

**Manual de instalación de barreras con geotextil “silt fence”
para la medición de la erosión en parcelas experimentales**



Figura E. Erosión atrapada por el silt fence en parcela Oeste. (Prado, 2007).

En relación a las Parcela Este, cuenta con un área de 0.043 Ha con un rango de pendiente del 30-50%, al igual que la Parcela Oeste se encontraba recién pre-

parado el terreno y cultivada de coliflor con plántulas recién transplantadas. La cobertura no alcanza el 5% a la hora de caer la lluvia, lo que produce una erosión de 17118.66 kg/Ha en 4 días (4279.67 kg/Ha/día) en la parcela Este, (Ver Figura F y Cuadro C).



Figura F. Erosión atrapada por el geotextil en parcela Este. (Prado, 2007).

Cuadro B. Datos de precipitación y erosión obtenidos en la Parcela Oeste.

Día	Precipitación (mm)	Parcela Oeste		
	Setiembre 2006	Erosión (kg)	Área (Ha)	Erosión (kg/Ha)
18	48,00	0,00	0,097	0,00
19	32,30	28,35		293,78
20	10,70	672,91		6973,16
21	1,00	29,60		306,74

Cuadro C. Datos de precipitación y erosión obtenidos en la Parcela Este.

Día	Precipitación (mm)	Parcela Este		
	Setiembre 2006	Erosión (kg)	Área (Ha)	Erosión (kg/Ha)
18	48,00	0,00	0,043	0,00
19	32,30	75,20		1732,72
20	10,70	667,75		15385,94
21	1,00	0,00		0,00

En ambos casos, luego de las fuertes precipitaciones, los terrenos presentan grandes surcos de escorrentía, lo que ocasionó la destrucción de los surcos de siembra, se observan las raíces de las plantas de coliflor y semillas de papa ex-puestas, plantas que fueron arrastradas por el agua y se perdieron. Todo lo anterior ocasiono no solo pérdidas en producción que se reflejan a la hora de la cosecha del producto, sino también, originó pérdida por el costo en mano de obra, debido a que se tuvo que reconstruir los surcos de la parcela y volver a sembrar todas las plantas que se encontraban fuera del suelo.



PROYECTO MICROCUENCA PLANTÓN-PACAYAS

Documento Técnico No.4
Área Suelo y Aguas

MANUAL DE INSTALACIÓN DE BARRERAS CON GEOTEXTIL “SILT FENCE” PARA LA MEDICIÓN DE LA EROSIÓN EN PARCELAS EXPERIMENTALES

Elaborado por:

Ing. Rodolfo Prado Segura

(Escuela Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica)

Ing. José Francisco Aguilar Pereira

(Escuela Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica)

Colaboradores

Ing. Esteban Loría Solano

(Depto. Servicios Técnicos, INTA)

Ing. Alban Rosales Ibarra

(Depto. Servicios Técnicos, INTA)

San José, Costa Rica

Diciembre, 2007

INDICE

1. Introducción.....	3
2. Objetivo.....	3
3. Línea base de información previa a la instalación	3
3.1. Datos de precipitación.....	3
3.2. Delimitación del área de estudio y características del terreno	4
3.3. Cobertura del terreno.....	4
3.4. Seguimiento al desarrollo del cultivo.....	5
4. Metodología de instalación.....	5
4.1. Delimitación de las áreas de estudio.....	5
4.2. Ubicación sitio de instalación.....	6
4.3. Excavación de la fosa de instalación.....	6
4.4. Colocación del geotextil en la fosa	7
4.5. Instalación de las estacas	8
4.6. Fijación del geotextil a las estacas.....	8
4.7. Correcciones finales.....	9
4.8. Seguimiento y cuantificación de la erosión.....	10
4.9. Recolección de las muestras.....	11
5. Referencias.....	12
6. Agradecimientos	12

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Características del geotextil.....	13
Anexo 2: Hojas de campo para el levantamiento topográfico	14
Anexo 3: Hojas de campo para la cuantificación de la erosión.....	15
Anexo 4: Estudio de caso: Microcuenca Plantón-Pacayas	16

Ubicación e instalación de la barrera de geotextil

Una vez analizados los cursos de agua dentro de la parcela con ayuda del DEM y definida la estrategia a seguir, procedemos a transportar todos los materiales al sitio para iniciar con la instalación de la barrera. Este procedimiento de instalación debe realizarse según las especificaciones que se presentan en el **“Manual de instalación de barreras de geotextil “silt fence” para la medición de la erosión en parcelas experimentales”**.



Figura D. Proceso de instalación de la barrera de geotextil, (Prado, 2007).

Resultados obtenidos

Se realizaron visitas periódicas al campo para observar y realizar anotaciones referentes a cambios en la cobertura y la acción de la lluvia. Los datos de precipitación se registraron por medio de un Pluviómetro marca CAMPBELL SCIENTIFIC, INC modelo TE525WS, de 8” de diámetro, que almacena datos de precipitación cada 5 minutos. El Pluviómetro se instaló en la parte más alta que se ubica entre la Parcela Oeste y Parcela Este, con lo que los datos registrados servirán para el análisis de ambas parcelas.

Entre los resultados de precipitación más relevantes obtenidos durante la investigación, se presentan tres eventos importantes que se registraron entre los días 18-21 de setiembre del 2006; donde se reporta una precipitación total de **91.7 mm en 4 días** (22.925 mm/día en promedio), con un máximo de 48,00 mm reportado el día 18 de setiembre.

La Parcela Oeste tiene un área total de 0.097 Ha con una pendiente entre el rango de 30-50% y se encuentra cultivada con papa para semilla, con una cobertura vegetal de 5% donde apenas se observan pocas plantas germinando. El terreno se encuentra muy suelto y con poca estructura; el mismo fue sometido a una preparación con arado por medio de tracción animal. Estas lluvias ocasionaron en la Parcela Oeste una erosión total de **7573.68 kg/Ha** durante los 4 días de precipitación (**1893.42 kg/Ha/día**). La Figura E presenta la barrera llena de sedimento y en el Cuadro B, se detallan los diferentes datos obtenidos a lo largo de los 4 días.

Modelo de elevación digital

Utilizando el programa AutoCAD para la ubicación de los puntos levantados y posteriormente con el programa ArcVIEW 3.1 realizamos el DEM.

