cuitareo (Cuitareo)
T-25	404,124	2,162,893	2012	México	San Felipe del Progreso	San Marcos de La Loma
T-26	395,135	2,158,877	2012	México	Villa Victoria	San Marcos de La Loma
T-27	406,541	2,159,511	2012	México	Almoleya de Juárez	San Marcos de La Loma
T-28	331,306	2,184,363	2012	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Matías Grande (San Matías)
T-29	375,168	2,171,912	2012	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
T-30	373,014	2,167,257	2012	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
T-31	378,325	2,165,889	2012	México	San José del Rincón	Santiago Jaltepec
T-32	362,463	2,184,233	2012	Michoacán de Ocampo	Senguio	Senguio
T-33	359,509	2,183,328	2012	Michoacán de Ocampo	Senguio	Senguio
AMP12/1-01	389,408	2,187,880	2012	México	El Oro	El Oro de Hidalgo
AMP12/1-02	378,896	2,161,654	2012	México	San José del Rincón	Los Lobos
AMP12/2-01	359,889	2,151,911	2012	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Heroica Zitácuaro
AMP12/2-02	381,275	2,182,090	2012	México	San José del Rincón	San Miguel El Centro
AMP12/2-03	379,013	2,152,721	2012	México	Villa de Allende	Loma de Juárez

CLAVE	COORDENADAS UTM		PREDIO	ESTADO	MUNICIPIO	MICROCUENCA
	X	Y				
AMP12/3-01	401,865	2,120,833	2012	México	Temascaltepec	Corral de Piedra
AMP12/3-02	390,776	2,205,252	2012	México	Temascalcingo	Temascalcingo de José María Velasco
AMP12/4-01	384,529	2,191,011	2012	México	El Oro	El Oro de Hidalgo
AMP12/4-02	391,934	2,193,122	2012	México	Temascalcingo	El Oro de Hidalgo
AMP12/4-03	414,253	2,189,770	2012	México	Atzacomulco	Santiago Acutzilapan
AMP12/4-04	398,849	2,199,797	2012	México	Temascalcingo	Santiago Coahuacitlán
AMP12/4-05	397,223	2,201,417	2012	México	Temascalcingo	Temascalcingo de José María Velasco
AMP12/6-01	415,359	2,192,717	2012	México	Atzacomulco	Santiago Acutzilapan
AMP12/8-01	381,960	2,203,152	2012	México	Temascalcingo	Buenavista
AMP12/8-02	381,417	2,203,881	2012	Michoacán de Ocampo	Contepec	Buenavista
AMP12/8-03	376,005	2,199,691	2012	Michoacán de Ocampo	Contepec	Buenavista
AMP12/8-04	380,087	2,194,433	2012	Michoacán de Ocampo	Contepec	El Oro de Hidalgo
AMP13/1-01	375,686	2,173,926	2013	México	San José del Rincón	Guarda de La Lagunita (Las Canoas)
AMP13/1-02	373,699	2,174,393	2013	México	San José del Rincón	Guarda de La Lagunita (Las Canoas)
AMP13/1-03	382,174	2,164,590	2013	México	San José del Rincón	Los Lobos
AMP13/2-01	361,618	2,153,597	2013	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Heroica Zitácuaro
AMP13/2-02	381,709	2,151,184	2013	México	Villa de Allende	Loma de Juárez
AMP13/3-01	390,302	2,204,189	2013	México	Temascalcingo	Temascalcingo de José María Velasco
AMP13/3-02	386,744	2,189,670	2013	México	El Oro	El Oro de Hidalgo
AMP13/6-01	416,858	2,189,179	2013	México	Atzacomulco	Santiago Acutzilapan
AMP13/6-02	413,749	2,191,904	2013	México	Atzacomulco	Santiago Acutzilapan
AMP13/6-03	413,702	2,192,970	2013	México	Atzacomulco	Santiago Acutzilapan
AMP13/8-01	381,908	2,197,344	2013	Michoacán de Ocampo	Contepec	El Oro de Hidalgo
C-1	318,704	2,183,244	Conservado	Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Ojo de Agua de Bucio
C-2	331,181	2,186,529	Conservado	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Matías Grande (San Matías)
C-3	329,751	2,175,165	Conservado	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	San Bartolo Cuitareo (Cuitareo)
C-4	334,209	2,188,084	Conservado	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Ciudad Hidalgo
C-5	320,676	2,167,492	Conservado	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Pucuateo
C-6	328,404	2,166,873	Conservado	Michoacán de Ocampo	Hidalgo	Agostitlán
C-7	361,009	2,179,986	Conservado	Michoacán de Ocampo	Senguio	Senguio
C-8	355,062	2,176,715	Conservado	Michoacán de Ocampo	Aporo	Irimbo
C-9	355,901	2,165,452	Conservado	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Manzana La Cofradía
C-10	367,393	2,166,657	Conservado	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ocampo
C-11	372,840	2,170,102	Conservado	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
C-12	373,784	2,154,757	Conservado	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Crescencio Morales
C-13	384,576	2,168,301	Conservado	México	San José del Rincón	San Miguel Agua Bendita
C-14	391,327	2,168,652	Conservado	México	San Felipe del Progreso	Barrio San Francisco San Nicolás Guadalupe

CLAVE	COORDENADAS UTM		PREDIO	ESTADO	MUNICIPIO	MICROCUENCA
	X	Y				
C-15	381,894	2,158,396	Conservado	México	Villa Victoria	Ramejé El Deposito Ejido
C-16	378,966	2,153,873	Conservado	México	Villa de Allende	Potrero de San Diego
C-17	387,659	2,161,685	Conservado	México	San José del Rincón	Cerrillo Chico
C-18	396,208	2,160,778	Conservado	México	Villa Victoria	San Marcos de La Loma

3.4. Análisis de la Evaluación del Impacto de las Acciones

3.4.1. Sistema de Indicadores Integrados

Tabla 3.4. Sistema de indicadores biofísicos para el monitoreo a nivel de sitio

INDICADORES BIOFÍSICOS					
ATRIBUTO	INDICADOR	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
		DESCRIPCIÓN	METODOLOGÍA	ALCANCE U OBJETIVO	FRECUENCIA DE MEDICIÓN
Condición del sitio	Porcentaje de cobertura arbustiva, herbácea y basal del suelo	Obtención del porcentaje de la cobertura arbustiva, herbácea y basal del suelo, en cada uno de los sitios de muestreo.	Método de Line Point Intercept (Línea Canfield) y Gap Intercept. En el caso de los predios con reforestación, se tomará como referencia una línea recta de árboles plantados.	Analizar la cobertura por estrato para determinar la susceptibilidad a erosión hídrica; además, realizar una comparación con los resultados obtenidos en la evaluación.	Antes e inmediatamente después de la época de lluvias.
	Porcentaje de cobertura arbórea	Obtención del porcentaje de la cobertura arbórea, en cada uno de los sitios de muestreo.	Sitios circulares de dimensiones fijas (Metodología del INFyS para vegetación arbórea).	Analizar la cobertura arbórea para determinar la susceptibilidad a erosión hídrica; además, realizar una comparación con los resultados obtenidos en la evaluación.	Antes e inmediatamente después de la época de lluvias (considerar mantenimiento de la reforestación, verificar si hay más de un estrato debido a más de una reforestación)
	Cantidad, espesor, cobertura y grado de descomposición del mantillo	Análisis numérico sobre características del mantillo, en cada uno los sitios de muestreo.	Metodología de David J. Tongway y John A. Ludwig	Medir la variación de los valores obtenidos de las características del mantillo para realizar comparaciones en la etapa de monitoreo.	Antes del inicio de lluvias y al momento de la pérdida del follaje.
	Producción de biomasa seca herbácea y de la reforestación	Obtención de la producción de biomasa seca herbácea y de la reforestación.	Línea Canfield	Comparación con los resultados de la evaluación.	Antes e inmediatamente después de la época de lluvias.
Propiedades físicas del suelo	Morfología del suelo (Sólo en las Microcuencas de Ampliación)	Descripción simplificada del perfil típico del suelo del predio apoyado.	Basado en la Guía de campo para el muestreo y descripción de perfiles de suelos Versión 2.0 (NRCS) - Profundidad de horizontes - Textura al tacto por horizonte - Color por horizonte - Carbono orgánico por horizonte - pH	Conocer las características del suelo en cada uno de los sitios, para establecer una relación con los impactos ocasionados por la implementación del Programa	Al inicio del monitoreo.

INDICADORES BIOFÍSICOS					
ATRIBUTO	INDICADOR	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
		DESCRIPCIÓN	METODOLOGÍA	ALCANCE U OBJETIVO	FRECUENCIA DE MEDICIÓN
	Textura	Deberá realizarse en campo una evaluación de la granulometría del suelo (% de arena, limo y arcilla, y modificadores).	Análisis mecánico. La muestra de suelo deberá ser obtenida y analizada en los primeros 30 cm de suelo y/o capas acumuladas debidamente identificadas.	Realizar una relación analítica de la adaptabilidad de las especies reforestadas con la textura del suelo. Además de interpretar los valores de este indicador con los obtenidos en infiltración, escurrimiento y erosión.	Al inicio del monitoreo.
	Densidad aparente	Relación de la masa del suelo seca a 105°C y el volumen del suelo, incluyendo el espacio poroso.	Para microcuencas de la fase inicial: Análisis en laboratorio. La muestra de suelo dentro de los primeros 30 cm Para microcuencas de ampliación: Método del cilindro de volumen conocido. Una muestra de suelo en cada uno de los 2 horizontes superficiales subsecuentes.	Conocer la porosidad total del suelo para contemplarla junto con el parámetro de infiltración.	Al inicio del monitoreo.
	Índice de Estabilidad Estructural	Relación entre estructura, textura, materia orgánica y estabilidad de agregados.	En el horizonte superficial (mínimo 3 muestras en el predio) Relación DMPH/DMPs	Conocer la estabilidad de la estructura del suelo.	Al inicio del monitoreo.
	Infiltración básica	Presentar resultados y curvas de infiltración.	Método del doble cilindro e infiltrómetro de minidisco.		Al inicio del monitoreo.
	Conductividad hidráulica	Presentar resultados de la conductividad hidráulica y sus efectos en la infiltración.	Método del doble cilindro e infiltrómetro de minidisco.		Al inicio del monitoreo.
	Resistencia a la penetración y contenido de humedad	Se deberá presentar una curva con los resultados obtenidos.	Penetrómetro y TDR.	Identificar las zonas propensas a un mayor escurrimiento y su variación con los resultados de la evaluación.	Al inicio del monitoreo.
	Contenido de humedad del suelo	Medición mensual para comparar con Balance Hídrico			Cada quince días con TDR.
	Profundidad del suelo	Profundidad con Barrena de gusano	Barrena de gusano	Realizar mapa de la profundidad del suelo a nivel del predio. Establecer una relación entre el escurrimiento e infiltración del agua y la profundidad del suelo, además de su variación con los resultados de la evaluación.	Annual
Propiedades químicas	Carbono orgánico		Análisis en laboratorio.		Al inicio del monitoreo.
	pH		Análisis en laboratorio.	Comparación con resultados de la evaluación.	Al inicio del monitoreo.
	CIC y bases intercambiables (Na, K, Mg, Ca)		Análisis en laboratorio.	Comparación con resultados de la evaluación.	Al inicio del monitoreo.
	Nutrientes (N, P, K)		Análisis en laboratorio (Kendall)		Al inicio del monitoreo.
	Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas	Porcentajes	Análisis en laboratorio.	Comparación con resultados de la evaluación.	Al inicio del monitoreo.

3.5. Marco Metodológico

3.5.1. Condición del sitio

3.5.1.1. Porcentaje de la cobertura arbustiva, herbácea y basal del suelo

Line Point Intercept (Línea Canfield)

Definición y Principios:

El método Intercepto Línea-Punto es un método rápido y preciso para cuantificar la cobertura del suelo, incluyendo vegetación, mantillo, rocas y costras bióticas. Estas mediciones se relacionan con la erosión hídrica y eólica del suelo, la infiltración del agua y la habilidad del sitio para resistir y recuperarse de la degradación (Elzinga et al. 2001).

Materiales

Para aplicar este método se necesitan:

- Cinta métrica de la longitud del transecto, usualmente 25 m.
- Dos varillas metálicas puntiagudas para anclar la cinta
- Un apuntador – una pieza recta de alambre o varilla, por ejemplo una varilla-bandera, de al menos 75 cm de longitud y menos de 1 mm de diámetro.
- Tabla de anotar, formatos y lápices

Procedimiento

- Seleccionar un transecto representativo de la vegetación o condición de la superficie a evaluar.
- Colocar la cinta lo más cercano posible a la superficie, anclándola en los extremos y tensándola firmemente
- Iniciar en el “0” de la línea y, trabajando de izquierda a derecha, moverse al primer punto en la línea. Siempre trabajar en el mismo lado de la línea.

- Dejar caer la varilla-bandera en el suelo de una altura estándar que garantice la intercepción de la vegetación monitoreada. La varilla debe quedar vertical y dejarse caer libremente de la misma altura cada vez, evitando rebotes, para disminuir el error. No guie la varilla directamente en la marca. En algunos casos se recomienda usar un apuntador laser con un nivel de burbuja, sobre todo cuando la cobertura del dosel se encuentra por arriba del nivel de la vista.
- Una vez que la varilla-bandera está insertada en el suelo, registre todas las especies de plantas interceptadas, siguiendo las siguientes reglas:
 - Registre la especie del primer tallo, hoja, o base interceptado por la varilla en la columna de “dosel superior” del formato de registro para tal propósito, en caso de que haya intercepción de estos componentes.
 - En caso de que no haya intercepción de estos componentes registre como NINGUNO.
 - Registre el mantillo herbáceo como “L”, si está presente. El mantillo se define como los tallos muertos y hojas desprendidos que son parte de la capa en contacto con el suelo. Registre “W” para el mantillo maderable desprendido con diámetros mayores a 5 mm y en contacto directo con el suelo.
 - Si identifica el género pero no la especie use la base de datos “PLANTS” del USDA o registre un número para cada especie de ese género. Siempre defina la porción del género del código y el grupo funcional al final del formato.
 - Si no puede identificar los géneros, use los siguientes códigos:

AF# = Herbácea Annual o Biannual

PF# = Herbácea Perenne

AG# = Gramínea Anual

PG# = Gramínea Perenne

SH# = Arbusto

TR# = Árbol

Si es necesario, tome una muestra de las especies desconocidas para posterior identificación.

- El dosel puede ser vivo o muerto, pero solo registre cada especie una sola vez. Asegúrese de registrar todas las especies interceptadas.
- Registre en la columna “Superficie del Suelo” si la varilla-bandera intercepta la base de una planta o alguno de los siguientes:

R = Roca (> 5 mm de diámetro)

BR = Lecho Rocoso

EL = Mantillo Incorporado

D = Mantillo en descomposición

M = Musgo

LC = Costra de líquenes en el suelo (el líquen en rocas se registra como “R”)

S = Suelo que visiblemente no es protegido por ninguno de los de arriba

Calculo del porcentaje de cobertura de dosel (foliar), de suelo desprotegido y cobertura basal del suelo.

