

**EFFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA CONSERVACIONISTA EN SUELOS
DE LADERA BAJO EL CULTIVO DE PAPA, EN LOS MUNICIPIOS DE CALDAS
(BOYACÁ) Y SIMIJACA (CUNDINAMARCA)**

PLINIO ALBERTO CASTELLANOS PEÑA

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SINCELEJO
2003**

Nota de aceptación.

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, agosto de 2003

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y a mi familia, quienes con su apoyo incondicional, humildad y sacrificio, semestre tras semestre me infundieron fe, voluntad y esperanza; sin ellos no hubiera alcanzado tan anhelado logro.

También a la familia Vergara Samur que con su apoyo moral y material han sido artífices de este triunfo al convertirse en mi segundo hogar.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo manifiesta los más sinceros agradecimientos a:

GILBERTO MURCIA CONTRERAS, Ingeniero Agrícola. Ph.D. Maquinaria Agrícola. Adscrito al programa Nacional de Maquinaria Agrícola y Poscosecha. CORPOICA. C. I. Tibaitata. Bogota. Director del trabajo.

RUBY ORTIZ NAVAS. Ingeniero Agrícola. MSc. En Aguas u Suelos. Profesora de la Universidad de Sucre. Codirector del trabajo

HERALDO ALVIZ SANTOS. Ingeniero Agrícola. Especialista en Manejo de Suelos y Aguas. Profesor de la Universidad de Sucre.

JORGE ARMANDO FONSECA C. Ingeniero Agrónomo. Director UMATA, municipio de Caldas (Boyacá).

IRMA OCHOA, Bibliotecóloga. Directora de la Biblioteca de la Universidad de Sucre.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. CORPOICA. Regional Uno – C.I Tibaitata.

CORPORACION AUTONOMA DE CUNDINAMARCA, a través del PROYECTO CHECUA, por su invaluable apoyo técnico y logístico.

COLCIENCIAS Y BANCO INTERAMERICANO PARA EL DESARROLLO (BID), por su apoyo financiero.

UNIVERSIDAD DE SUCRE. Claustro educativo de trascendental importancia que forja en las nuevas generaciones conocimientos que permiten mejorar las condiciones de producción de los sistemas agrícolas.

A todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la ejecución del proyecto.

RESUMEN

Esta investigación nació ante la necesidad de conocer el estado de productividad de los suelos de ladera que vienen siendo explotados bajo inapropiadas prácticas de manejo, las cuales han contribuido a la degradación parcial o total de esas áreas.

La implementación de la tecnología de la labranza de conservación pretende reducir al máximo el movimiento de suelos, disminuir los costos de producción, haciendo de éste un sistema de explotación sostenible y competitivo que brinde un mejoramiento de la capacidad productiva del suelo y su efecto en el rendimiento de la papa sembrada bajo éste sistema.

Con el propósito de conocer el comportamiento de las propiedades de estos suelos bajo el sistema de labranza de conservación se establecieron estratégicamente sendos experimentos en predios de tres (3) productores de papa en los municipios de Caldas (Boyacá) y Simijaca (Cundinamarca), ubicados a 2500 y 3000 m.s.n.m. con coordenadas $5^{\circ}31'27''$ - $5^{\circ}30'23''$ N y $73^{\circ}52' 0.7''$ - $73^{\circ} 51 19''$ OE, temperaturas medias entre 10 y 15 °C y precipitaciones próximas a 1000 mm. año. En estas fincas se implementaron sistemas de producción agrícola conservacionista, basados en el mínimo movimiento de suelo, manteniendo cobertura vegetal permanente.

Los experimentos se realizaron durante 2000 y 2001 en Caldas (Boyacá) en las fincas el Carmen y el Arrayán y en Simijaca (Cundinamarca), en la finca Las Violetas. Teniendo en cuenta la caracterización inicial de los suelos: física, química y biológica, se establecieron los siguientes tratamientos. Abonos verdes con especies como Nabo forrajero (*Raphanus sativus*), Avena caldas (*Avena* sp), centeno (*Secale cereale*), adaptados a la zona, las cuales se sembraron de

acuerdo al calendario agrícola previsto por los productores y en función del ciclo vegetativo de estas especies; gramíneas 100 días y leguminosas 100 – 120 días.

Previo al establecimiento del cultivo indicador papa (*Solanum tuberosum*) y cumpliendo con el ciclo vegetativo de los abonos verdes, se depositaron en cobertura vegetal sobre el suelo. En cada finca comprometida con el proyecto, se realizó únicamente el surcado con un arado vibro-surcador de tracción mecánica; con enganche en los tres puntos, rejas intercambiables con vertederas en la parte superior y una sección de discos de corte para igual número de cinceles (tres). De ésta manera se estableció el cultivo de papa utilizando en todos los casos semilla parda pastusa y la inclusión de un solo movimiento de suelo como control cultural (aporque) en el ciclo del cultivo. Al finalizar la cosecha de papa (245 días) en cada uno de los lotes, se establecieron nuevamente abonos verdes para su posterior deposición previo a la siembra nueva de papa (Abonos verdes – papa – Abonos verdes).

Con la incorporación de los abonos verdes en rotación, leguminosas – gramíneas, a mediano plazo es posible aumentar gradualmente la fertilidad de estos suelos, así mismo se puede reducir la agresividad de las malezas y la tasa poblacional de plagas en el cultivo de papa.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, registraron variaciones en cada ciclo de cultivo. Es así como la densidad aparente presentó una leve disminución aumentando consecuentemente la porosidad: la velocidad de infiltración en la finca las Violetas aumentó considerablemente, la infiltración básica pasó de 3.3 cm./h a 10.19 cm./h, es decir cambio de moderada a rápida con un importante incremento (>100%). Es notorio el aumento de agregados finos en el suelo, lo que conlleva a un deterioro de la estabilidad estructural, especialmente en la finca El Carmen. La capacidad de almacenamiento de agua presentó un incremento importante en los lotes de estudio, en particular la finca el

Carmen donde el contenido de humedad a capacidad de campo aumentó en un 33.9 %.