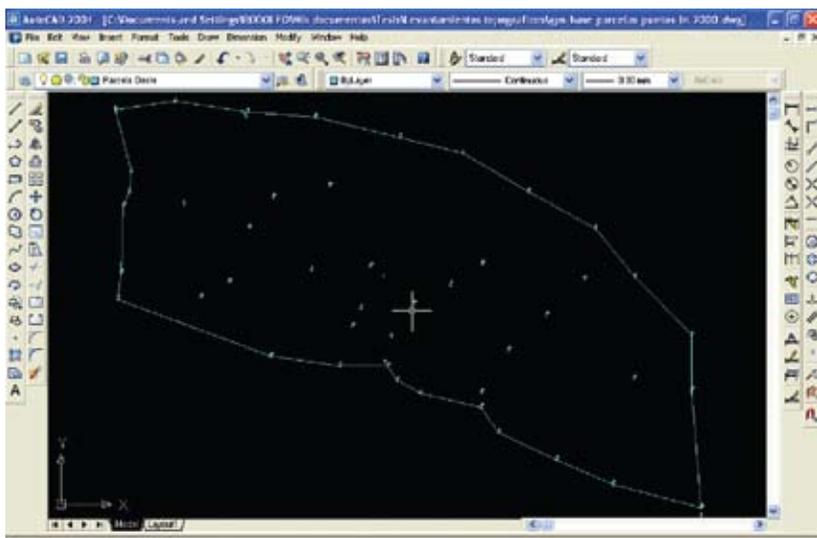


Figura B. Levantamiento topográfico en AutoCAD.

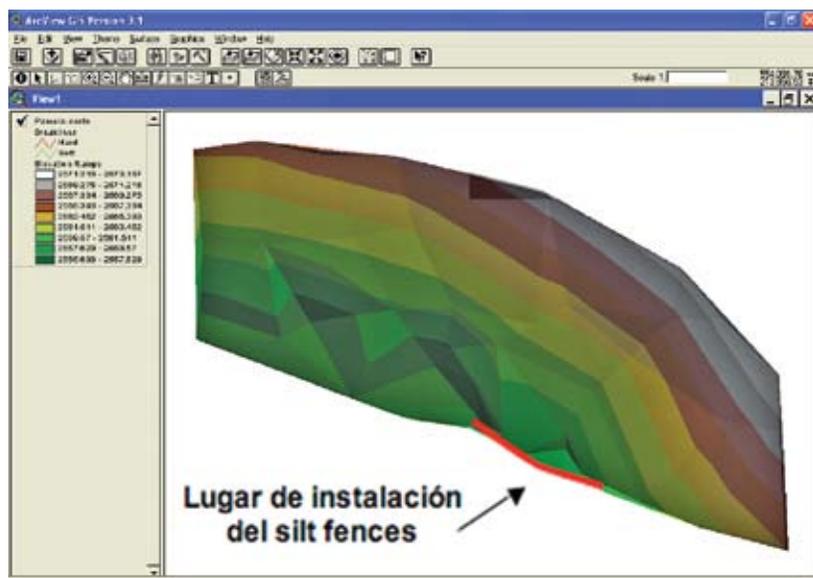


Figura C. Modelo de elevación digital de la parcela Oeste.

1. Introducción

Es difícil tener una dimensión real de la cantidad de toneladas de suelo que se desplaza anualmente en todo el mundo en forma de erosión por la mala utilización de las tierras o la deforestación de miles de hectáreas de bosques. Las repercusiones sobre el equilibrio ecosistémico y sus efectos reconocidos como parte de un todo que es el *Cambio Climático*, han motivado a que Organismos Internacionales y Autoridades de los países se den a la tarea de buscar la forma de *¿cómo mitigar los procesos de erosión?*, basado en prácticas y manejos agro-ambientalistas de cultivo combinado con medidas estructurales. En este sentido, el aplicar estas medidas tiene su trasfondo de efectividad para lo cual hay que tener claro los efectos desde un punto de vista cuantitativo, dándole un valor al suelo dado su mitigación y reconociendo la inversión en las medidas efectuadas.

Esta metodología se presenta como una alternativa práctica y económica para la investigación y a la vez se convierte en una herramienta de seguimiento para la demostración de los procesos involucrados en la erosión, junto a los efectos potenciales que se presentan al implementar técnicas de conservación en los terrenos que favorecen el desarrollo sostenible.

Para llevar a cabo este procedimiento, es necesario contar con una serie de insumos básicos de información que delimitan adecuadamente el área de estudio y con ellos se busca llevar de la mano no solo la adecuada instalación del equipo, sino se insta a analizar las variables a considerar y que intervienen en los procesos erosivos. Entre ellas podemos mencionar: *delimitación del área de estudio, características del terreno, cobertura vegetal, manejo del suelo, pendiente del terreno e intensidad de lluvia.*

2. Objetivo

Esta publicación tiene el propósito de presentar un manual que sirva de guía para *instalar barreras de geotextil tipo "silt fence" en la medición de la erosión en parcelas experimentales.* El manual está diseñado para que la técnica se presente de una

forma sencilla, mostrando su flexibilidad y versatilidad de aplicación, además de las consideraciones para su ubicación y sistema de registro. La metodología puede ser utilizada por ingenieros, extensionistas o investigadores; por ejemplo, como herramienta demostrativa para productores o estudiantes con fines inductivos que permitan promover prácticas de conservación de suelos y aguas, o bien para fines de investigación; como por ejemplo, monitoreo y evaluación de los procesos erosivos en espacio y tiempo por el impacto de lluvia, transporte y sedimentación del suelo.

3. Línea base de información previa a la instalación

3.1. Datos de precipitación

La precipitación es la principal responsable de la erosión. Los terrenos agrícolas presentan ciertas condiciones espacio-temporales propias de la dinámica que conlleva la agricultura y es solo en algunas de estas etapas que se presenta una mayor vulnerabilidad a la erosión hídrica, producto del desprendimiento, transporte y sedimentación de las partículas de suelo.