Porcentaje de cobertura de dosel (foliar).

En este caso se cuenta el número total de interceptos de dosel de la columna “dosel superior” y el número obtenido se multiplica por 2 para obtener el porcentaje de cobertura de dosel.

Porcentaje de suelo desnudo

Para esta variable se cuantifica el número total de puntos a lo largo de la línea que tienen suelo desnudo. El número de interceptos se multiplica por 2 para cuantificar el porcentaje de suelo desnudo o desprotegido.

El porcentaje de suelo desprotegido ocurre cuando:

- a. No hay interceptos en el dosel superior
- b. No hay interceptos de mantillo (no hay interceptos en el dosel inferior)
- c. La varilla-bandera solo intercepta suelo desprotegido

Porcentaje de cobertura basal

En este apartado se cuantifica el número total de interceptos basales de plantas en la superficie del suelo.

Los interceptos basales de plantas ocurren cuando el pin intercepta una base de plantas vivas o muertas, y que se registran en la columna de “Superficie de Suelo”.

El número de interceptos se multiplica por 2 para obtener el porcentaje de cobertura basal.

Interpretación básica de los resultados de Intercepto Línea-Punto.

El incremento en cobertura del dosel se correlaciona con el incremento en la resistencia a la degradación. La cobertura basal es un indicador de largo plazo más confiable. Esta cobertura es menos sensible a diferencias estacionales y anuales en precipitación y uso del suelo. Los incrementos en área desprotegida de vegetación (suelo desnudo) casi siempre indican un mayor riesgo a la erosión y el escurrimiento.

La cobertura aérea normalmente se calcula para arbustos, árboles y algunas veces pastos. La cobertura basal se usa para pastos perennes.

Estos indicadores se pueden usar en conjunto con los indicadores de Gap Intercept y la prueba de Estabilidad del Suelo para determinar si los cambios observados en la erosión son debidos a la pérdida de cobertura, cambios en la distribución espacial de la vegetación, o reducción en la estabilidad del suelo.

Los efectos típicos en cada atributo resultado de un incremento en el valor del indicador se muestran a continuación:

INDICADOR	ESTABILIDAD DE SUELO Y SITIO	FUNCIONALIDAD HIDROLÓGICA	INTEGRIDAD BIÓTICA
Cobertura Aérea (%)	+	+	+
Suelo Desprotegido (%)	-	-	-
Cobertura Basal (%)	+	+	+

3.5.2. Propiedades físicas del suelo

3.5.2.1. Morfología del suelo

La morfología de suelo se refiere a la descripción de los atributos observables en campo de los horizontes del suelo y su disposición en el perfil. El perfil de suelo se define como el corte vertical expuesto del suelo, compuesto de capas horizontes denominados horizontes.

Los atributos observables ordinariamente descriptos en campo incluyen desde el arreglo de los horizontes, su espesor, estructura del suelo, textura del suelo, color, porosidad, raíces, y otros elementos distinguibles como pedregosidad, elementos traslocados, entre otros.

Identificación y Profundidad de Horizontes

Inicialmente se debe de excavar un pozo pedológico para la exposición de los horizontes, con dimensiones de un metros de ancho, dos metros de profundidad o hasta que el lecho rocoso aparezca, y con un acceso en forma de escalera. Se debe de planear la excavación de tal manera que la cara expuesta donde se describirán los horizontes esté iluminada por la luz del sol al momento de la descripción.

Posteriormente se procede a identificar las capas de suelo que muestren homogeneidad en sus atributos, y se procede a la asignación de la nomenclatura de los horizontes de acuerdo a la siguiente guía presentada en la Tabla 3.5, donde se muestran los horizontes principales, transicionales, y las combinaciones que comúnmente se encuentran en campo, así como los atributos que los definen.

Para cada horizonte, se determina el límite superior e inferior con ayuda de una regla graduada en centímetros, cuyo cero se coloca en la superficie del suelo, la cual no es necesariamente la superficie mineral, y los valores aumentan con la profundidad. La diferencia de la profundidad del límite inferior con el límite superior es el espesor del horizonte.

Tabla 3.5. Horizontes principales, transicionales y combinaciones comunes en suelos.

Horizonte	Criterios
O	Predomina la materia orgánica (residuos y humus)
A	Mineral; con acumulación de materia orgánica (humus), y pérdida de Fe, Al y arcilla
AB (o AE)	Predominan las características del horizonte A pero también presenta características del horizonte B (o E)
A/B (o A/E) (o A/C)	Cuerpos discretos, entremezclados, de material de A y B (o de E, o C); la mayor parte del horizonte es material del A
AC	Predominan las características del horizonte A pero presenta también algunas características del horizonte C
E	Mineral; con pérdida de Si, Fe, Al, arcilla o materia orgánica
EA (o EB)	Predominan las características del horizonte E pero presenta también algunos atributos del horizonte A (o B)
E/A	Cuerpos discretos, entremezclados, de material de los horizontes E y A; la mayor parte corresponde a material del E
E y Bt	Finas lamelas (Bt) dentro de un horizonte E dominante
BA (o BE)	Predominan características de B pero presenta también algunos atributos del horizonte A (o E)
B/A (o B/E)	Cuerpos discretos entremezclados de material de B y A (E); la mayor parte corresponde a material del B
B	Acumulación subsuperficial de arcilla, Fe, Al, Si, humus, CO ₃ Ca, SO ₄ Ca; o pérdida de CO ₃ Ca; o acumulación de sesquióxidos; o estructura subsuperficial
BC	Predominan características del horizonte B pero presenta también algunas características del horizonte C

Textura al tacto por horizonte

La textura de un suelo es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que lo constituyen y está relacionada con el tamaño de las partículas de los minerales que lo forman y se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. La distribución proporcional de los diferentes tamaños de partículas minerales determina la textura de un determinado suelo.

La clasificación textural de los suelos según el United States Department of Agriculture se muestra en el triángulo de texturas (Figura 3.6). En la clasificación textural de los suelos existen cuatro tipos fundamentales: arenosos, francos, limosos y arcillosos. A partir de estos, y en dependencia del contenido de cada granulometría, se pueden hacer subclasificaciones de los grados intermedios.

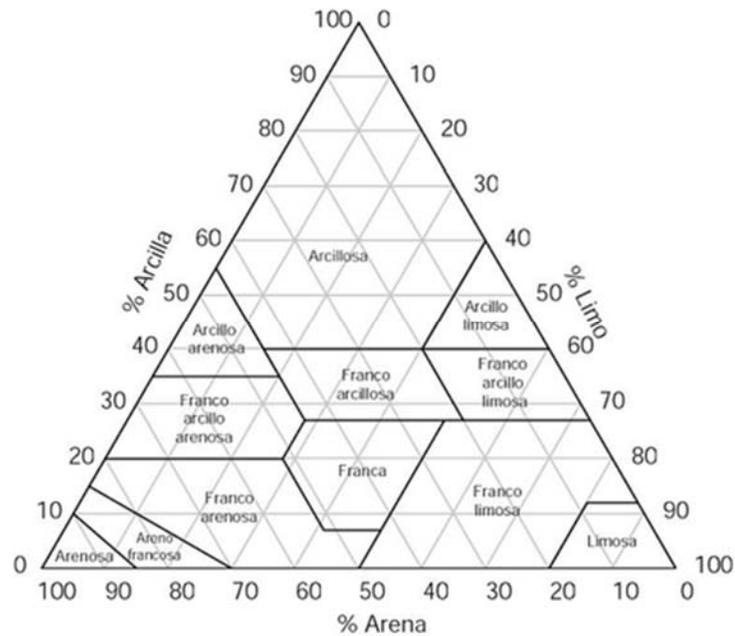


Figura 3.6. Triángulo de las texturas de los suelos (USDA).

La determinación de la textura al tacto en campo se puede hacer de acuerdo al siguiente procedimiento:

PREPARACION DE LA MUESTRA

Paso A

Ponga en la mano una cantidad de suelo que pueda manipular fácilmente



Paso B

Agregue un poco de agua, de tal forma que pueda amasar con facilidad. Evite que se forme un lodo difícil de manipular. Si se excedió en el agua, agregue un poco de suelo y continúe amasando.



Paso C

Amase bien el suelo hasta que quede una masa **COMPLETAMENTE HOMOGÉNEA Y SIN GRUMOS**.

Tenga en cuenta que si el suelo tiene grumos no podrá formar rollos ni círculos.



CLAVE TEXTURAL

PASO 1

Intente formar un rollo del grosor de un lápiz y trate de doblarlo para formar un círculo, sin que se rompa o se quiebre. (El suelo debe tener muy buena humedad).



A. No Moldea (el rollo se rompe al doblarlo o simplemente no forma rollo).

Vaya al Paso 2



B. Sí Moldea (el rollo no se rompe al doblarlo).

Vaya al Paso 3

PASO 2

Forma bolas poco consistentes y rollos que se agrietan o parten al ser dobladas.

Vaya al Paso 4

No forma bolas ni rollos.

Vaya al Paso 5

PASO 3

Coja un pedacito de suelo en la mano y agregue agua. Al frotarlo con el dedo índice en la palma de la mano, usted:

Siente el suelo suave y pantanoso, con algunos granos de arena.

Vaya al Paso 13

Siente el suelo áspero y con muchos granos de arena.

Vaya al Paso 14

Siente el suelo jabonoso y muy liso, sin granos de arena visibles.

Vaya al Paso 15



PASO 4

Coja un pedacito de suelo en la mano y agregue agua. Al frotarlo con el dedo índice en la palma de la mano, usted:

Siente el suelo jabonoso y muy liso, sin granos de arena.

Vaya al Paso 6

Siente el suelo suave y observa algunos granos de arena.

Vaya al Paso 7

Siente el suelo áspero y observa muchos granos de arena.

Vaya al Paso 10

PASO 5

Y además:

Se nota suelto, sólo se pueden hacer pirámides inestables, no es pegajoso, no mancha los dedos y se nota cada grano de arena.



ARENOSO (A)

PASO 6

Y además: Es muy harinoso (talcoso) y suave, fácil de amasar, opaco, mancha los dedos y no es pegajoso, al amasarlo es mantequilloso.



LIMOSO (L)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 4 e intente de nuevo.

PASO 7

Al chasquear los dedos como en la foto, usted:

Lo siente suave, harinoso, mantequilloso y muy pegajoso.
Vaya al Paso 8

Lo siente blando, aunque observa y siente granos de arena.
Vaya al Paso 9



PASO 8

Y además:

Es fácil de amasar, mancha mucho los dedos, es pegajoso, al agregar agua y frotarlo con la mano se observan y se sienten algunos granos de arena.



FRANCO-LIMOSO (FL)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 7 e intente de nuevo.

PASO 9

Es fácil de amasar, mancha los dedos, es algo pegajoso, al agregar agua a un pedazo de suelo en la palma de la mano y frotarla se ven y se sienten granos de arena. FRANCO (F)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 7 e intente de nuevo.



PASO 10

Intente formar con mucho cuidado pequeños rollos o cintas entre los dedos pulgar e índice y observe:

RECUERDE: Limpie un poco los dedos antes de intentarlo.

Forma cintas muy cortas que se rompen con mucha facilidad y es un poco pegajoso. Vaya al Paso 11.



No forma cintas y no es pegajoso. Vaya al Paso 12



PASO 11

Y además: Los granos de arena son visibles, es fácil de amasar, mancha las manos, se siente áspero y talcoso, es opaco y forma una superficie rizada al raspar con la uña, los terrones se desmenuzan fácilmente cuando está húmedo.



FRANCO-ARENOSO (FA)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 10 e intente de nuevo.

PASO 12

Y además: Es muy arenoso, blando, mancha poco las manos, es opaco, al agregar agua y frotarlo con la mano se sienten y observan muchos granos de arena, al raspar con la uña la superficie es rugosa y cuando está húmedo se desmenuza fácil.



ARENO-FRANCO (AF)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al paso 10 e intente de nuevo.

PASO 13

Y además: Al amasar se sienten algunos grumos, mancha mucho los manos, al raspar con la uña se forma una superficie rizada y cuando se seca deja una sensación talcosa.



FRANCO-ARCILLOSO (FAr)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 3 e intente de nuevo.

PASO 14

Y además: No es grumoso, mancha las manos, es algo pegajoso, al raspar con la uña se forma una superficie rizada y en húmedo los terrones de suelo se desmenuzan con facilidad o con una fuerza moderada.



ARCILLO-ARENOSO (ArA)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 3 e intente de nuevo.

PASO 15

Al amasar el suelo, usted: Siente el suelo suave y talcoso. Vaya al Paso 16

Siente el suelo duro, liso y muy jabonoso. Vaya al Paso 17.

PASO 16

Y además: Forma círculos resistentes y firmes, mancha mucho las manos, es muy pegajoso, la superficie es brillante, al raspar con la uña se forma una superficie lisa y brillante, tiene consistencia mantequillosa al amasar.



ARCILLO-LIMOSO (ArL)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 15 e intente de nuevo.

PASO 17

Y además: Es duro de amasar, forma círculos muy resistentes y firmes, mancha los dedos, es pegajoso, la superficie es muy brillante, al raspar con la uña se forma una superficie lisa y con brillo.



ARCILLOSO (Ar)

Si su suelo no coincide con esta descripción, entonces vuelva al Paso 15 e intente de nuevo.

3.5.2.2. Textura

El tamaño de los granos de un suelo se refiere a los diámetros de las partículas que lo forman, cuando es indivisible bajo la acción de una fuerza moderada. Las partículas mayores son las que se pueden mover con las manos, mientras que las más finas por ser tan pequeñas no pueden ser observadas con un microscopio. De igual forma constituye uno de los fundamentos teóricos en los que se basan los diferentes sistemas de clasificación de los suelos, como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

El análisis granulométrico es la distribución de tamaños de un suelo y normalmente se representa a través de la curva granulométrica. La curva granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica en el eje de las abscisas resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escalas (Bowles, Joseph E., 1978).