Desde el punto de vista de rendimiento real (producción real/área real) se obtuvieron incrementos de 42 a 82 % con respecto al promedio de rendimiento bajo el sistema convencional de la región, el cual se encuentra en torno a 18 ton/h. Al efectuar un análisis final de costos de producción del cultivo de papa bajo el sistema de labranza conservacionista, se encontró una reducción de costos de 15 a 30 % respecto al sistema de labranza convencional.

En un experimento comparativo para el manejo cultural de malezas en la finca El Arrayán; dos (2) movimientos (deshierba + aporque) versus un (1) movimiento (aporque) se logró comprobar que no hay diferencia significativa al 5% entre los tratamientos, sin embargo se pudo demostrar que con un movimiento se reducen los costos en un 5% en mano de obra sin alterar su producción, reduciendo el movimiento y la alteración en la microfauna y flora del suelo en la primera etapa de crecimiento del cultivo de papa.

INTRODUCCIÓN

Hace algunas décadas la región andina de Colombia, estaba cubierta por una densa vegetación natural hasta los 3200 m.s.n.m. (sistema páramo). Esta vegetación mantenía un maravilloso equilibrio entre dar y recibir, asegurando la fertilidad y vitalidad de la tierra.

El hombre comenzó a destruir esa armonía natural, generando un creciente desequilibrio a través de sus inadecuadas prácticas de explotación agropecuaria. Así comenzó la erosión, causante de un 85% de la degradación de los suelos de esta zona.

El efecto de las prácticas inadecuadas de la explotación del suelo es contundente. Alrededor de un 60% del área de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca presentan algún grado de erosión. En esta zona se viene utilizando un patrón tecnológico que generalmente resulta inapropiado para el aprovechamiento eficiente del recurso suelo. De esta manera, la combinación de un sistema tradicional de explotación, un cultivo de difícil manejo agroecológico, papa, *Solanum tuberosum*, asociado a las características de los suelos clasificados como Dystropept Ustico de poca profundidad y alta erosividad han reducido la capacidad productiva de los mismos por una aceleración de los procesos de degradación física que a su vez aumenta los costos de la mecanización los cuales varían entre 15 y 35 % del total. Adicionalmente, los patrones de mecanización desarrollados en estos sistemas de labranza, sobre todo las rastras de discos y el rotovator, en las zonas de ladera dedicadas al cultivo de papa, provocan la degradación del suelo y aceleran la oxidación de la materia orgánica, ocasionando además, la aparición de capas de suelo pulverizado en la superficie para procurar una "cama apropiada" para las semillas y capas endurecidas a niveles más profundos, desarrolladas por la presión que ejercen los implementos. Estas capas contribuyen a aumentar la degradación del suelo, limitando la penetración de las

raíces y del agua, restringen la zona de nutrición de las plantas y por ende, disminuyen la capacidad productiva de los suelos e incrementan los requerimientos de potencia en la maquinaria encargada de preparar los suelos.

Ante esta realidad no pueden seguir siendo indiferentes ni el Estado, ni los organismos de investigación agropecuaria entre ellas las universidades, porque la capacidad productiva de las tierras disminuye por el uso generalizado de prácticas de manejo no apropiadas a las condiciones edáficas de cada región.

Los estudios sobre el efecto de la labranza de conservación en el cultivo de papa son escasos, sin embargo en el país se han ejecutado investigaciones sobre prácticas de manejo en zonas de ladera cuyos resultados deben ser adoptados por los agricultores; pero la falta de difusión, de validación local y de conocimiento han dificultado la transferencia de tecnología.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar tecnologías que permitan racionalizar el uso del suelo y de la maquinaria agrícola y la incorporación de bioabonos en la preparación de los suelos, con el fin de disminuir los costos de producción, generando alternativas de manejo sostenible basados en un sistema de manejo que sigan los principios de la producción natural.

Este trabajo tuvo una duración aproximada de 1.5 años y se desarrollo en fincas productoras de papa del altiplano Cundiboyacense, específicamente en los municipios de Simijaca (Cundinamarca) y Caldas (Boyacá) en desarrollo del macro-proyecto de investigación, ***CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LADERA BAJO EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN PAPA (*Solanum tuberosum*)***, en convenio, COLCIENCIAS, CORPOICA, Universidad de Sucre y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar un sistema de labranza con criterios de sostenibilidad en la explotación del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en los suelos de ladera del altiplano cundiboyacense, centrandose los esfuerzos en la validación de técnicas ya probadas en otros sistemas de producción agropecuaria de regiones similares en aras de conservar la capacidad agro productiva de los suelos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ♦ Caracterizar física, química y biológicamente los suelos del área de estudio
- ♦ Evaluar el efecto del sistema de labranza propuesto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en estudio.
- ♦ Generar algunas alternativas de manejo y recuperación de suelos mediante el uso de sistemas sostenibles: abonos verdes, mínimo movimiento de suelos y rotación de cultivos.

