

Escuela de Agronomía
Facultad de Ciencias Agroalimentarias
Universidad de Costa Rica

ESTRATEGIAS DE MANEJO EN EL CULTIVO DE AVENA (Avena sativa) FORRAJERA, COMO UN USO DIFERENTE DEL SUELO EN LA ZONA NORTE DE CARTAGO

Iván Sánchez Gómez

Práctica dirigida presentada a la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia

Turrialba, Sede del Atlántico.

2014

**ESTRATEGIAS DE MANEJO EN EL CULTIVO DE AVENA
(*Avena sativa*) FORRAJERA, COMO UN USO DIFERENTE
DEL SUELO EN LA ZONA NORTE DE CARTAGO**

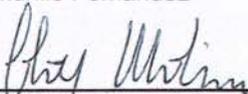
Iván Sánchez Gómez

Informe de Práctica Dirigida presentada como requisito para optar el grado de Licenciatura en Agronomía.



Dr. Alex Murillo Fernández

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



M.Sc. Eloy Molina Rojas

DIRECTOR DE LA PRÁCTICA



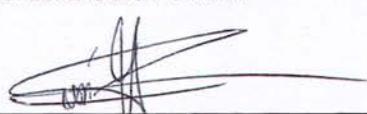
M.Sc. Róger Fallas Corrales

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



M, Sc. Lolita Durán Umaña

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Bach. Iván Sánchez Gómez

SUSTENTANTE

DEDICATORIA

A Virginia Gómez Villalobos y a Lesmes Sánchez Quesada por siempre ser un ejemplo de esfuerzo en la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios que me mantuvo firme en los momentos más difíciles, y con su ayuda me permitió finalizar el trabajo.

A mi familia y amigos por su gran apoyo.

A los profesores por sus sabios consejos y muy en especial a Eloy Molina por su ayuda y dirección en todo el proceso del trabajo.

A la empresa Agro Servicios el Surco y muy en especial a Don Asdrúbal Ribera Sánchez, por su apoyo en la realización del trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE GENERAL	V
Lista de Cuadros	VIII
Lista de Figuras	IX
RESUMEN	X
1. INTRODUCCION	1
1.1 El Problema y su importancia	2
1.2 Justificación	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Suelo	5
2.1.1 Propiedades del suelo	6
2.1.1.1 .Estructura del suelo	6
2.1.1.2 Textura.....	8
2.1.1.3 Densidad aparente.....	10
2.1.1.4 Conductividad hidráulica	11
2.1.1.5 Materia Orgánica.....	12
2.2 Precipitación	15
2.3 Erosión	16
2.3.1 Tipos de erosión	16
2.3.2 Pérdidas de elementos nutritivos por erosión	17
2.3.4 Barreras para evitar erosión.....	20
2.4 La erosión en Costa Rica	21
2.5 Capacidad de uso de las tierras en la zona norte de Cartago	24
2.6 Ley 7779 de Uso, Manejo y Conservación de Suelos	25
2.7 Cultivos de Cobertura	26
2.7.1 Las Funciones y Papeles de los Cultivos de Cobertura.....	26
2.8 El cultivo de avena (Avena sativa)	27
2.8.1 Preparación del terreno	30
2.8.2 Siembra.....	30
2.8.3 Fertilización	31
2.9 Cultivo de Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	31
2.9.1 Condiciones Agroecológicas.....	32
2.9.2 Fases fenológicas del cultivo de papa.....	33
2.9.4 Siembra.....	34

2.9.5 Fertilización	35
2.9.6 Cosecha.....	35
3. OBJETIVOS	36
3.1 Objetivo general.....	36
3.2 Objetivos Específicos.....	36
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
4.1 Localización de la Parcela	37
4.2 Establecimiento de la parcela demostrativa	37
4.3 Características físicas de la parcela en estudio	38
4.4 Caracterización del área de trabajo	38
4.4.1 Caracterización del suelo	41
4.5 Siembra de Cultivo Papa	41
4.6 Siembra Cultivo de Avena	42
4.6.1 Preparación del terreno	42
4.6.2 Siembra.....	43
4.7 Periodos de los cultivos	44
4.8 Evaluación de variables	44
4.8.1 Tasa de Erosión	45
4.8.2 Precipitación	45
4.8.3 Conductividad hidráulica.....	46
4.8.4 Análisis de nutrimentos y materia orgánica	47
4.8.5 Humedad Gravimétrica	49
4.8.6 Densidad Aparente.....	49
4.8.7 Actividades con Agroservicios El Surco	50
5. RESULTADOS	51
5.1 Precipitación	51
5.2 Tasa de Erosión	52
5.3 Conductividad Hidráulica	56
5.4 Pérdida de nutrimentos	58
5.4.1 Calcio.....	58
5.4.2 Potasio	61
5.4.3 Magnesio	63
5.4.4 Fósforo	65
5.5 Pérdida de Materia Orgánica	67
5.6 Densidad aparente	69
5.7 Actividades con la Empresa	71

5.7.1 Giras de campo.....	71
5.7.2 Charlas.....	71
5.7.3 Boletín.....	73
6. CONCLUSIONES.....	74
7. RECOMENDACIONES.....	75
Anexo.....	83
Anexo 1 “Estrategias de manejo en el cultivo de Avena (Avena sativa) forrajera, como un uso alternativo de suelo en la zona norte de Cartago”.....	83
Anexo 2. Resultados de los Análisis químicos realizados en el ciclo de los cultivos de papa y avena en los periodos evaluados.....	81
Anexo 3. Análisis del contenido de materia orgánica y de la relación C/N en las muestras recolectadas durante la realización del ensayo.....	81
Anexos 4. Resultados de los análisis físicos de las variables de Densidad Aparente y Conductividad Hidráulica para el cultivo de papa y avena en el periodo en estudio.....	82
Anexo 5. Cantidad de biomasa producida por la avena al final del ciclo del mismo.....	83
Anexo 6. Comparación visual de un suelo en barbecho, con erosión por cárcavas(al fondo de la fotografía), con un suelo cultivado con avena, en una parcela aledaña.....	83
Anexo 7. Comparación del ciclo papa A(0-60 DDS), B y C(60-120 DDS) y de avena D(0-60 DDS), F y E(60-120) en rotación San Juan de Chicué.....	84
Anexo 8. Fotografía del suelo luego de la incorporación del cultivo de avena.....	85
Anexo 9: Características del Geotextil Silt Fence.....	85
Anexo 10. Calculo de la Humedad Gravimétrica de las muestras en laboratorio.....	86
Anexo11.Calculos de la Humedad Gravimétrica de la muestra total de suelo en las micro parcelas de erosión.....	87
Anexo 12. Calculo de los sedimentos reales (tasa erosión $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) que se obtiene a partir de la humedad gravimétrica determinada en la laboratorio.....	88
Anexo 13. Determinación de los sedimentos finales y tasa erosión final por periodo.....	89
Anexo 14. Contenidos de Ca, Mg, K, P en suelo a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, y porcentaje de materia orgánica (%MO) en el suelo, antes de la incorporación de la avena (60-120 DDS) y luego de la incorporación de la avena(> 120 DDS).....	90
Anexo 15. Calculo en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nutrimentos en el suelo.....	90

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Descripción morfológica del suelo, Finca Zona Alta - Los Pinos, Pacayas, Alvarado, Cartago 2011.....	8
Cuadro 2. Propiedades del suelo según su textura (Acevedo 2003).....	9
Cuadro 3. Análisis mecánico y textural de los pedones en las fincas de zona alta, media y baja.....	9
Cuadro 4. Clasificación de la conductividad hidráulica de los suelos Henríquez et al. (1999).....	12
Cuadro 5. Niveles porcentuales propuestos de Materia Orgánica (MO) en diferentes suelos de Costa Rica (Henríquez et al., 1999).....	14
Cuadro 6. Tasa de erosión del suelo y pérdida de materia orgánica asociada a la erosión (MAG-INTA, Alpizar 2010).	14
Cuadro 7. Tasa de Erosión y pérdida de materia orgánica en kg.ha-1 en tres pisos altitudinales a diferentes pendientes de suelo (Castillo 2012).	15
Cuadro 8. Categorías de erosión utilizadas en las parcelas de estudio de la cuenca del río Reventado Cartago (Cubero 1994).....	17
Cuadro 9. Sedimentos del suelo producto de la erosión y nutrimentos asociados a los mismos.(MAG INTA 2010).	19
Cuadro 10. Pérdida de nutrimentos asociados a la erosión tasa de erosión en tres fincas con diferente piso altitudinal.	19
Cuadro 11. Erosión medida en distintos puntos topográficas de una rotación de cultivos hortícolas en las laderas del volcán Irazú en Costa Rica (Cortés 1993).	23
Cuadro 12. Promedios de erosión de tres microparcels tipo A, durante el periodo 01/09/2002 y 31/08/2003, relacionado con las precipitaciones para estos periodos (Marchamalo 2004).	23
Cuadro 13. Promedios de erosión y escorrentía de tres microparcels tipo B por cada ciclo de cultivo evaluado en el año 2003 (Marchamalo 2004).	24
Cuadro 14. Ventajas y desventajas de los cultivos de cobertura.	27
Cuadro 15. Principales características agronómicas y conservacionistas de la avena como planta de cobertura del suelo (Monegat 1991).	29
Cuadro 16. Características agronómicas y conservacionistas de la avena blanca y avena negra para invierno (Monegat, 1991).	30
Cuadro 17. Zonas y épocas de año para la siembra de papa en Costa Rica.	33
Cuadro 18. Análisis químicos de suelos realizados antes del establecimiento de los cultivos de papa y avena.	41
Cuadro 19. Contenidos de Carbono (C), Nitrógeno (N) y de materia orgánica en el suelo antes del establecimiento de los cultivos.	41
Cuadro 20 . Periodos establecidos para la evaluación de las variables en cada uno de los cultivos.....	44
Cuadro 21. Promedios de conductividad hidráulica para los análisis realizados en los periodos antes de las siembras (0 DDS) y 60-120 DDS, y luego de cortar e incorporar la avena, más de 120 días (>120).....	56
Cuadro 22. Contenidos de nutrimentos en el suelo en kg.ha ⁻¹	58
Cuadro 23. Promedios de densidad aparente para los periodos antes de las siembras (0 DDS) y 60-120 DDS, y luego de cortar e incorporar la avena, mas de 120 días (>120).70	70

Lista de Figuras

Figura 1. Composición de un Andisol de la zona media del Volcán Irazú. (Adaptado de Alvarado et al. 2001).....	5
Figura 2. Composición de la Materia Orgánica (Bohn 1993).....	13
Figura 3. Erosión provocada por el efecto del agua.....	17
Figura 4.Situación actual de la degradación de suelos en el mundo. Tomado de FAO (2012).....	18
Figura 5. Etapas fenológicas del cultivo de papa en función de los días de siembra (Bolaños 2001).	34
Figura 6 .Ubicación de la parcela demostrativa, en San Juan de Chicué de Oreamuno, en el norte de Cartago. Fuente Google Earth 2013.....	37
Figura 7. Parcela demostrativa.....	38
Figura 8. Ubicación de la micro-parcela A dentro de la parcela demostrativa en la siembra del cultivo de papa.	39
Figura 9.Colocación del Geotextil en las micro parcelas.	40
Figura 10. Dimensiones de los surcos utilizados en la siembra de avena.....	43
Figura 11. Recolección y cuantificación de sedimentos en las micro parcelas en el ciclo de papa A y el ciclo de Avena B.....	45
Figura 12 . Pluvigrafo utilizado para la evaluación de la	46
Figura 13. Cilindros utilizados para la toma de muestras.....	46
Figura 14. Recolección de muestras para la evaluación en el laboratorio.....	48
Figura 15. Régimen de precipitación acumulada mensual durante el periodo 2012.	51
Figura 16. Erosión total y precipitación total acumulada para los periodos.....	53
Figura 17. Pérdida de Ca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en una parcela con un porcentaje de pendiente de 35%, y la precipitación acumulada en mm, en San Juan de Chicué Oreamuno.....	59
Figura 18. Pérdida de K ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en una parcela con un porcentaje de pendiente de 35% y precipitación acumulada en mm en San Juan de Chicué Oreamuno.	62
Figura 19. Pérdida de Mg ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en una parcela con un porcentaje de pendiente de 35% y precipitación acumulada en mm, en San Juan de Chicué Oreamuno.....	64
Figura 20. Pérdida de P ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en una parcela con una pendiente de 35% y precipitación en mm en San Juan de Chicué Oreamuno.	66
Figura 21. Pérdida de Materia Orgánica (MO), en una parcela con una pendiente de 35%, y precipitación acumulada en mm en San Juan de Chicué.....	68
Figura 22. Gira de campo a la parcela de avena en el momento de la incorporación del cultivo, >120 DDS.....	71
Figura 23 Charla con los Técnicos del Agroservicio El Surco.	73

RESUMEN

Se realizó una práctica dirigida para evaluar el cultivo de avena (*Avena sativa*) como cultivo de cobertura, y se capacitó a los técnicos de la empresa de Agro servicios el Surco, en dicho cultivo.

Se comprobó el efecto producido por el cultivo de cobertura en la tasa de erosión relacionada con la precipitación, para ello se diseñó una parcela demostrativa situada en San Juan de Chicué, Cartago en la cual después de haber cultivado papa (*Solanum tuberosum*), se utilizó el cultivo de avena sativa (*Avena sativa*) como un cultivo de cobertura.

Se recolectaron sedimentos dividiendo la parcela demostrativa en tres micro parcelas, en las cuales se colocó un Geotextil Silt Fence, una vez recolectadas las muestras fueron llevadas al laboratorio de Suelos y Foliar al laboratorio Recursos Naturales del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, se evaluaron las variables de la tasa de erosión, pérdidas de nutrientes asociados a la erosión, precipitación, conductividad hidráulica, materia orgánica, humedad gravimétrica y densidad aparente.

Por razones de costos y de modalidad de trabajo de graduación se evaluaron las variables mencionadas en dos cultivos en momentos diferentes, no realizando la comparación de las pérdidas de suelos entre los dos cultivos, debido a las limitaciones económicas y de la disponibilidad de terreno del productor, factores que impidieron sembrar los dos cultivos simultáneamente.

Para términos de análisis de los resultados, el ciclo de cada cultivo se dividió en dos periodos de evaluación, el primero correspondiente a una etapa de incremento de la cobertura vegetal (0 a 60 dds) y una etapa con mayor cobertura vegetal sobre el suelo, la cual abarcó de los 60 a los 120 dds en cada cultivo.

Según los resultados de la práctica el cultivo de avena (*Avena sativa*) se comportó

bien como planta de cobertura, ya que cuando se comparó el ciclo de 0-60 DDS al ciclo de 60-120 DDS en donde se obtuvo una tasa la erosión del suelo de 24 ton.ha⁻¹ en el primer ciclo y de 23 ton.ha⁻¹ en el segundo ciclo, con una tonelada menos de erosión, aun cuando en el período de 60 a 120 dds el régimen de precipitaciones fue mayor que el presentado de los 0 a 60 dds (152 mm de lluvia de los 0 a 60 dds y 253 mm de los 60 a 120 dds), las pérdidas de nutrimentos Ca, Mg, K y P, se relacionaron con estas tasas de erosión. En cuanto a densidad aparente y conductividad hidráulica no se determinó un efecto del cultivo sobre el suelo para las variables mencionadas. Respecto al cultivo tradicional (papa) se determinó que al aumentar las precipitaciones del primer ciclo de (0 a 60 DDS) de 69mm a 193mm en el segundo ciclo no causó un efecto notorio la cobertura del cultivo sobre la pérdida de suelo ya que la erosión aumento de 7 ton.ha⁻¹ en primer ciclo a 23 ton.ha⁻¹ en el segundo. Las pérdidas de nutrimentos Ca, Mg, K y P estuvieron asociadas con estas tasas de erosión. En cuanto a la densidad aparente se determinó que la preparación para la siembra de papa tuvo efecto negativo sobre la compactación del suelo.

Se realizó una gira de campo y una capacitación con los técnicos de Agro Servicios El Surco S.A, en la que se compartió la experiencia y los resultados obtenidos en la parcela en estudio, se diseñó un boletín para esta empresa con un resumen de los resultados de la práctica.

1. INTRODUCCION

La producción de un sistema agrícola se obtiene de la interacción de tres importantes componentes, como lo son: el suelo, la planta y el clima, y esto sumado con la acción del manejo que realice el ser humano sobre ellos (Bertsch 2003).

El ser humano tiene la necesidad de recuperar el componente suelo del daño causado por la sobreexplotación (Aguilera *et al.* 1998) .Uno de estos daños es la erosión, la cual tiene una serie de efectos aditivos en la productividad del suelo, estos efectos se reflejan rápidamente en la disminución de la fertilidad del suelo y la producción de cultivos (Mehuys *et al.* 2009).

En la zona norte de Cartago no es usual realizar prácticas de conservación de suelos, a pesar de que la producción de hortalizas está concentrada en esta región del Valle Central (Fournier *et al.* 2010).

Una alternativa en el manejo del suelo, como práctica de conservación es la utilización de un forraje como cobertura, además cuando esta cobertura es incorporada al suelo, se le retorna a este sistema nutrientes y materia orgánica.¹ En un estudio realizado por Navarro *et al.*(2007) se encontró que la avena se comporta muy bien como cultivo de cobertura. Menciona Monegat (1991) que las plantas de cobertura como la *Avena sativa*, evitan el impacto directo de las gotas de lluvia, promoviendo mayor infiltración y menor escorrentía, posibilitando menor erosión de suelos, así como menor pérdida de nutrientes y materia orgánica.

Menciona Sánchez *et al.*, (2006) que la avena se adapta bien para arriba de los 1600 m de altura sobre el nivel del mar, específicamente la variedad *Avena sativa* la cual por su rusticidad y de fácil adaptación es especial para la zona norte de

¹ Comunicación personal con Beatriz Molina B. Ingeniera Agrónoma extensionista del Ministerio de Agricultura y Ganadería en la zona de Pacayas.

Cartago. La avena podría ser una buena alternativa por ser una gramínea que se adapta muy bien a diferentes alturas, que van desde 1600 a 3400 m, adaptándose para la siembra en cualquier escenario de la zona norte de Cartago

1.1 El Problema y su importancia

Los Andisoles de Cartago son suelos profundos, con altos contenidos de materia orgánica, baja densidad aparente, una buena conductividad hidráulica y excelente infiltración, presentan importantes problemas de erosión, contaminación y pérdida de fertilidad (Alvarado *et al.* 1991). De acuerdo con Castillo (2012) en la zona norte de Cartago las tasas de erosión son generalmente altas, debido a la topografía accidentada, al sobre uso generalizado de la tierra y a la frecuencia e intensidad de las lluvias. Cuando las tierras están desprotegidas debido a prácticas inadecuadas de cultivo y manejo de suelos, éstas pueden ser erosionadas en un tiempo muy corto.

Según Cubero (1994) este deterioro del suelo es causado por la práctica de la agricultura convencional, convirtiéndose ésta en la actividad económica de mayor impacto ambiental negativo en la zona, además los paisajes de la zona norte de Cartago son topográficamente complejos, y el desarrollo agrícola no se ha basado en la capacidad de uso del suelo, lo que ha causado un mal uso de la tierra y por ende, su rápido deterioro.

La zona norte de Cartago es una región cuya principal fuente de ingresos para sus habitantes es la actividad agropecuaria. Para Cubero (1994), el problema surge por la implementación de un conjunto de prácticas no adecuadas en lo que respecta al manejo de uso de suelos, lo cual ha dejado como consecuencia una serie de efectos negativos como lo es el acelerado proceso de erosión. Según Marchamalo (2004) en la zona de Cartago se han obtenido datos de pérdida de suelo de $85 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ en 5

meses en un ciclo de cultivo de papa, esta pérdida se puede clasificar como erosión severa.

Con el desarrollo de este trabajo se pretende demostrar mediante la implementación de prácticas adecuadas de manejo del suelo, como el uso de cultivos de cobertura que permitan mitigar los efectos causados por el mal uso del suelo en la zona de Cartago, y que sirva de herramienta a la empresa Agroservicios El Surco para ponerlas en práctica.

El cultivo de cobertura utilizado como alternativa fue la avena (*Avena sativa*), en rotación con el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en donde se realizaron evaluaciones antes y después de la siembra de la avena, para demostrar los efectos causados en el suelo con la utilización de cultivos de cobertura.

1.2 Justificación

En la zona norte de Cartago las tasas de erosión son generalmente altas, debido a la topografía accidentada, al sobre uso generalizado de la tierra y a la frecuencia e intensidad de las lluvias. Cuando las tierras están desprotegidas debido a prácticas inadecuadas de cultivo y manejo de suelos, estos pueden ser erosionados en un tiempo muy corto (Castillo 2012). Menciona Lianes (2008) que la ausencia de una cubierta vegetal que proteja el suelo facilita el desprendimiento de sus partículas y ocasiona la pérdida de capas superficiales. Una cubierta de arbustos y árboles, una capa de hojas muertas o en descomposición, o una alfombra de pasto, son los agentes encargados de proteger el suelo, absorbiendo el impacto de las gotas o el viento.

Según Pound (1998) los cultivos de cobertura reducen o evitan la erosión, con el crecimiento foliar cubren y protegen la superficie, amortiguan la energía cinética de las partículas de las gotas de lluvia, impide su golpe directo sobre el suelo y evitan la destrucción de los agregados, que son de menor tamaño que las gotas de lluvia. De acuerdo con Gavande (1973) el efecto de las gotas lluvia percoladas en las

pérdidas de nutrientes, es mayor en suelos arenosos que en arcillosos, también menciona este mismo autor que el contenido de materia orgánica tiene una gran influencia en disminuir la lixiviación de nutrientes.