El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así obtener la masa que se retiene en cada malla, calcular su porcentaje respecto al total y determinar el porcentaje de la masa que pasa (SCT, M-MMP-1-06)

Existen dos métodos para determinar la distribución de tamaños de un suelo, que es el análisis por mallas y a través del hidrómetro basado en la Ley de Stokes. El análisis por mallas consiste en pasar la muestra de suelo a través de mallas cuyas aberturas progresivamente son más pequeñas. Existen mallas básicas las cuales nos permiten diferenciar gravas, arenas y finos, dentro de las cuales están la malla de 3 pulgadas, la malla número 4 (4.76 mm) y la número 200 (0.075 mm). Aquel material retenido en la malla no. 4 se considera grava, el material que pasa la malla no. 200 se consideran

finos y el material ubicado entre las dos mallas anteriores se consideran como arenas (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989), como se puede observar en la Tabla 3.6

Tabla 3.6. Distribución de mallas

Fracción	Malla		Variación permisible de la abertura promedio con respecto a la denominación de la malla	Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del alambre (mm)
	Designación	Abertura nominal				
Grava	3"	75.0	± 2.2	78.1	78.7	5.80
	2"	50.0	± 1.5	52.1	52.6	5.05
	1 ½"	37.5	± 1.1	39.1	39.5	4.59
	1"	25.0	± 0.8	26.1	26.4	3.80
	¾"	19.0	± 0.6	19.9	20.1	3.30
	½"	12.5	± 0.39	13.10	13.31	2.67
	3/8"	9.5	± 0.30	9.97	10.16	2.27
	¼"	6.3	± 0.20	6.64	6.78	1.82
	Nº 4	4.75	± 0.15	5.02	5.14	1.54
Arena con finos	Nº 10	2.0	± 0.070	2.135	2.215	0.900
	Nº 20	0.850	± 0.035	0.925	0.970	0.510
	Nº 40	0.425	± 0.019	0.471	0.502	0.290
	Nº 60	0.250	± 0.012	0.283	0.306	0.180
	Nº 100	0.150	± 0.008	0.174	0.192	0.110
	Nº 200	0.075	± 0.005	0.091	0.103	0.053

Los resultados del análisis por mallas son generalmente expresados en términos de porcentaje total en peso de suelo que pasa a través de las diferentes mallas y

representados gráficamente a través de la curva granulométrica que nos permite definir los porcentajes de las diferentes fracciones de suelo, como gravas, arenas y finos, además si el suelo se encuentra bien o mal graduado mediante la obtención de los coeficientes de uniformidad (C_u) y de curvatura (C_c) los cuales se definen como sigue (Bowles, Joseph E., 1978):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$$

Donde:

- D_{60} = Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor
- D_{10} = Diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o menor que el 10%, en peso, del suelo
- D_{30} = Se define análogamente de los anteriores

La Tabla 3.7 muestra parámetros de comparación que nos permitirán conocer si un suelo se encuentra bien o mal graduado mediante la obtención de los coeficientes de uniformidad y curvatura (ver ejemplo de curvas resultantes en Figura 3.7). Hay que hacer notar que si no se cumplen ambas condiciones se dice que es un suelo mal graduado.

Tabla 3.7. Coeficientes de uniformidad y curvatura (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1989)

CLASIFICACIÓN	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.	COEFICIENTE DE CURVATURA.
Arena bien graduada	$C_u \geq 6$	$1 \leq C_c \leq 3$
Grava bien graduada	$C_u \geq 4$	$1 \leq C_c \leq 3$

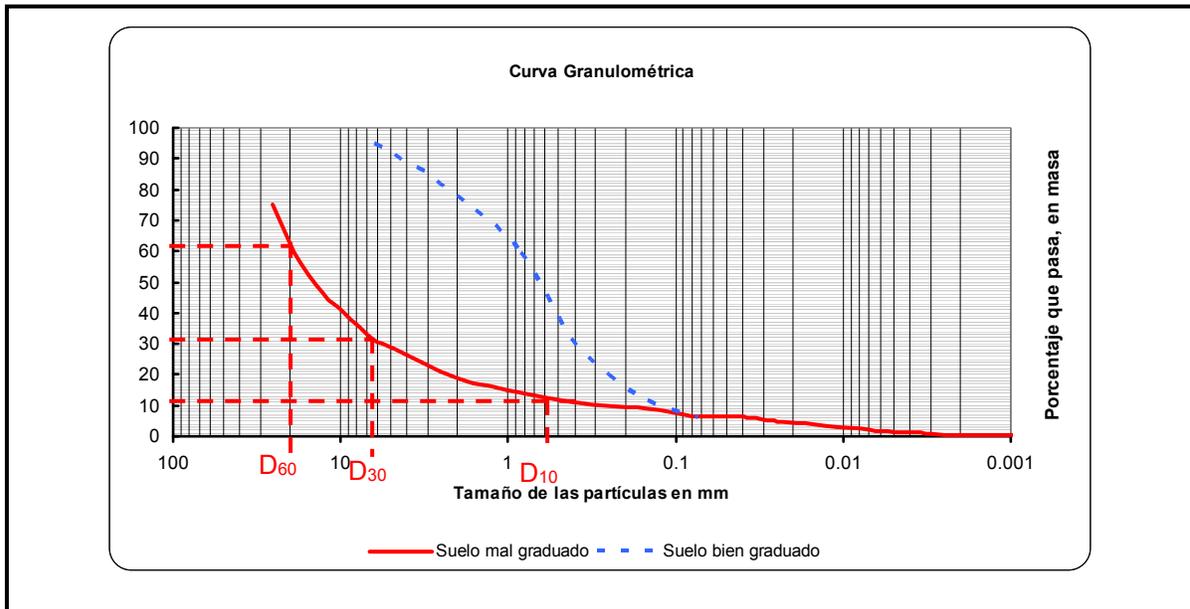


Figura 3.7. Ejemplo de curvas para un suelo mal graduado y uno bien graduado. Obtención de D_{10} , D_{30} y D_{60}

3.5.2.3. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso.

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t}$$

Esta medida permite ver la facilidad de penetración de las raíces al suelo, permite la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y, consecuentemente, calcular la lámina de agua en el suelo. Además, permite calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas, y estimar la masa de la capa arable.

En un mismo suelo, el valor de densidad aparente es un buen índice del grado de compactación por medio del cálculo de la porosidad, es decir, la reducción del espacio poroso con radio equivalente mayor, llamado también espacio poroso no capilar, responsable del drenaje rápido del exceso de agua y, por ende, de la aireación del suelo; resultando ser la densidad aparente, un buen indicador de la calidad del suelo.

Los materiales necesarios son los siguientes:

- Balanza granataria con aproximación de 0.01 g
- Estufa para secar suelo a 110° C
- Barrena de muestreo (tipo Uhland para muestras inalteradas; Figura 3.8)
- Cilindros de acero inoxidable de 100 cc con tapas herméticas
- Platos de aluminio



Figura 3.8. Barrena de muestreo

Es necesario realizar un mínimo de tres repeticiones para obtener un valor representativo. Seleccione la superficie de suelo a muestrear, ya sea vertical u horizontal. Se introduce la barrena con el cilindro, teniendo cuidado de no compactar el suelo y tener un volumen conocido con la estructura de campo. Selle herméticamente el cilindro para que no haya pérdida de humedad, y péselo.

La muestra se lleva a secar en estufa (110 °C) durante 24 horas o hasta peso constante, y determine la humedad. También, determine el volumen del cilindro

midiendo el diámetro y la altura del mismo (medidas internas). Se expresa en megagramos por metro cúbico (Mg m^{-3}).

$$V_t = \frac{D^2 \pi}{4} h \qquad \rho_b = \frac{P_{ss}}{V_t}$$

donde V_t es el volumen de la muestra, D es el diámetro del cilindro, h es la altura del cilindro, P_{ss} es el peso del suelo seco.

Este método no es apropiado en suelos roturados, agrietados, de textura muy suelta o con gran contenido de elementos gruesos. En estos casos, es más adecuado el método del hoyo o excavación que se realiza en campo. Con este método se trabaja con una muestra de suelo más grande, con lo que se mejora la representatividad del parámetro evaluado.

Pueden considerarse altos aquellos valores superiores a 1.3 Mg m^{-3} en suelos de textura fina (arcillosos o franco arcillosos), a 1.4 Mg m^{-3} en suelos de textura media (francos a franco limosos), y a 1.6 Mg m^{-3} en suelo de textura gruesa (franco arenosos) (Tabla 3.8). El valor de densidad aparente aumenta con la profundidad del suelo en el perfil, debido al bajo contenido de materia orgánica y, consecuentemente, menor agregación y mayor compactación.

Tabla 3.8. Otros valores orientativos de densidad aparente

TIPO DE HORIZONTE	DENSIDAD APARENTE Mg m^3
Horizontes arenosos	1.45 - 1.60
Horizontes arcillosos con estructura	1.05 – 1.10
Horizontes compactos	1.90 – 1.95
Horizontes de suelos volcánicos	0.85
Horizontes Turbosos	0.25
Valor medio	1.35

3.5.2.4. Índice de Estabilidad Estructural

La naturaleza de la estabilidad de los agregados depende de la relativa cantidad y fuerza de varios tipos de asociaciones órgano-minerales y agentes de enlace (Jastrow, Miller 1998). La macroagregación es controlada por el manejo (Oades 1984), pues la ruptura de los agregados de gran tamaño, producto de la cantidad frecuencia e intensidad de las labores, expone a la descomposición materia orgánica relativamente lábil previamente protegida, resultando variadas combinaciones de elementos orgánicos con diferentes tasas de ingreso y reciclado que afectan las fuentes productoras de agentes enlazantes y sustancias adhesivas orgánicas (raíces, hifas de hongos y organismos rizosféricos). Contrariamente a lo que sucede con los macroagregados, los microagregados (<250 mm) no son alterados por el humedecimiento ni tampoco por disturbios mecánicos incluyendo las labores de labranza (Tisdall, Oades 1982). La estabilidad de estos agregados depende de la fuerza con que las arcillas y otros componentes inorgánicos del suelo son sorbidos a la materia orgánica particulada (MOP), residuos microbianos y otros coloides orgánicos y compuestos de origen microbiano (Jastrow, Miller 1998).

De Leenheer y De Boodt (1959) propone un IEE con un procedimiento similar al propuesto por Yoder, mediante el cual se determina el diámetro medio ponderado de agregados tamizados en seco y en húmedo. Siendo el índice de estabilidad 'IEE', cuya clasificación se presenta en la Tabla 3.9.

$$IEE = \left[\frac{1}{(DMP_{Seco} - DMP_{Húmedo})} \right] * 100$$

Donde:

DMP_{Seco} = Diámetro medio ponderado de agregados tamizados en seco

$DMP_{Húmedo}$ = Diámetro medio ponderado de agregados tamizados en húmedo

Tabla 3.9. Clases de estabilidad de agregados de acuerdo al Índice de estabilidad (De Leenheer y De Boodt, 1958)

IEE	ESTABILIDAD DE AGREGADOS
> 1	Excelente
0.8 - 1	Muy buena
0.66 – 0.8	Buena
0.5 – 0.66	Insatisfactoria
< 0.5	Mala

La distribución del tamaño de los agregados se determina en muestras de suelos de aproximadamente 1.5 kg (peso seco). Una vez recolectadas se llevan al laboratorio y se tamizan con malla de 8 mm. A continuación este material se seca por un tiempo de 24 horas en un horno a 105 °C. Las muestras secas se tamizan utilizando un juego de cinco mallas (4.76; 2.38; 1.19; 0.59 y 0.25 mm) y tamizador de vaivén.

El tiempo de agitación debe ser de 15 minutos por muestra. El material retenido en los tamices se pesa y para cada clase de tamaño se calculan las proporciones en función del peso seco total de las muestras.

Para el tamizado en húmedo, la muestra de suelo se distribuye uniformemente por todo el tamiz y se deja remojar durante 5 minutos. Mientras se remoja, se deben retirar los residuos orgánicos que están flotando sobre el agua. Utilizando el mismo juego de tamices para el método en seco, se tamiza la muestra durante 2 minutos moviendo suavemente el tamiz hacia arriba y hacia abajo utilizando un ángulo pequeño (± 3.5 cm de distancia vertical) de inclinación.

El suelo debe salir de la superficie del agua con cada movimiento, pero se debe mantener un ángulo pequeño de inclinación para que el aire no entre por debajo de la malla. Una vez concluido el tiempo se lavan con cuidado los lados y el fondo del tamiz con agua destilada. El material retenido en cada malla se vierte en una bandeja debidamente marcada para posteriormente colocarlas en el horno a una temperatura de 105°C entre 18 y 24 horas, hasta que estén totalmente secas.

Para ambos métodos el diámetro medio ponderado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$MWD = \sum_{i=1}^n d_i W_i$$

Donde:

MWD = Diámetro medio ponderado (mm)

d = Diámetro medio de cada fracción de tamaño i (mm)

W = Proporción del peso total de la muestra (g) al peso (g) de los fragmentos gruesos y de arena encontrados en la fracción de tamaño i

n = Número de fracciones

Para la captura de los datos en cada muestra, es recomendable apoyarse en el formato del Anexo 3.2

3.5.2.5. Infiltración básica y conductividad hidráulica

Se entiende por Infiltración el flujo de agua desde el suelo hacia las zonas no saturada y saturada. El índice de infiltración (f) es el flujo de agua por unidad de tiempo y del área total.

La velocidad de infiltración se refiere a la relación entre una lámina de agua que se infiltra y el tiempo que se tarda en hacerlo y se expresa en centímetros por hora (cm/h) o milímetros por hora (mm/h).

La infiltración del suelo se puede expresar de diferentes formas, las cuales se muestran en la Figura 3.9.

Los factores que afectan a la infiltración son:

- Tipo de la cubierta vegetal
- Características hidráulicas del suelo
- Estado de humedad del suelo
- Intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego
- Formación de costras superficiales

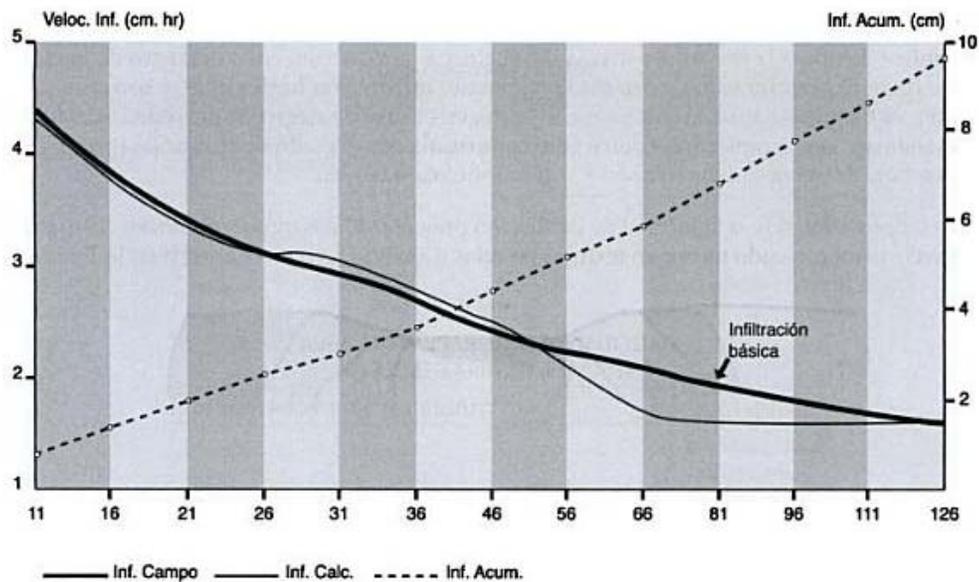


Figura 3.9. Diferentes formas de expresar la infiltración de un suelo. (Valverde C. 2007)

- **Infiltración instantánea o velocidad de infiltración.** Es la velocidad con que el suelo absorbe el agua en un momento determinado; disminuye con el tiempo hasta alcanzar un valor constante.
- **Infiltración acumulada.** Es la lámina que se acumula en el suelo durante un tiempo; aumenta con el tiempo.
- **Infiltración media:** es la velocidad de infiltración durante un tiempo acumulado; disminuye con el tiempo.
- **Infiltración básica.** Es la velocidad de infiltración cuando alcanza un valor constante. Se considera que se ha alcanzado cuando la disminución es del 10% en una hora.