Los datos de lluvia son indispensables a la hora de llevar a cabo un estudio de esta índole, ya que es necesario conocer cuanta es la cantidad e intensidad de la precipitación (en milímetros de lluvia) que recibe el terreno y cuál es el comportamiento de éste al encontrarse bajo condiciones que sobrepasan su capacidad de infiltración. La lluvia es variable en el tiempo y durante un mismo evento las intensidades de lluvia, es decir, la lámina de lluvia por unidad de tiempo pueden variar de un minuto a otro, dando lugar a diferentes niveles de energía. Esta información de precipitación ya sea registrada como precipitación total, intensidad de lluvia o bien como energía, quedará según el grado de investigación y seguimiento de la parcela, ya que el nivel de inferencia que se quiera llegar a tener puede relacionar la masa de suelo erosionado y depositada sobre la barrera de geotextil con el área de la parcela de estudio.

Por tanto, para cuantificar la precipitación que se origina en un sitio específico, se puede utilizar instrumentos de medición tales como el pluviómetro o el pluviógrafo, que

Anexo 1. Especificaciones técnicas del geotextil tejido del tipo "silt fence".

permiten registrar los valores de precipitación originados a lo largo del tiempo. Por otra parte, si no se cuenta con los recursos ni el conocimiento adecuado para la adquisición y manejo de este tipo de equipos; basta con utilizar un recipiente calibrado donde coleccionar el agua de lluvia y medir la altura de la lámina que queda sobre el fondo del recipiente.

Se debe llevar un registro de todos los eventos de precipitación presentes a lo largo del tiempo que dure el estudio, ya que con ello identificaremos las intensidades y efectos que ocasiona en la parcela de estudio.

3.2. Delimitación del área de estudio y características del terreno

La primera parte y más importante a la hora de realizar la instalación del geotextil, es contemplar la geomorfología del área de estudio para definir los aspectos del manejo de las aguas, con el propósito de establecer el área efectiva de aporte y poder relacionar la cantidad de suelo erosionado con una unidad de área establecida. En este sentido para asegurar el área de aporte es necesario establecer técnicas para desviación de aguas que provienen de otras zonas aledañas.

Es importante hacer anotaciones vinculantes en esta etapa como tomar consideraciones de las características del suelo (textura, estructura, mecánica, infiltración), las cuales estarían definidas según el fin del estudio, manejo del suelo (uso de rotador, arado de cincel, labranza conservacionista), configuración y forma de siembra del cultivo (surcos sobre curvas de nivel, pendiente del surco), signos visibles que muestren que es una zona vulnerable a la presencia de erosión por la acción de la lluvia (hilos de escorrentía, cárcavas, derrumbes ó deslizamientos de terreno, cambios de nivel o terrazas muy marcadas en el terreno, pedestales, etc.).

Esta información debe generar una base de datos que permita producir un historial del área de estudio. Esta puede estar conformada por fotografías del sitio durante las diferentes etapas de preparación del terreno y desarrollo del cultivo; paralelo a una bitácora donde se especifica con fechas todas y cada una de las actividades realizadas diariamente.

Para lograr esta fase se procederá al levantamiento taquimétrico con el fin de establecer en detalle la geomorfología del área de aporte, detallando sus límites y analizando a su vez las áreas externas de aporte, cuantificando el caudal de escorrentía para establecer las medidas requeridas y adecuadas para su desvío. El levantamiento topográfico se puede realizar con un teodolito o estación total y producir datos con el fin de generar información detallada de la topografía del terreno. El Anexo 2 muestra la hoja de campo utilizada para la toma de datos leídos del teodolito. La Figura 1 presenta la forma como se deben realizar las lecturas con el teodolito a la hora del levantamiento de la parcela.

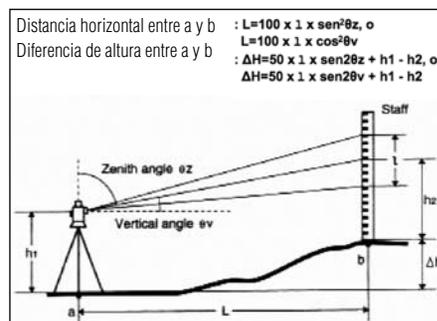


Figura 1. Descripción de la toma de datos con teodolito (Manual de usuario, Teodolito Digital Electrónico SOKKIA, modelos DT) (Modificado por Prado, 2007).

Con la ayuda de algún programa de SIG (Sistema de Información Geográfico) se generan los puntos levantados manualmente, posteriormente, se les asignan sus respectivos valores de coordenadas X, Y, Z; para con ello generar las curvas de nivel y finalmente desarrollar el DEM (Modelo de Elevación Digital) de la respectiva parcela experimental.

3.3. Cobertura del terreno

El monitoreo continuo del porcentaje de cobertura vegetal del terreno en las diferentes etapas del cultivo, es uno de los factores mas importantes a tomar en cuenta en la medición de la erosión, debido a las repercusiones que esta tiene sobre la tasa de erosión.

El Cuadro A presenta la forma como queda debidamente llena la hoja de campo del levantamiento topográfico. En sitio se toma lectura de las casillas azimut, Hsup, Hmed, Hint y < vertical; el resto de las casillas se calculan posteriormente con una hoja electrónica de cálculo, utilizando las ecuaciones que se presentan en la Figura 1 del presente manual. Los valores de elevación se calculan al conocer la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) con la ayuda de un GPS de un punto de la parcela.

Cuadro A. Hoja de levantamiento topográfico de la parcela Oeste.