Según Monegat (1991) la avena como cultivo de cobertura utilizado para ser incorporado, es adecuada para el reciclaje de nutrientes, ya que devuelve al suelo los nutrientes que extrajo la planta en el ciclo, además reduce la pérdida de nutrientes fuera del sitio.

En la zona norte de Cartago, dada la actual situación económica, muchos agricultores dejan sus parcelas sin cultivo, en algunos casos hasta por un periodo de tres meses, por lo que es de gran importancia realizar la búsqueda de una alternativa en la que se considere la siembra de un cultivo forrajero de bajo costo.²

El contar con una parcela demostrativa en rotación con papa (*Solanum tuberosum*) y luego con avena (*Avena sativa*), permitirá demostrar que esta es una opción de un cultivo alternativo que puede ser utilizado como protección para el suelo.

² Comunicación personal con Asdrúbal Ribera S. Gerente General de Agro servicios El Surco.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Suelo

El suelo es un cuerpo natural que es resultado de la combinación particular de cinco factores, como lo son el material parental, el relieve, sobre el que actúan el clima, los organismos y el tiempo (Berstch 1995).

Menciona Bonh (1993) que el suelo se encuentra formado por cuatro componentes principales que son la fracción sólida, componentes orgánicos, aire y agua.

Para Alvarado *et al.* (2001) los Andisoles presentan una distribución particular en lo referente a los componentes del suelo. En la Figura 1 se muestra la composición de un Andisol de la zona media del volcán Irazú.

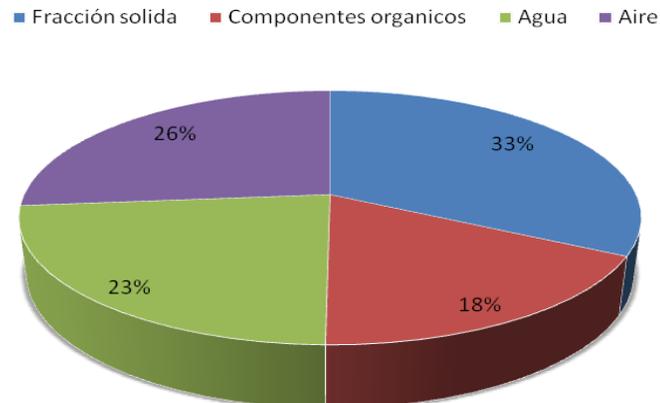


Figura 1. Composición de un Andisol de la zona media del Volcán Irazú. (Adaptado de Alvarado *et al.* 2001)

De acuerdo con Bertsch (1995) los Andisoles se pueden identificar porque son suelos originados a partir de cenizas volcánicas, su textura es franca, la arcilla predominante es la alofana, presentan lixiviación de media a alta, con una retención de humedad moderada y un alto porcentaje de materia orgánica.

2.1.1 Propiedades del suelo

Acevedo (2003), cita que las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrimentos.

En particular las propiedades en Andisoles, están relacionados con su elevado contenido de materia orgánica, lo cual le imprime en parte propiedades específicas como reducir su densidad aparente, favorecen la retención de humedad, el color negro oscuro, la quelatación de cationes y la facilidad de manejo (Alvarado *et al.* 2001). Algunas de las propiedades del suelo son: estructura, textura, densidad aparente, conductividad hidráulica.

2.1.1.1 .Estructura del suelo

Según Gavande (1973) y Henríquez *et al.* (1999), desde el punto de vista morfológico el término estructura del suelo se ha definido como la disposición de las partículas inorgánicas presente en el suelo (arena, limo y arcilla). Para este mismo autor la capacidad estructural del suelo se define como la capacidad de formar terrones espontáneamente sin que estos se dividan en pedazos pequeños o agregados, sin la intervención del hombre.

Menciona Acevedo (2003) que la formación de agregados se debe a la presencia de cargas eléctricas en la superficie de las arcillas, lo que da como resultado unas interacciones físico – químicas con los demás componentes del suelo.

Para Henríquez *et al.* (1999) la textura franca de los Andisoles contienen una mezcla de arena, limo y arcilla en tal proporción que exhibe las propiedades de las tres fracciones de modo equilibrado; contienen menos arcilla que arena y limo ya que la

primera se expresa con mayor fuerza. Estos autores mencionan que la estructura es medida de acuerdo a tres aspectos que son tipo, tamaño y grado. En cuanto a tipo de puede clasificar como laminar, prismática, bloques, granular y sin estructura, mientras que el tamaño se refiere a la forma del agregado el cual puede ser muy gruesa, gruesa, mediana, fina, muy fina y el grado es la estabilidad de los peds ante una fuerza perturbadora por ejemplo la compactación, y se clasifica como fuertemente desarrollada, bien desarrollada, moderadamente desarrollada, débilmente desarrollada y pobremente desarrollada.

Alvarado *et,al.*(2001) mencionan que los Andisoles en forma natural presentan una macro estructura columnar, que en general estos suelos tienen una alta porosidad y que los macroporos ayudan a la formación de agregados estables que favorecen la infiltración.

Castillo (2012) menciona que al caracterizar tres Andisoles a diferente piso altitudinal, en los primeros horizontes éstos presentaron textura franca, en el Cuadro 1 se muestra la caracterización de textura y estructura de uno de los Andisoles estudiados por este autor en la zona de Pinos parte alta de Cartago (2407 msnm), el cual presentaba una pendiente del 45 %.

Cuadro 1. Descripción morfológica del suelo, Finca Zona Alta - Los Pinos, Pacayas, Alvarado, Cartago 2011.

Horizontes	Profundidad	Textura	Estructura	Límites
Ap	0-23	Franca	Blocosa subangular, media moderada débil	Plano Gradual
A2	23-43	Franca	Blocosa subangular, media, moderada	Plano Gradual
A3	43-88	Arena-Franca	Prismática, media, moderada	Plano Claro
Bw1	88-139	Franco-Arenosa	Prismática, gruesa, moderada	Plano gradual
Bw2	139-174	Franco-Arcillo-Arenosa	Prismática, gruesa, moderada	Plano gradual

Tomado de Castillo (2012)

2.1.1.2 Textura

Menciona Gavande (1973) que la textura del suelo está relacionada con el tamaño de partículas minerales, específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo.

Gavande (1973) y Acevedo (2003) indican que la textura es una propiedad muy importante ya que ayuda a determinar la facilidad de abastecimiento de nutrientes, agua y aire.

En el siguiente Cuadro se puede observar un resumen de las propiedades del suelo según su textura.

Cuadro 2. Propiedades del suelo según su textura (Acevedo 2003).

Propiedad	Suelo Arenoso	Suelo Arcilloso	Suelo Franco
Permeabilidad	Alta	Nula	Media
Capacidad de retención de agua	Poca	Mucha	Media
Aireación	Buena	Mala	Buena
Nutrientes	Pocos	Muchos	medio-alto

Según lo menciona Bertsch (1995) las zonas aledañas a los volcanes en Costa Rica presentan Andisoles con textura franco arenosa o más gruesa, mientras que en las posiciones intermedias de la montaña presentan textura franco limosa.

Castillo (2012), encontró que en una caracterización textural de los suelos de la zona alta de Cartago, se presentó una menor concentración de arcilla en los diferentes horizontes que la cantidad de arena y limo, los resultados se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis mecánico y textural de los pedones en las fincas de zona alta, media y baja

Horizonte	Profundidad(cm)	Textura			Clase Textural
		Arena	Limo	Arcilla	
Finca Zona Alta, Los Pinos (Hydric Hapludands)					
Ap	0-23	43	44	13	Franca
A2	23-43	50	37	13	Franca
A3	43-88	87	8	5	Arena Franca
Finca Zona Media, Buenos Aires (Typic Hydrudands)					
Ap	0-34	45	41	14	Franca
Bw1	34-77	46	31	23	Franca
Bw2	77-98	48	38	14	Franca
Finca Zona Baja, Los Angeles (Thaptic Hydrudands)					
Ap	0-20	41	48	11	Franca
Bw1	20-43	57	6	37	Arcillo Arenosa
Ab	43-59	46	30	24	Franca

Fuente: Castillo (2012)

Según muestra el Cuadro anterior, en los tres suelos estudiados de las diferentes

fincas en la zona alta de Cartago, Castillo (2012) encontró que los primeros horizontes presentaban textura franca.

2.1.1.3 Densidad aparente

La densidad aparente en el suelo se define como la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo, incluyendo el volumen ocupado por los poros, reflejando la compactación y facilidad de la circulación del aire y el agua en el suelo (Henríquez *et al.* 1999).

Para el cálculo de la densidad aparente se utiliza la siguiente ecuación.

$$D_a = \frac{W_{ss}}{V_s}$$

Donde:

W_{ss}: peso de suelo secado a 105°C hasta peso constante.

V_s: volumen original de la muestra de suelo.

La densidad aparente del suelo se expresa en g.cm⁻³ (Laurent 1967).

Alvarado *et al* (2001) mencionan que desde el punto de vista de mineralogía los Andisoles en Cartago, se pueden clasificar en tres grupos: el primero los de cenizas recién depositadas con densidades aparentes entre 1,1 y 1,4 g.ml⁻³, el segundo grupo los suelos en los cuales predomina la alófana en el complejo de arcilla y presentan densidades aparentes entre 0,3 y 0,7 g.ml⁻³, y por último encontramos los suelos más desarrollados en los cuales predomina la haloisita mezclada con alófana y tienen densidades aparentes que fluctúan entre 0,7 y 0,9 g.ml⁻³. Este mismo autor realizó una caracterización de la mineralogía de las arcillas encontradas en el volcán Irazú de acuerdo a la altura; de 600-1100 msnm encontramos la Alofana- Ferrihidrita-Goetita-Caolinita, de 1700-1200 msnm Alofana-Haloisita y de 3400-3100 msnm Alofana-Hisingerita

Según Cortés y Oconitrillo (1987) los Andisoles de Tierra Blanca son de textura franca a franca limosa, con densidades aparentes de 0,85 y 0,95 g.ml⁻³, y la precipitación promedio anual de 1418 mm y tiene un factor R de 230.

2.1.1.4 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica se puede definir como la velocidad de movimiento de agua en el suelo, siendo esta una medida de la resistencia ofrecida por los poros del suelo (Laurent 1967).

Con relación a la conductividad hidráulica del suelo se ha señalado (Saunders *et al.* 1978) que este es un parámetro esencial en la determinación cuantitativa del movimiento del agua en el suelo y, consecuentemente para solucionar problemas que envuelven irrigación, drenaje, recarga y conservación del suelo.

La conductividad hidráulica es afectada por la textura y estructura del suelo, siendo mayor en suelos altamente porosos, fracturados o agregados y menor en suelos densos y compactados (Saunders *et al.* 1978).

Para calcular la conductividad hidráulica se utiliza la siguiente fórmula:

$$k: \frac{V * L}{A * t \Delta H}$$

En donde:

V: volumen de agua que pasa a través del suelo (cm³).

L: longitud ocupada por el suelo en el permeámetro.

A: área de la sección transversa: πr^2

t: tiempo que tarda el volumen de agua en atravesar el suelo

ΔH : altura de la carga hidráulica.

Braja (2001) menciona que los suelos tienen vacíos interconectados a través de los cuales el agua puede fluir de puntos de alta energía a puntos de baja energía. Indica además que la permeabilidad es un factor indispensable para estimar la cantidad de infiltración subterránea bajo varias condiciones hidráulicas.

Forsythe (1994) en una siembra de frijol y maíz en Andisoles encontró a las

profundidades de 0-19 cm y 19-43 cm, valores de densidad aparente de 0,68 y 0,81 g.ml⁻³, y de conductividad hidráulica entre 50,4 cm.h⁻¹ y 31,7 cm.h⁻¹, además reporta que la región recibe más de 2663 mm de precipitación anual y el factor de lluvia R de la Ecuación universal de erosión es de 122. El mismo autor menciona que la pendiente de la zona varió entre 39-69%, pero a pesar de estos valores altos de precipitación la pérdida máxima de suelo fue pequeña de 1,72 ton.ha año⁻¹.

En el Cuadro 4 se muestra la clasificación de la conductividad hidráulica, mencionada por Henríquez *et al.* (1999).

Cuadro 4. Clasificación de la conductividad hidráulica de los suelos Henríquez *et al.* (1999).

Conductividad hidráulica		
Clasificación	Clase	cm.h⁻¹
Lenta	Muy lenta	>0,13
	Lenta	0,13-0,51
Moderada	Lenta	0,51-2,00
	Moderada	2,00-6,30
	Rápida	6,30-12,70
Rápida	Rápida	12,70-25,40
	muy rápida	>25,40

2.1.1.5 Materia Orgánica

Según Fassbender *et al.* (1994) la materia orgánica está constituida por compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo. El edafon lo conforman los organismos vivientes del suelo o sea su flora y fauna, en los suelos cultivados este edafon es un 10-15% de su materia orgánica.

En la Figura 2 se muestra la composición de la materia orgánica.



Figura 2. Composición de la Materia Orgánica (Bohn 1993).

Según Fassbender *et al.*,(1994) la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico, en donde el humus está compuesto por los restos postmortales vegetales y animales, es así que el humus tiende a dar a los horizontes superficiales colores castaño oscuro a negro, a su vez favorece la granulación y la estabilidad estructural, especialmente por la producción de sustancias no húmicas durante la descomposición.

Bonh (1993) menciona que respecto a las fracciones húmicas, éstas pueden ayudar a disminuir la plasticidad, cohesión y adhesividad de los suelos arcillosos. Tornándolos más fáciles de manejar, mejorando la retención de agua, ya que la materia orgánica mejora tanto la velocidad de infiltración como la capacidad de almacenaje de agua y juega un rol decisivo en el balance global del carbono.

A pesar de que la materia orgánica constituye sólo una pequeña fracción de la masa total en la mayoría de los suelos, es un componente dinámico que ejerce una influencia dominante en la estabilidad estructural, el intercambio iónico y lógicamente en el conglomerado de reacciones ligadas a los organismos del suelo (Gavande 1973).

Henríquez *et al.* (1999) reportaron (Cuadro 5) los valores porcentuales de materia orgánica para diferentes suelos de Costa Rica.

Cuadro 5. Niveles porcentuales propuestos de Materia Orgánica (MO) en diferentes suelos de Costa Rica (Henríquez et al., 1999).

Suelo	Bajo Ámbito normal Alto			
	%			
Inceptisol	Bien drenados	<5	(6-8)	>10
	Mal drenados	<8	(10-12)	>14
Entisol		<5	(7-9)	>10
Alfisol		<2	(3-5)	>8
Ultisol				
Andisol		<9	(14-16)	>20
Vertisol		<1	(2-3)	>6
Mollisol		<3	(5-6)	>10

Debido a la importancia de la materia orgánica en el suelo es que instituciones públicas se han dedicado a realizar estudios en donde se determina la pérdida de materia orgánica, algunos de estos son el MAG-INTA . Alpizar (2010) reporta que en la finca “La Violeta” de la zona de Plantón de Pacayas, se determinó la pérdida de sedimentos y la cantidad de materia orgánica contenida en estos sedimentos a diferentes pendientes estudiadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Tasa de erosión del suelo y pérdida de materia orgánica asociada a la erosión (MAG-INTA, Alpizar 2010).

Pendiente %	Suelo kg.ha ⁻¹	M.O kg.ha ⁻¹
3	503	32
15	1109	75
30	1721	116

Este autor encontró que a mayor pendiente se presentó una mayor pérdida de suelo y esta se relacionó con una mayor pérdida de materia orgánica.

Castillo (2012) determinó la tasa de erosión y la pérdida de materia orgánica en tres pisos altitudinales de la zona de Cartago a diferentes pendientes, los resultados registrados por el autor se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Tasa de Erosión y pérdida de materia orgánica en kg.ha⁻¹ en tres pisos altitudinales a diferentes pendientes de suelo (Castillo 2012).

Pendientes	Zona	Erosión ton.h⁻¹	Perdida de M.O kg.ha⁻¹
< 15%	Baja	0,7	7,53
15-30%	Media	0,5	4,65
45%	Alta	14	116,5

Los resultados reportados por Castillo (2012) en el Cuadro 7 muestran que en la finca con una pendiente menor al 15 % se presentó una tasa de erosión de 0,7 ton.h⁻¹ y una pérdida de materia orgánica de 7,53 kg.ha⁻¹, en la finca de zona media con una pendiente 15-30% presentó una tasa de erosión de 0,5 ton.h⁻¹ y una pérdida de 4,65 kg.ha⁻¹ de MO, y en la zona alta con una pendiente mayor 45% una tasa de 14 ton.h⁻¹ con una pérdida de materia orgánica de 116,5 kg.ha⁻¹.

2.2 Precipitación

Para Hancock (1997) el uso más frecuente de la precipitación se halla en el ámbito de la meteorología, definiendo precipitación como el agua que cae a la superficie terrestre desde la atmosfera., algunos ejemplos son la lluvia, el granizo y la nieve, en este sentido, son tipos de precipitación.

Los instrumentos utilizados para la medición de la lluvia y el granizo son los pluviómetro y pluviógrafos, estos últimos se utilizan para determinar las precipitaciones pluviales de corta duración y alta intensidad, esta precipitación pluvial se mide en mm, que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría a

causa de la precipitación sobre una superficie plana e impermeable, según lo menciona Hancock (1997).

2.3 Erosión

La erosión es el deterioro acelerado del suelo, estando expuesto principalmente el horizonte A, el que tiene como característica un mayor contenido de materia orgánica y nutrientes. La erosión es el arrastre de las partículas finas (como arenas, limos y arcillas), por diversos factores geológicos, geomorfológicos, antrópicos, hídricos o eólicos (Morgan *et al.* 1997)

Según lo menciona Gómez (2008), la erosión de los suelos representa entre otras consecuencias, la pérdida de fertilidad en el sitio de ocurrencia, siendo éste un proceso irreversible, también se dan efectos fuera del sitio causando contaminación de aguas superficiales o sedimentación en represas.

Estos sedimentos o partículas más finas, son desprendidas y arrastradas por los agentes erosivos, como las corrientes del agua de escorrentía y viento (Morgan *et al.* 1997).

El poco control sobre la pérdida de suelo significa devaluación de un activo (recurso natural) en la economía nacional (Gómez 2008).

2.3.1 Tipos de erosión

Según ha señalado Antezana (2001) los tipos de erosión basados en un periodo de tiempo son:

- Erosión natural: es producto de la dinámica del medio ambiente y cuyos agentes son el agua de las lluvias, la corriente de los ríos, el viento, el clima y la topografía.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de lo que puede provocar la erosión

natural en el suelo.



Figura 3. Erosión provocada por el efecto del agua.

- Erosión antrópica: se da cuando el hombre rompe el equilibrio entre los suelos, la vegetación, el agua y los animales (Antezana 2001).

A continuación se muestra las categorías empleadas por Cubero (1994) para clasificar la erosión según la pérdida en $t.ha.año^{-1}$

Cuadro 8. Categorías de erosión utilizadas en las parcelas de estudio de la cuenca del río Reventado Cartago (Cubero 1994).

Erosión $t.ha.año^{-1}$	Categoría
0	Nula
0-10	Tolerable
10-50	Moderada
50-200	Severa
>200	Muy severa

2.3.2 Pérdidas de elementos nutritivos por erosión

Según Gómez (2008), la degradación del suelo representa el cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, lo anterior principalmente por medio de procesos físicos, químicos y biológicos, provocando

alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y a su vez influyendo en su capacidad de sostener una agricultura productiva. El mismo autor menciona que las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas por cuatro razones principales:

1. Degradación de la estructura del suelo.
2. Disminución de la materia orgánica.
3. Pérdida del suelo.
4. Pérdida de nutrimentos.

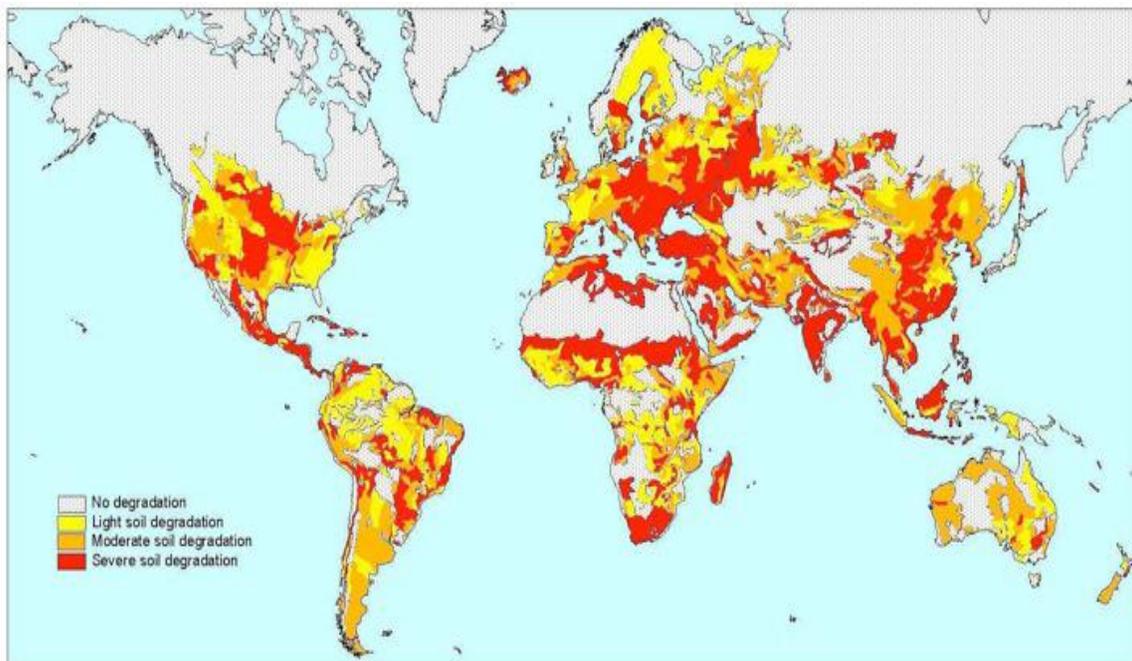


Figura 4. Situación actual de la degradación de suelos en el mundo. Tomado de FAO (2012).