2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

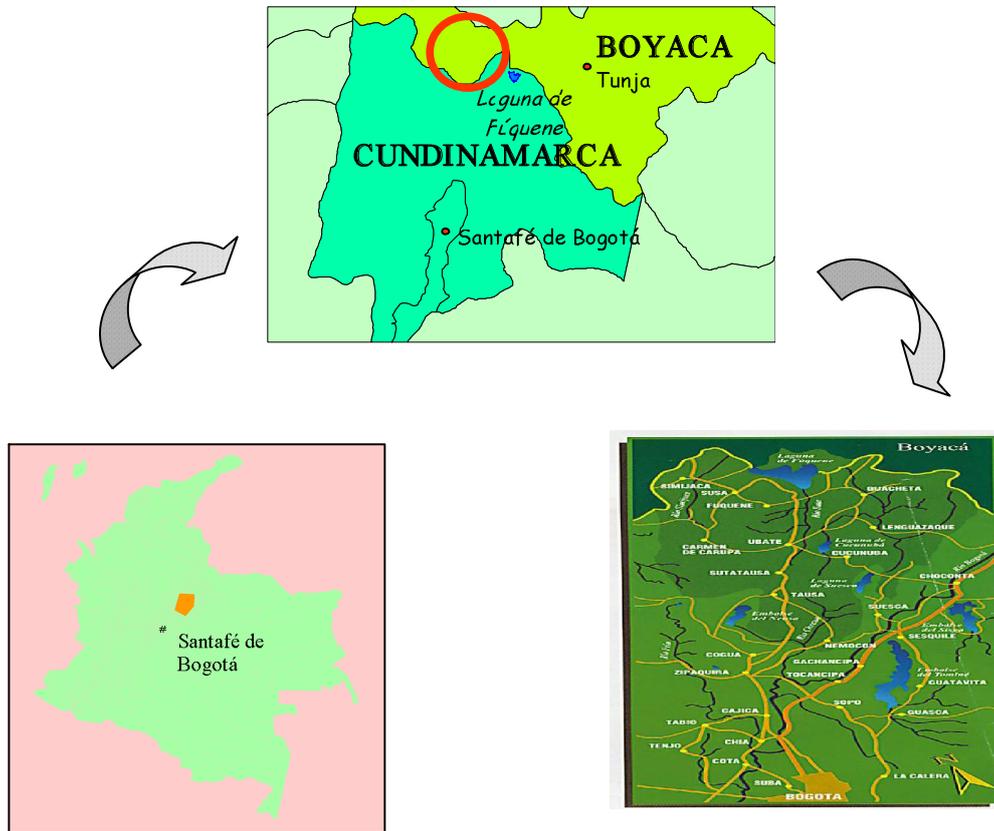
La región donde se ejecutó el proyecto, esto es, las veredas el Salitre municipio de Simijaca (Cundinamarca) y el Quipe municipio de Caldas (Boyacá) está localizada en el altiplano cundiboyacense en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental a 2500 y 3000 m.s.n.m. y temperatura promedio anual de 13 °C.

El régimen de precipitación es de tipo bimodal con promedio anual de 1000 mm. En general, la tendencia a la sequía y la irregular distribución de las lluvias incide negativamente en la disponibilidad del agua necesaria para las actividades agropecuarias y forestales del área, lo que además afecta la recuperación de la flora nativa e incrementa el riesgo de erosión causado por la desprotección de los suelos. La velocidad promedio del viento en la zona es de 2.19 m./seg. sin ser alta, asociada con la humedad relativa de 73% a 79% y las bajas temperaturas de la zona, producen un efecto desecante, aumentando el estrés hídrico de las plantas.

Hidrográficamente el área hace parte de la cuenca alta del río Suárez, ya que las quebradas Los Alizos y La Playa son afluentes del río Chiquinquirá cauce que a su vez, es el principal tributario del Suárez en la región.

Según Cortés 1991, la microcuenca de la quebrada la Playa es la principal unidad física y morfoestructural del oriente andino. La mayor parte de los suelos se han formado en condiciones de clima frío seco, sin embargo en las partes más altas, por encima de los 2.800 m.s.n.m, las bajas temperaturas permiten mayor conservación de humedad, lo cual incide en la clase de suelos que se encuentran por encima de dicha altura.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.



De acuerdo a la descripción realizada por Cortes (1991) estos suelos se desarrollaron a partir de un material parental constituido por lutitas y arcillolitas de la formación Chipaque del cretáceo; en algunas pequeñas áreas al pie de las laderas hay presencia de material coluvial y en el valle estrecho de la quebrada La Playa se depositaron sedimentos aluviales finos.

Fisiográficamente en la zona se observa el predominio de las ladera de colina y en una menor extensión, las vegas del valle ínter montano y algunos pequeños abanicos. El relieve de las colinas oscila desde ligeramente ondulado hasta escarpado, dando lugar a una serie de fases por pendiente, muy importante para definir el uso potencial de los suelos y su susceptibilidad al deterioro. Estos

suelos evolucionaron inicialmente por efecto de la vegetación presente, la cual era de tipo bosque andino, con especies de baja altura por influencia de los vientos pero con capacidad para almacenar suficiente humedad. Posteriormente, por influencia del hombre, este bosque fue reemplazado por campos de pastoreo, lo cual ha desencadenado procesos erosivos: formación de terracetas, patas de vaca, erosión laminar y cárcavas, en la dirección de la pendiente.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 EL SUELO

El suelo es un sistema complejo, resultante de numerosas interacciones dinámicas, tanto de componentes orgánicos como inorgánicos de cuya integración se deriva este cuerpo natural y su función más sobresaliente ha sido la de constituir el medio para el desarrollo vegetal. Sin embargo, el uso indiscriminado de maquinaria agrícola pesada, la excesiva preparación de las tierras y el control mecánico de malezas ha conducido, en muchos casos, a la degradación de la capa arable de las tierras mediante su pulverización y compactación. Malagón (1990)

Los suelos óptimos para el cultivo de papa son los francos, profundos, con buen drenaje y ricos en materia orgánica. Requiere un suelo con buena estructura (granular), que esté razonablemente suelto y que no tenga capas compactadas. Fedepapa (1997)

La producción de papa es limitada en suelos con valores de pH menores de 5.5 y con bajo contenido de fósforo disponible y alta capacidad de fijación de fosfatos, a menos que se apliquen cantidades suficientes de fosfatos en presencia de adecuadas cantidades de Nitrógeno y Potasio.