Método del doble cilindro

Es un método para establecer en el campo la infiltración básica. Consiste en dos cilindros de diferente diámetro (30 y 45 cm) y de longitud de (45 cm). Se hace penetrar en el suelo, aproximadamente 10 cm, el cilindro de diámetro menor, y, luego, a igual profundidad y en forma concéntrica, el de diámetro mayor, de tal manera que formen un anillo de 15 cm de espesor, según el esquema de la Figura 3.10.

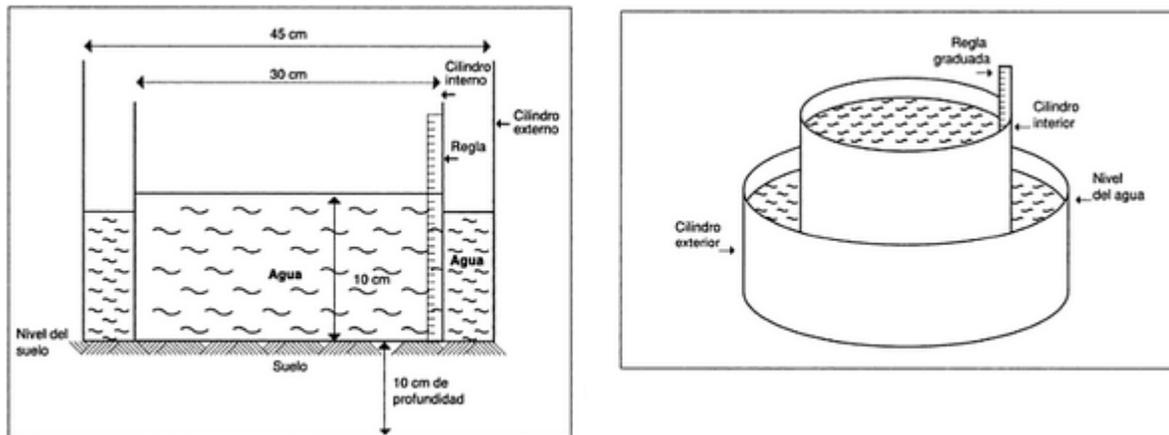


Figura 3.10. Método del doble cilindro

El procedimiento consiste en llenar de agua el cilindro externo, el cual representa el movimiento vertical y lateral del agua; luego se llena el cilindro interno, que es el que determina el movimiento descendente, hasta que el agua alcance el nivel de 10 cm en la regla graduada y en ese momento se toma la hora. Se observa que el agua no baje más de 3 cm, se toma la lectura y la hora, y se repone nuevamente el agua hasta que alcance el nivel de 10 cm. Esta secuencia se repite hasta que se obtenga un tiempo constante (Valverde C. 2007). En el formato del Anexo 3.3. Se indica la forma en que se deben anotar en cada columna los datos obtenidos en la prueba.

Es conveniente realizar tres pruebas en cada sitio, distribuir las pruebas en forma de triángulo, distanciándolas aproximadamente 10 metros entre sí. (L. Soubannier).

Infiltrómetro de minidisco

El infiltrómetro de minidisco consiste en un tubo de ensayo graduado, de unos 20 cm de longitud y 2 cm de diámetro. (Figura 3.11). La parte inferior del tubo lleva adherido un disco de cerámica porosa, mientras que el extremo superior del tubo queda abierto, a fin de poder llenarse de agua destilada. En la base del tubo, justo por encima del disco poroso, hay un pequeño capilar insertado en la pared lateral. Para su utilización, se llena el tubo de agua hasta una altura determinada, tapándose herméticamente por la parte superior mediante un tapón de goma, y se coloca verticalmente (90°) sobre la superficie del suelo.

Previamente deben eliminarse las irregularidades existentes en el terreno, al objeto de conseguir un buen contacto hidráulico entre el infiltrómetro y el suelo; para facilitar el buen contacto se extiende una fina capa de arena calibrada en una superficie de suelo igual al diámetro del infiltrómetro. Algunos autores recomiendan utilizar arena húmeda para evitar el llenado de los macroporos que se encuentran abiertos en la superficie del suelo (A. Joel and I. Messing .2000).

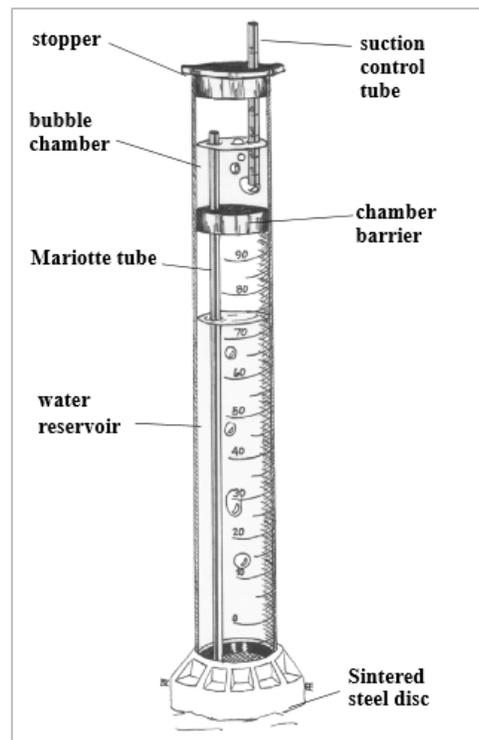


Figura 3.11. Infiltrómetro de Minidisco

Decagon Devices Inc. recomienda usar el método propuesto por Zhang (1997).

El método necesita medir la infiltración acumulada frente al tiempo para poder calcular la Conductividad Hidráulica del Suelo.

Una vez que el Infiltrómetro se coloca sobre el suelo, la matriz del suelo empezará a succionar el agua del reservorio y a infiltrarse en el suelo. A medida que el nivel del agua desciende, se debe empezar a registrar el volumen a intervalos específicos de tiempo.

La teoría se basa en medir como varía la infiltración acumulada (I) con el tiempo (t) y se ajusta con la ecuación:

$$I = (C_1 t + C_2 \sqrt{t})$$

Donde C_1 (ms^{-1}) y C_2 (ms^{-1}) son parámetros. C_1 está relacionado con la conductividad hidráulica, y C_2 con el soporte del suelo.

La conductividad Hidráulica del suelo K se calcula a partir de:

$$K = \frac{C_1}{A}$$

Donde C_1 es la pendiente de la curva de la infiltración acumulada vs. la raíz cuadrada del tiempo, y A es un valor relacionado con los parámetros de van Genuchten para la succión de un suelo dado y el radio del infiltrómetro de minidisco. A se calcula mediante:

$$A = \frac{11.65(n^{0.1} - 1) \exp[2.92(n - 1.9)\alpha h]}{(\alpha r_o)^{0.91}} \quad n \geq 1.9$$

$$A = \frac{11.65(n^{0.1} - 1) \exp[7.5(n - 1.9)\alpha h]}{(\alpha r_o)^{0.91}} \quad n < 1.9$$

Donde n y α son los parámetros de van Genuchten, r_o es el radio del disco y h es la succión en la superficie del disco.

INSTRUCCIONES

1. Retira el tope en la parte superior del dispositivo y llena la cámara de burbujas con agua. Cuando la cámara esté llena, coloca la tapa de vuelta en el medidor. Empuja el tubo de control de succión todo hasta la parte inferior del instrumento y dale la vuelta. Retira el disco en la parte inferior y llena el tubo con agua. Vuelve a colocar el disco cuando esté lleno.
2. Mueve el tubo de succión en el infiltrómetro hacia arriba o hacia abajo hasta que el nivel de agua en el interior se alinee con la tasa de succión que deseas utilizar para el suelo que estás probando. Una tasa estándar es de 2 cm, pero

debes hacerla más alta para un suelo más flojo, tal como arena; o inferior, para suelo más compacto, como la arcilla.

3. Colocar el infiltrómetro en el suelo que se desea medir con la cara del disco hacia abajo. Colocar esto en la porción más suave del suelo disponible. Una vez que el infiltrómetro esté en su lugar, anotar el nivel actual del agua en el interior de la cámara y la hora en que se coloca el medidor en el suelo.
4. Revisar el volumen del agua de nuevo a intervalos regulares. Si el suelo está muy suelto, revisar cada 5 segundos. Comprobar el suelo normal cada 30 segundos y el suelo apretado, como la arcilla, cada 30 minutos. Anotar el nivel de volumen a medida que el agua se filtra en el suelo en cada intervalo hasta que se vacíe.

La colección de datos se hace utilizando el formato del Anexo 3.4.

3.5.2.6. Resistencia a la Penetración

El objetivo es identificar las zonas propensas a un mayor escurrimiento y su variación con los resultados de la evaluación.

La compactación de un suelo es usualmente medida con un penetrómetro o medidor de compactación; este instrumento mide la resistencia a la penetración, expresada por la presión necesaria para introducir la punta cónica del equipo hasta una cierta profundidad. Esta variable no constituye por sí sola una medida directa del estado de compactación del suelo, pero es un indicador de la resistencia a la penetración debido a la compactación del suelo.

Es un medidor portable de compactación de suelo con sensor ultrasónico de profundidad para toma lecturas en incrementos de 2.5 cm. mientras que la celda de carga mide la resistencia a la penetración. La medición se realiza con un medidor de compactación SC 900 (Figura 3.12), de la marca FIELDSCOUT™, con una resolución de 1" (2.5 cm) y un rango de medición de 0 a 18" (0-45 cm). El aparato cuenta con un data logger que permite almacenar datos de varios sitios.



Figura 3.12. Medición de la compactación mediante un penetrometro SC 900

INSTRUCCIONES

- La medición de la resistencia a la penetración se debe llevar a cabo a no más de 5 metros de distancias del lugar donde se tome la muestra de suelo y donde se realicen las pruebas de infiltración.
- Se recomienda que las mediciones se lleven a cabo después de una lluvia, o donde los suelos tengan un buen contenido de humedad. La medición de la compactación del suelo en condiciones de suelo seco no dará resultados significativos.
- La aguja deberá entrar de manera vertical, manteniendo una presión y velocidad constante sobre el medidor sin obstruir el sensor de distancia para evitar que el instrumento arroje errores.
- Los datos deberán ser guardados en el datalogger del Instrumento y registrados en el formato del Anexo 3.5.

3.5.2.7. Contenido de humedad del suelo

El contenido de humedad se mide de manera puntual, utilizando un (TDR 300), de la marca FIELDSCOUT™ (Figura 3.13), el cual cuenta con barras censoredas de 20 cm

de largo, tiene una resolución de 1% y un rango de 0 a 50%, 0% a saturación (saturación es típicamente alrededor de 50% de agua volumétrica). Además, cuenta con un data logger el cual permite almacenar hasta 3250 datos.



Figura 3.13. Medidor de humedad en el suelo TDR.

Las opciones de medición son Contenido Volumétrico de Agua (Volumetric Water Content – VWC) utilizando el modo estándar o de alto contenido de arcilla. El Contenido Volumétrico de Agua (VWC por sus siglas en inglés) es la relación del volumen de agua en un cierto volumen de suelo contra el volumen total de suelo. Bajo saturación, el contenido volumétrico de agua (expresado en porcentaje) sería igual al porcentaje de espacio de poros en el suelo.

INSTRUCCIONES

- La medición de la humedad se debe llevar a cabo a no más de 5 metros de distancias del lugar donde se tome la muestra de suelo y donde se realicen las pruebas de infiltración.
- Cuando tome una medición, es importante que las barras se inserten completamente en el sustrato. De lo contrario, parte del volumen muestreado estaría compuesto por aire y la lectura sería más baja que la que debiera ser.
- Por la misma razón, la sonda debe insertarse con una presión constante hacia abajo. Si las barras se mueven hacia los lados dentro del suelo, se generarán bolsas de aire adyacentes a las barras y tendrá lecturas bajas.

- La sonda no debe golpearse con un martillo ni ningún otro instrumento ya que puede dañar la electrónica interna.
- Se debe tomar especial cuidado para asegurar que las barras se inserten de manera paralela entre sí. Esto no tendrá un gran efecto en la lectura pero reducirá las oportunidades de que las barras se doblen o se rompan.
- Evitar áreas con rocas u otros materiales que pueden causar que las barras se dobles o rompan.

Los datos deberán ser guardados en el datalogger del Instrumento y registrados en el formato del Anexo 3.5.

3.5.2.8. Profundidad del suelo

La profundidad del suelo es muy importante porque de ella depende el volumen de agua que el suelo puede almacenar para las plantas. Un suelo de textura y estructura uniforme de 0.6 m de profundidad puede almacenar doble cantidad de agua que un suelo de 0.3 m de profundidad y también tendrá un volumen doble para las raíces de las plantas.

Con frecuencia, a mayor profundidad mayor densidad aparente y menor porosidad de tamaño medio y grande. La raíz de la planta profundizará hasta donde las condiciones de aireación y drenaje le permitan respirar adecuadamente.

En los levantamientos de suelos-vegetación, la clasificación de la profundidad del suelo hasta la roca o estrato cementado se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Calificación de la profundidad del suelo

CLASE	PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN
1	0 - 30	Muy poco profundo
2	30 – 60	Somero
3	60 – 90	Buena
4	90 – 120	Profundidad moderada
5	> 120	Profundo

El método de la barrena de sondeo es un modo para obtener muestras de suelo de distintas profundidades mediante la perforación, sin tener que excavar una calicata. Con este método se puede tomar una serie continua de muestras de suelo y así juntar un testigo de perforación que muestre los horizontes del suelo. El método de la barrena de sondeo es barato y rápido; le permite revisar el suelo en varios lugares de su terreno, aunque sólo proporciona muestras alteradas. La barrena de sondeo puede utilizarse en la mayoría de los suelos que cubren la capa freática y en los suelos cohesivos que están debajo de ésta. Si no posee una barrena de sondeo, quizás puedan prestársela en una estación agrícola o en una granja experimental cercana.

La barrena helicoidal o de gusano, es una espiral metálica de unos 30 cm de longitud y de 3,5 a 4 cm de diámetro. La barrena helicoidal (Figura 3.14) está dotada de varios barrenos, por lo general de 30 cm de longitud, que pueden ensamblarse uno a uno para tomar muestras a mayores profundidades.