Punto	Azimuth (°)	Hsup	Hmed	Hint	< vertical (°)	ε	L	Δh	Elevación
1	13,93	113,5	112,0	110,0	71,25	0,04	3,138	1,155	2557,855
2	335,70	128,5	125,0	121,2	86,53	0,07	7,273	0,401	2557,101
3	321,06	77,5	70,0	62,5	82,40	0,15	14,738	2,476	2559,176
4	314,66	112,0	100,0	87,5	81,33	0,25	23,943	3,861	2560,561
5	307,88	116,5	100,0	84,0	83,24	0,33	32,050	4,007	2560,707
6	303,43	120,0	100,0	81,0	83,91	0,39	38,561	4,325	2561,025
7	306,63	120,5	100,0	80,0	82,47	0,41	39,805	5,470	2562,170
8	312,79	124,0	100,0	76,0	79,11	0,48	46,286	9,116	2565,816
9	320,96	122,0	100,0	78,0	77,34	0,44	41,887	9,618	2566,318
10	331,00	119,5	100,0	80,5	73,04	0,39	35,681	11,092	2567,792
11	330,38	119,0	100,0	81,0	74,46	0,38	35,271	10,021	2566,721
12	343,89	118,0	100,0	82,5	71,16	0,36	31,798	11,059	2567,759
13	3,88	117,0	100,0	83,5	66,25	0,34	28,067	12,558	2569,258
14	20,49	117,5	100,0	83,0	63,83	0,35	27,787	13,868	2570,568
15	40,31	118,0	100,0	83,0	63,03	0,35	27,801	14,357	2571,057
16	57,93	119,5	100,0	81,0	64,22	0,39	31,216	15,289	2571,989
17	71,55	120,5	100,0	80,5	65,48	0,40	33,112	15,312	2572,012
18	85,11	123,0	100,0	77,5	67,21	0,46	38,675	16,457	2573,157
19	95,48	122,0	100,0	78,5	70,67	0,44	38,734	13,798	2570,498
20	114,94	123,5	100,0	78,0	79,03	0,46	43,853	8,710	2565,410
21	93,98	117,5	100,0	82,5	71,19	0,35	31,361	10,893	2567,593
22	67,79	116,0	100,0	84,0	66,85	0,32	27,053	11,779	2568,479
23	74,21	111,5	100,0	88,0	71,25	0,24	21,072	7,363	2564,063
24	118,47	116,5	100,0	83,0	80,56	0,34	32,599	5,629	2562,329
25	45,11	110,0	100,0	89,5	66,44	0,21	17,224	7,722	2564,422
26	342,37	112,5	100,0	87,5	73,59	0,25	23,005	6,984	2563,684
27	40,90	107,5	100,0	92,5	66,44	0,15	12,604	5,705	2562,405
28	85,19	108,0	100,0	91,5	76,14	0,17	15,553	4,048	2560,748
29	119,97	113,0	100,0	87,5	81,10	0,26	24,890	4,108	2560,808
30	122,20	108,5	100,0	91,5	83,96	0,17	16,812	1,990	2558,690
31	108,03	106,5	100,0	93,5	82,49	0,13	12,778	1,894	2558,594
32	26,58	104,5	100,0	95,0	66,74	0,10	8,018	3,657	2560,357
33	351,08	106,5	100,0	93,5	74,25	0,13	12,042	3,606	2560,306
34	325,56	113,0	100,0	87,0	78,11	0,26	24,895	5,454	2562,154
35	300,58	119,5	100,0	81,0	85,33	0,39	38,245	3,336	2560,036
36	288,50	117,5	100,0	82,5	89,76	0,35	34,999	0,358	2557,058
37	282,96	117,5	100,0	83,0	90,31	0,35	34,499	0,021	2556,721
38	289,00	112,0	100,0	87,5	90,55	0,25	24,498	-0,024	2556,676
39	272,12	107,0	100,0	92,5	94,37	0,15	14,416	-0,891	2555,809
40	316,96	103,0	100,0	97,0	90,59	0,06	5,999	0,148	2556,848
41	264,09	103,0	100,0	97,0	102,02	0,06	5,740	-1,012	2555,688
42	296,71	111,5	100,0	89,5	88,14	0,22	21,977	0,924	2557,624
43	115,84	106,5	100,0	93,0	84,24	0,14	13,364	1,558	2558,258
44	132,77	103,0	100,0	97,0	95,13	0,06	5,952	-0,325	2556,375
45	147,98	101,5	100,0	98,5	103,76	0,03	2,830	-0,483	2556,217
46	158,20	100,5	100,0	99,5	121,47	0,01	0,727	-0,235	2556,465

Anexo 4: Estudio de caso

Proyecto Microcuenca Plantón-Pacayas, Subcuenca del río Birrís, Cartago, Costa Rica.

Ubicación de áreas de estudio

Se identificaron 2 áreas de estudio por medio de visitas a los sitios susceptibles a erosión y que cumplieran con los requerimientos de pendiente y uso de la tierra, necesarios para el análisis. Estas se localizan en la parte alta de la micro-cuenca Plantón-Pacayas ubicada específicamente en la provincia de Cartago, en el cantón de Oreamuno; entre las coordenadas 09°54 de latitud norte y 83° 48 de longitud oeste. Se instalan dos parcelas experimentales dentro de la finca del Sr. Alejo Granados, agricultor de la zona y quien permitió la instalación de estas barreras en dos de sus parcelas, las que de aquí en adelante llamaremos: la Parcela Oeste y la Parcela Este.

Levantamiento topográfico

Una vez definidas las áreas de trabajo, se procede al levantamiento topográfico del terreno. La Figura A presenta un croquis a mano alzada elaborado durante el levantamiento topográfico de la Parcela Oeste. En él se detalla tanto los contornos de la parcela como los puntos levantados; además de anotar cualquier característica o dato relevante que sea necesario conocer a la hora de analizar el sitio.

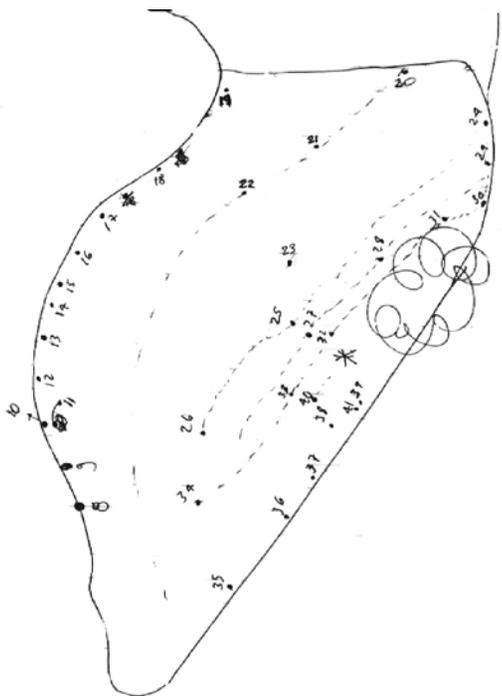


Figura A. Croquis del levantamiento topográfico, Parcela Oeste, (Prado, 2007).

La cobertura es la única protección con la que cuenta el terreno para poder mitigar la energía que ocasiona el impacto de las gotas de lluvia durante un evento de precipitación. El suelo desnudo presenta una vulnerabilidad muy alta a la erosión, ya sea hídrica o eólica. Caso contrario ocurre con un terreno protegido en un 100% por una cobertura vegetal, lo que permitirá no solo la interceptación de las gotas de lluvia como, además, un descenso suave del agua hacia el suelo, lo que facilita la infiltración y disminuye el impacto de la gota de lluvia y la escorrentía sobre el suelo desnudo.