3.2 LA PAPA (*Solanum tuberosum*)

La papa es una planta que pertenece a la familia Solanácea, sus hojas son trifoliadas, de tallo voluble o rastrero, sus raíces axoformas y adventicias producen tubérculos que son estructuras que almacenan almidón, su reproducción se hace de forma asexual por medio de los tubérculos. Es una planta originaria de los Andes Suramericanos y se cultiva entre 2500 y 3000 m.s.n.m. con temperaturas

que oscilan entre 5 y 20 °C. En Colombia su producción comercial esta localizada en la Región Andina, principalmente en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Antioquia. Fedepapa (1997)

3.3 LABRANZA

La labranza o preparación de suelos, es la manipulación mecánica de los suelos con el fin de alterar su estructura y disminuir su resistencia a la penetración de las raíces para convertirlo en un medio con condiciones óptimas para la germinación de las semillas y el desarrollo productivo de los cultivos .Figueroa y Morales (1994).

Según Camacho (1999), la labranza de conservación involucra cualquier sistema de labranza que deje sobre la superficie del suelo residuos suficientes para protegerlo y controlar la erosión.

Internacionalmente se ha aceptado el criterio del ex - Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, que ha definido al sistema de labranza conservacionista como todo aquel conjunto de operaciones de laboreo que, luego de la siembra del cultivo, ha dejado hasta un treinta por ciento del suelo cubierto por rastrojo.

En general, existen tres sistemas de labranza que se consideran como conservacionistas: labranza reducida, labranza mínima y labranza cero o siembra directa, si dejan un 30% del suelo cubierto por residuos de cosecha.

La primera, labranza reducida, es la reducción del número de operaciones de laboreo respecto a la labranza convencional. De esta manera, es probable que quede una determinada cantidad de rastrojo sobre la superficie. Por definición labranza mínima es el mínimo laboreo indispensable para lograr una correcta

implantación del cultivo. El caso más extremo de labranza mínima es la siembra directa y/o la labranza cero, es decir, sembrar directamente sin remover el suelo.

Las ventajas fundamentales de la labranza conservacionista se asocian con el hecho de dejar cierta cantidad de rastrojo sobre la superficie. La magnitud de tales beneficios es proporcional al grado de cobertura y al espesor de la cubierta de rastrojos. En primer lugar, la presencia del rastrojo implica protección directa al suelo de la erosión. Esto es bastante importante en la zona de estudio que tiene suelos en pendiente y, en algunas épocas del año recibe precipitaciones de alta intensidad. Otra ventaja es que la cobertura con rastrojos sobre la superficie establece una barrera que provoca una reducción de la tasa de agua que se evapora desde el suelo. Cuanto más rastrojo haya y cuanto menos se ha movido el suelo, mayor conservación del agua, haciendo que la oportunidad de siembra sea mejor, ya que no habría que esperar la época de lluvias para sembrar.

Algunas practicas de labranza conservacionista, como: labranza mínima y siembra directa, en los últimos años han contribuido al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Así, en suelos del Tolima, según Alfaro et. al, (1995), donde se realizó siembra directa durante dos años, la densidad aparente disminuyó de 1.7 gr./cm.³ a 1.55 gr. /cm.³

En ensayos a largo plazo en siembra directa se muestra un significativo incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, estos son muy marcados en los primeros centímetros de profundidad, alcanzando valores de 0.5 a 1.5% de incremento en pocos años, a mayor profundidad las diferencias son menores. Por otra, parte la respuesta a la fertilización mejora por una mayor disponibilidad de agua, las condiciones físicas de agregación y porosidad mejoran contribuyendo tanto a la mayor infiltración del agua como a la actividad micro orgánica y a la productividad en general. (Lat y Vandorem 1990).

Según Quiroga y Monsalvo (1989) y Chang y Linwall (1992), citados por el INTA, (1997), la siembra directa propicia el mejoramiento en poco tiempo de algunas propiedades físicas en los suelos. Frecuentemente disminuye la densidad aparente y la resistencia a la penetración; la infiltración del agua aumenta y consecuentemente disminuye la escorrentía. (Lat, 1974, Lat y Vandorem. 1990).

No obstante que la mayor área bajo siembra directa se encuentra en los Estados Unidos, en este país la tecnología conservacionista se utiliza únicamente en un 16.3% del área agrícola total cultivada; en Brasil, este valor es de 21%; en Argentina de 32%; y en Paraguay de 52%. Con relación al área total cultivada Paraguay tiene la mayor tasa de adopción en el mundo. En Colombia se aplican los sistemas de siembra directa y labranza mínima en 15.000 a 20.000 hectáreas, y los cultivos de mayor extensión, bajo estas prácticas, son algodón, arroz y maíz.

3.4 ABONOS VERDES

Son especies de plantas que permiten generar entradas adicionales de nutrientes al suelo. Estas especies (gramíneas y leguminosas) son capaces de captar nutrientes de la atmósfera e involucrarlas al suelo, a través de procesos fotosintéticos y simbióticos naturales, a mediano y largo plazo para mantener el equilibrio de los agroecosistemas. Existe una gran variedad de especies reportadas como abonos verdes que han sido adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio.

3.4.1 Nabo forrajero (*Raphanus sativus L.*) Con una densidad de siembra de 18 a 20 Kg./ha se puede obtener una gran producción de masa verde (90 t/ha), lo cual permite lograr una máxima cobertura. Para la producción de semilla, la densidad de siembra indicada es de 10 a 12 Kg./ha.

El nabo forrajero posee una raíz pivotante y profunda que puede superar fácilmente los 30 cm. esto permite aflojar el suelo, dar mayor aireación y aumentar la infiltración del agua.

El manejo o deposición del rábano como cobertura se realiza con rollo cuchillo, desbrozadora o roto speed (cortamalezas), entre los 70 a 100 días, en plena floración, antes de la formación de semilla; en este momento puede alcanzar una altura superior a los 2 m. y rendimientos de materia verde de hasta 90 t / ha. La duración de la cobertura es de 21 días ya que tiene una relación C/N bastante baja, sin embargo de esto, la cobertura tiene un efecto alelopático residual que le permite al cultivo posterior permanecer libre de malezas por un tiempo prolongado.