La pérdida de productividad es causada por el uso y manejo inadecuado del suelo y por la acción de la erosión acelerada (FAO 2012).

Los daños y pérdidas por erosión han causado una serie de consecuencias, como lo son la pérdida de nutrimentos como N, K y bases, entre otros, lo cual crea una mayor dependencia y necesidad de fertilizantes, esto sumado a una mayor pérdida del horizonte A, el cual contiene el mayor contenido de materia orgánica (Vahrson y Palacios 1

Algunos antecedentes de estudios realizados en Cartago por el Ministerio de Agricultura y Ganadería(MAG) y el Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2010), reportan que en la finca “La Violeta” zona de Plantón Pacayas, se determinó la pérdida de sedimentos así como los nutrimentos asociados a estos sedimentos con variación en el grado de pendiente. En el Cuadro 9 se muestra los resultados de dicho estudio.

Cuadro 9. Sedimentos del suelo producto de la erosión y nutrimentos asociados a los mismos (MAG INTA 2010).

Pendiente %	Suelo (kg.ha ⁻¹)	N-total (k g.ha ⁻¹)	Ca disp. (g.ha ⁻¹)	Mg disp. (g.ha ⁻¹)	K disp. (g.ha ⁻¹)	P disp. (g.ha ⁻¹)
3	503	3,4	562	80	251	31
15	1109	7,2	619	103	849	173
30	1721	10,5	725	84	248	36

Castillo (2012) en un estudio realizado sobre tasas de erosión a diferentes grados altitudinales, determinó las pérdidas de nutrimentos en el suelo, los resultados se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Pérdida de nutrimentos asociados a la erosión tasa de erosión en tres fincas con diferente piso altitudinal.

Pendientes	Zona	Erosión ton.h ⁻¹	Ca kg.ha ⁻¹	P g.ha ⁻¹
< 15%	Baja	0,7	11,52	6,32
15-30%	Media	0,5	0,82	11,12
45%	Alta	14	14,23	170,93

Fuente: Castillo (2012)

Según el Cuadro 10 Castillo (2012) encontró en la finca de zona alta con una pendiente mayor 45% una pérdida mayor de Ca y P que en las fincas de zona baja (pendiente < 15% y media de 15-30%).

2.3.4 Barreras para evitar erosión

Según INTA (2007) entre algunas de las prácticas que han sido utilizadas para la conservación de los suelos son:

- El uso de barreras como muros de piedra o madera, que han resultado beneficiosos como contención de sedimentos en el sitio.
- Técnicas de mayor tecnología como por ejemplo los geotextiles como el Silt fence, que son usados en particular para suelos finos. Estas barreras se forman con geotextiles fuertes y durables pegados a postes de soporte.

El INTA (2007) menciona que estas barreras se utilizan para reducir la velocidad del agua de escorrentía, ayudando a retener el sedimento suspendido, evitando además la erosión fuera del sitio. La implementación de una barrera de retención de sedimentos bien diseñada permitirá:

1. Cribar los suelos finos (limos y las arcillas) de la corriente.
2. Formar un filtro de suelo junto a la barrera de retención, reduciendo el flujo del agua a través de la barrera.
3. Crear un pequeño estanque detrás de la barrera, el cual sirve como depósito de sedimentos para colectar el agua desviada y retener los sedimentos suspendidos.

Según lo expuesto durante el Congreso Nacional de Suelos (1999) citado por el MAG (1999) en Costa Rica la utilización de barreras vivas fue promovida por STICA en los años 50 por medio de agencias agrícolas principalmente para el uso en los cafetales, a partir de este momento esta es una de las prácticas que más es utilizada en el tema de conservación y manejo de suelos.

Según el MAG (1999) entre los ejemplos de material vegetativo que ha sido utilizado como barreras vivas tenemos el vetiver, itabo, King grass, caña india, entre algunos otros.

2.4 La erosión en Costa Rica

La erosión de los suelos en tierras sembradas es un problema que continúa amenazando la sostenibilidad de la agricultura comercial y de subsistencia en diversas partes de Costa Rica (Bolaños 1998).

A pesar de la implementación de programas de conservación de suelos por décadas, Sancho (1991), Vahrson (1990) y Mehuys *et al.* (2009) mencionan que las pérdidas de suelo continúan debido a los procesos erosivos.

El proceso erosivo natural es bastante intenso por la conjunción del régimen pluvial, la geografía del país, las condiciones tectónicas, entre otros, generando un proceso continuo de desgaste (denudación) del medio. No obstante la principal amenaza se debe a la erosión antropogénica acelerada por falta de planificación del uso de la tierra (Marchamalo 2004).

En Costa Rica la producción de hortalizas está concentrada en las faldas y partes altas de los volcanes Irazú y Turrialba, una producción que es muy dependiente de operaciones de labranza. La labranza por lo general es efectuada en su gran mayoría a favor de la pendiente, presentando como consecuencia un potencial de erosión por labranza mucho mayor (Mehuys *et al.* 2009). Según Bolaños (1998) con una pobre cobertura del suelo en los primeros estadios fenológicos de los cultivos hortícolas como papa, cebolla, zanahoria, repollo, brócoli, entre otros, aumenta el riesgo de erosión. En los suelos con cultivos intensivos, como los mencionados, se han establecido sistemas convencionales de evacuación o canalización de aguas a favor de la pendiente, con pocos o nulos resultados para el control de la erosión.

Menciona Cubero (1994) que los paisajes de la zona norte de Cartago son topográficamente complejos (cortos, empinados, de diferentes inclinaciones), y el desarrollo no se ha basado en la capacidad de uso del mismo. Lo anterior ha conllevado a un mal uso de la tierra por ende a su rápido deterioro, a través de los procesos de erosión, la erodabilidad por precipitación y factores físicos del suelo que no se puede cambiar, aunque si otros que interfieren como el manejo, las prácticas de cultivo y la cobertura.

Este último factor se puede utilizar como práctica de conservación, al usar un forraje como cobertura para luego incorporarlo al suelo, en rotación con los cultivos tradicionales de la zona como son las hortalizas. Una alternativa que se adapta bien a esta práctica de manejo en conservación de suelo, es el cultivo de la avena.³

Algunos antecedentes de estudios de erosión en la zona de Cartago tenemos que Cortés (1993) determinó la erosión en un estudio realizado en Andisoles en las localidades de Tierra Blanca, Llano Grande, Potrero Cerrado, San Juan de Chicué (Cartago), en donde se establecieron parcelas experimentales de 30 m² de superficie en cultivos de rotación. Las pendientes del relieve fueron multiconvexo: A(66% parte superior), B(51%, debajo de A), C(8,8 %, parte inferior) y D (4,4 % parte inferior), y se relacionó la erosión con los datos de precipitación para el periodo octubre-noviembre 1985 y mayo-junio de 1986, con la colaboración de la estación meteorológica del Sanatorio Durán (ICE) . En el Cuadro 11 se muestra los resultados obtenidos por el investigador.

³ Comunicación personal con William Sánchez L. Ingeniero Agrónomo. Instituto de Investigación e Innovación en transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Cuadro 11. Erosión medida en distintos puntos topográficas de una rotación de cultivos hortícolas en las laderas del volcán Irazú en Costa Rica (Cortés 1993).

Parcela	Erosión(t.ha ⁻¹ .año)	Tiempo para erosionar 1 metro de suelo
A	134,78	63 años
B	13,85	613 años
C	44,23	180 años
D	5,95	1344 años

De acuerdo con esta información, la mayor erosión se presentó en la parcela A la cual tenía mayor grado de pendiente.

Marchamalo (2004) determinó la erosión en las localidades de San Rafael de Irazú (finca Guarumos), Buena Vista y Llano Grande de Pacayas, Cartago. Se instalaron microparcels de escorrentía, y donde el uso del suelo prioritario de la cuenca son la rotación de cultivos hortícolas y potrero o pasto de piso extensivo, los mismo contaban con una pendiente promedio del 40%. Los Cuadros 12 y 13 muestran los resultados obtenidos para erosión y escorrentía.

Cuadro 12. Promedios de erosión de tres microparcels tipo A, durante el periodo 01/09/2002 y 31/08/2003, relacionado con las precipitaciones para estos periodos (Marchamalo 2004).

Uso	Ubicación	Erosión(ton.ha ⁻¹)	Precipitación acumulada(mm)
Potrero	Buena Vista	0,4	2575
Pasto corta	Buena Vista	0,2	2575
Cultivo(*)	Llano Grande de (Pacayas)	12	1779
Frutales(*)	Llano Grande de (Pacayas)	0,4	1779

Cultivo= papa

Marchamalo (2004) muestra en cuadro 12 que el efecto de cobertura es

determinante en la erosión evaluada, ya que cultivos como pastos de corta (gramíneas) los cuales ejercieron mejor cobertura, presentaron menor tasa de erosión, seguido por el uso de potreros. En este estudio se determinó que las hortalizas (papa) son menos eficientes para evitar la erosión debido a su menor cobertura.

Cuadro 13. Promedios de erosión y escorrentía de tres microparcels tipo B por cada ciclo de cultivo evaluado en el año 2003 (Marchamalo 2004).

Uso	Ubicación	Periodo	Erosión(ton.ha- ¹)	lluvia	Escorrentia	Esc
				(l.m ⁻²)	(l.m ⁻²)	%
Papa	Guarumos	04/06 al 30/10	85	1634	253	15
zanahoria	Llano Grande de Pacayas	24/06 al 24/10	16	677	163	24

En el Cuadro 13, se muestra la tasa de erosión de las hortalizas papa y zanahoria. La papa presentó una tasa de erosión de 85 ton.ha⁻¹, y la zanahoria 16 ton.ha⁻¹, que se relacionó con la precipitación en las zonas estudiadas, encontrando mayor erosión en las zona con mayor cantidad de lluvia acumulada.

2.5 Capacidad de uso de las tierras en la zona norte de Cartago

Según lo expuesto durante el Congreso Nacional de Suelos (1999) citado por el MAG (1999), la producción agropecuaria es una de las principales actividades económicas que caracterizan la parte alta de la cuenca del río Reventazón, movilizand una parte considerable de la población local. Desde hace más de dos décadas, la producción de cultivos como papa y hortalizas la han convertido en la más importante del país en este aspecto.

Según el MAG (1999), el alto grado de utilización del suelo a lo largo de varias décadas, junto a los fenómenos naturales de erosión en zonas de fuertes

pendientes con altas precipitaciones, ha ocasionado un incremento en los procesos de degradación de los recursos naturales, particularmente en las tierras marginales para el uso agrícola.

Casi en forma general los suelos donde se cultiva papa tienen problemas de erosión, debido a que son áreas con prolongadas pendientes, deforestadas y han sido utilizadas para la agricultura por muchos años, sin la respectiva rotación de los cultivos, así como su reciente formación por cenizas volcánicas en 1963. Sumado a lo anterior, muchos productores utilizan rotavator, implemento agrícola poco recomendable para la preparación del suelo según información del Congreso Nacional de Suelos (1999), mencionado por el (MAG 1999).

Por otro lado, desde 1953 se crearon programas para la conservación de suelos mediante convenios de cooperación técnica suscritos por los gobiernos de Estados Unidos y Costa Rica (Núñez 2001). Entre ellos un decreto del gobierno de Costa Rica de 1987 estableció la metodología para clasificar la capacidad de uso de las tierras en el país. Su base metodológica es una adaptación al manual elaborado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en 1965 (Núñez 2001).

2.6 Ley 7779 de Uso, Manejo y Conservación de Suelos

Según el MAG (1998) el uso de la tierra en Costa Rica se encuentra normalizado por la Ley 7779 denominada “Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos” del 23 de abril de 1998. La creación de esta ley nace con el fin de proteger, conservar y mejorar los suelos, evitar la erosión y degradación generadas por causas naturales o artificiales, en donde algunos de los objetivos establecidos son:

- Utilizar de manera racional el suelo.
- Usar el suelo de manera sostenida e integrada con los demás recursos naturales

- Establecer inventarios ambientales que permitan tener un control sobre el aprovechamiento balanceado entre capacidad de uso y potencial.
- Buscar nuevas alternativas para el uso y manejo del suelo.
- Contar con el apoyo técnico para el manejo de residuos de fertilizantes y agroquímicos.

Es por esta razón que toda persona física o jurídica, pública o privada se encuentra obligada a emplear la mejor tecnología disponible, la aplicación de la mejor práctica en el uso del suelo, según lo citado en el Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (MAG 1998).

2.7 Cultivos de Cobertura

Según Teasdale (2004), Ernst (2004) y Navarro *et al.* (2007) los cultivos de cobertura son especies que se introducen en las rotaciones de cultivos para proporcionar servicios para el agro ecosistema, como por ejemplo protección del suelo contra la erosión, captura y prevención de pérdidas de nutrimentos del suelo, fijación del N en el caso de leguminosas, incrementó del carbono del suelo y mejoramiento de sus características físicas y químicas.

2.7.1 Las Funciones y Papeles de los Cultivos de Cobertura

Según FAO (1994), algunas de las funciones con las que cumplen los cultivos de cobertura son:

- Reducir costos.
- Generar ingresos
- Incrementar productividad.
- Reducir la degradación de recursos naturales.

En el Cuadro 14 se pueden observar de manera sintetizada las ventajas y desventajas que presentan los cultivos de cobertura.

Cuadro 14. Ventajas y desventajas de los cultivos de cobertura.

Ventajas	Desventajas
Reduce el costo ya que puede sustituir insumos como fertilizantes y herbicidas	Requiere de un manejo cuidadoso para prevenir la competitividad entre el cultivo de cobertura y el cultivo principal, cuando están en asoció.
No requiere de herramientas sofisticadas	Algunas especies perennes se secan en la época seca
Devuelven nutrimentos al suelo	Algunos especies pueden atraer plagas vertebradas ejemplo ratas.
Facilidad de siembra	Requieren de conocimiento para no crear un desbalance ambiental
Presentan variabilidad biológica	Algunas especies pueden tener efecto alelopático en el cultivo siguiente
Algunas especies compiten con malezas agresivas	Algunos especies pueden contribuir a plagas y enfermedades al cultivo principal
Se adaptan a distintas condiciones climáticas	Requieren mano de obra para el establecimiento y mantenimiento
Se pueden utilizar como cultivos de asociación, de relevo o rotación	Algunos cultivos aportan mayor cantidad de Nitrógeno al ser incorporados al suelo.

Adaptado de FAO (1994).

2.8 El cultivo de avena (Avena sativa)

Según Derpsch *et al.* (1985) la avena es originaria de Asia Central y comprende 15 especies (anuales y perennes), encontrando entre las más importantes la *Avena sativa* (blanca), *Avena bizantina* (amarilla) y *Avena strigosa* (negra), todas con varios tipos de cultivares.

La avena es un cultivo anual de la familia de las gramíneas, es recomendado para zonas altas ya que se adapta desde 1600 hasta 3400 msnm, es utilizado en muchos países para alimentación humana por su alto contenido de proteína (17 a 19%) y vitaminas, pero su principal uso es destinado para pastos y alimentación animal (Monegat 1991). Según el autor además de su uso en la alimentación animal, la avena es importante como una planta de cobertura al

suelo, se maneja como abono verde y como cobertura muerta, resaltando un buen efecto residual en el suelo sobre cultivos como soya y frijol, mejorando la sanidad del suelo, reduciendo enfermedades como *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*, disminuyendo la población de nematodos.

En Costa Rica se han realizado pruebas de siembra con muy buenos resultados en las localidades de Vara Blanca, Cot, Pacayas y San Juan de Chicué de Cartago, lugares ubicados entre los 1550 y 2964 msnm, con su uso principal como forrajera para corta y ensilaje, utilizándola principalmente para alimento de ganado (Sánchez 2006).

Este cultivo tiene las características de comportarse muy bien en suelos profundos y arenosos, pero no soporta el encharcamiento, la siembra se recomienda en terrenos recién desocupados por papa y hortalizas en general, se puede sembrar al voleo o en surco.⁴

Según Medina *et al.* (2008) el cultivo de avena se encuentra dentro de las mejores prácticas de conservación de suelos, ya que ayuda a reducir las pérdidas de agua, suelo y nutrimentos. Este mismo autor menciona que mediciones realizadas de pérdida de suelo durante un estudio realizado en el periodo 2002-2004, y más específicamente en el periodo 2003, en el que se cultivó la avena, este año presentó datos de menor pérdida de suelo, con respecto con el año precedente a éste, además se reportó una menor densidad aparente luego del cultivo para este año de estudio.

Como menciona Navarro *et al.* (2007) en un estudio realizado sobre coberturas de suelo, encontró que el cultivo de la avena presentó un buen comportamiento en lo que referente a cobertura y protección del suelo, para los diferentes

⁴ Comunicación personal con William Sánchez L. Ingeniero Agrónomo. Instituto de Investigación e Innovación en transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA).

momentos de medición realizados en el estudio. En el mismo trabajo el autor menciona que el cultivo alcanzó a los 60 días después de la siembra (dds) un 80% de cobertura del suelo, mostrando un efecto directo sobre la erosión del suelo, ya que puede reducir los impactos de las gotas de lluvia y favorecer la conservación del mismo.

La avena es un el cultivo de cobertura con buen efecto en la conservación de suelos, de acuerdo con la evaluación de variables como la tasa de erosión, materia orgánica y nutrimentos (Navarro et al 2007).

En el caso específico de la avena como planta de cobertura, se muestra en el Cuadro 15 la evaluación general de las principales características agronómicas y conservacionistas de la avena como planta de cobertura del suelo.

Cuadro 15. Principales características agronómicas y conservacionistas de la avena como planta de cobertura del suelo (Monegat 1991).

Especies	Rapidez de cobertura inicial del suelo	Ciclo hasta plena floración	Volumen o profundidad del sistema radical	Estructura física del suelo	Producción de materia verde	Producción de cobertura muerta	Control de malezas	Sanidad(Plagas)	Sanidad(Enfermedades)	Ciclo total	Facilidad de cosecha	Producción de semillas	Resiembra natural	No formación de guacimales	Restricción
Avenas	***	**	***	***	***	***	***	***	**	**	**	**	ND	ND	Momento de incorporación

*** = muy buena ** = buena * = regular ND= no hay datos

El Cuadro 16 muestra algunas de las características agronómicas y conservacionistas de las plantas de cobertura de invierno en el suelo, observadas en el CETREC (Centro de Tecnología Regional y Económica), Chapecó, (SC) 1985-1988, reportadas por Monegat (1991).

Cuadro 16. Características agronómicas y conservacionistas de la avena blanca y avena negra para invierno (Monegat 1991).

Especies		DESARROLLO APROXIMADO DE LAS PLANTAS					
Nombre Común	Nombre científico	Plena cobertura	Inicio de la Floración	Plena floración			Rendimientos obtenidos en el CETREC (ton.ha ⁻¹)
				Días	Altura de cobertura vegetal(cm)	Profundidad de raíces(cm)	
Avena Blanca	<i>Avena sativa</i>	45-65	110-140	125-160	100-130	(8-12)	36-45
Avena Negra	<i>Avena strigosa</i>	45-65	100-120	125-155	120-150	(8-12)	33-46

2.8.1 Preparación del terreno

De acuerdo con Barrojo (2011) existen dos maneras que pueden ser utilizadas al preparar el terreno para poder realizar la siembra del cultivo, estas formas son:

- Labranza convencional: se utiliza rastra con discos o dientes, logrando incorporando material vegetal al suelo mediante los volteos que se realizan, a su vez se logra la aireación del mismo ayudando al proceso de descomposición del material vegetal, y poniendo a disposición nutrientes que serán aprovechados por el cultivo.
- Labranza cero: en este caso para la preparación del terreno se utilizan agroquímicos, logrando quemar las malezas del suelo sin alterar su estructura.

2.8.2 Siembra

La avena blanca es un cultivo que se adapta a regiones templadas, mientras que la avena negra y amarilla se desarrolla tanto en climas tropicales como

subtropicales (Derpsch *et al.* 1991).

La avena se produce bien en casi todos los suelos, aunque germina mejor en suelos livianos, permeables, bien drenados, fértiles y con alta concentración de materia orgánica, adaptándose a un rango de pH que va de 5,0 a 7,0 (Monegat,1991).

Según Floss (1982) la siembra de avena se puede realizar por voleo o en surcos, esta última se practica en los terrenos más compactos, o donde se busca obtener mejores rendimientos, los surcos pueden estar a 20 cm separados entre sí para permitir el mejor desarrollo de la planta.

2.8.3 Fertilización

Debido a que el sistema radicular de la avena es más profundo y desarrollado que el del trigo y la cebada, le permite aprovechar mejor los nutrientes del suelo, por tanto requiere menos aportes de fertilizantes (Monegat 1991).