3.4. Seguimiento al desarrollo del cultivo

Es fundamental una buena comunicación entre la persona que llevará a cabo el estudio y la que realiza las diferentes prácticas culturales al terreno. Con esto se busca que ambas partes se encuentren comprometidas una con otra, para que comprendan que todas y cada una de las diferentes actividades que realizan, afectará directamente el trabajo del otro. Lo más importante que se debe tener en cuenta es el beneficio que se obtendrá con los resultados, al ser el ambiente y el productor, los beneficiados.

La preparación del terreno, el período de siembra y cosecha, el uso de agroquímicos, la implementación de prácticas conservacionistas, el tipo de cultivo, etc., es información básica que se debe conocer en referencia al manejo del cultivo. Toda esta información debe ser documentada en bases de datos para posteriormente ser analizada y obtener resultados que nos permitan concluir cuál es la situación que se está presentando en la zona donde se lleva a cabo el trabajo.

4. Metodología de instalación

4.1. Delimitación de las áreas de estudio

Seleccionado el sitio que reúne las características requeridas y una vez elaborado el levantamiento topográfico del mismo, se procede a analizar las variables topográficas e hidráulicas que presenta el terreno, para definir el lugar donde se realizará la instalación del geotextil. Durante esta fase se debe programar; antes de la instalación, una visita a la zona para coordinar todos los detalles que conlleva

este trabajo y conversar con el propietario de la parcela acerca de las diferentes labores a seguir desde el momento en que se inicie con la instalación de la barrera y posteriormente durante el monitoreo continuo y recolección de datos obtenidos en el sitio.

Una de las primeras actividades que se debe llevar a cabo, es asegurarse que la parcela de trabajo se encuentre bien delimitada para impedir el ingreso de las aguas descontroladas de escorrentía al área de estudio y de esta forma evitar la toma de datos que no corresponda a la definida. En caso que no se logre esta demarcación bien definida, se deben realizar los trabajos de delimitación que sean necesarios para el encauzamiento adecuado de las aguas. Es importante recalcar que estas aguas deberán ser transportadas de forma que no ocasionen daños a las zonas aledañas. En la Figura 2 se muestran diferentes tipos de delimitaciones que se pueden aplicar a las parcelas experimentales.

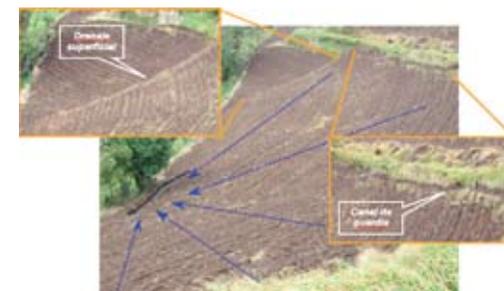


Figura 2. Ejemplo de delimitaciones realizadas a la parcela de estudio situada en la parte alta de la Microcuenca Plantón-Pacayas, Cartago, Costa Rica, (Prado, 2007).

El ejemplo que se presenta corresponde a una parcela recién preparada para la siembra de papa para semilla. Se observa claramente las obras de delimitación y conducción de aguas, a las cuales debe darse un mantenimiento preventivo continuo, lo que puede prevenir la ruptura o mal funcionamiento de ellos y así evitar una toma de datos incorrecta.

Existen diferentes tipos de obras hidráulicas de fácil construcción que se pueden utilizar para la conducción de las aguas, para evitar el ingreso al área de trabajo y que aumente el riesgo de ocasionar erosión

debido a la velocidad con la que se conduce el agua sobre la pendiente. Entre las diferentes obras podemos mencionar: canales de guardia, vías de agua empastadas, terrazas de desagüe, acequias de ladera, canales de infiltración, entre las más comunes. La Figura 3 muestra otros ejemplos de fácil implementación.



Figura 3. Otros ejemplos de delimitación en parcelas experimentales, (Prado, 2007).

4.2. Ubicación del sitio de instalación

El sitio de instalación del geotextil dentro del área de estudio se definirá a partir de la información que proporciona el levantamiento topográfico. Este sitio se ubicará en la parte baja de la parcela, donde está debidamente delimitada sus aguas para garantizar el área de intersección de las aguas que escurren sobre el terreno al sitio de instalación.

Una vez identificado este sitio, se debe marcar por medio de estacas pequeñas o una cuerda la línea donde se excavará el canal para posteriormente colocar el geotextil; como se muestra en la Figura 4. Se debe

tener el cuidado de realizar el trazado de forma que la cuerda este lo más recta posible, con el objetivo de asegurar que la concentración del flujo de escorrentía sobre la barrera será lo más uniforme posible, para efectos de estabilidad en momentos de carga hidrostática debido a la combinación de sedimentos y agua.

Es importante mencionar que la función de la barrera de geotextil "silt fence" es de compactación de sedimentos; es decir, promover velocidad cero en el agua de escorrentía que viene con partículas de suelo y con ello hacer que pase el agua y el sedimento se deposite. En este sentido, el geotextil no se debe utilizar como un sistema de conducción del agua; para ello son las diferentes obras de delimitación y conducción que se realizarán dentro de la parcela de trabajo.



Figura 4. Ubicación del sitio de instalación, (Prado, 2007).

4.3. Excavación de la fosa de instalación

El proceso de instalación del geotextil se inicia con la excavación de una fosa donde se colocará el geotex-

Anexo 3. Hoja de campo para la cuantificación de erosión in situ.

SILT FENCE : HOJA DE CAMPO

CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Fecha: _____ Nombre: _____
Localización: _____
Descripción: _____

# Balde	1	2	3	4
Peso (kg)				

Muestra	# Balde	Balde + Sedimentos Peso 1 (kg)	Balde Peso 2 (kg)	Sedimentos Peso 3 (kg)	Muestra de suelo
1	1				
2	2				
3	3				
4	4				
5	1				
6	2				
7	3				
8	4				
9	1				
10	2				
11	3				
12	4				
13	1				
14	2				
15	3				
16	4				
17	1				
18	2				
19	3				
20	4				
21	1				
22	2				
23	3				
24	4				
25	1				
26	2				
27	3				
28	4				
29	1				
30	2				
31	3				
32	4				

Observaciones: _____

Anexo 2. Hoja de campo para el levantamiento topográfico del sitio.