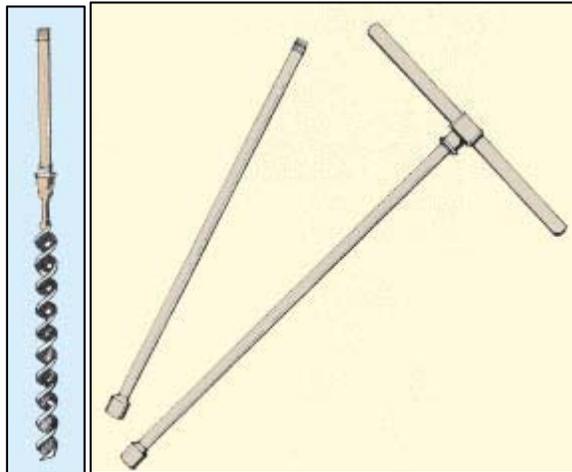


Figura 3.14. Barrena helicoidal o de gusano

Algunas de las limitaciones de la barrena helicoidal son:

- Las muestras de suelo se alteran severamente;
- No es eficaz en suelos que contengan mucha arena y grava;
- Es difícil de usar en arcilla dura.

El método inicia introduciendo la barrena en el suelo hasta una profundidad de 10 a 15 cm.

Extraer la barrena cuidadosamente para mantener el suelo en su lugar, tal como estaba en el terreno, y colocar la muestra en una lámina de material plástico o una hoja de periódico;

Continuar haciendo perforaciones de 10 a 15 cm cada una; colocando las secciones sucesivas una tras otra para juntar un testigo de perforación que muestre los horizontes del suelo.

3.5.3. Propiedades Químicas

3.5.3.1. Carbono Orgánico

El procedimiento utilizado es por Ignición y consiste en escoger una muestra de peso conocido, en crisoles o en platos de evaporación de porcelana y se pesa.

Se coloca el crisol o el plato con la muestra dentro de una mufla durante 6 horas a 445± 10°C, se saca y coloca en un desecador para permitir enfriar.

El contenido orgánico se expresa en porcentaje:

$$\% \text{ de materia orgánica} = \frac{A - B}{B - C} * 100$$

Donde:

A = Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco al horno antes de la ignición

B = Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de la ignición

C = Peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01 gramos

$$\% CO = \% MO / 1.724 \quad \text{o} \quad \% CO = \% MO (0.58),$$

Dónde:

CO = Carbono orgánico total (%)

MO = Materia orgánica (%)

Se emplea el factor de Van Benmelen de 1.724 que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de Carbono ($1/0.58 = 1.724$), (Ibid.)

3.5.3.2. pH

El pH del suelo tiene gran influencia sobre la naturaleza de la vegetación que éste soporta así como en la disponibilidad de los principales fertilizantes y oligoelementos; además determina la movilidad de los distintos elementos. La corrección del pH del suelo se lleva a cabo mediante enmiendas calizas y/o adición de yeso. El pH del suelo se puede alterar como consecuencia de la adición de fertilizantes, debido al lavado por el agua de lluvia así como por la descomposición de la materia orgánica.

La gran mayoría de los suelos tropicales presentan pH ácidos, lo que está determinado por fenómenos de lavado intenso, especialmente en el continente americano, sin embargo un manejo adecuado hace que este hecho no se cumpla en la mayoría de los suelos cultivados de las regiones tropicales (.Alves, 2003)

El término de pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógenos expresados en moles por litro. Como los métodos electrométricos lo que usualmente miden es la actividad iónica, el pH puede definirse más apropiadamente como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógenos expresada en mol/dm³. El pH es una notación que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución.

Para determinar el pH se utiliza el método del potenciómetro digital, el cual esta basado en el principio de medición de la fuerza electromotriz de una pareja de electrodos, que incluyen un electrodo de vidrio sensible a pH. La sensibilidad se la confiere al electrodo una membrana delgada de vidrio especial que desarrolla un potencial eléctrico en respuesta a un cambio de concentración de H⁺.

El bulbo terminal del electrodo de vidrio contiene interiormente una solución de concentración fija H⁺ separada por la membrana, de la solución que se analiza. La diferencia de concentración de H⁺ en ambos lados desarrolla una diferencia de voltaje

o potencial que depende del pH de la solución externa. El electrodo de referencia de calomel se usa para completar el circuito electrónico y registra una diferencia de voltaje fija entre el electrodo y la solución independientemente del pH. La diferencia del voltaje entre los dos electrodos se mide por un voltímetro que se ha calibrado para leer directamente en unidades de pH siempre que se ajuste inicialmente una solución tapon de pH conocido.

Como primer paso del procedimiento a seguir se debe pesar 10 g de suelo seco al aire y tamizado por 2 mm y pasarlo a un beaker de 50 ml. Segundo de esto se debe añadir 25 mm de agua destilada con pipeta automática para relación 1:2.5 y 20 mm para relación 1:2.0, agitar muy bien con una varilla de vidrio y dejar reposar por 30 minutos al cabo de los cuales agitar nuevamente, bajar los electrodos de modo que los extremos queden en la interface suelo: agua hacer la lectura en el pHmetro, previamente calibrado con las soluciones tampón de pH 4.0 y 7.0 respectivamente. Hacer la lectura hasta la décima más próxima de una unidad de pH.

Al terminar se debe dejar los electrodos sumergidos en la solución de KCL 3 M o en recomendada por el manual del instrumento.

Se debe lavar los electrodos, entre una y otra determinación.

En un proyecto de reforestación, el viverista debe trabajar en estrecha relación con el plantador para identificar los factores ambientales limitantes del sitio de plantación, de manera que la planta se cultive bajo el sistema de producción y prácticas de cultivo que optimicen los atributos de calidad de planta y garanticen altas tasas supervivencia y crecimiento bajo las condiciones de estrés (Landis et al., 2010). También, es importante evaluar la calidad de la planta en el vivero previo a la plantación, para determinar si se alcanzaron los parámetros deseados.

Las interacciones entre especies y los niveles de fertilidad son distintas, pero en general el nivel de fertilidad, el pH, la saturación intercambiable de acidez en porcentaje (SA%) y el nivel de K son factores importantes que controlan el buen crecimiento de los arboles y se relacionan con la concentración de nutrientes foliares (Calvo A J. et al. 2008).

3.5.3.3. Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas

Ácidos húmicos

Relación de densidades ópticas (E4/E6); usadas para conocer el grado de condensación de los constituyentes húmicos y como función directa del peso molecular.

$$\Delta pH = Phk_{lc} - pH_{H_2O}$$

Grupos funcionales reactivos (métodos propuestos por Dragunova, citado por Kononova, 1996. Las propiedades de las SH están determinadas por la combinación de grupos funcionales.

Ácidos fúlvicos

Índice de grado de humificación (ΔLogK) de los AH y de los AF (indica el grado de aromaticidad de los AH y los AF)

Reacción carbono/nitrógeno (C/N); usado para caracterizar materia orgánica natural y para predecir el potencial de mineralización de materiales orgánicos).

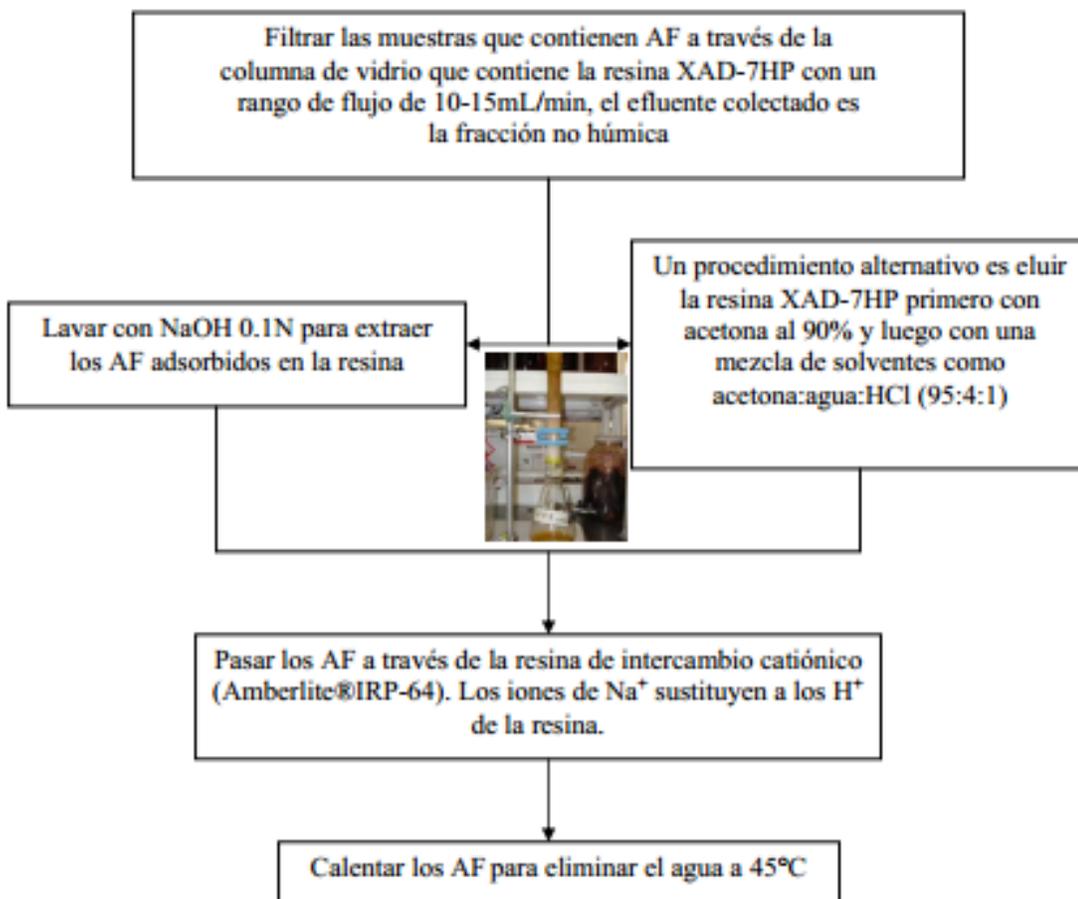
Carbono oxidable (Co) g/100g de MS

Carbono extraíble alcalino

($C_{ex} = C_{AH} + C_{AF}$ g/100g de MS libre de cenizas).

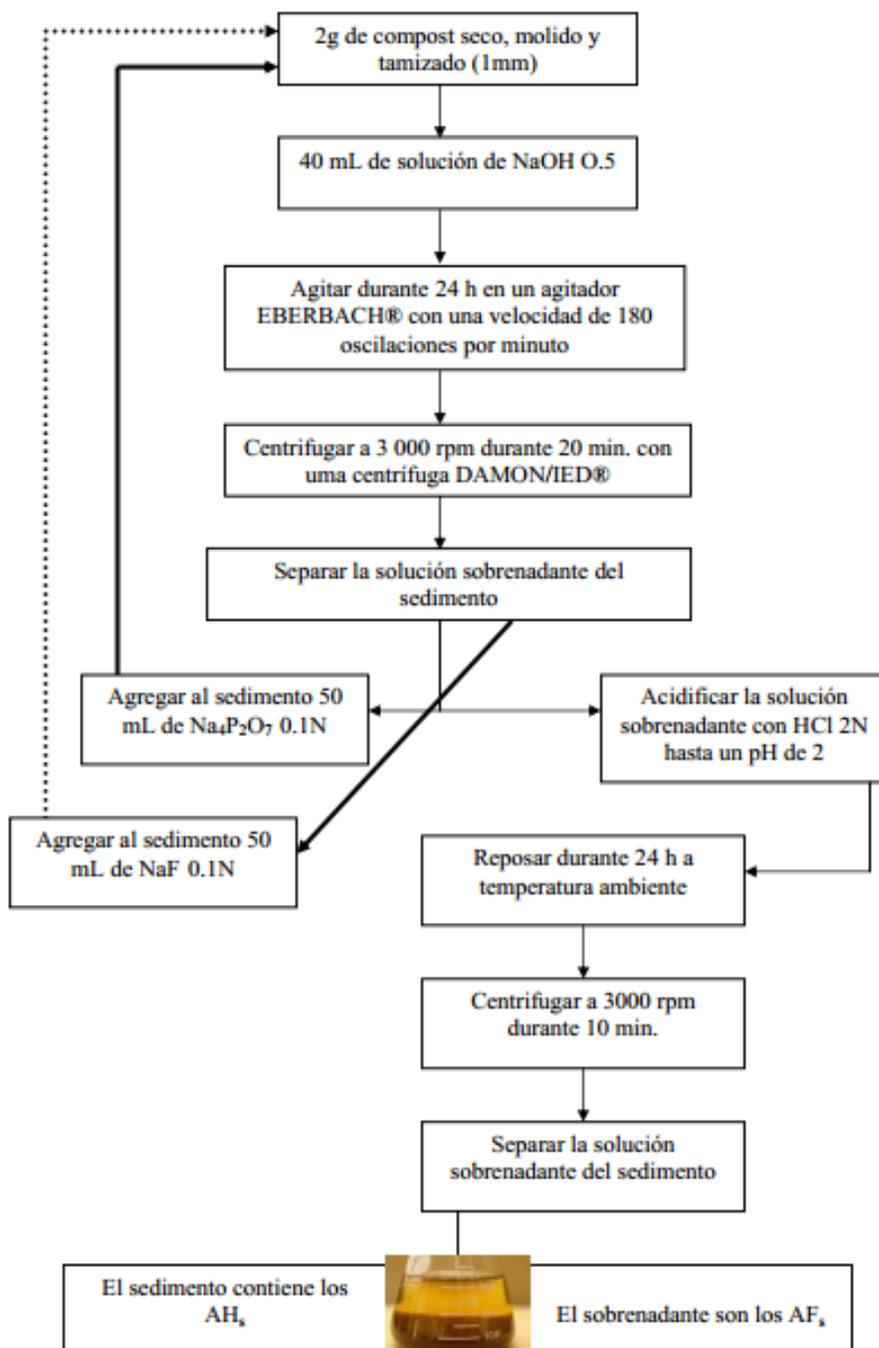
- ◆ Grado de polimerización (C_{AH}/C_{AF} ; indica el grado de polimerización de los constituyentes húmicos del compost).
- ◆ Tasa de humificación ($TH = C_{ex}/C_o \times 100$, en base libre de cenizas).
- ◆ Índice de humificación ($IH = C_{AH}/C_o \times 100$; refleja el origen de los composts).
- ◆ Porcentaje de ácido húmico ($\%_{AH} = C_{AH}/C_{ex} \times 100$; indica el porcentaje de formación de los AH).

Obtención de los ácidos fúlvicos purificados:



Huminas

Extracción secuencial de sustancias húmicas utilizando NaOH 0.5N, $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 0.1N y NaF 0.1N.



3.5.4. Funcionalidad hidrológica

3.5.4.1. Tipo y Grado de Erosión

El objetivo es evaluar el tipo y grado de la erosión actual del suelo, es decir, la pérdida actual del suelo de la zona de estudio.

La erosión en este contexto se refiere a la erosión acelerada que es causada por la interacción de manejo y eventos climáticos, en lugar de los niveles que tienen como base la erosión geológica.

Existen cinco tipos distintos de erosión del suelo que son causadas por la acción del agua y/o del viento (Figura 3.15). Es útil tener en cuenta cual es el tipo o los tipos que están ocurriendo y qué tan grave es la pérdida de suelo. Esto implica tanto la extensión aérea y el grado de afectación. Se utilizan las convenciones de McDonald et al 1990 p 92-96 (citado en Tongway and Hindley, 2004). Una serie de imágenes se presentan en el cuadro para ayudar a la clasificación exacta.