En la rotación con cultivos, los mejores rendimientos se han observado con cultivo de arveja y papa

3.4.2 Centeno (*Secale cereale L.*). La densidad de siembra de este cereal es de 80 a 100 Kg. / ha, mientras que la cantidad indicada para la producción de semilla es de 60 a 80 Kg./ ha. El sistema radical es fasciculado, lo cual favorece la estructura del suelo y la infiltración del agua.

Su manejo o deposición como cobertura se da entre 120 y 150 días, cuando alcanza una altura de 1.8 a 2 metros; este proceso se realiza con rollo cuchillo, roto speed o desbrozadora. El rendimiento de masa verde oscila entre 30 y 50 t / ha. por su amplia relación C/N de 42, la cobertura de esta especie ha sido la más duradera, 90 días; un buen tiempo si se compara con la de otros abonos verdes. Esta especie, por su rusticidad, se adapta a suelos poco fértiles, tolera acidez alta y sequía prolongada. En la rotación con cultivos, los mejores rendimientos se han observado con cultivo de arveja y papa

3.4.3 Avena Caldas, ICA Cajicá (*Avena sativa* L.). Este abono verde requiere una densidad de siembra de 60 a 80 Kg./ ha. la densidad más baja es la que se recomienda para la producción de semilla. Cuenta con un sistema radical abundante y fasciculado, que mejora la estructura del suelo y su infiltración; esta avena es considerada como buena recicladora de fósforo y nitrógeno. Es altamente resistente a la roya y a los pulgones; se considera que limpia el suelo, porque disminuye la población de patógenos. Su capacidad para competir con las malezas es alta, hasta el punto de poder controlarlas. Este efecto es notorio en los cultivos posteriores.

De los 90 a los 120 días, cuando alcanza una altura de 0.9 a 1.2 m y su grano se encuentra en estado lechoso, puede ser manejada como cobertura; para su deposición se utiliza rollo cuchillo, desbrozadora o roto-speed. la producción de granos es de 2000 Kg. / ha, aproximadamente. La duración de la cobertura es de 60 a 70 días su relación C/N es de 35 a 38; el rendimiento de masa verde es de 40 a

60 t / ha. Por su precocidad y tolerancia a las enfermedades, la adaptabilidad que posee y su buena producción de masa verde se convierte en un abono verde con excelente potencial. Tiene efecto positivo sobre los rendimientos de papa, arveja y frijol.

3.5 PERDIDAS DE SUELO POR EROSION

En la región andina de Colombia, en los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, el proyecto Checua ha medido pérdidas por erosión hídrica hasta de 250 metros cúbicos o 330 toneladas de suelo por hectárea, después de una sola lluvia; estos ensayos se hicieron en lotes preparados convencionalmente con arado y rotovator (azadón rotativo), que presentan pendientes de 20% a 30%.

En África se han observado pérdidas de suelo de hasta 23.6 toneladas por hectárea en regiones semiáridas. Greenland (1975), mientras que en el sur del Brasil, las pérdidas son de 68.2 t /ha, Sidiras (1984) y 72 t. / ha. Freitas & Castro, (1980).

El siguiente cuadro muestra la influencia de diferentes métodos de preparación del suelo en el sur de Brasil, con datos provenientes de diversos autores y años diferentes, bajo condiciones de lluvias naturales.

Cuadro 1. Influencia de la pendiente y sistema de siembra en pérdida de agua y suelo

PENDIENTE %	PÉRDIDA DE SUELO t / ha		PÉRDIDA DE AGUA POR ESCURRIMIENTO mm.	
	S. Directa	Convencional	S. Directa.	Convencional
1	0.08	1.2	11.4	55
10	0.08	4.4	20.3	52.4
15	0.04	23.6	21	88.9

Fuente: Labranza mínima y siembra directa en los Andes. Proyecto Checua. CAR. GTZ.

3.6 CONSERVACIÓN DEL AGUA

La infiltración del agua lluvia está estrechamente relacionada con la erosión; en la medida en que el agua infiltra en el suelo, disminuye el escurrimiento superficial que, a su vez, es el mayor responsable de la erosión hídrica. La infiltración aumenta proporcionalmente con la cobertura; esto evita el sellamiento superficial, principal responsable de que el agua lluvia no infiltre. En suelos donde la cobertura con residuos vegetales se acerca al 100%, la tasa de infiltración también se aproxima a ese porcentaje, y la tasa de escurrimiento tiende a 0%. A continuación

se presenta un cuadro donde se consigna la tasa de infiltración y el escurrimiento, con base en el porcentaje de cobertura.

Cuadro 2. Tasa de infiltración y escurrimiento del agua según porcentaje de cobertura

Parámetro	Cobertura del suelo con residuos, %				
	0	20	50	80	100
Infiltración, %	20	30	50	75	100
Escurrimiento, %	80	70	50	24	0
Escurrimiento (1) l/ha	480.000	420.000	300.000	150.000	-
Escurrimiento (2) l/ha	2.000.000	1.750.000	1.250.000	620.000	-

Fuente: Labranza mínima y siembra directa en los Andes. Proyecto Checua. CAR. GTZ.

(1) escurrimiento superficial de agua con una precipitación de 60 mm en una hora.

(2) escurrimiento superficial de agua con una precipitación de 250 mm en 24 horas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES

Las parcelas experimentales se ubicaron en tres (3) predios de las veredas Quipe y Salitre, de los municipios de Caldas y Simijaca en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca respectivamente. Estratégicamente ubicadas en la región de pequeños y medianos productores de papa en zonas de ladera, en donde se observa susceptibilidad de los suelos a la erosión debido al manejo de labranza tradicionalmente dado, con pendientes que oscilan entre el 5 y 18%. Las características de las fincas seleccionadas son las siguientes.