Según Barrojo (2011) si la planta se destina para forraje en verde debe intensificarse la cantidad de N que se aporta para conseguir una abundante vegetación. En cambio, si se destina para grano, el exceso de N alarga el ciclo vegetativo de la planta, lo cual no suele ser conveniente, pues se corre el riesgo de que se queme el grano.

La distribución del abonado se puede realizar en la siembra o durante la fase de crecimiento vegetativo, según el cultivo precedente y la resistencia de la variedad utilizada (Monegat,1991).

2.9 Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*)

La papa se inició como cultivo hace más de 7000 años, a orillas del lago Titicaca

en la frontera entre lo que hoy día son Perú y Bolivia, fueron los indígenas del Altiplano Andino quienes se dieron a la tarea de seleccionar y cultivar muchas de las variedades y especies que hoy día conocemos (MAG 1977).

Posterior a la conquista de América, la papa fue llevada a Europa por los españoles donde se le cultivaba como curiosidad en los jardines de los nobles y muchos años después comenzó a ser utilizada como alimento. Gracias a sus múltiples usos y a su capacidad de adaptación a diferentes zonas agrarias y climatológicas, su mejoramiento genético se aceleró en Europa, llegando a convertirse en uno de los principales alimentos no solo del viejo continente sino también del resto de la población mundial (MAG 1977).

2.9.1 Condiciones Agroecológicas

La papa requiere de clima frío o fresco para su producción y las temperaturas óptimas para su crecimiento y tuberización se encuentran entre 15 a 20 °C, y debe evitarse lugares donde la temperatura sea mayor a los 20 °C, ya que esto afecta la acumulación de carbohidratos en los tubérculos, así como alta temperatura y humedad por que se presentan problemas de enfermedades (Bolaños,1998).

Según Bolaños (2001) el suelo en el que se establezca el cultivo debe ser permeable, profundo, con una capa arable de al menos 30 cm, un pH entre 5 y 7, que su estructura facilite las labores de preparación de la tierra, manejo del cultivo y la cosecha, se tiene que considerar evitar sembrar en zonas muy expuestas al viento.

La papa se cultiva en la provincia de Cartago, en zona como Tierra Blanca, Llano Grande, Pacayas y parte de Santa Cruz de Turrialba, que tienen características apropiadas como son: temperaturas que oscilan entre 7°C y 25°C, y una precipitación promedio que oscila de los 1.400 a 2.600 mm anuales. El período lluvioso se inicia en mayo y disminuye en enero, siendo los meses de

octubre a diciembre los de mayor precipitación con 250 a 350 mm, el período menos lluvioso se enmarca de enero a abril, siendo marzo el mes más seco con un promedio de 50 mm (Bolaños, 1998).

En el Cuadro 17 se muestra la zona y épocas más propicias en la que se puede realizar la siembra de papa en Costa Rica.

Cuadro 17. Zonas y épocas de año para la siembra de papa en Costa Rica.

Zonas de producción	Época de siembra
Volcán Irazú(semilla)	Febrero-Marzo
Pacayas, Cervantes, Capellades (Alvarado)	Todo el año
Tierra Blanca, Llano Grande(Central Cartago)	Mayo-Junio, Setiembre- Octubre
Cot, Cipreses, Potrero Cerrado, San Rafael, San Pablo, Santa Rosa, San Gerardo, San Martín (Oreamuno), Cañon del Guarco y Cima de Dota	Mayo-Junio, Setiembre- Octubre
Turrialba	Febrero-Marzo, Octubre- Noviembre
Zona de Zarcero y estribaciones del Poás	Junio y Noviembre
Norte de la provincia de Heredia	Junio

Fuente: Bolaños (1998)

2.9.2 Fases fenológicas del cultivo de papa

En varios estudios agronómicos del cultivo de papa se han considerado las principales etapas fenológicas como los momentos indicados para la realización de mediciones de distintos procesos de crecimiento en relación a los cambios ambientales, según se puede observar en la siguiente Figura en la que se hace énfasis al proceso fenológico de la variedad Granola. (Bolaños, 2001)

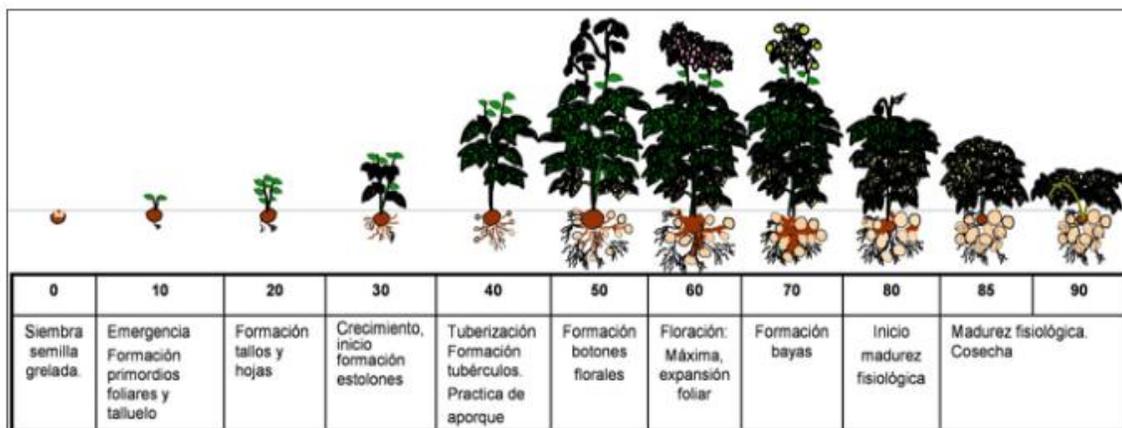


Figura 5. Etapas fenológicas del cultivo de papa en función de los días de siembra (Bolaños 2001).

2.9.3 Preparación del terreno

Según hace mención Barrojo (2011) existen dos maneras en que se pueden realizar la preparación del suelo, la misma debe ser hecha de tal manera que asegure una rápida emergencia de los tallos, una penetración profunda de las raíces y un buen drenaje. Para lograr esto se pueden seguir los siguientes pasos:

- Arar el terreno un mes antes de la siembra a una profundidad entre 25 y 30 cm.
- Pasar los discos o la rastra una o dos veces y, si es del caso, el rotador, para que el suelo quede en una condición que facilite la realización de los surcos.

Si el terreno es potrero aplicar herbicidas y dar un lapso de tiempo aproximadamente de mes y medio para ser trabajado con rotavator. Lo anterior para poder desmenuzar las raíces y tallos presentes del pasto, además de realizar la labor de emparejar el terreno (Barrojo,2011).

2.9.4 Siembra

Según menciona Castro (1985) en Costa Rica se siembra principalmente en

surcos. Los surcos se distancian entre 70 cm y 1 m, y las plantas en los surcos entre 15 y 30 cm, según el tamaño de la semilla y la variedad. Los tubérculos semilla se colocan en el fondo del surco y se cubren con una capa de tierra de 7 a 10 cm de alto para formar un lomillo, el cual se levanta entre 20 y 30 cm sobre el nivel del suelo cuando se realiza la aporca.

2.9.5 Fertilización

La papa es un cultivo cuya demanda de fertilización es alta y equilibrada, según el cálculo de la fertilidad del suelo. De acuerdo con Bertsch (2003), para la producción de 20 t.ha⁻¹ de papa se estima que el cultivo absorbe 220, 20, 240, 60 y 20 kg.ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

De acuerdo con Soto (1999), la eficiencia en la extracción de todos los nutrimentos absorbida por t.ha⁻¹ es menor al 10 % del total disponible en el suelo y en el caso de P algo menos al 3%, por esta razón requiere de aplicar grandes cantidades de fertilizantes fosfatados.

2.9.6 Cosecha

Según Bolaños (1998) la papa está lista para su cosecha cuando el follaje después de amarillar se seca completamente, lo cual lleva de dos a tres semanas. Es en este lapso en que los tubérculos maduran, lo cual puede comprobarse cuando al frotarlos con los dedos no desprenden su piel. La cosecha se hace generalmente en forma manual con el empleo de "garabatos" .

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Demostrar prácticas de manejo de la erosión mediante el uso de la avena (*Avena sativa*) y sus efectos sobre la erosión al ser utilizado como cultivo de cobertura, y poder capacitar a los técnicos de la empresa de Agro servicios el Surco, en dicho cultivo.

3.2 Objetivos Específicos

- Establecer una parcela para medir variables como lo son la tasa de erosión suelos y pérdida de nutrimentos asociados a los sedimentos de esa erosión, densidad aparente, conductividad hidráulica y porcentaje materia orgánica a través de una rotación de cultivos papa-avena.
- Capacitar al grupo técnico de Agro servicios el Surco en el uso de avena forrajera como cultivo de cobertura y su efecto en el suelo, en la zona de San Juan de Chicué de Oreamuno de Cartago.
- Diseñar un boletín que incluya el manejo de la avena como cultivo, y el efecto de esta en rotación con el cultivo de la papa, para la conservación del suelo, como herramienta para ser difundido a los agricultores de la zona norte de Cartago, por Agroservicios El Surco.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización de la Parcela

La parcela se ubicó en la zona de San Juan de Chicuá, en las coordenadas de latitud 9°57'19,91"N y longitud 83°51'16,65"O, según se muestra a continuación.



Figura 6 .Ubicación de la parcela demostrativa, en San Juan de Chicuá de Oreamuno, en el norte de Cartago. Fuente Google Earth 2013.

4.2 Establecimiento de la parcela demostrativa

Se ubicó una parcela demostrativa en San Juan de Chicuá, para realizar un ciclo de siembra de papa (*Solanum tuberosum*) de la variedad granola, en

rotación con avena (*Avena sativa*).

4.3 Características físicas de la parcela en estudio

Se contó con una parcela de una extensión de 7000 m² aproximadamente, ubicada a una altura superior a los 3000 msnm. La zona cuenta con datos promedios de temperatura y precipitación anual de 11.1 °C y 2198 mm, respectivamente, según la estación meteorológica de Potrero Cerrado de Oreamuno (Castillo,2012).

La parcela presentó una topografía con pendiente 35%, según se muestra en la Figura 7



Figura 7. Parcela demostrativa

4.4 Caracterización del área de trabajo

Se instalaron tres micro-parcelas de escorrentía en la parcela demostrativa, la ubicación de las mismas fue una en la parte alta, otra en la media y una en la parte baja de la parcela. Las dimensiones de cada una de las micro parcelas fueron de 3 m de ancho por 7 m de longitud y 30 m de distancia de una con otra. En la primera y última micro parcela se dejaron 10 m de distancia respecto a los

bordes, según la recomendaciones del INTA (2007).

Se ubicaron las micro-parcelas de forma escalonada, de tal manera que la presencia de una no interfería a la hora de determinar la tasa de erosión de la otra parcela. La distribución en campo se puede apreciar mejor en la Figura 8, que muestra la ubicación de la micro-parcela A en la parte superior durante el inicio del ciclo de papa.



Figura 8. Ubicación de la micro-parcela A dentro de la parcela demostrativa en la siembra del cultivo de papa.

Se realizó la siembra de las micro-parcelas bajo la siguiente secuencia primero las micro-parcela A en la parte superior, luego la micro-parcela B en la parte intermedia, y de último la micro-parcela C en la parte inferior.

Estas parcelas se instalaron antes de la siembra de papa y se desinstalaron a la cosecha de ésta, posteriormente fueron instaladas luego de la siembra de avena.

Se instaló un Geotextil “Silt Fence” (caracterización en el anexo 9) en cada micro-parcela, según las recomendaciones realizadas por el INTA (2007), para ello se colocó la trampa de sedimentos instalando el geotextil, con el fin de

retener los sedimentos y dejar pasar el agua, seguidamente se detallan los pasos utilizados para la instalación del Geotextil.

1. Se excavó una fosa con dimensiones de 10 cm -15 cm de ancho por 15 cm -20 cm de profundidad.
2. Se colocó el geotextil a lo largo de la fosa y posteriormente se relleno el hueco con tierra para evitar su remoción por parte de l agua de escorrentía.
3. Se colocaron estacas de 80 a 100 cm de altura, a una distancia de 30 cm una de otra, las mismas se enterraron a 30 cm aproximadamente, utilizando un mazo o martillo.
4. El geotextil se fijó a estas estacas a través de grapas o gazas plásticas.

Se pueden observar de forma ilustrada en la Figura 9, los pasos antes mencionados



Figura 9. Colocación del Geotextil en las micro parcelas.

4.4.1 Caracterización del suelo

Basado en estudios anteriores en zonas aledañas cuya información se encuentra consignada en el Cuadro 3, y además por su ubicación y formación volcánica, se consideró el suelo como un Andisol de textura predominantemente franca.

Se realizó un análisis químico de suelos previo al establecimiento de los cultivos para conocer el contenido de nutrimentos en el mismo, los resultados de estos análisis se muestran en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Análisis químicos de suelos realizados antes del establecimiento de los cultivos de papa y avena.

	pH	cmol(+).l ⁻¹					%			mg.l ⁻¹		
Cultivo	H ₂ O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
	5,5	0,5	4	1	0,2	5	10	10	3	1	10	5
Papa	5,6	0,50	1,78	0,3	0,24	2,82	18	79	2,7	14	177	5
Avena	5,4	0,575	1,43	0,4	0,39	2,8	21	133	4,5	13,5	205	8,5

Se realizó una análisis del contenido de materia orgánica antes del establecimiento de los cultivos (0 DDS). El mismo se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Contenidos de Carbono (C), Nitrógeno (N) y de materia orgánica en el suelo antes del establecimiento de los cultivos.

Cultivo	Periodo	C	N	Relación	Materia Orgánica
		%	%	C/N	%
Papa	0 DDS	2,68	0,18	14,90	3,83
Avena	0 DDS	2,54	0,21	12,36	3,63

4.5 Siembra de Cultivo Papa

Se sembró la papa de variedad granola, la cual es una variedad de ciclo corto que se cosecha alrededor de los 90 dds. Es la variedad que se cultiva en la zona, la siembra y prácticas de cultivo fueron las acostumbradas a realizar

por el agricultor⁵ y según se citan seguidamente.

- Preparación del terreno
- Siembra
- Fertilización
- Cosecha

4.6 Siembra Cultivo de Avena

La avena fue sembrada aproximadamente un mes después de haber iniciado la cosecha del cultivo de papa. Para realizar la siembra de avena se siguieron las siguientes indicaciones:

4.6.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó de forma manual, haciendo uso de herramientas como la gancha, para limpiar los residuos del cultivo anterior de papa, también se utilizó un tractor con el implemento de subsolador o picos, dando una pasada con los picos, se efectuó de esta manera porque se recomienda como buena práctica, para reducir la compactación del suelo y mejorar la infiltración, y no utilizar rotador ya que propicia más erosión.⁶

La azada fue utilizada para hacer los surcos, cuyas dimensiones fueron de 20 cm entre sí, y 10 cm de profundidad, los mismos tenían una orientación en contorno al terreno, según las recomendaciones realizadas por el INTA, (2007), los surcos y sus dimensiones se pueden observar en la Figura 10.

⁵ Comunicación personal con Asdrúbal Ribera S. Gerente General de Agro Servicios El Surco

⁶ Comunicación personal con Rafael Mata. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica.

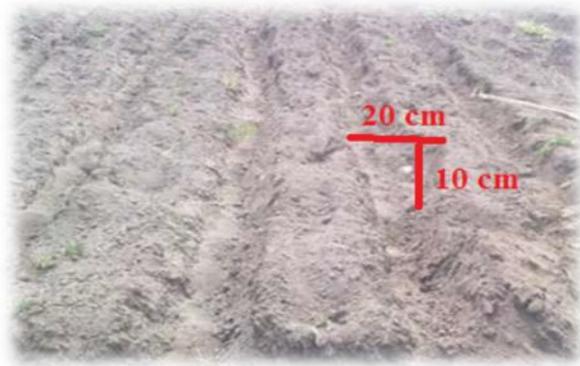


Figura 10. Dimensiones de los surcos utilizados en la siembra de avena.

4.6.2 Siembra

La semilla de avena (*Avena sativa*) fue sembrada en el surco de manera manual utilizando para mayor facilidad un balde, realizando una distribución al fondo del surco y a chorro seguido, según lo recomiendan los técnicos del Ministerio de Agricultura .⁷

La densidad de siembra fue de 35 kg de semilla por los 7000 m² (INTA 2007).

Se realizó el manejo del cultivo avena de una manera rústica, sin aplicaciones de fertilizantes, para brindar una alternativa de manejo de suelo, que no incurra en altos gastos para el productor.

En cuanto a control de malezas no se realizó ningún tipo de aplicación de herbicida, para controlar plantas ajenas al cultivo de avena, ya que con este nuevo uso de tierra, se tomó en cuenta el criterio de los técnicos de la empresa Agro Servicios El Surco S.A, que recomendaron un manejo diferente del suelo,

⁷ Comunicación personal con Beatriz Molina B. Ingeniera Agrónoma extensionista del Ministerio de Agricultura y Ganadería en la zona de Pacayas.

en donde se tenga una mayor cobertura vegetal, con el criterio de que menos pérdida por erosión se obtendrá, entre más cobertura vegetal se tenga. En el manejo del cultivo de avena tampoco se realizó ninguna aplicación de fertilizante, siempre buscando no incurrir en gastos adicionales al productor.

4.7 Periodos de los cultivos

En el Cuadro 20 se muestran las fechas en las que se realizó la división por periodos para ambos ciclos de cultivo.

Cuadro 20 . Periodos establecidos para la evaluación de las variables en cada uno de los cultivos.

Cultivos	Rangos y fechas del periodo 1	Rangos y fechas del periodo 2
Papa	0-60 DDS (19 marzo a 07 mayo 2012)	60-120 DDS(14 de mayo al 25 de junio 2012)
Avena	0-60 DDS (24 agosto a 09 octubre 2012)	60-120 DDS(16 de octubre al 25 de noviembre 2012)

En donde DDS: días después de la siembra.

4.8 Evaluación de variables

Se evaluaron sobre las siguientes variables: Tasa de erosión, precipitación, conductividad hidráulica, densidad aparente, humedad gravimétrica. También se determinó la pérdida de nutrientes y materia orgánica asociada a los sedimentos encontrados en los geotextiles.

Para un mejor análisis de los resultados de las variables se dividió en periodos de evaluación, por ciclo de cultivo.

Una vez definidos los periodos se realizaron las evaluaciones correspondientes a cada variable.

4.8.1 Tasa de Erosión

Se realizaron semanalmente evaluaciones de la tasa de erosión, durante el periodo de la parcela, para ello se recolectaron y luego se pesaron los sedimentos acumulados en la malla del geotextil Silt Fence.

Estos sedimentos retenidos se recolectaron con baldes, para luego ser pesados mediante una balanza (romana), esta evaluación se realizó en el campo. Las evaluaciones de sedimentos (peso fresco en laboratorio) estuvieron directamente relacionadas con el régimen de precipitación.

La Figura 11 muestra la recolección de sedimentos en el Geotextil Silt Fence



Figura 11. Recolección y cuantificación de sedimentos en las micro parcelas en el ciclo de papa A y el ciclo de Avena B.

4.8.2 Precipitación

Esta variable se evaluó utilizando un pluviógrafo digital, que reportó mediciones diarias. Este instrumento es propiedad de la estación meteorológica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) ubicada en San Juan Chicuá, ubicada a 500 m de la parcela experimental.



Figura 12 . Pluvigráfico utilizado para la evaluación de la

La interpretación de los datos se realizó calculando una precipitación acumulada para los periodos mencionados en el Cuadro 20 para ambos cultivos, el cual se relacionó directamente con los datos de tasa de erosión, como se mencionó anteriormente.

4.8.3 Conductividad hidráulica

Se tomaron muestras de suelo sin disturbar en cilindros de 5 cm de diámetro para realizar la medición de conductividad hidráulica en el laboratorio. Los cilindros utilizados en la toma de muestras se observan en la Figura 13.



Figura 13. Cilindros utilizados para la toma de muestras.

Se efectuó un muestreo para ambos cultivos durante los siguientes

periodos:

1. De los 0 dds antes del establecimiento de los cultivos, y se tomaron 3 muestras.
2. De los 60-120 dds finalizando el ciclo del cultivo, se tomaron 3 muestras.

Se realizó una evaluación adicional, luego de incorporar el cultivo de avena al suelo, esta incorporación se realizó alrededor de los 120 días después de la siembra.

Se tomaron muestras de suelo sin disturbar 15 días después de incorporar la avena, utilizando los cilindros de 5 cm de diámetro, en este caso con el rastrojo de avena incorporado, luego se llevó la muestra al laboratorio de Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica (Los resultados se muestran en el Anexo 4).

4.8.4 Análisis de nutrimentos y materia orgánica

Para evaluar las condiciones en las que el suelo se encuentra antes de realizar la siembra de avena, se recolectaron muestras con las cuales se realizó un análisis.

Para los análisis de nutrimentos se tomó una submuestra del suelo recolectado en el Geotextil "Sil Fence", de cada micro-parcela, se combinaron todas las submuestras para tener una única muestra de suelo, se realizó de esta forma ya que se contaba con un presupuesto establecido por parte de la empresa Agroservicios El Surco.

En el único caso que se tomaron tres muestras de las diferentes micro-parcelas y se llevaron las tres a analizar por separado, fue en el caso de avena para el periodo 1-60 DDS, ya que hubo en las tres micro-parcelas una gran variabilidad

de sedimentos.

Lo anterior se realizó para poder llevar a cabo los siguientes análisis de suelos, y determinar el contenido de nutrimentos y materia orgánica (MO) que se pierden por erosión. Se analizó el pH en agua, acidez, Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Zn, Mn, con los procedimientos del Laboratorio de Suelos de CIA-UCR (Díz.Romeu y Hunter 1978). La materia orgánica se analizó por el método de combustión en horno



Figura 14. Recolección de muestras para la evaluación en el laboratorio.