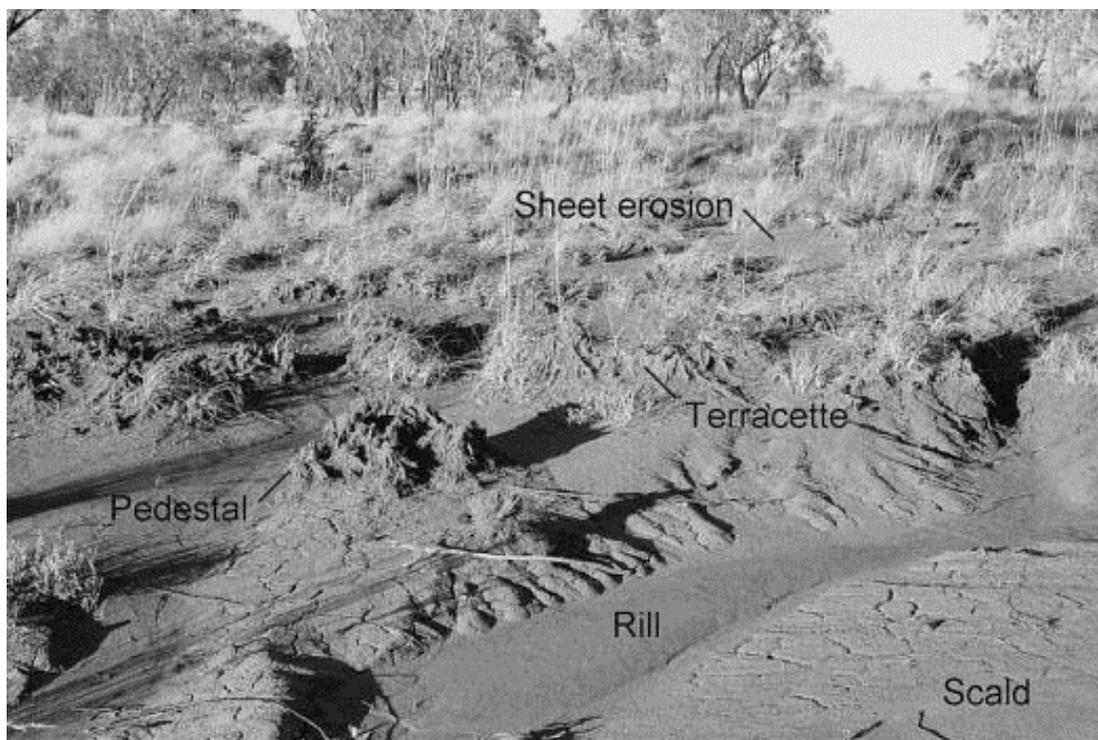


Figura 3.15. Cinco tipos de erosión superficial del suelo: laminar (sheet), formación de pedestales (pedestal), surcos (rill), terracetas (terraccette) y escaldado (scald).

A veces, la erosión se produjo en algún momento del pasado y la restauración desde entonces ha sido de manera instantánea. Por ejemplo; los bordos de surcos pueden ser redondeados, en estos casos, se reduce el grado en una categoría.

3.5.4.2. Formas de erosión

Cinco formas principales se describen a continuación y con las fotografías que se hace referencia, se determina el tipo de erosión en el área de estudio.

Láminas o erosión laminar es la eliminación progresiva de capas de suelo muy finas a través de áreas extensas, con pocas o ninguna discontinuidad fuerte que marque el suelo.

Esto no siempre es fácil de detectar con seguridad, y es posible que se infiera a través de otras características de la superficie del suelo, tales como los materiales erosionados ladera abajo, o la naturaleza de la superficie. Se confunde a veces con superficies escaldadas, pero característicamente se asocia con suelos de textura uniforme o gradual.

Muchas superficies laminares están cubiertas por capas de grava o piedra (llamadas colectivamente "desfase") dejadas atrás después de la erosión del material más fino, cuando está en una etapa avanzada.



Figura 3.16. Erosión laminar

Pedestales es el resultado de la eliminación de suelo por la erosión de un área a una profundidad de al menos varios centímetros, dejando las raíces de las plantas sobrevivientes en una columna de suelo por encima del nuevo nivel general del paisaje. Raíces expuestas son un sello distintivo de esta forma de erosión. Esta es una

señal de que el propio tipo de suelo es muy erosionable y que la pérdida de la vegetación en el paisaje fue precedida por la erosión, y no al revés.



Figura 3.17. Erosión en pedestales

Surcos y cárcavas son canales cortados por el flujo del agua. Los surcos o canalillos son menores de 300 mm de profundidad y las cárcavas son mayores a 300 mm de profundidad (McDonald et al). Estos pueden ser iniciados por el movimiento del agua que fluye por los caminos creados por el ganado ovino o vacuno. Su presencia es un signo seguro de que el agua fluye rápidamente fuera del paisaje, transportando a menudo tanto hojarasca como suelo. Estos están aproximadamente alineados con la pendiente máxima del área.

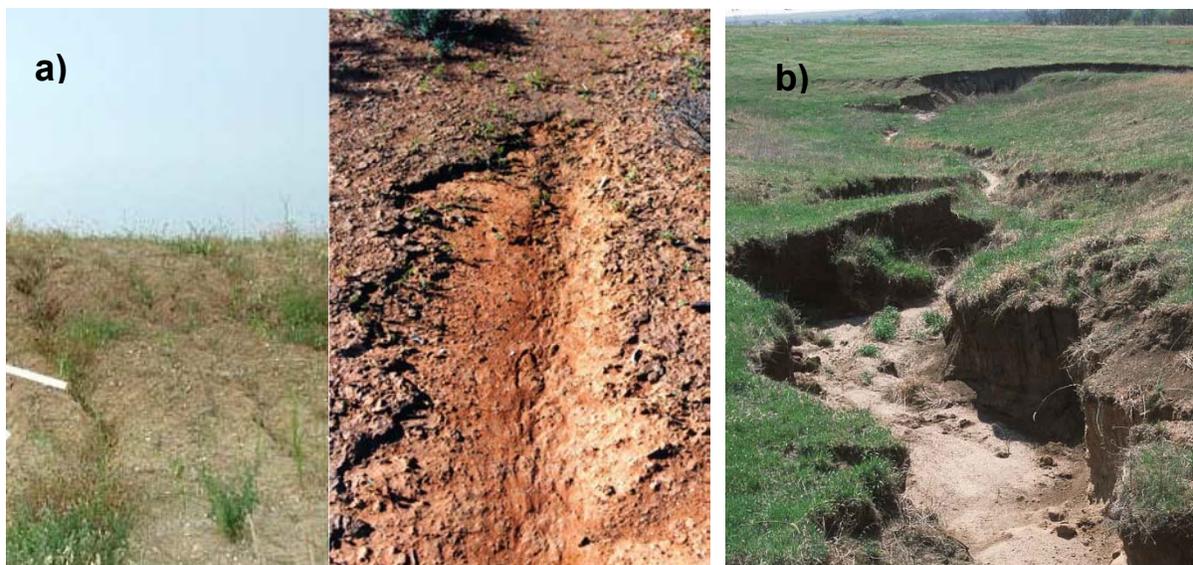


Figura 3.18. Erosión en a) surcos y b) cárcavas.

Terrazas son paredes abruptas desde 1-10 cm o más alto, alineadas con el contorno local. Las terrazas cortan progresivamente la pendiente, el material erosionado se deposita en un abanico aluvial cuesta abajo.



Figura 3.19. Erosión en terrazas.

Escaldado es el resultado de la pérdida masiva de material del horizonte A en suelos de textura contrastante que exponen el horizonte A2 o B y los cuales suelen ser muy duros cuando están secos y tienen extremadamente bajas tasas de infiltración.

Las escaldaduras tienen un potencial productivo de cero. A menudo se encuentran en los paisajes planos, aunque no exclusivamente, mientras que la laminar es en pendientes suaves.



Figura 3.20. Terreno escaldado.

3.5.4.3. Grados de erosión

Es difícil definir las clases del grado de erosión que pueden ser equitativamente apropiadas para todos los suelos y medio ambientes, y que pueda también encajar o

acomodarse a los varios tipos de erosión hídrica. Se recomiendan cuatro clases (Tabla 3.11), que pueden mejor definir cada tipo o combinación de erosión y deposición en un medio ambiente específico.

Tabla 3.11. Clasificación del grado de erosión¹.

GRADO DE EROSIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPOS DE EROSIÓN RELACIONADAS
Insignificante	La evidencia de daño en los horizontes superficiales del suelo no es perceptible y las funciones bióticas originales se encuentran completamente intactas.	Laminar
Ligera	Alguna evidencia de daño a los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran intactas.	Laminar
Moderada	Evidencia clara de remoción de los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas.	Pedestales Terrazas Surcos
Severa	Horizontes superficiales completamente removidos y los horizontes sub-superficiales expuestos. Las funciones bióticas originales ampliamente destruidas.	Pedestales Terrazas Surcos y cárcavas Escaldado

¹ Modificado de FAO (2009) y Tongway and Hindley (2004).

3.5.4.4. Pérdida Relativa de Suelo

OBJETIVOS

- Medir en campo la pérdida de suelo por medio de parcelas de escurrimiento.
- Medir el escurrimiento superficial por medio de parcelas de escurrimiento
- Medir in situ la capacidad de retención de sedimentos mediante las prácticas implementadas por el programa.
- Evaluar la eficiencia de las prácticas implementadas en el control de sedimentos y escurrimiento superficial.

METODOLOGÍA

Establecimiento de parcelas de escurrimiento

Las parcelas de escurrimiento se establecerán preferentemente en los sitios conservados y degradados. Aunque dependiendo de las condiciones de las prácticas

se podrán implementar en sitios como agricultura, pastizal, reforestación o en donde la práctica permita el establecimiento de las mismas.

Criterios para la selección del sitio.

Se habrán de seleccionar aquellos sitios representativos del entorno en el que ha quedado establecido la práctica, procurando que las condiciones entre las parcelas testigo (sitios conservados y degradados) sean similares a las de los sitios donde se han implementado las prácticas del programa.

Las características de las parcelas de escurrimiento en general serán las siguientes:

- Tamaño de la parcela: 5 m²
- Orientación de la parcela: el largo quedará en sentido de la pendiente
- Sitio de captación: Aguas abajo de la parcela de escurrimiento, el cual consiste en colocar un recipiente por debajo del nivel del terreno de la parcela con la finalidad de recolectar.
- Delimitación: Mediante tramos de lámina galvanizada de 0.3*3 m, enterrando 0.15 m y dejando libres 0.15 m con un empalme entre lámina y lámina de al menos 2.0 cm. (Figura 3.21)



Figura 3.21. Establecimiento de parcelas de escurrimiento

Una vez establecida la parcela se coloca el sistema de recolección de sedimentos y escurrimiento el cual consiste en un tinaco previamente graduado y calibrado a donde se recolectará el agua producto del escurrimiento de la parcela por medio de un tubo de 3" colocado de la parcela al bote colector (Figura 3.22).



Figura 3.22. Sistema de recolección de sedimentos y escurrimiento

Monitoreo de las parcelas

El registro de la información se realizará inmediatamente después de haber ocurrido una lluvia que haya producido escurrimiento en la parcela. El escurrimiento corresponde a la lectura del límite del agua en el tinaco. Registrando la lectura de la cinta métrica que tiene el tinaco y registrándolo en el formato 2. Inmediatamente después se procederá a agitar el agua contenida en el tinaco, tratando de homogenizar los sedimentos en una emulsión tomando una muestra de un litro de la misma mediante un frasco de boca ancha, el cual se marca con la fecha de la toma y el lote al que corresponde (Formato 2).

Cuantificación de la retención de sedimentos mediante las prácticas implementadas

Con la finalidad de obtener una evaluación integral del funcionamiento de las prácticas implementadas con el programa, en relación la cuantificación de la retención de los sedimentos, la evaluación se realizará bajo condiciones de campo delimitando un área de 50*50 donde quede incluida una cantidad representativa de la obra establecida, bajo este esquema se evaluarán prácticas como:

- a) Terrazas a nivel
- b) Bordos a nivel
- c) Zanjas trincheras

Una vez delimitado el polígono de evaluación se procederá a realizar el inventario de la obra que quede ubicada al interior del mismo registrando las dimensiones de cada práctica, sus condiciones actuales y su funcionalidad. Atendiendo los formatos diseñados para tal fin. Adicional a la evaluación en campo se obtendrá una muestra compuesta de los sedimentos retenidos por la práctica para ser analizada en el laboratorio donde se obtendrán las siguientes determinaciones:

- Textura
- Granulometría
- Densidad aparente
- Materia orgánica

MATERIALES

Para la instalación de una parcela de escurrimiento de 5m²

1. Lámina galvanizada cal. 24 de 3 m de long x 0.30 m	4 pzas.
2. Tubo de PVC de 3" diam.	3 m
3. Codos de PVC de 3" diam.	2 pzas
4. Tinaco graduado con tapa.	1 (testigo 2)
5. Varillas de 3/8 de 40 cm de longitud.	8 pzas
6. Tijeras para cortar lamina	1 pza
7. Tubos de silicón	5 tubos
8. Aplicador para silicón	1 pza

Para el monitoreo de un sitio

- | | |
|---|-----------------|
| * Frascos para sedimentos de boca ancha de 1L | 10 pzas/parcela |
| * Báscula granataria de pilas o manual | 1 pza |
| * Pluviómetro (de cuña o digital) | 1 equipo |

FORMATOS DE CAPTURA DE INFORMACIÓN

- 1) Caracterización del sitio (Anexo 3.7)
- 2) Evaluación de la erosión (Anexo 3.8)
- 3) Características de la cobertura vegetal (Anexo 3.9)
- 4) Descripción del perfil del suelo (Anexo 3.10)
- 5) Registro del monitoreo de las parcelas de escurrimiento (Anexo 3.11)

3.5.5. Vegetación

3.5.5.1. Especies Plantadas

Las especies que se pueden encontrar en los predios reforestados son:

Nombre común	Nombre científico
Ciprés o cedro blanco	<i>Cupresus ssp</i>
Pino blanco	<i>Pinus ayacahuite,</i>
Pino oyamel	<i>Abies religiosa</i>
pinabeto	<i>Pinus pseudostrobus</i>
Pino michoacana	<i>pinus michoacana</i>
Pino ocote	<i>Pinus greggii</i>
Pino amarillo	<i>Pinus oocarpa</i>

Para identificar las especies forestales plantadas en los predios, se hace un muestreo en cada uno de los sitios muestreados para determinar la sobrevivencia siguiendo el procedimiento siguiente:

- Identificar y contabilizar los arboles por especies en cada uno de los sitios de muestreo.

- Registrar los datos en el formato del Anexo 3.12
- Determinar el porcentaje de cada especie plantada por predio utilizando la siguiente formula.

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n)/N$$

Donde:

\bar{x} = Promedio de especies.