HOJA DE CAMPO
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL AREAS DE ESTUDIO

Fecha: _____ Nombre: _____
Localización: _____
Descripción: _____
Altura del instrumento: _____ m Coordenadas: N _____
W _____

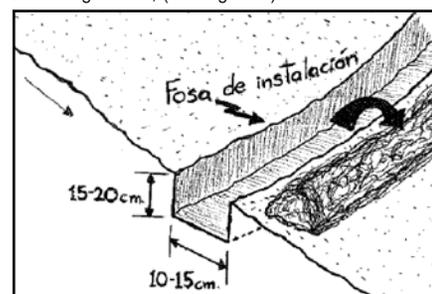
Punto	Azimuth	Hsup	Hmed	Hint	< vertical
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					

til para ser fijado al suelo. Esta fosa debe ir a todo lo largo de la parte baja de la parcela donde se definió el punto donde se colectará la mayor cantidad de es-correntía. Las dimensiones de la fosa deben ser de **15 cm - 10 cm de ancho por 15 cm. - 20 cm de profundidad**. Esta gaveta deber ser ex-cavada con herramientas manuales de fácil transporte tales como pala, pico, palín, azada, etc.

El material que va siendo removido, debe colocarse al lado del declive (parte más baja del terreno), para ser utilizado posteriormente en rellenar la fosa y en-terrar el geotextil, (Ver Figura 5).



Figura 5. Dimensiones de la fosa de instalación del geotextil, (Prado, 2007).



4.4. Colocación del geotextil en la fosa

Coloque el geotextil a lo largo de la fosa excavada. Introduzca la parte inferior del geotextil de la forma como se muestra en la Figura 6 (a). Posteriormente, se procede a rellenar el agujero con la tierra excavada y se compacta de manera que quede bien sujeto al terreno; esto es necesario para evitar que sea sacado por el agua. En este punto el geotextil se coloca del lado arriba de la pendiente, para facilitar tanto la compactación de la tierra como la colocación de las estacas de madera y de esta forma evitar ocasionarle algún tipo de daño o rasgadura al geotextil, manteniéndolo lejos del área de trabajo.

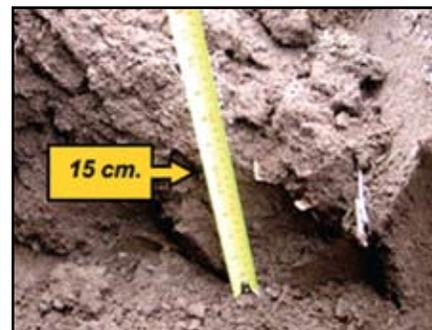
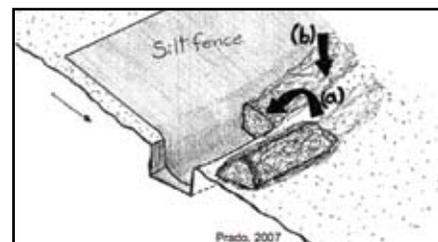


Figura 6. Colocación del geotextil dentro de la fosa de instalación, (Prado, 2007).

El geotextil debe quedar en este momento enterrado cerca de **25 cm** y con el resto de superficie hacia arriba del terreno.

4.5. Instalación de las estacas

Las estacas de madera se cortarán de **80 cm – 100 cm**. Estas deben colocarse a una distancia de **30 cm** hacia abajo (siguiendo la pendiente) de la fosa donde se enterró el geotextil. Las estacas que se van a utilizar deben ser de madera dura o semidura curada para que su vida útil sea duradera, ya que se encontrarán expuestas a las inclemencias del tiempo, ver Figura 7.

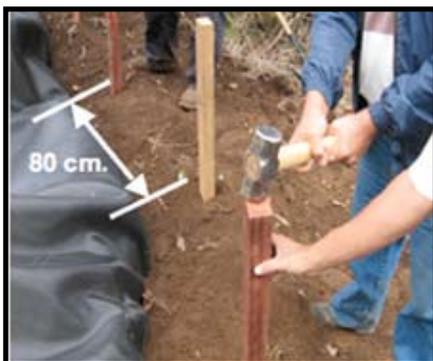
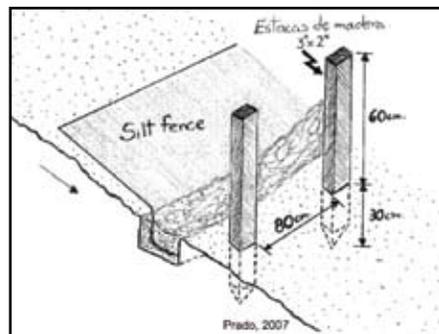


Figura 7. Colocación de las estacas que soportarán el geotextil, (Prado, 2007).

La estaca se entierra entre **30 cm – 40 cm**, dependiendo de los requerimientos que se observen en el campo en relación con el grado de compactación que presenta el terreno; lo que se debe asegurar es que las estacas queden muy bien enterradas en el suelo para evitar la caída del equipo. Las estacas se clavarán por medio de un mazo o martillo de mano; deberán estar separadas a una distancia de **80 cm – 120 cm**. Esta separación dependerá básicamente del tamaño de la parcela y de la pendiente de la misma (a mayor área y mayor pendiente, las estacas deberán ir a menor distancia).



4.6. Fijación del geotextil a las estacas.

Para sujetar el geotextil a las estacas, se puede realizar por medio de tres métodos diferentes. Las tres formas de sujeción son: por medio de grapas, con gasas plásticas o clavos con arandelas plásticas (Ver Figura 8). Cualquiera de los métodos es de fácil aplicación, pero la utilización de las grapas se presenta como la mejor opción, ya que con esta práctica disminuimos el daño que se ocasiona al geotextil, (a diferencia de utilizar gasas plásticas, donde se debe romper el geotextil) y se reduce el efecto de golpear y debilitar las estacas ya enterradas, como es el caso de utilizar clavos con arandelas de plástico.

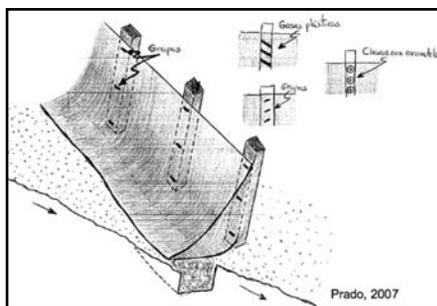


Figura 8. Diagramas de diferentes formas de sujeción del geotextil a las estacas.