Para el estudio de esta variable se tomaron muestras en los siguientes periodos para ambos cultivos:

- Antes de la siembra de los cultivos (0 DDS).

Muestreo en los sedimentos recolectados en las micro-parcelas:

- De los 1-60 días después de la siembra (DDS)
- De los 60-120 días después de la siembra (DDS)

Se calculó la pérdida de elementos siguiendo la metodología utilizada por Castillo (2012), la cual se puede consultar en el anexo 15.

4.8.5 Humedad Gravimétrica

Se realizó una medición semanal de la humedad gravimétrica de los sedimentos recolectados en el geotextil, las mismas se pueden consultar en el Anexo 11. Estas mediciones se efectuaron en ambos cultivos.

Se tomaron muestras de sedimentos y se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad de Costa Rica en la Sede del Atlántico, y se determinó la Humedad gravimétrica según la metodología descrita por Henríquez *et al* (1999).

Las muestras se tomaron durante todo los periodos de los cultivos, los resultados se muestran en el anexo 11 en la segunda columna.

4.8.6 Densidad Aparente

Para la determinación de la densidad aparente, se tomaron 3 muestras sin disturbar de suelo en la parcela de rotación, para cada ciclo y para ambos cultivos en los siguientes periodos:

- Se tomaron 3 muestras de los 0 días después de la siembra (DDS) antes del establecimiento de los cultivos.
- Se tomaron 3 muestras de los 60-120 días después de la siembra (DDS)(Al finalizar el ciclo del cultivo).
-

En el caso del cultivo de avena se realizó un análisis luego de la incorporación de cultivo de avena al suelo. Los resultados de los análisis se pueden consultar en el anexo 4.

4.8.7 Actividades con Agroservicios El Surco

Se realizó una gira a la parcela de rotación de papa-avena al final del ciclo de la avena, en compañía de los técnicos de la empresa Agro Servicios El Surco y en compañía del director de la Práctica Dirigida el Ing. Eloy Molina.

Se realizó una charla el día viernes 23 de agosto del 2013, se impartió al grupo técnico de Agro Servicios los temas aparecen desglosados a continuación:

- Los resultados finales obtenidos en la parcela de rotación papa-avena para las variables físicas como conductividad hidráulica, densidad aparente.
- Los resultados en tasa de erosión relacionados con la precipitación acumulada durante los ciclos de los cultivos.
- Los resultados de las propiedades químicas como la pérdida de nutrimentos Ca, Mg, K y P asociados a la precipitación, y el desbalance de nutrimentos en el suelo producto del manejo inadecuado del mismo.
- La pérdida de materia orgánica asociada al régimen de precipitación.
- Se propuso utilizar la avena como cultivo de cobertura y una alternativa de uso para la práctica de conservación de suelos.

Se diseñó un boletín con la información general de los resultados obtenidos con la avena como cultivo de cobertura el cual se puede consultar en el anexo 1. Se incluyó en el boletín la experiencia de la rotación papa-avena como alternativa de uso de suelo.

5. RESULTADOS

5.1 Precipitación

Para el estudio de esta variable al no contar con un pluviógrafo digital propio, se evaluó mediante un pluviógrafo propiedad de la estación meteorológica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), ubicada en San Juan de Chicué, a 500 m de la parcela experimental, el cual reportó mediciones diarias.

En la Figura 15 se muestra el comportamiento de la precipitación total acumulada de los siguientes periodos de 0-60 DDS y de 60-120 DDS, para los cultivos de papa y avena, las fechas para ambos cultivos son las que se muestran en el Cuadro 20.

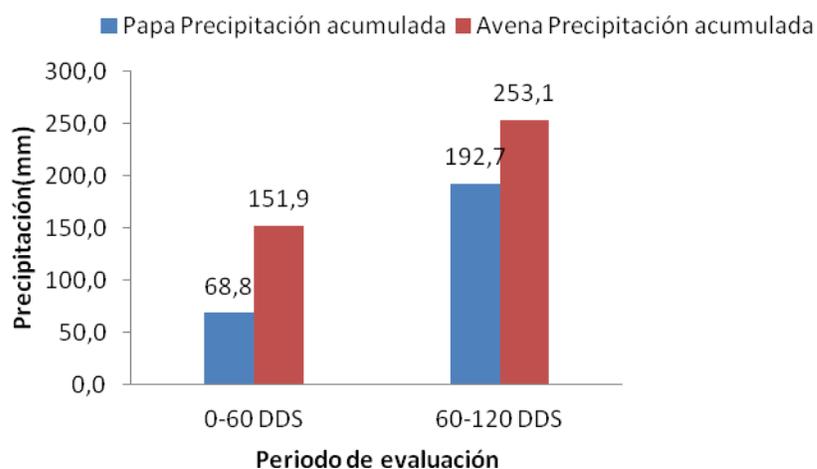


Figura 155. Régimen de precipitación acumulada mensual durante el periodo 2012.

En la Figura 15 se muestra el comportamiento del régimen de lluvias que se presentó durante el cultivo de papa en los periodos 0-60 DDS y 60-120 DDS, esta precipitación fue de 68,8 y 192,7 mm, respectivamente, y las precipitaciones que se presentaron en el cultivo de avena de 0-60 DDS y de 60-120 DDS, que fueron de 151,9 y 253,1 mm, respectivamente.

El comportamiento de la precipitación en papa se le puede atribuir a que el cultivo se estableció en el periodo de estación seca y culminó en los primeros meses de la estación lluviosa, tal y como se presentó en el Cuadro 20, esto según Instituto Meteorológico Nacional(IMN) en el año 2013, el periodo comprendió de diciembre a marzo e incluyendo el mes de abril que es considerado de transición, mientras que el cultivo de avena se estableció durante toda la época lluviosa desde mayo a octubre, considerándose noviembre como periodo de transición.

Según Muñoz *et al.* mencionado por IMN (2013) los meses más lluviosos son setiembre y octubre, que es congruente con los resultados de precipitación mostrados en la Figura 15 para el ciclo de avena en el periodo comprendido de 60-120 DDS con una precipitación de 253,1 mm.

Castillo (2012) en un estudio similar realizado en el 2011 en una finca ubicada en la parte alta de Cartago, obtuvo valores de precipitaciones acumuladas similares a las expuestas en la Figura 15. En este estudio Castillo (2012) menciona que las fincas ubicadas a una mayor altura presentaron resultados con las más bajas precipitaciones en época seca, un comportamiento similar al presentado con el establecimiento de la parcela de papa en el presente trabajo y aumentó la cantidad de precipitación en época lluviosa, lo que también coincide con los datos presentados para la etapa de establecimiento del ciclo de la avena.

5.2 Tasa de Erosión

Con respecto a la tasa de erosión para ambos cultivos se relacionan con su respectiva precipitación, tal como se presenta en la Figura 16.

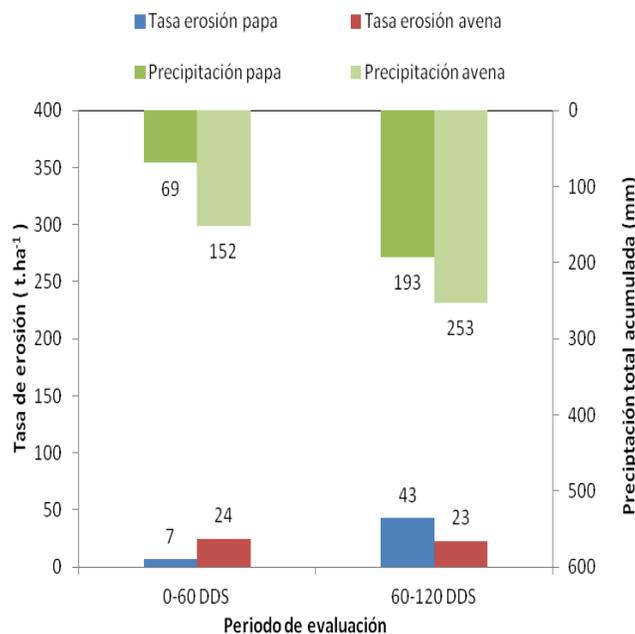


Figura 16. Erosión total y precipitación total acumulada para los periodos.

El comportamiento de la tasa de erosión para los dos periodos en estudio, así para el periodo de 0-60 DDS se presentó una pérdida de suelo en avena de 24 t.ha⁻¹ y en el cultivo de papa de 7 t.ha⁻¹. El comportamiento anterior se puede explicar al relacionarlo con la precipitación acumulada, que en el cultivo de papa fue de 69 mm, mientras que la precipitación acumulada en el periodo de la avena fue de 152 mm, coincidiendo el establecimiento del cultivo avena con la entrada de la época más lluviosa en el país para el año 2012.

El comportamiento de 60-120 DDS presentó una pérdida de suelo para el cultivo de avena de 23 t.ha⁻¹, con un valor de una tonelada menos de erosión que en el periodo anterior y con un valor más alto de precipitación con 253 mm que el ciclo anterior, para el mismo cultivo, mientras que el cultivo de papa presentó una tasa erosión de 43 t.ha⁻¹ y una precipitación de 193 mm, con una pérdida de 36 ton.ha⁻¹ más que en el período anterior.

Según la clasificación que realizan Jeffrey *et al.* (1989), Cubero (1994) y Nuñez (2001), sobre la pérdida de suelo a nivel nacional, las fincas en zonas altas del país que presentan tasas de erosión con valores de 0-10 t.ha⁻¹ al año son consideradas como de clase tolerable, de 10-50 t.ha⁻¹ como moderada, de 50-200 t.ha⁻¹ severa, y mayor de 200 t.ha⁻¹ muy severa. La finca presentó durante todo el periodo de evaluación un total de erosión de 97 t.ha⁻¹ lo cual es considerado como erosión severa.

El valor total de erosión en papa presentado fue de 50 t.ha⁻¹, valor más bajo que el reportado por Marchamalo (2004), en un estudio realizado en la zona, en una finca ubicada en San Rafael de Irazú, con una pendiente del 40% similar a la presentada en San Juan de Chicua que fue de 35%, y con una precipitación de 1634 mm mayor que los 262 mm de precipitación presentada en todo el ciclo de papa en San Juan de Chicué. La erosión reportada por Marchamalo (2004) fue de 85 t.ha⁻¹ en 5 meses de cultivo de papa, estos valores se clasifican como erosión severa. Este mismo autor reportó una erosión de 12 t.ha⁻¹ en suelos con cultivos hortícolas no mecanizados.

Cortez (1993) en un estudio realizado en Andisoles en las zonas aledañas al volcán Irazú a cuatro diferentes pendientes A(66%), B(51 %), C(8,8%) y D(4,4%), encontró que a mayor pendiente mayor erosión, obteniendo los siguientes valores: 134,7 t.ha⁻¹, 13,85 t.ha⁻¹, 44,23 t.ha⁻¹, y 5,95 t.ha⁻¹ año, respectivamente. Este estudio mostró la gran variación que existe en los valores de erosión en la zona, debido a la gran diversidad de pendientes que existen.

Se considera que para el periodo 60-120 DDS por el efecto de cobertura del follaje de la avena protegió el suelo de la erosión hídrica causada por la lluvia, lo anterior se explica ya que al usar un cultivo de cobertura como la avena que tiene un mayor desarrollo de follaje, disminuye el efecto de lavado por las precipitaciones, principalmente porque se tiene una mayor cobertura vegetal, tal como se muestra en el anexo 7 en donde se puede apreciar visualmente lo

mencionado. También menciona Navarro *et al.*(2007), que al sobrepasar la avena el periodo después de los 60 días de sembrada lograba una buena cobertura vegetal, reduciendo el impacto de las gotas de lluvia y los riesgos de erosión, y favoreciendo la conservación del suelo.

En otras latitudes como por ejemplo Colombia se han obtenido valores de erosión de este elemento en suelos desnudos de $1 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, y en suelos con cobertura de $0.66-0.77 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, para Andisoles (Bertsch 1995), lo cual confirma el efecto de la cobertura de suelo sobre la erosión.

De acuerdo con Marchamalo (2004) en el estudio realizado en San Rafael de Irazú, el efecto de una menor cobertura causó una mayor erosión, esto en cultivos hortícolas como papa. Este autor registró pérdidas en papa de 12 t.ha^{-1} y en potrero de $0,4 \text{ t.ha}^{-1}$, pasto de corta de $0,2 \text{ t.ha}^{-1}$ y frutales de $0,4 \text{ t.ha}^{-1}$, en donde el cultivo de papa fue el que presentó mayor erosión, y el pasto de corta, por su altura y cobertura, presentó menor tasa de erosión. El comportamiento del pasto de corta es similar al mostrado por la avena en el periodo 60-120 DDS, según Monegat (1991) las gramíneas, al manejarse con una alta densidad de plantas por hectárea protegen mejor el suelo que otras especies, específicamente menciona que la avena protege el suelo por el tipo de cobertura aérea que presenta el cultivo.

Según Forsythe (1985) el crecimiento de los cultivos tiene un efecto en la reducción de la tasa de erosión, lo cual coincide con los resultados encontrados en este trabajo (Figura 16) que muestran para el cultivo de avena que al presentarse mayores precipitaciones se obtuvo una menor tasa de erosión, lo anterior se le atribuye a una mayor cobertura y desarrollo del cultivo.

El cultivo de papa presentó una tasa de erosión de 43 t.ha^{-1} en el periodo 60-120 DDS, mayor que en el periodo de 0-60 DDS para el mismo cultivo. Este resultado probablemente se debe a que en este periodo de 60-120 DDS hubo

precipitaciones más altas que las presentadas de 0-60 DDS para este cultivo. Otro factor que pudo haber influido es que el follaje de la papa comienza a decaer desde el inicio de llenado de tubérculos hasta culminar este ciclo fenológico, por la translocación de nutrimentos y azúcares de las hojas a los tubérculos (Bolaños 1998).

5.3 Conductividad Hidráulica

En el Cuadro 21 se muestra el promedio de los diferentes análisis de conductividad hidráulica. Estos se realizaron antes de los periodos en estudio (0 DDS) y en el periodo (60-120 DDS), así como después de los 120 días del cultivo (aproximadamente entre los 15 y 22 días luego de la incorporación de la avena).

Cuadro 21. Promedios de conductividad hidráulica para los análisis realizados en los periodos antes de las siembras (0 DDS) y 60-120 DDS, y luego de cortar e incorporar la avena, más de 120 días (>120).

Periodos de evaluación	Conductividad Hidráulica(cm.h ⁻¹)	
	Cultivos	
	Papa	Avena
0DDS	107,7	9,2
60-120 DDS	7,3	19,7
>120 DDS	*	59,7

DDS: días después de siembra

* No se efectuó evaluación

Según muestra el Cuadro 21 los resultados obtenidos con la evaluación de la variable de conductividad hidráulica, mostrando valores antes de establecer los cultivos a los 0 DDS, en el caso de papa con 107,7 cm.h⁻¹ que es considerado como conductividad muy rápida (>25,40 cm.h⁻¹), y 9,2 cm.h⁻¹ en avena para este mismo periodo, el valor considerado como moderadamente rápida (6,30-12,70 cm.h⁻¹).

Para el periodo de 60-120 DDS el valor para papa fue de 7,3 cm.h⁻¹, considerado

como de conductividad moderadamente rápida (6,30-12,70 cm.h⁻¹) (Henríquez et al. 2012). En el caso del cultivo de avena para este mismo periodo, el valor fue de 19,7 cm.h⁻¹, que es considerado como de conductividad rápida.

El análisis inicial realizado antes de establecer el ciclo en papa y avena se puede atribuir a lo mencionado por Castillo (2012) de los Andisoles presentan valores altos a moderados de conductividad hidráulica en suelo saturado.

Los valores mostrados en el Cuadro 21 en el periodo de 60-120 DDS en el caso de papa se pueden deber al efecto de la compactación causada por los implementos agrícolas en la preparación del terreno, en la preparación de la siembra. Gómez (2011) indica que los implementos agrícolas tienen un efecto sobre la compactación del suelo, y por ende sobre propiedades como la conductividad hidráulica. El mismo autor determinó un cambio significativo en los coeficientes de conductividad hidráulica en un Andisol luego de varias pasadas con implementos agrícolas. En el caso de avena para el período de 60-120 DDS tal efecto de compactación no se presentó.

Mientras que para el periodo mayor a 120 DDS se realizó el análisis de conductividad hidráulica únicamente en el cultivo de avena ya que se quería determinar si la incorporación del rastrojo de avena al suelo causaría un cambio en la capacidad de conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica fue de 59,7 cm.h⁻¹ posterior a la incorporación del rastrojo (Cuadro 21), la cual es considerada como muy rápida (>25,40 cm.h⁻¹), según la información presentada en el Cuadro 4. Hubo un aumento de la conductividad hidráulica después de la incorporación del rastrojo de avena al suelo, pasando de 19,7 cm.h⁻¹ a 59,7 cm.h⁻¹, probablemente debido al aumento de materia orgánica producto de la incorporación de la avena. Tal y como lo indica Henríquez *et al.*(1999).

5.4 Pérdida de nutrimentos

En lo que respecta a las propiedades químicas del suelo, se estudió la pérdida de nutrimentos. Para este estudio se realizaron análisis químicos de los sedimentos recolectados de las micro parcelas de erosión en lo que comprende los periodos de 1-60 DDS, 60-120 DDS, tanto el cultivo de avena como para el cultivo de papa.

Tomando el criterio de que la fertilidad de los suelos es determinada por la Capacidad de Intercambio Cationico (CICE) en el suelo, y ésta la conforman la suma de las bases Ca, Mg y K, es que se analizó por separado la pérdida de cada uno de ellos.

También se analizó la pérdida de P, dada a la importancia de este elemento en la producción de hortalizas como la papa.

En el Cuadro 22 se muestra el contenido inicial de nutrimentos en kilogramos por hectárea encontrados en el suelo antes de realizar las siembras.

Cuadro 22. Contenidos de nutrimentos en el suelo en kg.ha⁻¹.

Cultivo	Ca	Mg	K	P
	kg.ha ⁻¹			
Papa	356	117	29	158
Avena	286	158	48	265

5.4.1 Calcio

Es un elemento que determina la fertilidad del suelo, y sus aplicaciones en enmiendas van dirigidas a realizar correcciones de pH y estructura de los suelos.

En la Figura 17 se muestra la pérdida de Ca durante los períodos en estudio tanto para el ciclo de papa como el ciclo de avena. Se realizó un análisis previo al establecimiento de los cultivos, con la finalidad conocer los contenidos iniciales de los nutrientes en la parcela, el contenido presentado para el cultivo de papa fue de 356 kg.ha⁻¹ y el de avena 286 kg.ha⁻¹.

El mayor contenido de Ca antes del establecimiento del cultivo de papa está relacionado con un encalado realizado con anterioridad al muestreo.

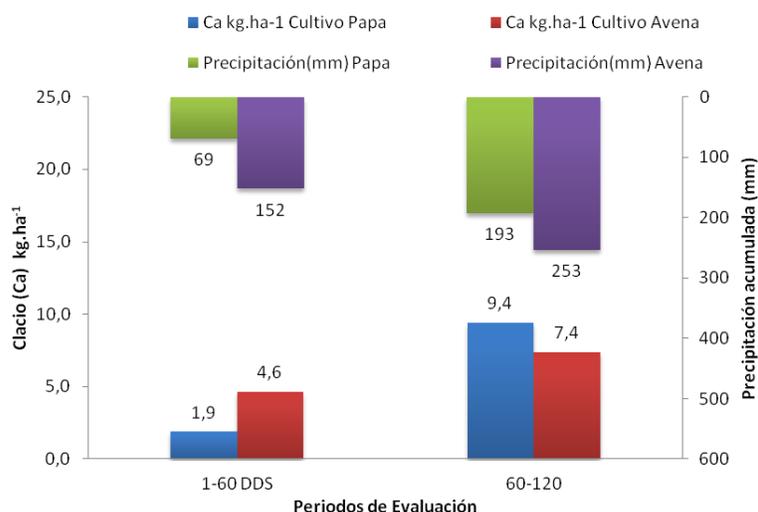


Figura 17. Pérdida de Ca (kg.ha⁻¹) en una parcela con un porcentaje de pendiente de 35%, y la precipitación acumulada en mm, en San Juan de Chicué Oreamuno.

De acuerdo a la Figura 17 para el periodo de 1-60 DDS la pérdida de Ca en el cultivo de papa fue de 1,9 kg.ha⁻¹, y en avena de 4,6 kg.ha⁻¹, y se relacionó con la lluvia debido a que la precipitación acumulada que se presentó en papa fue de 69 mm, y en avena de 152 mm..

En el periodo de 60-120 DDS hubo una pérdida de Ca en la siembra de papa de 9,4 kg.ha⁻¹ más, que en el periodo anterior para el mismo cultivo, y en el periodo de avena de 7,4 kg.ha⁻¹, estas pérdidas se relacionaron con un aumento en la precipitación acumulada, en el ciclo de papa fue de 193 mm y en el de avena 253 mm.