♦ Finca El Carmen

Propietario. Alvaro Peña

Vereda: El Quipe

Municipio: Caldas

Área aproximada de la finca: 1,5 ha

Altura: 2950 m.s.n.m

Área del experimento: 6100 m²

Pendiente longitudinal del lote experimental: 3.2%

Pendiente transversal del lote experimental: 11,8

♦ Finca El Arrayán

Propietario. Roque Castellanos

Vereda: El Quipe

Municipio: Caldas

Área aproximada de la finca: 4 ha.

Altura: 2850 m.s.n.m.

Área del experimento: 9580 m²

Pendiente longitudinal del lote experimental 11,6%

Pendiente transversal del lote experimental 5%

♦ **Finca Las Violetas**

Propietario. Pedro Molina

Vereda. El Salitre (Cundinamarca)

Municipio: Simijaca

Área aproximada de la finca: 5 ha

Altura: 2880 m.s.n.m

Área del experimentado: 4500 m²

Pendiente longitudinal del lote experimental 5%

Pendiente transversal del lote experimental 12%

4.2 CLIMA

Los datos climáticos de la zona, fueron calculados teniendo en cuenta los datos de las diferentes estaciones meteorológicas seleccionadas, según estudio realizado por Cortés 1991, en la microcuenca de la quebrada La Playa.

Radiación solar: 376 a 414 cal/cm²/año.

Brillo solar: 1893 a 2139 horas al año.

Temperatura: 13 °C.

Humedad relativa: 73% a 79%.

Precipitación en Simijaca: 878 mm.

Precipitación en Caldas: 4007 mm.

En el cuadro 3 se presenta la información climática de la zona de estudio en promedios mensuales multianuales

Cuadro 3. Datos climáticos. Promedios mensuales multianuales.

Mes	Precipitación mm.	Temperatura máxima, °c	Temperatura mínima, °C	Radiación solar Mj/*2	Humedad relativa, %
Enero	28.3	22.2	3.3	20.3	72.3
Febrero	41.6	22.3	5.0	20.1	69.9
Marzo	73.5	22.5	4.5	18.4	73.2
Abril	104.3	22.1	6.1	17.7	73.5
Mayo	80.5	21.6	5.7	17.2	71.9
Junio	43.5	21.3	4.9	17.2	69.2
Julio	33.4	21.5	4.6	17.3	66.8
Agosto	57.8	21.2	4.2	17.8	67.5
Septiembre	131.8	22.2	4.2	18.2	66.8
Octubre	131.8	22.5	4.1	17.5	74.2
Noviembre	101.0	21.3	4.7	18.6	78.3
Diciembre	50.5	21.9	2.7	19.4	72.0

En el Cuadro 3 se observa que la temperatura más baja se presenta en diciembre, mientras que las temperaturas máximas se presentan en los meses de marzo y octubre. El régimen de precipitación es de tipo bimodal siendo abril el mes con más lluvia en el primer semestre y los meses de septiembre y octubre en el segundo. En el primer semestre se registra el 42.2% del total de la lluvia y en el segundo semestre el 57.6%. El total de la precipitación promedio multianual es de 877.4 mm. En general, la tendencia a la sequía y la irregular distribución de las lluvias, tiene su mayor incidencia negativa en la disposición del agua necesaria

para las actividades agropecuarias y forestales del área, lo que además afecta la recuperación de la flora nativa e incrementa el riesgo de erosión causado por la desprotección de los suelos.

4.3 MATERIALES

- ♦ Mapas de suelo de la zona.
- ♦ Bolsas plásticas.
- ♦ Baldes.
- ♦ HCl al 10% y agua oxigenada
- ♦ Muestras de suelos
- ♦ Formatos para la compilación de información de campo
- ♦ Vidriería y reactivos para ensayo químicos
- ♦ Insumos Agroquímicos en el cultivo de papa
- ♦ Semillas, papa parda pastusa y abonos verdes
- ♦ Palas, barrenos, barretón, azadón, martillo.
- ♦ Flexómetros y Cronómetros
- ♦ Anillos concéntricos (Infiltrómetros)
- ♦ Penetrómetros de bolsillo y de cono
- ♦ Cámara Fotográfica
- ♦ Hidrómetros y pluviómetros
- ♦ Muestreador de núcleo, equipo de vacío
- ♦ Equipos de titulación, fotómetro de llama, colorímetro, cápsula para muestras.
- ♦ Balanzas de precisión
- ♦ Maquinaria Agrícola: – Tractor
 - Surcadora (Vibro surcadora)
 - Rollo cuchillo,
 - Desbrozadora .
- ♦ Equipo procesador de la información (computador)

4.4 METODOS

La metodología usada en este trabajo, incluye trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

4.4.1 Trabajo de campo. En cada finca se estableció el sistema de labranza conservacionista, con diferentes tipos de abono verde.

Sistema establecido en la Finca Las Violetas

Abono verde: Avena Caldas – Papa Parda Pastusa – abono verde: Nabo Forrajero – Papa Parda Pastusa.

- ◆ Establecimiento del abono verde, Avena Caldas: 16/11/1999
- ◆ Deposición del abono verde, Avena Caldas : 26/02/2000
- ◆ Siembra del cultivo de Papa Parda Pastusa: 29/02/2000
- ◆ Cosecha de Papa Parda Pastusa: 10 a 20/09/2000
- ◆ Establecimiento del abono verde, Nabo Forrajero: 10/10/2000
- ◆ Deposición del abono verde, Nabo Forrajero: 13/01/2001
- ◆ Siembra del cultivo de Papa Parda Pastusa: 16/01/2001
- ◆ Cosecha de Papa Parda Pastusa : 12/07/2001

Sistema establecido en la Finca El Carmen

Abono verde: barbecho – Papa Parda Pastusa – abono verde en partes iguales de Nabo Forrajero y Avena Caldas – Papa Parda Pastusa

- ◆ Deposición del abono verde: barbecho: 4/02/2002
- ◆ Siembra del cultivo Papa Parda Pastusa sobre barbecho: 7/02/2000
- ◆ Cosecha de Papa Parda Pastusa: 30/07/2000
- ◆ Establecimiento de abono verde: Avena Caldas y Nabo Forrajero: 18/08/2002

- ♦ Deposición del abono verde: Avena Caldas: 28/11/2000
- ♦ Siembra del cultivo de Papa Parda Pastusa: 18/12/2000
- ♦ Cosecha de Papa Parda Pastusa: 4/05/2001

Sistema establecido en la Finca El Arrayán

Abono verde en partes iguales de Avena Caldas, Nabo Forrajero y Centeno – Papa Parda Pastusa – Abono Verde Avena Caldas – Papa Parda Pastusa.