El geotextil que se encuentra sobre el terreno se voltea hacia las estacas de madera y debe asegurarse que el que permanece sobre el terreno se encuentre bien ajustado, para evitar la formación de “bolsas” en la parte

Anexo 1: Características del geotextil tipo “silt fence”

- Producto: Geotextil tejido elaborado a partir de cintas (no de filamentos) de polipropileno estabilizado contra rayos UV.
- Fabricante: AMOCO
- Modelo: PROPEX 1198
- Dimensiones / rollo: 0,91 m x 137,35 m
- Área: 125,00 m²

PROPIEDADES	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	SILT FENCE
FÍSICAS			
Resistencia a la Tracción “Grab” (L/T)	ASTM-D-4632	N	1700/1020
Elongación a la Tracción “Grab”	ASTM-D-4632	%	18
Resistencia al Reventado “Mullen”	ASTM-D-3786	kPa	3400
Resistencia a la Perforación	ASTM-D-4833	N	560
Resistencia al Desgarre Trapezoidal	ASTM-D-4533	N	400
Resistencia a los Rayos Ultravioleta	ASTM-D-4355	% @ 500hrs	90
HIDRÁULICAS			
Permisividad	ASTM-D-4491	sec-1	0,5
Flujo del agua	ASTM-D-4491	l/sec/m ²	35
Abertura Aparente de Poros (AOS)	ASTM-D-4751	mm	0.425

Lugares donde se puede adquirir el geotextil tejido del tipo “silt fence” en Costa Rica:

- Servicios de Ingeniería Geosintética S.A, Tel: 231-4238 / Fax: 290-2118.
- Durman Esquivel S.A, Tel: 436-4700 / Fax: 436-4800.
- MACCAFERRI, Tel: 244-6090 / Fax: 224-1695.



Figura 14. Muestras de suelo y secado en horno.

5. Referencias

Cubero, D. **Manual de manejo y conservación de suelos y aguas**, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Segunda Edición, Editorial UNED, Costa Rica, 1996.

FAO – **Erosión en América Latina**, Chile, 1994. <http://www.fao.org/docrep/T2351S/T2351S00.HTM>

Gavande, S. – **Física de suelos. Principios y aplicaciones**, Primera Edición, Editorial LIMUSA, México DF, 1987.

Hudson, N.W. – **Medición sobre el Terreno de la Erosión y de la Escorrentía (Boletín de Suelos de la FAO)**, FAO, Roma, 1997.

Ibáñez, J.J. - **Dificultades para cuantificar la erosión del suelo**, España, 2006 <http://weblogs.madrinasd.org/universo/archive/2006/03/18/16094.aspx>

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) – **Plan de Manejo de la Cuenca del río Reventazón**. San José, Costa Rica, 2000. http://www.grupoice.com/esp/ele/manejo_cuencas/reven/document.html

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (IN-TA) – **Proyecto Plantón-Pacayas: Boletín Informativo**, Año 1, No 1, San José, Costa Rica, 2005.

Morales, R. – **Muros, taludes y terraplenes de suelo reforzado: Control de erosión**, México.

Robichaud, P. y R. Brown – **Silt Fences: An Economical Technique for Measuring Hillslope Soil Erosion**, Forest Service, USDA. United States, 2002.

Vahrson, W.G. – “El Potencial Erosivo de la Lluvia en Costa Rica”, **Agronomía Costarricense**, Costa Rica, Vol. 14 (1), 1990.

6. Agradecimiento

A todas las personas que de una u otra forma se vieron involucradas en el Proyecto Plantón-Pacayas; liderado por el Ing. Carlos Hidalgo Ardón, MSc, que durante la realización de este trabajo aportaron su grano de arena con el fin de que este manual fuera posible.

Un agradecimiento especial para el Sr. Alejo Granados productor de la zona de San Pablo; Ing. William Garcia del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE); Ing. Roberto Monge, compañero de la Universidad de Costa Rica (UCR); Ing. Alberto Hernandez (INTA-Cartago), los compañeros del ASA- Pacayas, la Asociación Costarricense de Ciencias del Suelo y a la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica.

adyacente al suelo, lo que podría dificultar el recorrido del agua sobre la barrera. Primero se asegura que el terreno que servirá de lecho al geotextil se encuentre bien nivelado y que no haya terrones o montículos que favorezcan la formación de estas “bolsas”; aparte que esta porción del suelo debe tener una pendiente adecuada para favorecer la sedimentación en la parte interna de la barrera, (ver Figura 9).



Figura 9. Nivelación del terreno bajo el geotextil y estirarlo para colocar sobre las estacas, (Prado, 2007).

Posterior al proceso de nivelación, se pasa a la parte de fijación del geotextil a las estacas. En esta parte lo primordial es asegurarse que la barrera quede bien ajustada y seguidamente proceder a grapar el geotextil a las estacas por medio de una grapadora de mano. Se aconseja colocar las grapas de 8 mm (hasta 13 mm) a una distancia de 15 cm. – 20 cm. una de otra, para asegurar la colocación de tres grapas por estaca (como mínimo); importante recalcar que las grapas se deben colocar diagonalmente para abarcar un mayor número de fibras horizontales y disminuir el riesgo de rasgaduras en el geotextil, (ver Figura 10).



Figura 10. Colocación de las grapas para la fijación del geotextil a las estacas, (Prado, 2007).

4.7. Correcciones finales.

En la etapa final de la instalación de las barreras de geotextil es muy importante evitar que el terreno suelto, que se encuentre en las cercanías de ésta, no se deslice hacia la barrera. Para ello se deben nivelar bien los finales de los surcos a fin de darle al terreno el ángulo de reposo del mismo y con ello evitar su desprendimiento.

Para este trabajo se utilizará la pala o el palín, dependiendo de las condiciones mecánicas del suelo. Por último se debe realizar la limpieza general de toda la barrera con una escoba eliminando las partículas más finas; para iniciar a partir de este momento las mediciones correspondientes.



Figura 11. Desgaste a los bordes del surco colindantes con el geotextil, (Prado, 2007).