Las pérdidas de Ca incrementaron por el efecto del lavado causado por la precipitación, en la papa la pérdida pasó de $1,9 \text{ kg.ha}^{-1}$ a $9,4 \text{ kg.ha}^{-1}$ de Ca, lo anterior se podría atribuir a la caída de la cobertura del cultivo al final de su ciclo como o ha mencionado Bolaños(2001). En el cultivo de avena Monegat (1991) menciona que por ser una gramínea que se siembra a una alta densidad presenta una buena cobertura de suelo, sin embargo se presentaron pérdidas de nutrimento en ambos ciclos de cultivo, lo cual se relaciona con los regímenes de precipitación altos ya que el cultivo se desarrollo en época lluviosa y al comportamiento del Ca a lavarse en estos suelos con altas precipitaciones. Navarro *et al.*,(2007), menciona que el utilizar la avena como cultivo de cobertura, uego de los 60 días de sembrada se logra una buena cobertura vegetal, que reduce el impacto de las gotas de lluvia y los riesgos de erosión, favoreciendo la conservación del suelo, Monegat (1991) menciona que la *Avena sativa* es la especie que mejor se comporta en épocas de aumento del régimen de las precipitaciones.

El aumento de las pérdidas altas de Ca para el segundo ciclo en ambos cultivos, se pueden relacionar también con el efecto residual causado por los fertilizantes adicionados, en la aporca de la papa, ya que según lo reportado por Alvarado *et al.* (2001) estos suelos presentan un lavado de cationes por la acidificación causada por el fertilizante, este efecto es más marcado según Cabalceta *et al.* (1994) en fincas de alta tecnología, ya que estas adicionan al suelo altas cantidades de fertilizante.

El lavado aumenta con un incremento en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, como se muestra en la Figura 17, ya que el cultivo de avena se estableció durante el periodo lluvioso, y el de papa durante buena parte de la estación seca. Lo anterior explica porque se perdió más nutrimentos en el ciclo de avena que en el de papa. El Ca es susceptible al lavado en Andisoles, y por su contenido de arenas y tipo de arcillas, la lixiviación de Ca es de media a alta en estos suelos (Bertsch 1995).

Castillo (2012) encontró esta misma relación entre las pérdidas de Ca y la precipitación, determinando pérdidas de Ca de 11,52 kg.ha⁻¹, 0,82 kg.ha⁻¹ y 14,23 kg.ha⁻¹, con pendientes de 15%, 15-30 %, y 45%, respectivamente. De acuerdo con el mismo autor, las mayores pérdidas de Ca se presentaron en las fincas a mayor altura, con pendientes del 45%, condiciones similares a las que se desarrolló el presente estudio, en donde se tenía una pendiente de 35%.

5.4.2 Potasio

Es un elemento muy importante en la dinámica del suelo, ya que determina al igual que el Ca la fertilidad de los suelos. Es indispensable para determinar las relaciones de bases (Bertsch 1995).

En la Figura 18 se muestra la pérdida de K durante los períodos en estudio tanto para el ciclo de papa como el ciclo de avena. El contenido inicial de K para el cultivo de papa fue de 29 kg.ha⁻¹ y en avena de 48 kg.ha⁻¹ (Cuadro 22). El contenido más alto previo al cultivo de avena, se puede explicar por el efecto residual de la segunda fertilización en papa, donde se utilizaron fórmulas altas en nutrientes como K para favorecer el llenado de tubérculos (Soto 1994).

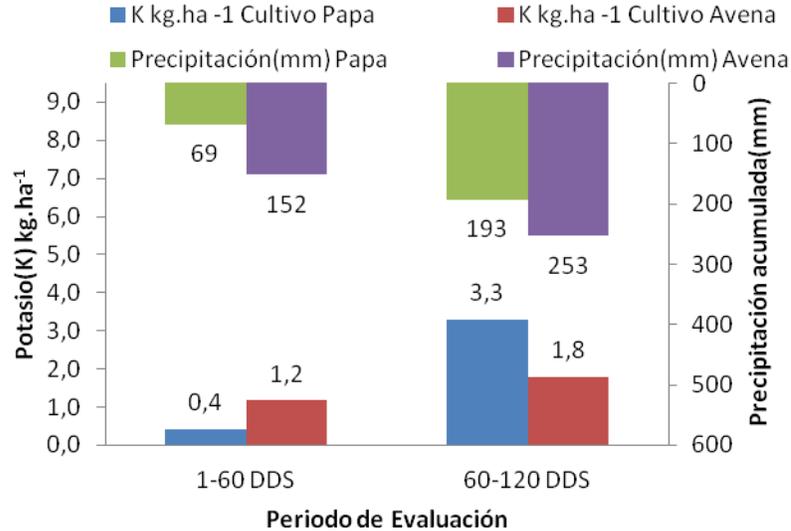


Figura 188. Pérdida de K (kg.ha⁻¹) en una parcela con un porcentaje de pendiente de 35% y precipitación acumulada en mm en San Juan de Chicué Oreamuno.

Para el periodo que comprende de 1-60 DDS hubo pérdidas de K en ambos cultivos, en avena con 1,2 kg.ha⁻¹ y en papa con 0,4 kg.ha⁻¹, con una precipitación acumulada en el ciclo de papa de 69 mm y en avena de 152 mm.

Este comportamiento del K en el cultivo de avena se puede atribuir al establecimiento de la avena durante la estación lluviosa del país, causando un mayor lavado del suelo y por ende una mayor lixiviación de este elemento.

Bertsch (1995) menciona que la arcilla alófana en Andisoles tiene afinidad por el K, fijándolo en los intersitios de la arcilla, pero aún así, pueden presentar problemas de lixiviación de K, por ser un catión monovalente altamente susceptible al lavado. Lo mencionado por esta autora, se corrobora con algunos valores de pérdida de K en Andisoles de la zona, reportados por el MAG INTA (2010), a diferentes pendientes de 3%, 15% y 30 %, con valores de 251 g.ha⁻¹, 849 g.ha⁻¹ y 248 g.ha⁻¹, respectivamente.

Para el periodo de 60-120 DDS las pérdidas de K por erosión fueron en papa de $3,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y en avena $1,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 18), con una precipitación durante el ciclo de avena de 253 mm, y en papa de 193 mm.

Sumado a la consecuencia del lavado debido a la precipitación, se considera que también se presentó un efecto residual causado por el fertilizante, de acuerdo con Alvarado *et al.* (2001) el efecto de la acidificación proveniente de fertilizantes amoniacales en el suelo tiene como consecuencia un lavado de cationes por lixiviación, como es el caso del K, lo cual se agrava en el cultivo de la papa debido a que es normal que se sobre dosifique el fertilizante, como lo indica Soto (1994).

5.4.3 Magnesio

El Mg, al igual que el Ca es un elemento importante en la dinámica del suelo, ya que ayuda a balancear las bases (Bertsch 1995).

En la Figura 19 se muestra las pérdidas de Mg. El contenido inicial de Mg fue de $117 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en papa, y el de avena de $158 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. El contenido más alto del elemento previo al cultivo de avena se puede explicar por el efecto residual de la segunda fertilización en papa (Soto 1994).

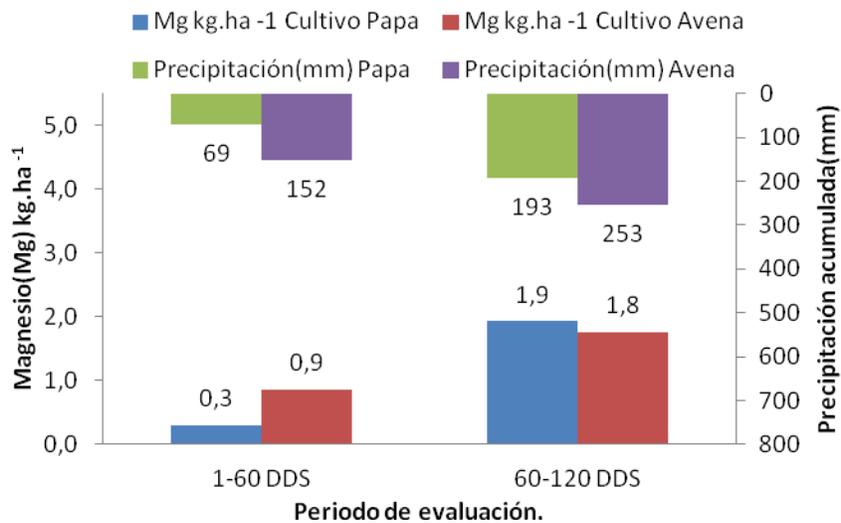


Figura 19. Pérdida de Mg (kg.ha⁻¹) en una parcela con un porcentaje de pendiente de 35% y precipitación acumulada en mm, en San Juan de Chicúa Oreamuno.

Para el periodo entre 1-60 DDS hubo pérdida de Mg, siendo prácticamente similar en ambos cultivos. El mismo comportamiento se presentó para el período de 60-120 DDS, ambos periodos se relacionaron con las precipitaciones acumuladas. De acuerdo con Bertsch (1995) el Mg es muy susceptible al lavado por la lluvia, y estos suelos pueden presentar problemas más graves de Mg causado por el manejo, ya que al realizar fertilizaciones altas en K para mejorar el llenado de tubérculos, pueden causar deficiencias de Mg en el suelo por desbalance y antagonismo.

Los bajos contenidos del Mg en el suelo (anexo 2), se reflejan con bajas pérdidas del elemento si los comparamos con las pérdidas de las otras bases, comportamiento que se presentó en los reportados por MAG INTA (2010) en el Cuadro 7 en un estudio realizado en la zona de Plantón, en donde los valores más bajos de pérdidas de nutrientes fueron reportados para el Mg con valores de 80 g.ha⁻¹, 103 g.ha⁻¹ y 84 g.ha⁻¹ respecto a las otras bases.

Fassbender (1994) menciona que en un estudio realizado sobre el efecto de la

fertilización a largo plazo, determinó que el Mg disminuyó en el suelo por la aplicación de NPK, el aumento de K en el complejo de intercambio produjeron una pérdida significativa del Ca y Mg, y en el caso particular del Mg disminuyó de 8,07 a 4,28 meq.100 g⁻¹ indicando así una pérdida de casi el 50 %.

Este antagonismo de K y Mg documentado por Bertsch (1995) y Melendez *et al.* (2001) en Andisoles, se presentó se presentó también en este trabajo, debido a que el K estaba por encima del nivel óptimo, y el Mg estaba deficiente en el suelo

Según lo reportado por Soto (1994) la aplicación de altas dosis de fertilizantes con altos contenidos de K, para nutrir la papa, causan un desbalance en la relación con Ca y Mg.

5.4.4 Fósforo

El P es un elemento importante, este se fija en las arcillas de los Andisoles (Bertsch 1995), y su costo como fertilizante es alto (Molina 2003).

En la Figura 20 se muestra el comportamiento del P durante el periodo en estudio. El contenido inicial de P fue de 158 kg.ha⁻¹ en papa, y el de avena fue de 265 kg.ha⁻¹. El contenido más alto del elemento previo al cultivo de avena se puede explicar por el efecto residual de la segunda fertilización en papa (Soto 1994). Estos valores iniciales mencionados, con altos contenidos de P son consecuencia según Castro (1985) que los productores de papa en Costa Rica utilizan dosis de fertilizantes mayores a las requeridas por el cultivo, y Alvarado *et al* (2009) determinó en un estudio realizado que las fertilizaciones con P en el cultivo de papa dejan un efecto residual en los suelos volcánicos.

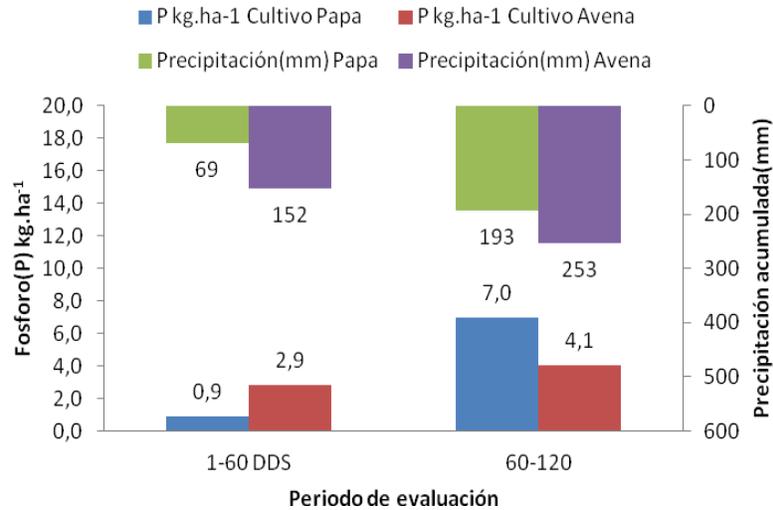


Figura 20. Pérdida de P (kg.ha⁻¹) en una parcela con una pendiente de 35% y precipitación en mm en San Juan de Chicué Oreamuno.

Como se muestra en la Figura 20 las pérdidas de P en el periodo 0-60 DDS en ambos cultivos, estuvieron relacionadas con una menor cobertura de las plantas y con el régimen de precipitación, y fueron de 0,9 kg.ha⁻¹ en papa y 2,9 kg.ha⁻¹ en avena. Las pérdidas de P registradas en el periodo 60-120 DDS se relacionaron con un aumento de la precipitación.

Las pérdidas de P son menores en suelos de origen volcánico, menciona Bertsch (1995) que este elemento presenta cierta resistencia al lavado o lixiviación ya que en los suelos de origen volcánico el P se fija en las arcillas del suelo. Lo anterior se demuestra en un estudio en la finca “La Violeta” en donde se encontraron las siguientes pérdidas de P: 31 g.ha⁻¹, 173 g.ha⁻¹ y 36 g.ha⁻¹, lo cual se consideró como bajas si les compara con las pérdidas de otros nutrimentos reportados en esa finca(MAG INTA 2010).

Según Soto (1994) si bien muchos Andisoles tienen altos contenidos de P total que oscila entre 800 y 5500 mg.l⁻¹, sólo entre 6 y 161 mg.l⁻¹ de P extraíble en Olsen Modificado se encuentra disponible en suelos cultivados de papa, de ahí

las fertilizaciones con altos niveles de P. Fassbender *et al.* (1994) considera que los Andisoles pueden fijar hasta un 86,4% del P que se encuentra en el suelo. Castro (1985) considera el cultivo de papa es un cultivo con una alta demanda de este elemento, probablemente mayor que el de avena.

Fassbender *et al.*,(1994) encontraron que la cantidad de P retenido por los Andisoles varia con la altura que se encuentre el suelo sobre el nivel del mar y el régimen de precipitación, los valores más bajos de retención se encuentran a mayor elevación, debido a la textura gruesa, y la poca meteorización que ocurre por la baja temperatura de los suelos, lo anterior se puede relacionar con los valores de pérdida de P que muestra la Figura 20 en los segundos periodos de los cultivos, ya que al aumentar la precipitación se presentó más pérdida de P en ambos cultivos, sin embargo la pérdida del elemento al pasar del periodo de 0-60 DDS a 60-120 DDS, el aumento de pérdida fue menor en avena que el que presentó papa.

5.5 Pérdida de Materia Orgánica

Considerando la importancia de la Materia Orgánica en el suelo por su papel sobre la estructura del suelo y otras propiedades físicas como conductividad hidráulica y densidad aparente, también se analizó la pérdida de Materia Orgánica .

En la Figura 21 se muestra la pérdida de materia orgánica en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ durante el periodo en estudio de rotación papa-avena en la parcela de San Juan de Chicué.

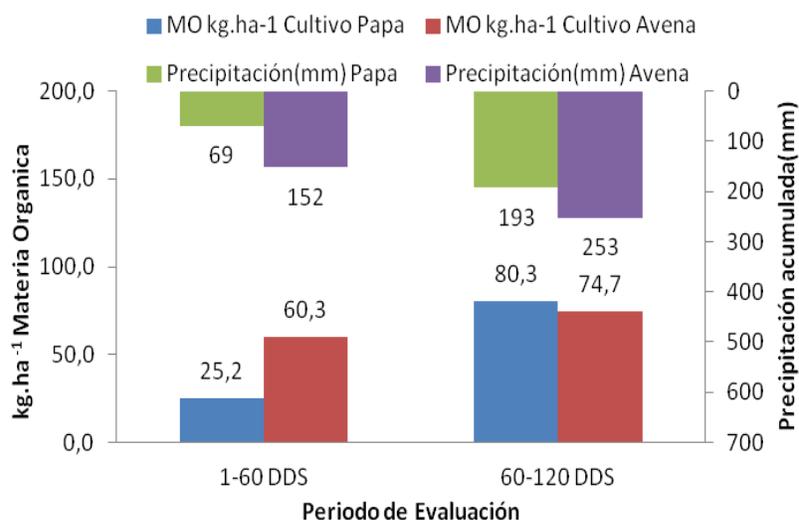


Figura 21. Pérdida de Materia Orgánica (MO), en una parcela con una pendiente de 35%, y precipitación acumulada en mm en San Juan de Chicué

Según la Figura 21 para el primer periodo en estudio el valor de pérdida de materia orgánica en el cultivo de papa fue de 25,2 kg.ha⁻¹ y en el cultivo de avena de 60,3 kg.ha⁻¹, con una precipitación de 69 mm en avena y 152 mm en papa.

En el segundo periodo la pérdidas de materia orgánica fueron en papa de 80,3 kg⁻¹y en avena de 74,7 kg.ha⁻¹, siendo los valores más altos de pérdida de materia orgánica para el segundo periodo en ambos cultivos. Estos resultados probablemente se deben a la mayor cantidad de precipitación presentada en esos ciclos.

En la finca la “Violeta” en Plantón de Pacayas, Cartago, se reportaron pérdidas mayores de materia orgánica que las presentadas en San Juan de Chicué en un ciclo de papa a una pendiente de 30 %, con 116 kg.ha⁻¹ (MAG INTA 2010).

Según Castillo (2012) estos suelos poseen un alto contenido de materia orgánica, este autor reporto pérdidas de 116 kg.ha⁻¹ en un ciclo de papa, por lo

que los valores altos de pérdida de materia orgánica en ambos estudios indican los altos grados de pérdidas de materia orgánica que sufren estos suelos.

Fassbender *et al.* (1994) menciona que los contenidos de materia orgánica están relacionados con la altura sobre el nivel del mar que se encuentra el suelo, ya que a mayor altura se tiene una menor temperatura en el suelo, lo cual tiene como consecuencia una menor mineralización de los suelos, causando una menor actividad de los microorganismos sobre el carbono total, y por ende un mayor contenido de Materia Orgánica, lo anterior no se refleja en los resultados de los análisis realizados (anexo 3), esto se podría explicar ya que según este mismo autor la cantidad de materia orgánica en un suelo indiferentemente que este sea un suelo Andisol, inciden factores que afectan el contenido final de esta, factores como lo son relieve quebrados, exposición e inclinación del suelo, los anteriores inciden sobre la erodabilidad de los suelos. Esto se relaciona con la pérdida alta de materia orgánica en la parcela en ambos cultivos para los ciclos evaluados. Además el mismo autor menciona que bajos contenidos de Ca, Mg en estos suelos son indicadores de erosión de los suelos, lo cual coincide con lo anteriormente mencionado.

5.6 Densidad aparente

Para el estudio de la variable de densidad aparente se tomaron muestras no disturbada antes de las siembras, para determinar cómo se encontraba el suelo, y al final del ciclo de ambos cultivos. En el caso de la avena se tomó una muestra luego de la incorporación, en el Cuadro 23 se muestra los promedios de los resultados de los análisis realizados.

Cuadro 23. Promedios de densidad aparente para los periodos antes de las siembras (0 DDS) y 60-120 DDS, y luego de cortar e incorporar la avena, mas de 120 días (>120).

Cultivo	Periodo	Densidad aparente g.cm ⁻³
Papa	0DDS	0,9
	60-120 DDS	1,2
Avena	0DDS	0,87
	60-120 DDS	1,02
	>120 DDS	1,02

El Cuadro 23 muestra que los valores más bajos se presentaron antes del establecimiento del cultivo de papa con 0,9 g.cm⁻³ y antes del cultivo de avena con 0,87 g.cm⁻³, estos valores de densidad aparente según Alvarado *et al.* (2001) son tomados como valores de suelos desarrollados. Este mismo autor indica que valores bajos en los análisis determinan una alta porosidad a capacidad de campo. .

En el Cuadro 23 muestra los valores en papa para los 60-120 DDS de 1,2 g.cm⁻³ y para los periodos 60-120 DDS y > 120 DDS en avena con 1,02 g.cm⁻³. El aumento de la densidad aparente para los segundos periodos mencionados anteriormente de los cultivos se puede deber a la compactación. De acuerdo con Alvarado *et al.* (2001) y Gómez (2011) en los Andisoles el efecto de compactación se debe principalmente al uso de los implementos y maquinaria agrícola utilizada en las labores, en el caso de la papa tal efecto se relaciona con los valores encontrados en el Cuadro 21 de conductividad hidráulica para este periodo.

El hecho de que no se presentara un cambio en la densidad aparente entre 60-120 DDS y luego de la incorporación de la avena >120 DDS, se puede atribuir a que el tiempo fue muy corto para observar algún cambio con esta variable.

5.7 Actividades con la Empresa

5.7.1 Giras de campo

Se realizó una gira junto con el grupo técnico de asesores de Agroservicios El Surco y el director de la práctica dirigida Ing. Agrónomo Eloy Molina a la parcela de rotación papa-avena, en el periodo final del cultivo de avena, en el momento de la incorporación al suelo. El objetivo de esta gira fue mostrar tanto a los técnicos de esta compañía como al comité asesor de la práctica, el efecto de la avena como cobertura en la parcela.

En la Figura 22 se muestra la actividad con la gira de campo con el personal de la empresa Agroservicios El Surco.



Figura 22. Gira de campo a la parcela de avena en el momento de la incorporación del cultivo, >120 DDS.