- ♦ Establecimiento del abono verde: Avena Caldas, Nabo Forrajero y Centeno: 7/03/2000
- ♦ Deposición del abono verde: Avena Caldas, Nabo Forrajero y Centeno: 9/06/2000
- ♦ Siembra del cultivo de Papa Parda Pastusa: 20/08/2000
- ♦ Cosecha de Papa Parda Pastusa : 20 a 28 / 02/2001
- ♦ Establecimiento del abono verde: Avena Caldas: 15/03/2001
- ♦ Cosecha de la semilla del abono verde, ya que se dejó secar : 01/08/2001
- ♦ Siembra del cultivo de Papa Parda Pastusa: 15/08/2001
- ♦ Cosecha del cultivo de Papa Parda Pastusa : 15/01/2002

El establecimiento del primer cultivo de papa en cada una de las áreas del experimento en las respectivas fincas, se realizó con semilla mejorada de papa parda pastusa (semilla básica). Para el cultivo posterior se utilizó semilla seleccionada de la cosecha del primer cultivo.

Con el fin de evaluar los efectos del menor movimiento de suelo a través de deshierba parcial: únicamente un aporque, se monto en la finca El Arrayán el siguiente tratamiento: En parcelas de 3200 m² cada una, se sembraron los abonos verdes: Avena Caldas, Nabo Forrajero y Centeno. El lote fue dividido transversalmente en dos partes, a una de las cuales se le hizo un aporque y a la

parte restante aporques. Finalmente, los tratamientos fueron los siguientes, cada uno de 1600 m².

Avena caldas + 1aporque	Avena Caldas + dos (2) aporques
Nabo forrajero + 1 aporque	Nabo forrajero + dos (2) aporques
Centeno + 1 aporque	Centeno + dos (2) aporques

En cada lote experimental se identificó la clase de suelo existente con sus variaciones mediante calicatas, en las cuales se describieron las características que presenta el suelo a diferentes profundidades, se midió la resistencia a la penetración, y se tomaron las muestras para determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

La resistencia a la penetración se determinó usando un penetrómetro de cono. Se midió en 30 puntos por parcela experimental; se hicieron lecturas a 15 profundidades, cada 3.5 cm. hasta 52.5 cm. en cada punto. Para la determinación de propiedades físicas y químicas de suelo se tomaron las muestras como lo indican los procedimientos establecidos para cada análisis.

La preparación de los suelos se inició con el establecimiento de abonos verdes, continuó con su deposición en cobertura sobre el suelo y finalizó con el surcado para el establecimiento del cultivo de papa.

Para la siembra de las semillas de cada abono se usó un tractor como fuente de potencia y un rastrillo de discos. Para su deposición sobre el suelo se utilizó un rollo cuchillo.

Realizada la anterior actividad se realiza la preparación de la cama de semilla, para el cultivo de papa, mediante un pase de vibro-surcadora, este es un equipo especial de trabajo sobre coberturas.

4.4.2 MÉTODOS DE LABORATORIO. En los laboratorios de CORPOICA C.I – Tibaitatá, se realizaron los análisis físicos y químicos que se detallan en los cuadros 4 y 5

Cuadro 4. Métodos de Laboratorio para análisis físicos.

ANALISIS FISICOS	
PARAMETRO	METODO
Contenido de humedad	Gravimetría
Densidad aparente	Terrón Parafinado
Densidad Real	Picnómetro
Textura	Pipeta
Porosidad Total	Ecuación de Laplace
Índice de Encostramiento	Indirecto
Estabilidad Estructural	Yoder
Infiltración	Anillos infiltrómetros
Humedad aprovechable	Curva de retención de humedad
Índice de Cono	Penetrómetro de cono

Cuadro 5. Métodos de laboratorio para análisis químicos.

ANALISIS QUIMICOS	
PARAMETRO	METODO
Ph	Potenciometría. Relación 1:1
CIC	Acetato de amonio 1N a pH 7
Materia Orgánica	Walkey Black
Bases intercambiables	Acetato de amonio 1N a pH 7
Sodio y potasio	Fotometría de llamas
Calcio y magnesio	Titulación con verseno
Fósforo aprovechable	Bray II
Micronutrientes : Fe,Cu,Mn, Zn,B	Olsen modificado y North Carolina o del doble ácido

El Método de Laboratorio para el análisis biológico: Se basa en la dinámica poblacional microbiana (hongos, bacterias y actinomicetos) los cuales se cuantificaron en unidades formadoras de colonias viables (log. U.f.c./gramo de suelo seco) según metodología descrita por García, (1984), y los datos se transformaron en número logarítmico base 10.

$$\text{Log.U.F.C/g.suelo seco} = (\text{N}^0 \text{ Colonias} \times \text{factor de dilución} \times 10) / 10 \text{ g. suelo seco}$$

5. RESULTADOS Y DISCUSION

La investigación se inicia con el estudio de los suelos donde se van a realizar los ensayos, posteriormente se siembran los abonos verdes y se estudian sus características químicas, se depositan sobre el suelo y permanecen allí el tiempo establecido para cada tratamiento y previamente al establecimiento del cultivo de papa se hace el seguimiento de las propiedades del suelo. De esta manera se elimina el efecto de las diferentes labores culturales que implican movimiento del suelo (preparación, deshierba, aporque y cosecha) sobre las propiedades físicas, adicionalmente, se reduce el efecto de los plaguicidas y fungicidas sobre las propiedades biológicas del suelo.