4.8. Seguimiento y cuantificación de la erosión

El seguimiento para la cuantificación de la erosión estará en función de la dinámica de la lluvia, donde es importante tener presente que la erosión es un fenómeno no puntual, es decir, que es espacial y temporalmente variable. En este sentido, dependiendo del área de estudio, puede que para un evento de precipitación se tenga erosión dentro del área de estudio, sin que esta masa de suelo haya logrado transportarse y sedimentar en el "silt fence".

Por lo anterior, el monitoreo estará en función de eventos de lluvia, de los cuales hay que prestar especial atención en eventos fuertes, donde hay que verificar la estabilidad de los límites de agua que definen el área de estudio, misma que se convierte en la base para establecer la tasa de erosión. Por tanto, la cantidad de masa de sedimento se define en kilogramos (kg) y esta se divide entre el área respectiva (m²), donde ambas unidades pueden ser convertidas a kilogramo o tonelada (Ton) por hectárea (Ha). Una evaluación y seguimiento anual implicará las unidades tradicionales de expresión de erosión: Toneladas por hectárea por año (kg / Ha / año); unidades muy comunes en publicaciones científicas y modelos de erosión.

El equipo utilizado para la medición de masa de sedimentos retenida en la barrera, debe ser necesariamente tanto ligero como de fácil manejo para poder ser transportado hasta el sitio de la medición. Además, este equipo no debe ser afectado por el transporte continuo o susceptibilidad al agua. Un balde de hule es una buena opción económica y duradera para realizar las mediciones de masa del suelo depositado en la barrera.

Al realizar las visitas de inspección a la zona de estudio, siempre se debe llevar el equipo de cuantificación compuesto por: una balanza de mano, 2-4 baldes (esto depende de la cantidad de personas que realicen la visita), una pala o palín, una escoba, hojas de campo para anotar las mediciones de erosión (ver el Apéndice 3), lapicero ó lápiz, bolsas plásticas para la toma de muestras y marcador permanente.

Al llegar al sitio de estudio, se coloca la balanza sobre el suelo y se calibra de manera que marque cero. Se

colocan, uno a la vez, los baldes vacíos para determinar el peso de cada uno de ellos. Como todos los baldes tienen peso diferente, se deben enumerar para poder identificarlos adecuadamente al momento de la medición.

Utilizando la pala o palín se carga el balde hasta llenarlo por completo y con ayuda de la mano se nivelará la tierra; esto con el fin de estandarizar las mediciones. Se coloca el balde con tierra sobre la balanza; como se observa en la Figura 12 y se anota la lectura en la hoja de campo. Así se continúa hasta que se acabe de pesar todo el sedimento que se encuentre atrapado en el geotextil.



Figura 12. Metodología de cuantificación de los sedimentos, (Prado, 2007).

Concluido el proceso de pesaje, se procede con la limpieza de la barrera con la pala y la escoba o escobón; de manera que se elimine todas las partículas de suelo que se encuentran sobre el geotextil, (Ver Figura 13).



Figura 13. Limpieza de la barrera de geotextil luego de la recolección del sedimento, (Prado, 2007).

Una vez finalizado el proceso de cuantificación de los sedimentos, se debe tomar la decisión en conjunto con el agricultor sobre que hacer con ellos. Una buena alternativa es devolver este suelo a la parcela de la cuál fueron arrastrados o utilizar la tierra para rellenar cárcava, conformar surcos, etc.

4.9. Recolección de las muestras

El dato sobre contenido de humedad del suelo es un factor muy importante a la hora de analizar el fenómeno de erosión, ya que este nos indica la cantidad de agua que puede retener el suelo. Si se desea conocer la cantidad de suelo seco atrapado o el contenido de humedad del suelo depositado en la barrera; se debe realizar el secado de las muestras en horno. Este sistema de medición del contenido de humedad debe ser realizado en un horno de laboratorio por un período de 24 horas a una temperatura promedio de 105 °C.

Las muestras deben ser tomadas en el momento que se realiza la cuantificación del suelo atrapado sobre el geotextil. La muestra recolectada será de 1 kg; esto con el fin de obtener por lo menos tres sub-muestras que permitan generar un promedio al final de la prueba de secado y así corroborar cuando alguno de los datos de contenido de humedad que se obtendrán no concuerde con los demás valores obtenidos. El transporte del campo al laboratorio de las muestras debe llevarse a cabo en un recipiente cerrado (bolsa plástica o frasco plástico) identificado con la fecha de recolección, el sitio de muestra y el peso.

De cada muestra de 1 kg se obtendrán por lo menos tres muestras, las cuales se utilizarán para la prueba de secado, el resto de sedimento recolectado debe ser guardado en un recipiente sellado, en un lugar

fresco hasta que finalice la prueba de contenido de humedad.

En el Cuadro 1 se muestra la hoja de trabajo utilizada para los datos obtenidos durante la prueba de secado para la determinación de contenido de humedad de las muestras. Para llevar a cabo esta prueba se deben seguir una serie de pasos que se detallan a continuación:

1. Identificar cada recipiente con una letra o una combinación de número y letra.
2. Registrar el peso de cada recipiente con una balanza analítica y anotarlo.
3. Anotado el peso del recipiente y aún con este sobre la balanza, se tara la balanza y se comienza a llenar el recipiente con los sedimentos. Anotamos el peso de los sedimentos.
4. El horno debe ser previamente encendido y debe tener una temperatura interna de 105 °C. Colocamos las muestras destapadas dentro del horno, donde permanecerán 24 horas.
5. Una vez concluido el tiempo de secado, se sacan las muestras del horno, se tapan y dejan reposar por un lapso de tiempo (entre 1 y 2 horas), de manera que alcancen la temperatura ambiente.
6. Se pesan los recipientes que contienen la muestra seca y anotamos el peso.
7. Para el cálculo del contenido de humedad utilizamos la ecuación (1).

$$\text{Contenido de humedad del suelo} = \frac{\text{Masa de agua (100)}}{\text{Masa de suelo}} \quad (1) \text{ (Gavande, 1987)}$$

Cuadro 1. Hoja utilizada durante la prueba de secado para la determinación del contenido de humedad de las muestras de sedimentos.

Número de recipiente	Descripción	Peso				Contenido de Humedad (%)
		Recipiente (g)	Muestra (g)	Recipiente + Muestra Seca (g)	Suelo Seco (g)	
1						
2						
3						
4						
5						