5.7.2 Charlas

Como se mencionó anteriormente el viernes 23 de agosto se impartió una charla al grupo técnico del Surco, en los siguientes temas:

- Se expuso a los técnicos de Agroservicios El Surco basado en los resultados finales de las variables físicas como Conductividad Hidráulica,

densidad aparente.

- Los resultados en tasa de erosión relacionados con la precipitación durante los ciclos de los cultivos, y se llegó en consenso con el grupo técnico de la empresa que con lo que referente a esta variable la avena tuvo resultados muy eficientes, ya que este cultivo en el periodo inicial presentó una mayor tasa de erosión que en el segundo periodo, a pesar de que en el segundo periodo se presentó una mayor precipitación acumulada, lo cual se relacionó con el efecto de cobertura del cultivo.
- Los resultados de las propiedades químicas como la pérdida de nutrientes Ca, Mg, K y fosforo asociados al régimen de precipitación y se concluyó que estos suelos son altamente susceptibles al lavado de bases, lo cual se incrementa por el desbalance de nutrientes en el suelo producto del manejo inadecuado del mismo.
- Se presentó los resultados de la pérdida de materia orgánica asociada al régimen de precipitación, con lo cual se concluyó la predisposición que tienen estos suelos de presentar pérdidas altas de materia orgánica por erosión, lo anterior se respaldó con la literatura citada.
- Se llegó al consenso con el grupo técnico de Agroservicios El Surco de plantear el cultivo de Avena como alternativa de cobertura de suelo en terrenos en barbecho, y una alternativa de uso para la práctica de conservación de suelos, principalmente por el efecto de cobertura de suelo que tiene el cultivo y lo mencionado anteriormente en el punto de tasa de erosión.

En la Figura 23 se ilustra uno de los objetivos propuestos con esta compañía de capacitar a su grupo de técnicos, en el uso de la avena como planta de cobertura.



Figura 23 Charla con los Técnicos del Agroservicio El Surco.

5.7.3 Boletín

Se diseñó un boletín con el resumen de los principales resultados de la rotación de cultivos de papa-avena (Anexo 1).

El diseño se basó en los resultados obtenidos durante la práctica dirigida con Agroservicios El Surco, se presentaron los resultados de tasa de erosión relacionados con la precipitación durante los ciclos de los cultivos, y el efecto de la cobertura de la avena.

Se presenta los resultados en variables físicas como conductividad hidráulica, densidad aparente, materia orgánica, y los resultados generales de las propiedades químicas como la pérdida de nutrimentos Ca, Mg, K, y P.

Este documento es para ser distribuido por el personal de Agroservicios El Surco entre los técnicos de la empresa.

El fin de esta empresa es el de implementar el cultivo de avena como cultivo de cobertura, para los suelos que se dejan en barbecho luego de una siembra de papa en las partes altas de los volcanes, e implementar la práctica de incorporación de la avena al suelo para retornar nutrientes y materia orgánica al medio y realizar un buen manejo de suelos.

6. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados de la práctica se puede considerar el cultivo de avena como cobertura, lo anterior ya que durante el segundo periodo de desarrollo de dicho cultivo se presentó menor tasa de erosión que el primer periodo del mismo cultivo a pesar de que en el segundo periodo aumento el régimen de precipitación.
- La pérdida de nutrientes asociados a la tasa de erosión se presentaron relaciones con el régimen de precipitación, se concluye que al ser suelos con un manejo intensivo de siembras se ha causado un desbalance de bases, por lo que se presentaron más pérdidas del contenido de Ca y K que Mg.
- Con respecto a la Materia Orgánica las pérdidas por erosión en los Andisoles son altas, por lo que se podría considerar que la incorporación de la avena aumentaría el contenido de material vegetal que al ser descompuesto por microorganismos podrían retornar al suelo una cantidad importante de nutrientes y carbono.
- Para determinar si se presentan cambios en la densidad aparente y conductividad hidráulica se requiere más estudios y mas ciclos de rotación con siembra de avena, para poder tener más fundamentos de

campo.

- Debido a que la poca información con lo que respecta a la rotación de cultivos de cobertura y específicamente en el cultivo de avena, en la zona de Cartago y en otras latitudes, se considera de importancia considerar futuros trabajos como investigaciones en el tema.

7. RECOMENDACIONES

- Utilizar la metodología del Geotextil Silt Fence para determinar la tasa de erosión, debido a su facilidad de instalación y eficiencia.
- Realizar prácticas de conservación tanto para el cultivo de papa (tradicional) como de avena (manejo diferente suelo) como siembras en contorno, gavetas para disminuir la velocidad del agua y la erosión, sobre todo en las etapas tempranas de los cultivos cuando su cobertura es poca.
- Implementar prácticas de conservación de suelos en general como lo son canales guardia, curvas de nivel, canales empastados, acequias de ladera, terrazas, barreras vivas, y el uso de Geotextil Silt Fence como barreras de retención de sedimentos en zonas críticas, ya que son complementarios a tener un cultivo de cobertura en una parcela.
- Durante el periodo de cosecha de papa, en la medida posible utilizar una chapea manual y no herbicida para no dejar el suelo totalmente descubierto sin ninguna cobertura del suelo.
- Utilizar el implemento agrícola palín mecánico al momento de la preparación de los suelos, en lugar de usar un implemento como el arado.

- Realizar más estudios de rotación de cultivos hortícolas con el cultivo de avena, con el fin de determinar si este cultivo se puede incluir en un manejo integrado de suelos.

8. LITERATURA CITADA

- ACEVEDO H. 2003. Sistema de labranza y productividad de suelos. Serie Ciencias Agronómicas N° 8, Santiago, Chile. p. 13-27.
- AGUILERA S. M., BORIE G., ROUANET J.L., PEIRANO P. 1998. Evaluación de carbono orgánico y bioactividad en un Andisol sometido a distintos manejos agronómicos. Agricultura Técnica 58: 32-46.
- ALVARADO A., BERTSCH F., BORNEMISZA E., CABALCETA G., FORSYTHE W., HENRIQUEZ C., MATA R., MOLINA E., SALAS R. 2001 Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. 1ª ed. ACCS. San José, Costa Rica. 112p
- ANTEZANA A. 2001. Calibración de los factores de erosión, utilizando la ecuación universal de suelo revisado Rusle en sistemas de producción agrícola de la cuenca Taquiña. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS). Cochabamba, Bolivia. 77 p.
- BARROJO L 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. Terra Latinoamérica, Universidad de Chapingo, México. p 561-567
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1ra edición Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 306 p.
- BOLAÑOS H. 1998. Introducción a la Olericultura. EUNED, San José, Costa Rica. 351 P.
- BOLAÑOS H. 2001. Introducción a la Olericultura. EUNED, San José, Costa Rica. 38 p.
- BONH M. 1993 Química del Suelo. Edit. Limusa, México. 370 p.
- BRAJA M. 2001. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. 1º edición, Limusa México. 250 p.

- CASTILLO M. 2012. Determinación y cuantificación de la tasa de erosión en un ciclo de cultivo de papa en la zona de Pacayas de Alvarado, Cartago. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Sede Regional de Turrialba, Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- CASTRO A. 1985. Fertilización fosfórica de la papa en cinco suelos de la zona de Cartago. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 53p.
- CABALCETA G., CORDERO A. 1994. Niveles críticos de P en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2): 147-161.
- CORTÉS V., OCONITRILLO G. 1987. Erosión de suelos hortícolas en el área de Cot y tierra Blanca de Cartago. Tesis licenciatura, Departamento de Geografía, Escuela de Geografía e Historia, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 158 p.
- CORTÉS V. 1993. Desgaste vertical de los suelos hortícolas en el flanco occidental del volcán Irazú. San José Costa Rica. Universidad de Costa Rica. *Ciencias Sociales* (62): 83-91.
- CUBERO D. 1994. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2ed. EUNED, San José, Costa Rica. 300 p.
- DERPSCH R. 1985. Adubacao verde orotacao de culturas. Encontro Nacional de Plantio Direto 3. Annois. Ponta Grossa. Brasil. 85-104 p.
- ERNST O. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. Perú. N° 21. 9 p.
- FAO. 1994. Tropical Soybean: improvement and production. FAO Plant Production and Protection Series No. 27. Consultado el 29/10/2012. Disponible en www.fao.org.
- FAO. 2002. Agricultura de conservación: estudio de casos en América Latina y África. Publicación preparada por Alexandra Bot, y José Benites. Boletín de suelos número 78, Roma, Italia. 74 p.

- FASSBENDER H W., BORNEMISZA E. 1978 Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ed. IICA. San José. Costa Rica. 420 p.
- FLOSS E. 1982. La cultura de aveia. Passo Fundo. Brasil. Facultad de Agronomía. Boletín Técnico (01): 39 p.
- FOURNIER L., RUEPERT R. F., VARGAS C., ECHEVERRÍA S. 2010. Diagnóstico sobre la contaminación de aguas, suelos y productos hortícolas por el uso de agroquímicos en la microcuenca de las quebradas de Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. San José Costa Rica. 85 p.
- FORSYTHE W. 1985. Física de Suelos: manual de laboratorio. IICA. San José, Costa Rica. 212p.
- FORSYTHE W.M, ALBERTY R., ROCHA N.J. 1994. Producción y erosión en una siembra de maíz y frijol con diferente cobertura viva en pendientes fuertes en Costa Rica. In: Thurston H., Smith M., Abawl G., y Kearn S., (editores). Tapado: los sistemas con cobertura, p.227-235. CATIE-CIIFAD. CIIFAD, Cornell University, Ithaca, New York, 329 p.
- GAVANDE S. 1973. Física de suelos principios y aplicaciones. 1 ed. Limusa. Mexico. 351 p.
- GÓMEZ A. 2008. Erosión y degradación de suelos. Editorial Junta de Andalucía Consejería de Agricultura y Pesca, España. p. 45-86.
- GÓMEZ K. 2011. Incidencia de la compactación ocasional por el tractor en las propiedades físicas en un Andisol. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 127 p.
- GOOGLE EARTH 2012. Consulta de la ubicación de la zona de estudio. [http://www.google.com/intl/es/earth/index.html.consulta\(06/06/2013\)](http://www.google.com/intl/es/earth/index.html.consulta(06/06/2013))
- HANCOCK J. 1977. Precipitación, clima y potencial para producción agrícola en Costa Rica. UEA. San José Costa Rica. 136 p.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía Práctica para el estudio

introdutorio de los suelos con un enfoque agrícola. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica. 112 p.

IMN. 2013. Clima de Costa Rica y Variabilidad climática. Consultado el 11/10/2013. Disponible en www.imn.ac.cr/educacion.

INTA. 2007. Manual de instalación de barreras con geotextil "Silt Fence" para medición de la erosión en parcelas experimentales. Proyecto microcuenca Plantón – Pacayas. Documento técnico N° 4. Área de Suelo y Aguas. MAG, San José, Costa Rica. 20 p.

JEFFERY P., DERCKSEN P.M., VASQUEZ A., SONNEVELD B.G. 1989. Evaluación de los estados de la erosión hídrica de los suelos y delimitación de áreas críticas por pérdida del horizonte A en la cuenca del río Reventazón. Informe preparado para apoyo al Servicio Nacional de Conservación de Suelos y Aguas (SENACSA) de Costa Rica. Cooperación FAO (Italia). San José, Costa Rica. 133 p.

LAURENT H. 1967. Propiedades Físicas del Suelo. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 48 p.

LIU A., MA B., BRONKE A. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability total organic carbon, and polysaccharides. Soil Science. Society. 69: 2041-2048.

LIANES E. 2008. Estudio del factor vegetativo "C" de la ecuación universal de pérdida de suelo erosionado "Rusle" en la cuenca del Río Birrís, Costa Rica. Trabajo final de graduación. Universidad Politécnica. Madrid, España. 173 p.

MAG. 1977. Interacción P-zinc en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum L.*) en la zona de Pacayas. Consultado el 10/12/2012. Disponible en www.mag.go.cr/bibliotecavirtual.

MAG. 1998. Ley 7779 Uso, Manejo y conservación de Suelos. San José, Costa Rica. Consultado el 16/11/2012. Disponible en <http://www.mag.go.cr/legislacion/1998/ley-7779.pdf>.

MAG. 1999. Los suelos agrícolas. In 11° Congreso Nacional Agronómico y Recursos Naturales, 3° Congreso Nacional de Suelos. Colegio de

Ingenieros Agrónomos, San José Costa Rica. Consultado el 21/11/2012. Disponible en www.mag.go.cr.

- MAG INTA. 2010. Evaluación y ajuste de metodología para medir la pérdida de suelo en la microcuenca Plantón-Pacayas./ Valoración de la erosión y de las pérdidas de nutrimentos de los suelos en la microcuenca Plantón-Pacayas.Memoria del taller. “Resultados de Proyecto Plantón-Pacayas,INTA” San José, Costa Rica..
- MARCHAMALO M. 2004. Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos: aplicación a la cuenca del Río Birrís . Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 409 p.
- MEDINA L.E., BRAVO M., PRAT C., MARTÍNEZ M., OLEDA E., SERRATB E. 2008. Pérdida de suelo, agua y nutrimentos en un acrisol, bajo diferentes sistemas agrícolas en Michoacán, México. Agricultura Técnica de México 34 (2): 201-211.
- MEHUYS G.R., TIESSEN K.H., VILLATORO M., SANCHO F., LOBB D.A. 2009. Erosión por labranza con arado de disco en suelos volcánicos de ladera en Costa Rica. Agronomía Costarricense 33(22): 204 – 215.
- MELLENDEZ G. MOLINA E. 2001. Fertilidad de los suelos y manejo de la nutrición de los cultivos en Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 142 p.
- MELLENDEZ G. MOLINA E. 2003. Fertilizantes: Características y Manejo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica. 112 p.
- MONEGAT G. 1991.Plantas de cobertura del suelo. Características y manejo en pequeñas propiedades. 2 ed. Editorial CIDICCO, México. 337 p.
- MORGAN R.P., URBANO P. URBANO M.1997. Erosión y Conservación del Suelo. 2 ed. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 343 p.
- NAVARRO H., PÉREZ M.A., CASTILLO F. 2007. Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en valles altos de México.

Revista Fitotecnia Mexicana. 30(2): 151-157.

NÚÑEZ J. 2001. Manejo y conservación de suelos. Editorial EUNED, San José, Costa Rica. 288 p.

PONUD B. 1998. Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción Animal en Latinoamérica". 21 p. Consultado 29/10/2012. Disponible en http://www.fao.org/ag/agal/agap/FRG/AGROFOR_1.

SÁNCHEZ W., MESÉN M. 2006. Reduzca sus costos alimentando sus vacas lecheras con avena forrajera. INTA. Boletín Informativo N°3. Proyecto Plantón Pacayas. 2 p.

SOTO J.A. 1998. Formas de P y su liberación en Andisoles de la Región Central Oriental de Costa Rica. Tesis Doctorado, Universidad de Córdoba, España. 155 p.

TEASDALE J.R. 2004. Principios y prácticas para el uso de cultivos de cobertura en el manejo de sistemas de malezas In: Manejo de Malezas para países en Desarrollo (Addendum 1). P. Labrada (ed) FAO-ONU. Consultado 29/10/2012 Disponible <http://www.fao.org/docrep/007>.

VAHRSON W.G., PALACIOS G. 1993. Datos complementarios de erosión y pérdida de nutrimentos en Cerbatana de Puriscal. Agronomía Costarricense 17(2).95-98.

VARELA M.F., FERNÁNDEZ M.P., ALVAREZ C., SCIANCA C., RUBIO G., TABOADA M. 2009. Propiedades físicas que varían por la incorporación de cultivos de cobertura en hapludoles franco arenosos. Memoria Técnica. EEA INTA, Argentina. 19 p.

Anexo

Anexo 1 “Estrategias de manejo en el cultivo de Avena (Avena sativa) forrajera, como un uso alternativo de suelo en la zona norte de Cartago”

Estrategias de manejo en el cultivo de Avena (*Avena sativa*) forrajera, como un uso diferente del suelo en la zona norte de Cartago.

Ingeniero Iván Sánchez Gómez, Cartago, Septiembre 2013

Introducción

La zona norte de Cartago es una región cuyos suelos son de origen volcánico, profundo y fértil, cuya principal actividad económica es la actividad agropecuaria, el problema surge ya que los agricultores han venido implementando un conjunto de prácticas no adecuadas en lo que respecta al manejo de uso de suelos, lo cual ha dejado como consecuencia una serie de efectos negativos como lo es el acelerado proceso de erosión.

Una solución propuesta es utilizar cultivos de cobertura, como por ejemplo la avena (*Avena sativa*), en rotación con el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en donde fueron realizadas evaluaciones antes y después de la siembra de la avena, para demostrar los efectos positivos causados en el suelo con la utilización de cultivos de cobertura.

El objetivo de este trabajo fue demostrar mediante la implementación prácticas adecuadas en el uso del suelo, que existen alternativas en cultivos de cobertura que permitan mitigar los efectos causados por el mal uso del suelo.

Materiales y métodos

Se llevaron a cabo un conjunto de evaluaciones para demostrar que los cultivos de avena causan un efecto positivo sobre la conservación de los suelos, entre las cuales se pueden citar

- Se estableció una parcela, la cual fue subdividida en tres pequeñas parcelas, en las cuales a cada una se colocó un Geotextil Silt Fence para la recolección los sedimentos.
- Se evaluó semanalmente la tasa de erosión y la precipitación
- Se realizaron los análisis de la pérdida de nutrientes (Ca, Mg, K, P) de 1-60 DDS y 60-120 DDS.
- Se evaluó variables físicas del suelo como densidad aparente, conductividad hidráulica y porcentaje de Materia Orgánica (%MO).

Para poder evaluar las variables mencionadas establecimos periodos de evaluación los cuales muestra el cuadro 1

Cultivos	Rango y fechas del periodo 1	Rango y fechas del periodo 2
Papa	0-60 DDS (19 marzo al 07 mayo 2012)	60-120 DDS (14 de mayo al 25 de junio 2012)
Avena	0-60 DDS (24 agosto al 09 de octubre)	60-120 DDS (16 octubre al 25 de noviembre 2012)

Cuadro 1: Periodos establecidos para los cultivos

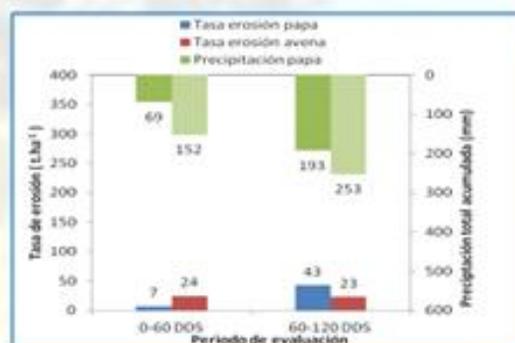


Figura 1: Tasa de Erosión sufrida total y precipitación acumulada para los periodos 0- 60 DDS y 60-120 DDS en los cultivos de papa y avena

En la figura 1 muestra los resultados del promedio de Tasa de erosión (ton/Ha), relacionados con la precipitación acumulada respectiva para los periodos de 60 días de sembrada (DDS) y 60-120 días después de la siembra (DDS)

Como lo muestra la figura 1 la avena se comporta muy bien como cultivo de cobertura, en especial cuando ya se encuentra con un mayor desarrollo vegetativo (60-120 DDS), en donde mostro menor tasa de erosión que en papa, a pesar de que para esta etapa presento mayores valores de precipitación.

Propiedades físicas	Avena	
	Antes de la incorporación	Después de incorporación
Conductividad Hidráulica	19,6(cm/h)	59,6(cm/h)
Densidad aparente	1,02(g/cm 3)	1,02 (g/cm 3)
Materia Orgánica	3,25%	3,66%

Cuadro 2: Evaluación de las variables de las propiedades físicas en la rotación de cultivos papa-avena, luego de finalizar el ciclo de cultivo

El cuadro 2 muestra que con lo que respecta a propiedades físicas la avena mejora notablemente las condiciones del suelo luego de ser incorporada, entre los variables mejoradas están la conductividad Hidráulica que pasa de 19,6(cm/h) a 59,6(cm/h). El porcentaje de

Materia Orgánica que pasa de 3,25% a 3,66%. Con la variable de densidad aparente no mostro cambio en la evaluación.

El cuadro 3 muestra la pérdida de nutrientes para ambos cultivos resultados que el cultivo de papa para permitir la pérdida de nutrientes.

Elemento	Pérdida de nutrientes kg.ha ⁻¹	
	Papa	Avena
Ca	11,3	12
Mg	2,2	2,7
K	3,74	3
P	7,9	7

Cuadro 3: Pérdida total de nutrientes durante el ciclo de rotación de papa-avena.

Conclusión

- El cultivo de avena se puede considerar como una alternativa viable como practica de conservación de suelos en la zona norte de Cartago.
- La avena protege el suelo de la erosión.
- Mejora la %MO en el suelo, la conductividad hidráulica y mejora la densidad aparente a largo plazo.
- Funciona bien para evitar la pérdida de elementos importantes del suelo.

Anexo 2. Resultados de los Análisis químicos realizados en el ciclo de los cultivos de papa y avena en los periodos evaluados.