Xn = Número de especies por sitio.

N = Número de muestreos

3.5.5.2. Porcentaje de Supervivencia (por especie en el predio)

El objetivo de determinar el porcentaje de supervivencia es obtener una medida cuantitativa del éxito de la plantación bajo la influencia de los factores del sitio. El valor que se desea conocer es la proporción de árboles que están vivos respecto a los árboles efectivamente plantados o la densidad mínima establecida o autorizada.

Se entiende como reforestación al conjunto de todos los árboles que han sido plantados en un predio o rodal forestal. En caso de que existan fracciones de terreno separadas, cada predio o rodal será evaluado como unidad por sí misma.

Selección de la muestra.

La selección de la muestra consiste en identificar como unidades de muestreo a sitios de determinada dimensión y forma, y realizar la selección sistemática de ellos, la evaluación se realiza en los árboles plantados incluidos en cada una de los sitios seleccionados

Distribución de los sitios de muestreo

Aún, cuando la teoría del muestreo se finca en la selección aleatoria de las unidades de muestreo sobre el marco de muestreo, la selección sistemática ha probado superioridad en la práctica y empleando las mismas fórmulas, los resultados

satisfacen el nivel de precisión esperado, siempre que la población no tenga una distribución sistemática en cuanto al valor de la variable que se evalúa.

Para hacer una distribución sistemática de los sitios, se empleará una retícula, a la escala del plano o croquis, que ubique el número de puntos, representando cada uno a un sitio, correspondiendo a una determinada intensidad de muestreo. Las distancias entre líneas de muestreo y entre sitios deben ser iguales. Para una intensidad de muestreo de 0.5 % con sitios de 100 m², esa equidistancia debe ser de 140 m aproximadamente.

Forma y tamaño de los sitios de muestreo.

Para la obtención de los resultados de la sobrevivencia se debe aplicar un muestreo aleatorio en los predios reforestados, dichos puntos deben ser distribuidos de tal manera que, de acuerdo con la CONAFOR 2011 para evaluaciones de sobrevivencia de arbolado menor de tres metros de altura y densidades de plantación de 600 a 800 árboles /ha se debe emplearán sitios circulares de 250 m² de con un radio de 8.92 m. Para realizar el muestreo de sobrevivencia de la reforestación se deberá seguir los siguientes pasos.

1. Definir en el predio los sitios de muestreo capturando las coordenadas mediante un GPS
2. Para cada sitio, mediante una cinta métrica se debe trazar una circunferencia con un radio de 8 m.
3. Contabilizar los arboles vivos y registrar los datos en el formato del Anexo 3.12
4. Identificar la especie plantada y su altura promedio.
5. Observar de manera meticulosa algunos de los problemas en la reforestación y causas de mortandad (incendios, pastoreo etc.), y registrarlos en el formato Anexo 3.12.

Evaluación de la sobrevivencia de una reforestación.

Para esta estimación se proponen las ecuaciones de (scheaffer, mendenhall y Ott, 1987):

Estimador de la proporción de sobrevivencia de (p):

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n ai}{\sum_{i=1}^n mi}$$

Número de árboles plantados por sitio en la muestra (\bar{m}):

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n mi}{n}$$

Donde:

p : Proporción estimada de árboles vivos.

q : Proporción estimada de árboles muertos, (1-p)

ai : Número de árboles vivos en el sitio i .

N : Número total de sitios, que al ser de forma circular, será igual a 10,000; por lo expuesto antes, se aceptará ese número (10 000).

n : Número total de sitios que se evalúan, tamaño de la muestra, en el ejemplo se considerarán solamente 10, que representa el 0.1 % de intensidad de muestreo.

mi : Número de árboles plantados en el sitio i .

m : Número promedio de árboles plantados por sitio en la muestra.

3.5.6. Fauna

3.5.6.1. Avistamiento de Fauna

Para el muestreo de fauna en campo se utilizan distintos métodos para cada grupo faunístico que se evalúa. En general los resultados obtenidos se basan principalmente en dos tipos de datos obtenidos forma directa o indirecta.

Los datos directos se refieren a un contacto activo con el animal, es decir, si es visto u oído, dando evidencia de la presencia del individuo en ese lugar y momento. Además de que los sitios y el tiempo de muestreo serán particulares en cada grupo para aumentar las posibilidades de su avistamiento directo o indirecto (Chiriví-Henriquez,

2006). En cambio, los datos indirectos, son estimados a partir de signos o rastros dejados por el animal, permite conocer la composición faunística en la zona y ofrece datos sobre sus preferencias de hábitat, dieta o comportamiento.

Los transectos son muestras largas y estrechas. Existen los transectos de banda (ancho fijo) y de línea (ancho variable), los cuales pueden considerarse como una extensión o trayecto para la estimación de un índice de abundancia relativo a la distancia (Chiriví-Henriquez, 2006).

Para los transectos de banda, el ancho se establece a priori contándose todos los objetos dentro de la banda. Se presuponen franjas paralelas a ambos lados de la línea base donde todos los objetos son registrados, hasta una distancia umbral x donde la detectabilidad decae bruscamente (Chiriví-Henriquez 2006).

Existe una gran cantidad de animales que responden en mayor medida a cambios generales en la estructura de los ecosistemas que a variaciones micro florísticas o microtopográficas específicos del mismo (Morales-Muñiz 1996).

Algunos organismos tienen un intervalo muy amplio de tolerancia hacia condiciones ambientales de su hábitat. El empleo de bioindicadores es una técnica con sustento ecológico la cual se basa en la medición de la diversidad, presencia o ausencia de organismos específicos (Vásquez-Silva et al., 2006).

Dependiendo del tipo de hábitat y los requerimientos de la zona de estudio, se eligen grupos faunísticos denominados como bioindicadores, que son mediante los cuales pueden hacerse análisis sobre los cambios en el ambiente.

Las aves son uno de los animales que responden ante todo al relieve del terreno y a la fisonomía de la vegetación, en gran parte por las condiciones que estas características del sitio, imponen a su conducta reproductiva (Morales, 1996).

Método

La determinación de la abundancia y diversidad de aves se realizan censos por medio de avistamientos al amanecer y al anochecer ya que son los momentos del día donde diversos tipos de aves presentan mayor actividad y se podrán observar aves de hábitos

diurnos y nocturnos. Se elegirán zonas donde preferentemente esté arbolado o donde se hallan hecho avistamientos previos exitosos.

Material

Se requiere de material de campo como: binoculares, guías de campo, lista de especies de las aves del sitio y hoja de registro.

Guías de campo recomendadas

- *Tory Peterson, Roger. Aves de México. Guía de Campo. 2008.*
- *Allen Sibley, David. Sibley Field Guide to birds of Western North America.*
- *Kauffman, Ken. Guía de campo a las aves de norteamérica.*

El método de **transectos lineales**, se realiza estableciendo transectos lineales de largo variable o estándar dependiendo de las características del área y del diseño de muestreo. Dichos transectos se recorren a pie o automóvil a velocidad constante y se van registrando todas las especies que se observan a los lados de la ruta. Este tipo de muestreo se recomienda para grandes áreas continuas donde la estructura de la vegetación tiende a ser de porte pequeño, como en el caso de los pastizales o matorrales. La distancia que se considera a los lados del transecto está definida por la visibilidad que se tenga. Si se establecen varios transectos, estos deben estar lo suficientemente alejados para asegurar que no se contabiliza un mismo individuo dos veces en los casos que los muestreos de los transectos lineales se realizan simultáneamente.

Una distancia adecuada puede ser de 150 a 200 m en hábitats abiertos. Ésta técnica no provee de abundancias de las especies registradas (Martínez -Huerta-Martínez, 2007).

Para llevar el registro se debe hacer uso de la del Anexo 3.13

Posterior descripción y análisis comparativo de la presencia-ausencia de cada especie en cada sitio.

Para poder muestrear aves o cualquier otro animal se requiere de una previa investigación de los registros y lista de especies que se tienen en el área y hacer una comparación con el análisis posterior de los datos obtenidos en el trabajo de campo

3.6. Análisis de Correlación

3.6.1. Coeficiente de correlación lineal de Pearson

Los estudios descriptivos y comparativos permiten inferir características de distintas poblaciones pero no nos aportan información acerca de individuos en particular, sin embargo muchas veces el interés está centrado en establecer la relación entre dos o más variables o indicadores para luego predecir. Es decir conocer el valor de una variable a la que se llama dependiente a partir de otra (variable independiente).

La correlación estudia cuan estrecha es la asociación entre variables y la regresión plantea un modelo a través del cual conocido el valor de una variable explicativa se puede llegar a predecir el valor de la otra (variable respuesta).

El coeficiente de correlación de Pearson, pensado para variables cuantitativas (escala mínima de intervalo), es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Adviértase que decimos "variables relacionadas linealmente". Esto significa que puede haber variables fuertemente relacionadas, pero no de forma lineal, en cuyo caso no proceder a aplicarse la correlación de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución e, igualmente, de fácil interpretación. Digamos, en primera instancia, que sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Esto es, si tenemos dos variables X e Y , y definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como r_{xy} entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Se especifican los términos "valores absolutos" ya que en realidad si se contempla el signo el coeficiente de correlación de Pearson oscila entre -1 y $+1$. No obstante ha de indicarse que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es

una relación de +1 como de -1. En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa.

Se dice que la correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra. Esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta.

Se dice que la relación es perfecta negativa cuando exactamente en la medida que aumenta una variable disminuye la otra. Igual que en el caso anterior esto sucede para relaciones funcionales exactas, propio de las ciencias físicas.

El coeficiente de correlación de Pearson viene definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Esto es, el coeficiente de correlación de Pearson hace referencia a la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de X y de Y . Esta fórmula reúne algunas propiedades que la hacen preferible a otras. A operar con puntuaciones estandarizadas es un índice libre de escala de medida. Por otro lado, su valor oscila, como ya se ha indicado, en términos absolutos, entre 0 y 1.

3.6.2. Significación del coeficiente de correlación

Una vez calculado el valor del coeficiente de correlación interesa determinar si tal valor obtenido muestra que las variables X e Y están relacionadas en realidad o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar. En otras palabras, nos preguntamos por la significación de dicho coeficiente de correlación.

Un coeficiente de correlación se dice que es significativo si se puede afirmar, con una cierta probabilidad, que es diferente de cero. Más estrictamente, en términos estadísticos, preguntarse por la significación de un cierto coeficiente de correlación no es otra cosa que preguntarse por la probabilidad de que tal coeficiente proceda de una población cuyo valor sea de cero. A este respecto, como siempre, se tienen dos hipótesis posibles:

$H_0: r_{xy} = 0 \Rightarrow$ El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es cero ($\rho = 0$).

$H_1: r_{xy} \neq 0 \Rightarrow$ El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuyo coeficiente de correlación es distinto de cero ($0 \neq \rho$).

Desde el supuesto de la Hipótesis nula se demuestra que la distribución muestral de correlaciones procedentes de una población caracterizada por una correlación igual a cero ($\rho = 0$) sigue una ley de *Student* con $N-2$ grados de libertad, de media el valor poblacional y desviación tipo:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}$$

En consecuencia, dado un cierto coeficiente de correlación r_{xy} obtenido en una determinada muestra se trata de comprobar si dicho coeficiente es posible que se encuentre dentro de la distribución muestral especificada por la Hipótesis nula. A efectos prácticos, se calcula el número de desviaciones tipo que se encuentra el coeficiente obtenido del centro de la distribución, según la fórmula conocida:

$$t = \frac{r_{xy} - 0}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}}$$

y se compara el valor obtenido con el existente en las tablas para un cierto nivel de significación α y $N-2$ grados de libertad $-t_{(\alpha, N-2)}$, que como se sabe, marca el límite (baja probabilidad de ocurrencia, según la Hipótesis nula) de pertenencia de un cierto coeficiente r_{xy} a la distribución muestral de correlaciones procedentes de una población con $\rho = 0$. De esta forma si:

$t > t_{(\alpha, N-2)} \Rightarrow$ Se rechaza la Hipótesis nula. La correlación obtenida no procede de una población cuyo valor $\rho_{xy} = 0$. Por tanto las variables están relacionadas.

$t \leq t_{(\alpha, N-2)} \Rightarrow$ Se acepta la Hipótesis nula. La correlación obtenida procede de una población cuyo valor $\rho_{xy} = 0$. Por tanto ambas variables no están relacionadas.

3.6.3. Interpretación del coeficiente de correlación

Como se ha indicado el coeficiente de correlación de Pearson es un índice cuyos valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 mayor ser la correlación, y menor cuanto más cerca de cero. Pero como interpretar un coeficiente determinado? ¿Qué significa un coeficiente de 0.6?. ¿Es alto o bajo?. No puede darse una respuesta precisa. Depende en gran parte de la naturaleza de la investigación.

Más interés tiene la interpretación del coeficiente de correlación en términos de proporción de variabilidad compartida o explicada, donde se ofrece una idea más cabal de la magnitud de la relación. Nos referimos al coeficiente de determinación. Dicho coeficiente se define como el cuadrado del coeficiente de correlación; esto es, dada dos variable X e Y , hace referencia a r_{xy}^2 , y se entiende como una proporción de variabilidades.

3.6.4. Correlación y causalidad

En sentido estricto, correlación entre dos variables tan solo significa que ambas variables comparten información, que comparten variabilidad. Determinar el origen de la información, la fuente de la variabilidad -la causa- es una cuestión que no puede resolverse mediante recursos exclusivamente matemáticos.

Existen diferentes procedimientos para determinar, dada un serie de variables, la posible causa de ellas. Depende del tipo de contexto en el que nos encontremos. En los contextos experimentales, donde las variables pueden ser manipuladas a voluntad del investigador (tiempo de presentación de un determinado estímulo, cantidad de droga suministrada, .etc) no existe especial dificultad en localizar las causas. Basta con mantener constantes todas las variables implicadas excepto la que nos interesa para determinar la posible fuente de variación. Se impone en estos casos, lo que se denomina control experimental -manipulación de variables-

En los denominados estudio de campo donde el investigador ha de conformarse con los valores de las variables tal como vienen asignados (cobertura arborea, densidad aparente, Infiltración, contenido de humedad en el suelo, etc.) la determinación de las

causas exige un proceso algo más complicado. Son en estos casos, el conocimiento que se tenga de la materia en cuestión, la lógica, ciertas dosis de sentido común las claves a considerar.

3.6.5. Aplicación Informática

Para favorecer el aprendizaje de la estadística y agilizar los procesos se han desarrollado aplicaciones informáticas para el análisis de datos.

Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Es un programa de gran reconocimiento a nivel internacional por sus grandes prestaciones y poder de cómputo. Es particularmente usado en investigación de mercado y en los distintos campos de las ciencias sociales. En el ámbito educativo, su utilización se ha extendido en los últimos años, especialmente en educación superior y centros especializados de investigación. Entre sus principales características se encuentra una “relativamente” corta curva de aprendizaje para procedimientos estadísticos básicos y de nivel medio. Para usuarios más avanzados, SPSS permite interactuar a través de Python, Visual Básic y C++.