Cultivo	Periodo de evaluación	Solucion Extractora Olsen modificado	pH	cmol(+).L ⁻¹					%	mg.L ⁻¹							
				ID LAB	H ₂ O	Acidez	Ca	Mg		K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
					5,5	0,5	4	1		0,2	5	10	10	3	1	10	5
Papa	0DDS	S-12-01811	5,6	0,50	1,8	0,3	0,2	2,8	18	79	3	14	177	5			
	1-60 DDS	S-12-07004	5,8	0,54	1,98	0,53	0,22	3,27	17	95	4,9	17	201	18			
	60-120 DDS	S-12-09615	5,8	0,32	1,55	0,52	0,28	2,67	12	115	7,2	7	161	7			
Avena	0DDS	S-12-10919	5,4	0,54	1,62	0,46	0,44	3,06	18	168	4,7	13	221	8			
		S-12-10920	5,4	0,61	1,2	0,35	0,34	2,54	24	97	4,3	14	189	9			
	1-60 DDS	S-12-14691	5,7	0,35	1,1	0,41	0,15	2,01	17	84	2,7	5	113	3			
		S-12-14692	5,3	0,44	1,37	0,48	0,14	2,43	18	58	3,9	10	135	4			
		S-12-14693	5,4	0,60	1,65	0,37	0,24	2,86	21	111	4,4	11	178	5			
	60-120 DDS	S-13-00404	5,9	0,30	2,27	0,89	0,28	3,74	8	125	12	13	192	4			
	>120 DDS	S-13-00784	5,4	0,69	1,9	0,39	0,3	3,28	21	161	4,7	12	226	4			

Anexo 3. Análisis del contenido de materia orgánica y de la relación C/N en las muestras recolectadas durante la realización del ensayo.

Cultivo	Periodo	ID LAB	C	N	Relación	Materia Orgánica
			%		C/N	%
Papa	0 DDS	S-12-01811	2,68	0,18	14,90	3,83
	1-60 DDS	S-12-07004	2,54	0,18	14,10	3,63
	60-120 DDS	S-1209615	1,31	0,12	10,90	1,87
Avena	0 DDS	S-12-10919	2,68	0,21	12,8	3,83
		S-12-10920	2,39	0,20	12,0	3,42
	1-60 DDS	S-12-14691	0,91	0,09	10,1	1,30
		S-12-14692	1,84	0,17	10,8	2,63
		S-12-14693	2,56	0,21	12,2	3,66
	60-120 DDS	S-13-00404	2,27	0,19	11,9	3,25
120 >	S-13-00784	2,56	0,21	12,2	3,66	

Anexos 4. Resultados de los análisis físicos de las variables de Densidad Aparente y Conductividad Hidráulica para el cultivo de papa y avena en el periodo en estudio.

Cultivo	Periodo de evaluación	ID LAB	Análisis de densidad y conductividad Hidráulica	
			Densidad Aparente g.cm ³	Conductividad Hidráulica cm.h ⁻¹
Papa	0 DDS	RN-289-12	0,86	91,00
		RN-290-12	0,87	131,00
		RN-291-12	0,93	101,00
	60-120 DDS	RN-1933-12	1,12	7,00
		RN-1934-12	1,32	3,00
		RN-1935-12	1,24	12,00
Avena	0 DDS	RN-2063-12	0,89	10,95
		RN-2064-12	0,85	7,50
	60-120 DDS	RN-4-13	0,96	19,00
		RN-5-13	1,02	21,00
		RN-6-13	1,09	19,00
	>120 DDS	RN-118-13	0,96	52,00
		RN-119-13	1,02	55,00
		RN-120-13	1,09	72,00

Anexo 5. Cantidad de biomasa producida por la avena al final del ciclo del mismo.



Anexo 6. Comparación visual de un suelo en barbecho, con erosión por cárcavas(al fondo de la fotografía), con un suelo cultivado con avena, en una parcela aledaña.



Anexo 7. Comparación del ciclo papa A(0-60 DDS), B y C(60-120 DDS) y de avena D(0-60 DDS), F y E(60-120) en rotación San Juan de Chicué.



Anexo 8. Fotografía del suelo luego de la incorporación del cultivo de avena.



Anexo 9: Características del Geotextil 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 (ancho) x 137,35 m (largo)
- Área: 125,0 m

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 desgarrado trapecoidal	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

Anexo 10. Calculo de la Humedad Gravimétrica de las muestras en laboratorio.

Mes	Fecha	Cultivo	Periodo(días)	Peso Fresco			Peso seco			% HG			
				A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Marzo	19/03/2012	papa	0-60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	26/03/2012			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Abril	02/04/2012			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	09/04/2012			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	16/04/2012			23,00	26,00	28,00	22,00	24,00	25,00	4,55	8,33	12,00	
	23/04/2012			19,40	24,50	22,00	17,00	18,50	21,00	14,12	32,43	4,76	
30/04/2012	22,30			26,00	22,00	20,00	24,00	21,00	11,50	8,33	4,76		
Mayo	07/05/2012			0,00	26,00	28,00	0,00	24,00	25,00	0,00	8,33	12,00	
	14/05/2012		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	21/05/2012		22,50	26,00	28,00	22,00	24,00	27,00	2,27	8,33	3,70		
	28/05/2012		23,00	22,50	28,00	22,00	21,00	26,00	4,55	7,14	7,69		
Junio	04/06/2012		60-120	0,00	25,00	28,00	0,00	22,40	27,00	0,00	11,61	3,70	
	11/06/2012			23,00	26,00	24,00	19,00	22,40	22,00	21,05	16,07	9,09	
	18/06/2012			22,00	0,00	23,40	18,40	0,00	22,30	19,57	0,00	4,93	
	25/06/2012			23,00	0,00	25,00	22,00	0,00	24,00	4,55	0,00	4,17	
Agosto	30/08/2012			avena	0-60	22,50	23,00	24,00	21,50	22,00	21,00	4,65	4,55
Setiembre	04/09/2012	23,00				23,00	24,00	22,00	21,00	23,00	4,55	9,52	4,35
	11/09/2012	21,50				23,00	26,00	20,00	21,00	24,50	7,50	9,52	6,12
	18/09/2012	23,00				24,20	22,20	22,00	22,90	20,00	4,55	5,68	11,00
	25/09/2012	21,80	22,30			24,10	19,00	20,00	22,00	14,74	11,50	9,55	
Octubre	02/10/2012	22,00	21,20			23,20	20,00	19,60	19,80	10,00	8,16	17,17	
	09/10/2012	20,00	22,00			21,00	19,00	21,00	20,00	5,26	4,76	5,00	
	16/10/2012	22,90	21,70			22,60	21,00	20,00	21,00	9,05	8,50	7,62	
	30/10/2012	19,70	18,20		15,00	17,80	17,60	12,50	10,67	3,41	20,00		
Noviembre	04/06/2012	60-120	18,20		17,00	19,00	16,00	16,00	17,80	13,75	6,25	6,74	
	11/06/2012		22,60		22,70	22,40	21,60	21,60	21,00	4,63	5,09	6,67	
	18/06/2012		23,00		25,00	25,00	21,00	22,00	22,00	9,52	13,64	13,64	
	25/06/2012		18,00		21,00	23,00	16,70	20,60	22,00	7,78	1,94	4,55	
					21,40	22,00	27,00	20,00	21,00	21,00	7,00	4,76	28,57

Anexo11.Calculos de la Humedad Gravimétrica de la muestra total de suelo en las micro parcelas de erosión.

Cultivo	Periodo(días)	Preipitación	Tasa kg/21m ²			% HG			HG en la muestra total((tasa.kg.21m ² *% HG)/100)		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C
papa	0-60	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,5	2,70	1,80	0,50	4,55	8,33	12,00	0,12	0,15	0,06
		40,5	16,00	5,70	4,00	14,12	32,43	4,76	2,26	1,85	0,19
		0,6	5,70	5,20	3,20	11,50	8,33	4,76	0,66	0,43	0,15
		26	0,00	2,00	1,00	0,00	8,33	12,00	0,00	0,17	0,12
	1	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60-120	53	25,00	19,60	16,00	2,27	8,33	3,70	0,57	1,63	0,59
		32,3	18,00	15,80	18,15	4,55	7,14	7,69	0,82	1,13	1,40
		14,5	6,40	9,00	4,80	0,00	11,61	3,70	0,00	1,04	0,18
		68,5	26,00	18,00	19,00	21,05	16,07	9,09	5,47	2,89	1,73
		16,7	24,00	16,00	15,60	19,57	0,00	4,93	4,70	0,00	0,77
		1,8	6,40	4,20	4,00	4,55	0,00	4,17	0,29	0,00	0,17
5,9		12,50	11,20	4,20	4,65	4,55	14,29	0,58	0,51	0,60	
avena	0-60	12,6	4,50	6,70	15,70	4,55	9,52	4,35	0,20	0,64	0,68
		9,8	7,60	3,50	13,00	7,50	9,52	6,12	0,57	0,33	0,80
		3,5	4,50	2,20	3,20	4,55	5,68	11,00	0,20	0,12	0,35
		2,1	1,40	2,30	5,20	14,74	11,50	9,55	0,21	0,26	0,50
		37,8	12,69	13,45	4,80	10,00	8,16	17,17	1,27	1,10	0,82
		1,8	8,90	3,29	0,00	5,26	4,76	5,00	0,47	0,16	0,00
		35	8,30	7,70	7,56	9,05	8,50	7,62	0,75	0,65	0,58
	49,3	6,80	11,89	9,23	10,67	3,41	20,00	0,73	0,41	1,85	
	60-120	7,4	4,70	2,40	6,00	13,75	6,25	6,74	0,65	0,15	0,40
		5,6	5,40	4,50	3,40	4,63	5,09	6,67	0,25	0,23	0,23
		30,1	4,80	6,80	9,10	9,52	13,64	13,64	0,46	0,93	1,24
		92,4	16,20	17,30	12,00	7,78	1,94	4,55	1,26	0,34	0,55
		102,2	16,60	12,50	15,40	7,00	4,76	28,57	1,16	0,60	4,40
		15,4	7,00	9,00	8,00	10,00	9,52	22,73	0,70	0,86	1,82

Anexo 12. Calculo de los sedimentos reales (tasa erosión kg.ha⁻¹) que se obtiene a partir de la humedad gravimétrica determinada en la laboratorio.

Cultivo	Periodo(días)	Tasa kg/m ²			HG en la muestra total ((tasa.kg.21m ² * % HG)/100)			Tasa final erosión(kg.21m ²)		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
papa	0-60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		2,70	1,80	0,50	0,12	0,15	0,06	2,58	1,65	0,44
		16,00	5,70	4,00	2,26	1,85	0,19	13,74	3,85	3,81
		5,70	5,20	3,20	0,66	0,43	0,15	5,04	4,77	3,05
		0,00	2,00	1,00	0,00	0,17	0,12	0,00	1,83	0,88
		0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00
	60-120	25,00	19,60	16,00	0,57	1,63	0,59	24,43	17,97	15,41
		18,00	15,80	18,15	0,82	1,13	1,40	17,18	14,67	16,75
		6,40	9,00	4,80	0,00	1,04	0,18	6,40	7,96	4,62
		26,00	18,00	19,00	5,47	2,89	1,73	20,53	15,11	17,27
		24,00	16,00	15,60	4,70	0,00	0,77	19,30	16,00	14,83
		6,40	4,20	4,00	0,29	0,00	0,17	6,11	4,20	3,83
12,50	11,20	4,20	0,58	0,51	0,60	11,92	10,69	3,60		
avena	0-60	4,50	6,70	15,70	0,20	0,64	0,68	4,30	6,06	15,02
		7,60	3,50	13,00	0,57	0,33	0,80	7,03	3,17	12,20
		4,50	2,20	3,20	0,20	0,12	0,35	4,30	2,08	2,85
		1,40	2,30	5,20	0,21	0,26	0,50	1,19	2,04	4,70
		12,69	13,45	4,80	1,27	1,10	0,82	11,42	12,35	3,98
		8,90	3,29	0,00	0,47	0,16	0,00	8,43	3,13	0,00
		8,30	7,70	7,56	0,75	0,65	0,58	7,55	7,05	6,98
		6,80	11,89	9,23	0,73	0,41	1,85	6,07	11,48	7,38
	60-120	4,70	2,40	6,00	0,65	0,15	0,40	4,05	2,25	5,60
		5,40	4,50	3,40	0,25	0,23	0,23	5,15	4,27	3,17
		4,80	6,80	9,10	0,46	0,93	1,24	4,34	5,87	7,86
		16,20	17,30	12,00	1,26	0,34	0,55	14,94	16,96	11,45
		16,60	12,50	15,40	1,16	0,60	4,40	15,44	11,90	11,00
		7,00	9,00	8,00	0,70	0,86	1,82	6,30	8,14	6,18

Anexo 13. Determinación de los sedimentos finales y tasa erosión final por periodo.

Cultivo	Periodo(días)	Precipitación	Tasa final erosión(kg.21m ²)			Erosión final(kg.21m ²)	Erosión acumulada por periodo Kg.21m ²
			A	B	C	Promedio((A+B+C)/3)	
papa	0-60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,55
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	
		0,50	2,58	1,65	0,44	1,56	
		40,50	13,74	3,85	3,81	7,13	
		0,60	5,04	4,77	3,05	4,29	
		26,00	0,00	1,83	0,88	0,90	
	1,00	0,00	2,00	0,00	0,67		
	60-120	53,00	24,43	17,97	15,41	19,27	89,59
		32,30	17,18	14,67	16,75	16,20	
		14,50	6,40	7,96	4,62	6,33	
		68,50	20,53	15,11	17,27	17,64	
		16,70	19,30	16,00	14,83	16,71	
		1,80	6,11	4,20	3,83	4,71	
5,90		11,92	10,69	3,60	8,74		
avena	0-60	12,60	4,30	6,06	15,02	8,46	50,25
		9,80	7,03	3,17	12,20	7,47	
		3,50	4,30	2,08	2,85	3,07	
		2,10	1,19	2,04	4,70	2,64	
		37,80	11,42	12,35	3,98	9,25	
		1,80	8,43	3,13	0,00	3,85	
		35,00	7,55	7,05	6,98	7,19	
	49,30	6,07	11,48	7,38	8,31		
	60-120	7,40	4,05	2,25	5,60	3,97	48,30
		5,60	5,15	4,27	3,17	4,20	
		30,10	4,34	5,87	7,86	6,02	
		92,40	14,94	16,96	11,45	14,45	
		102,20	15,44	11,90	11,00	12,78	
		15,40	6,30	8,14	6,18	6,87	

Anexo 14. Contenidos de Ca, Mg, K, P en suelo a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, y porcentaje de materia orgánica (%MO) en el suelo, antes de la incorporación de la avena (60-120 DDS) y luego de la incorporación de la avena(> 120 DDS)

Cultivo	Periodo	Ca	Mg	K	P	% MO
		$\text{kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}$	$\text{Kg Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	$\text{Kg k}\cdot\text{ha}^{-1}$	$\text{kg p}\cdot\text{ha}^{-1}$	
Avena	60-120 DDS	454	108,58	109,48	250	3,25
	>120 DDS	380	152,5	36	322	3,66

Anexo 15. Calculo en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nutrimentos en el suelo.

Según una consulta realizada Castillo 2012 en donde menciona que Bertsch 2012 y Castillo 2013: la transformación de los datos del análisis de suelo a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ permite relacionar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo con los requerimientos del cultivo, que en general se expresan en kg/ha .

Equivalencias de unidades de concentración para análisis de suelos

1 miligramo por Kilogramo (mg/Kg) = 1 parte por millón (ppm)

1 centimol de cargas (+) por Kilogramo ($\text{cmol (+)}/\text{Kg}$) = 1 miliequivalente por 100 gramos ($\text{meq}/100 \text{ gr}$)

$\text{cmol (+)}/\text{L}$ ó kg = $\text{meq}/100 \text{ ml}$ ó gr

mg/L ó kg = $\mu\text{g}/\text{ml}$ ó gr

De acuerdo a Bertsch (1995) asumiendo 1 ha, en volumen, a 20 cm con 2 000 000 L, las transformaciones de datos determinados en volumen se realizan a través de factores:

$\text{cmol (+) Ca}/\text{L} \times 400 = \text{kg}/\text{ha}$ $\text{PM Ca} = 40$

$\text{cmol (+) Mg}/\text{L} \times 240 = \text{kg}/\text{ha}$ $\text{PM Mg} = 24$

$\text{cmol (+) K}/\text{L} \times 780 = \text{kg}/\text{ha}$ $\text{PM K} = 39$

$\text{cmol (+) Al}/\text{L} \times 180 = \text{kg}/\text{ha}$ $\text{PM Al} = 27$

$\text{mg}/\text{L} \times 2 = \text{kg}/\text{ha}$

$\% \times 10\,000 = \text{mg}/\text{L}$ (ppm)

Un cmol (+) Ca pesa 0,00020 kg, por lo tanto, 2 000 000 L de una hectárea pesarán 400 kg. Si hay 0,000001 kg en cada L, habrá 2 kg en 2 000 000 L que tiene la hectárea.

ELEMENTO MASA ATÓMICA

Ca 40,0780 u

Mg 24,3247 u

K 39,0983 u

1 $\text{cmol (+)}/\text{Kg}$ de K * 391 = ppm de K

$$1 \text{ cmol (+) / Kg de Ca} \cdot 200 = \text{ppm de Ca}$$

$$1 \text{ cmol (+) / Kg de Mg} \cdot 122 = \text{ppm de Mg}$$

$$1 \text{ cmol (+)/L} = 1 \text{ cmol (+)/Kg}$$

$$(\text{cmol (+)/kg Laborator} \cdot \text{cantidad (Kg) en geotextil}) \cdot (1 \text{ mol}/100 \text{ cmol}) \cdot (\text{M atómico} / 1 \text{ mol})$$

Los elementos Ca (Ca) y Mg (Mg) presentan valencia 1.

$$1 \text{ mol Ca (2+)} = 40 \text{ gr}$$

$$1 \text{ mol Ca (1+)} = 20 \text{ gr} = 0,2 \text{ gr/L} = 200 \text{ mg/L} = 200 \text{ ppm}$$

Según la cuantificación de la tasa de erosión para el primer periodo (1 – 60dds) en la finca para el elemento de Ca en el cultivo de papa, presentó una tasa de erosión de peso sólido: $14,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Se requiere determinar de acuerdo a los $14,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, cuánto fue el contenido del nutrimento Ca, el cual fue transportado por el proceso de escorrentía y recolectado en el Silt fence para dicho periodo.

El laboratorio da un resultado para el nutrimento Ca (Ca) en el primer periodo de cuantificación (1 – 60 dds), de $1,78 \text{ cmol(+)} \text{ Ca/L}$ y la densidad del suelo en la copa del laboratorio fue de $0,71 \text{ gr/ml}$.

La densidad se determinó al colocar muestra del suelo recolectada en el Silt fence del periodo y repetición correspondiente, en la estufa por 24 horas a una temperatura de 105°C , después de transcurrido este tiempo se colocó muestra de suelo a nivel (ras) en la copa del laboratorio de volumen conocido ($2,5 \text{ ml}$) y se determinó la cantidad de masa con la balanza analítica y posterior la densidad (D) la cual es masa (M) entre volumen (V), $D = M (\text{gr}) / V (\text{ml})$.

Cálculo matemático:

Ejemplo para el caso de papa periodo 1-60 DDS, para la pérdida del nutrimento de Ca

$$1,78 \text{ cmol(+)} \text{ Ca/L} / 0,71 \text{ gr/ml} = 1,26 \text{ cmol(+)} \text{ Ca/L}$$

$1,26 \text{ cmol(+)} \text{ Ca/L} \cdot 200 = 252,8 \text{ ppm (mg Ca/kg)}$; el número 200 proviene de la equivalencia para el elemento Ca con valencia $1+ 2+$ para convertir las unidades de cmol (+).L^{-1} , a $\text{ppm (mg} \cdot \text{kg}^{-1})$.

$$252,8 \text{ mg Ca/kg} \cdot (1 \text{ gr} \cdot 1000 \text{ mg}^{-1}) = 0,252 \text{ gr Ca} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\text{gr Ca} \cdot 14,5 \text{ kg}^{-1} = 0,252 \text{ gr Ca} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 14,5 \text{ kg} = 3,66 \text{ gr Ca} \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$3,66 \text{ gr Ca} \cdot \text{ha}^{-1} = (3,66 \cdot 10000) / 21 \text{ m}^2 = 1745,2 \text{ gr Ca} \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$\text{kg Ca.ha}^{-1} = 1745 \text{ gr.ha}^{-1} \cdot (1 \text{ kg} / 1000 \text{ gr}) = 1,7 \text{ kg Ca.ha}^{-1}$$

Obtención de la Materia Orgánica

La obtención del porcentaje de Materia Orgánica para el mismo periodo descrito con anterioridad, se describe a continuación:

El laboratorio da el resultado del porcentaje de Carbono (2,54 %) el cual se multiplicó por la constante de 1,43 para obtener el porcentaje de Materia Orgánica, el cual es 3,6322

Si el peso sólido para el primer periodo de la microparcela fue de 14,5 kg/ en 21 m², se determinó cuanto de este peso equivale a kilogramos por hectárea de materia orgánica.

$$3,63 \text{ gr.kg}^{-1} \cdot 14,5 \text{ kg en } 21 \text{ m}^2 = 52,84 \text{ gr.kg}^{-1} \text{ en } 21 \text{ m}^2$$

$$\text{Materia Orgánica en gr/ ha} = (52,84 \text{ gr} \cdot 10\,000 \text{ m}^2) / 21 \text{ m}^2 = 25161,9 \text{ gr/ha}$$

$$\text{Materia Orgánica en kg/ha} = 25161,9 \text{ gr/ha} \cdot (1 \text{ kg} / 1000 \text{ gr}) = \mathbf{25,1 \text{ kg/ha}}$$

Materia Orgánica en kg/ha = 25,1 kg/ha.