El SPSS es una potente aplicación de análisis estadísticos de datos, dotada de una intuitiva interfaz gráfica que resulta muy fácil de manejar. Respecto a su capacidad de procesamiento de datos, baste decir que es capaz de manejar ficheros de datos con más de 30000 variables y cualquier tamaño de casos, únicamente limitada por la capacidad de almacenamiento de los discos de nuestro ordenador.

3.7. Bibliografía

- Alves, M. C y Paz Ferreiro, J. 2003. Variabilidad en el pH de un suelo decapitado sometido a diferentes tratamientos de recuperación. IX Conferencia Española de Biometría. La Coruña, 28-30 de mayo 2003.
- Calvo-Alvarado Julio, Arias Aguilar Dagoberto, Jiménez Rodríguez Cesar, Solano Montero Juan Carlos. 2008. Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 5(14)
- Canfield, R. 1941 Application of the line-intercept method in sampling range vegetation. Forestry, 39: 388-396.
- Chiriví-Henriquez, A. «Evaluación de técnicas de campo para el monitoreo de fauna cinegética en la cuenca del Río Valle, Chocó.» Pontifica Universidad Javeriana, 2006: 23-30.
- CONAFOR .2011. Metodología para realizar y presentar los informes de sobrevivencia inicial (isi) de las plantaciones comerciales (aspectos técnicos) pag.5 -13
- De Leenheer L.; M. De Boodt. 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. Proceedings of International Symposium on Soil Structure. Ghent, Belgium. p 290-300
- Decagon Devices, Inc. 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163. User's Manual Version 10. Mini Disk Infiltrometer
- Elzinga, C.L., D.W. Salzer, J.W. Willoughby and J.P. Gibbs. 2001. Monitoring Plant and Animal Populations, Blackwell Publishing. 368 pp
- FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Roma.
- Fco. Martínez Huerta Martínez, Sergio Guerrero Vázquez, Gustavo Moya Raygoza, Alejandro Muñoz Urias, Verónica C. Rosas Espinoza, Elva Guadalupe Robles Jarero. Manual de Prácticas Ecología de Comunidades. Guadalajara: CUCBA, 2007.

- Jastrow J, Miller R. 1998. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organo - mineral associations. En: Soil processes and the carbon cycle. Ed. by Lai R, Kimble J, Follett R, Stewart B. II. Series: Advances in Soil Science. Boca Raton, Fl. 33431. 207-223.
- Joel, A. and Messing, I. 2000. Application of two methods to determine hydraulic conductivity with disc permeameters on sloping land. *European Journal of Soil Science* 51:93-98.
- Landis, T. D.; R. K. Dumroese, and D. L. Haase. 2010. The container tree nursery manual. Volume 7. Seedling processing, storage, and outplanting. *Agric. Handbook 674*. Department of Agriculture. Forest Service. Washington, DC., U.S. 200 p.
- Leiton Soubannier J.S. 1985. Riego y Drenaje. San José C.R. EUNED. Primera Edición, 180 p.
- Matheus, C.E., A.J. Moraes, T.M. Tundisi y J.G Tundisi. 1995. Manual de análisis limnológicas. Universidad de Sao Paulo. Centro de Recursos Hidricos e Ecologia aplicada. P 30-32.
- Matteucci, D. S. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C. 168p.
- Morales-Muñiz, A. «Algunas consideraciones teóricas en torno a la fauna como indicadora de espacios agrarios en la prehistoria.» *Trabajos de Prehistoria*, 1996: 5-17.
- Oades J. 1984. Soil organic matter and structural stability, mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76: 319-337.
- Smith, R.L. 1980. *Ecology and Field Biology*. 3ra. ed. New York, EE. UU. 664-695 pág.
- Tisdall J, Oades J. 1982. Organic matter and waterstable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.

Tongway D., Hindley N. 2000. Understanding more about your landscape. A method for monitoring landscape productivity. CSIRO Sustainable Ecosystems. Australia.

Tongway D., Hindley N. 2004. Landscape function analysis: Procedures for monitoring and assessing landscapes. CSIRO Sustainable Ecosystems. Australia.

Valverde Conejo J.C. 2007. Riego y Drenaje. San José C.R. EUNED. Primera Edición, 244 p.

ANEXOS

Anexo 3.2 Tamizado en Seco y Húmedo.

MUESTRA	TAMIZ (mm)	PLATO No.	PESO DEL PLATO (g)	PESO DEL PLATO + MUESTRA (g)	PESO SECO DEL PLATO + SUELO (g)
	4.76				
	2.38				
	1.19				
	0.59				
	0.25				
	4.76				
	2.38				
	1.19				
	0.59				
	0.25				
	4.76				
	2.38				
	1.19				
	0.59				
	0.25				
	4.76				
	2.38				
	1.19				
	0.59				
	0.25				
	4.76				
	2.38				
	1.19				
	0.59				
	0.25				
	4.76				
	2.38				
	1.19				
	0.59				
	0.25				
	4.76				
	2.38				
	1.19				
	0.59				
	0.25				

Anexo 3.5 Resistencia a la Penetración y Contenido de Humedad

CLAVE	Resistencia a la Penetración (KPa)		
	1	2	3
Profundidad (cm)			
0			
2.5			
5			
7.5			
10			
12.5			
15			
17.5			
20			
22.5			
25			
27.5			
30			
32.5			
35			
37.5			
40			
42.5			
45			
Humedad (%)			

Anexo 3.6 Formato para tipo y grado de erosión

DATOS DE UBICACIÓN			
Responsable: _____			
Clave del sitio: _____		Fecha: _____	
Coordenadas UTM: X _____	Y _____	Altitud: _____	
Estado: _____		Municipio: _____	
Localidad: _____			
DATOS ECOLÓGICOS			
Topografía: Llanura meseta cima fondo de valle ladera (baja) (media) (alta) lomerío			
Pendiente: Ligeras 0 a 20%		Moderada 21 a 40%	
Pronunciada >41%			
Uso del suelo y vegetación: Forestal comercial No comercial Pecuario Agrícola			
Bosque	Selva	Matorral	Otro _____
Suelos: Ligeros Pedregosos Afloramiento de rocas Profundos			
TIPO DE EROSIÓN			
Laminar (pequeñas acumulaciones de material fino en determinadas áreas, presencia de pavimentos de erosión o pequeñas piedras o rocas expuestas a la intemperie)	<input type="checkbox"/>		
Pedestales (raíces de las plantas expuestas, presencia de montículos de tierra)	<input type="checkbox"/>		
Surcos (canales con menos de 30 cm de profundidad)	<input type="checkbox"/>		
Cárcavas (canales con más de 30 cm de profundidad)	<input type="checkbox"/>		
Terracetos (acumulación de material en el sentido del contorno local, material erosionado depositado cuesta abajo en formas de abanico)	<input type="checkbox"/>		
Escaldado (pérdida masiva del horizonte A, escasa o nula presencia de vegetación, presencia de costras por acumulación de sales)	<input type="checkbox"/>		
GRADO DE EROSIÓN			
Insignificante (La evidencia de daño en los horizontes superficiales del suelo no es perceptible y las funciones bióticas se encuentran completamente intactas, hay presencia de erosión de tipo laminar pero es poco evidente)	<input type="checkbox"/>		
Ligeras (Existe alguna evidencia de daño a los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran intactas, hay presencia de erosión de tipo laminar)	<input type="checkbox"/>		
Moderada (Existe evidencia clara de remoción de los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas, hay presencia de erosión en pedestales, surcos y/o terracetos)	<input type="checkbox"/>		
Severa (Los horizontes superficiales han sido completamente removidos y los horizontes sub-superficiales se encuentran expuestos. Las funciones bióticas originales se encuentran ampliamente destruidas y existe erosión en pedestales, surcos, cárcavas y/o terracetos)	<input type="checkbox"/>		
OBSERVACIONES GENERALES			
Presencia de: ganado tala (deforestación) deslizamientos incendios otro: _____			

Anexo 3.7 Formato para la Caracterización de Parcelas de

Escurrimiento

Fecha:	
Descripción General del Sitio	
Clave del Predio:	
Beneficiario:	
Superficie (ha):	
Precipitación promedio anual (mm):	
Precipitación máxima en 24 hrs. (mm):	
Unidad de suelo:	
Uso de suelo	
Estrato de interés	
Práctica observada en campo:	
Práctica reportada en base de datos:	

Técnico responsable:	
----------------------	--

Localización	
Localidad	
Municipio	
Coordenadas de Localización	
X (m)	
Y (m)	
Altitud (msnm)	
Características de la parcela de escurrimiento	
Dimensiones del lote de escurrimiento:	
Pendiente (%)	
Humedad antecedente	
Número de bote:	
Peso de bote con suelo seco:	
Peso de bote con suelo húmedo:	

OBSERVACIONES:

Anexo 3.8 Formato de Muestreo para la determinación de la Erosión

Fecha: _____
_____.

Punto No.

Punto de observación	<input type="checkbox"/>	Identificación de la muestra: _____
Punto de muestreo	<input type="checkbox"/>	Profundidad de muestreo: _____

Datos de ubicación	
Ubicación Administrativa	
Estado: _____ Municipio: _____ Localidad: _____	
Coordenadas geográficas:	Ubicación Hidrológica:
Latitud Norte: _____ Longitud Oeste: _____ Altitud: _____	Región Hidrológica: _____ Región Administrativa: _____ Cuenca: _____ Fisiografía: _____ Geología: _____ Usos de la tierra: _____

Descripción General de la Erosión	
Erosión Hídrica	Erosión Eólica
Forma de Erosión: _____ Grado de Erosión: _____	Forma de Erosión: _____ Grado de Erosión: _____
Limitantes para la producción: _____	Limitantes para la producción: _____
Factor de erosividad de la lluvia (R): _____	Factor de agresividad climática (C): _____

Erosión Hídrica	Erosión Eólica
K: Erosionabilidad del suelo	S: Factor Edáfico
Unidad de suelo: _____ Profundidad del suelo: _____ Estructura: _____ Clase textural: _____ Pedregosidad Superficial (%): _____ Valor K: _____	Calcáreo <input type="checkbox"/> No calcáreo <input type="checkbox"/> Pedregosidad <input type="checkbox"/> Guijarros <input type="checkbox"/> Reacción al HCl: _____ Rocosisdad: <input type="checkbox"/> Tamaño: _____ Forma: _____ Clase textural: _____ Valor S: _____

Erosión Hídrica	
T: Factor topográfico	
Rango de pendiente (%). 0 - 2 <input type="checkbox"/> 2 - 5 <input type="checkbox"/> 5 - 15 <input type="checkbox"/> 15 - 45 <input type="checkbox"/> > 45 <input type="checkbox"/>	
L: Longitud de la pendiente en (m). _____	Valor de LS: _____

Erosión Hídrica	Erosión Eólica
C: Manejo y cobertura vegetal	V: Factor vegetación natural
Tipo de vegetación dominante: _____	Matorral <input type="checkbox"/> Pastizal <input type="checkbox"/>
% de cobertura: _____	Selva <input type="checkbox"/> Bosque <input type="checkbox"/>
Con mantillo <input type="checkbox"/> Sin mantillo <input type="checkbox"/>	Suelo desnudo <input type="checkbox"/>
Cultivo: T <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/>	% de cobertura: _____
Valor de C: _____	Valor V: _____
Manejo de cobertura vegetal: _____	

Erosión Eólica
L: Factor de uso de suelo
Agricultura de temporal
Cultivos anuales <input type="checkbox"/> Cultivos perennes <input type="checkbox"/>
Agricultura de riego
Cultivos anuales <input type="checkbox"/> Cultivos perennes <input type="checkbox"/>
Valor de L: _____

P: Factor prácticas de manejo
Tipos de práctica: _____

Observaciones generales:

Anexo 3.9 Ficha técnica para verificación de uso de suelo y vegetación

IDENTIFICACIÓN	
Clave:	_____
Fecha:	_____
Describió:	_____

LOCALIZACIÓN	
Latitud norte: _____	Estado: _____
Longitud oeste: _____	Municipio: _____
Altitud: _____ msnm	Localidad: _____

DATOS ECOLÓGICOS	
Topografía: _____	Uso del suelo: _____
Pendiente: _____	Suelos: _____
Disturbio: _____	_____

VEGETACIÓN			
Vegetación primaria	Cobertura (%)	Vegetación secundaria	Cobertura (%)
Clasificación de la vegetación: _____			
Observaciones: _____			

AGRICULTURA	
Tipo: _____	Forma de cultivos: _____
Tipo de cultivos: _____	Cultivos establecidos: _____
Clasificación del uso del suelo: _____	
Observaciones: _____	

Anexo 3.10 Formato para la descripción de perfiles de suelo

No de perfil

DATOS GENERALES

Proyecto :	_____
Descrito por:	_____
Fecha:	_____
Localización:	_____

DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Latitud:	Longitud:	altitud:
Relieve: _____		
Drenaje del sitio: _____		
Material parental: _____		
Uso del suelo y vegetación: _____		
Descripción de la vegetación: _____		

Cultivos: _____		
Temporal:	Riego:	Otra:

Fauna: _____	
Especies:	Cantidad:

Condiciones Meteorológicas: _____

Drenaje en el perfil: _____

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

No CAPA	PROFUNDIDAD	HUMEDAD	ESTRUCTURA			TEXTURA	PLASTICIDAD	COLOR	
			TAMAÑO	TIPO	DESARROLLO			SECO	HUMEDO



No CAPA	PROFUNDIDAD	CONSISTENCIA			PERMEABILIDAD	REACCIÓN PH	REACCIÓN HCL	REACCIÓN H ₂ O ₂
		SECO	HUMEDO	SATURADO				



No CAPA	PROFUNDIDAD	PEDREGOSIDAD	POROSIDAD		RAÍCES		TRANSICIÓN A LA SIGUIENTE CAPA
			NÚMERO	TAMAÑO	CANTIDAD	TAMAÑO	



OTRAS CARACTERÍSTICAS

NO CAPA	PROFUNDIDAD	CUTANES							
		MODO DE FORMACIÓN	CANTIDAD	CONTINUIDAD	ABUNDANCIA	TAMAÑO	COLOR	FORMA	COMPOSICIÓN

Anexo 3.11 Formato para el egistro del monitoreo de parcelas de escurrimiento

Clave del Sitio: _____ Estrato: _____ Núm. de parcela: _____

Técnico responsable: _____

FECHA	HORA	CONDICIONES CLIMÁTICAS	PRECIPITACIÓN	ALTURA EN EL TINACO		NO. DE BOTE	PESO DE BOTE CON SEDIMENTOS	PESO DE BOTE CON AGUA LIMPIA
				1	2			

OBSERVACIONES:

Anexo 3.12 Formato para la determinación del índice de sobrevivencia de la reforestación

NO. DE SITIO	COORDENADA EN X	COORDENADA EN Y	INDIVIDUOS SEMBRADOS (mi)	INDIVIDUOS VIVOS (ai)	ALTURA PLANTA	ESPECIE
1		0				
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