Para facilidad de manejo de los resultados se presentan en forma conjunta los resultados iniciales y finales del suelo y posteriormente las características de los abonos verdes.

5.1 DESCRIPCION DE LOS PERFILES DE SUELO

Se hicieron varias calicatas en los diferentes lotes seleccionados, para observar y describir las características que presenta el suelo a diferentes profundidades.

Finca LAS VIOLETAS: Vereda el Salitre - Simijaca:

Calicata No. 1 Parte alta del lote: La primera capa presenta suelo franco, profundidad de 28 cm., alto contenido de materia orgánica (suelo original), buena presencia de raíces, las cuales disminuyen notoriamente con la profundidad. El promedio de la resistencia a la penetración fue de 4.3 Kg./cm². La segunda capa de transición tiene una profundidad de 50 cm. no presenta raíces y tiene una resistencia a la penetración promedio de 4.6 Kg./cm². La tercera capa es arenosa y posee una mayor dureza.

Calicata No. 2 Parte baja del lote: No presenta horizonte A. La primera capa tiene una profundidad de 12 cm. y un suelo con textura franco arcillosa; solo existe presencia de raíces hasta los 12 cm. además se encuentran residuos de cosechas anteriores sin descomponer. La resistencia a la penetración fue de 2.5 Kg./cm². La segunda capa, con una profundidad de 30 cm. tiene presencia de gravas que disminuyen con la profundidad. La resistencia a la penetración (promedio) fue de 4.8 Kg./cm². La tercera capa es arcillosa.

Finca EL ARRAYAN: Vereda el Quipe - Caldas

Calicata No. 1 Parte media baja: La primera capa tiene una profundidad de 30 cm. presenta un suelo de textura franco limosa, suelto y con algún grado de estructura, se observa un alto contenido de materia orgánica (suelo original) y un crecimiento radical uniforme. El valor promedio de la resistencia a la penetración axial oscila entre 2.5 y 3 Kg./cm². En esta capa no se presenta adensamiento, pero hay presencia de algunas gravas o cascajos. La segunda capa tiene una profundidad de 60 cm. presenta un suelo franco arcilloso, con algún grado de estructura. Se observa un bajo desarrollo radical y un ligero adensamiento. La resistencia a la penetración (promedio) está entre 4 y 4.5 Kg./cm².

Calicata No. 2 Parte baja: La primera capa es de un espesor de 20 cm. suelo franco limoso sin estructura y baja presencia de raíces que disminuyen con la profundidad. Se estima una pérdida de 40 a 60 cm de capa de suelo, esto con respecto al nivel de la orilla del lote, la cual no ha sido intervenida en 30 años. La segunda capa tiene un espesor de 12 cm. el suelo es arcilloso, presenta poco adensamiento y una menor presencia de raíces. Presenta una tercera capa compuesta de grava, arena y arcilla.

Calicata No. 3. Parte media alta: Su primera capa tiene un espesor de 20 cm. suelo con textura franco limosa, sin estructura y con buena humedad. Se observa un buen crecimiento radical, sin embargo disminuye con la profundidad. Su resistencia promedio a la penetración es de 1.3 Kg./cm². El espesor de la segunda capa es de 12 cm. suelo con estructura, sin capas adensadas y presencia de gravas. Se ve una disminución en la presencia de raíces. La resistencia a la penetración es de 1.7 Kg./cm². La tercera capa no muestra desarrollo radical, presenta grava, arcilla y una capa adensada. Su resistencia a la penetración es mayor a 5 Kg./cm².

Calicata No. 4 Parte alta: La primera capa tiene un espesor de 37 cm. y un suelo franco limoso, con estructura y con buena humedad. Se observa un buen crecimiento radical el cual va disminuyendo con la profundidad. Presenta una resistencia a la penetración de 1.6 Kg./cm². La segunda capa presenta un espesor de 21 cm. suelo con estructura y con adensamiento, disminuye un poco la presencia de raíces. La resistencia a la penetración es de 2.7 Kg./cm². La tercera capa no presenta ningún tipo de desarrollo radical.

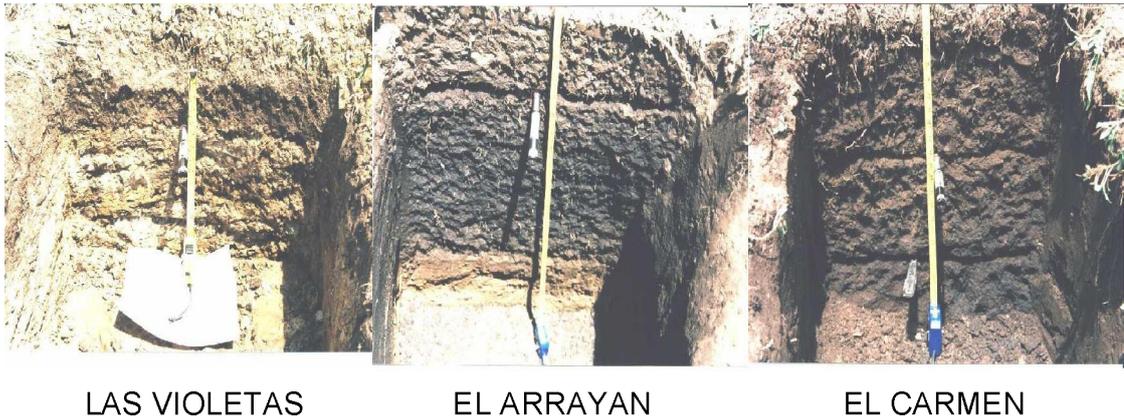
Finca EL CARMEN: Vereda el Quipe - Caldas.

Calicata No. 1 Parte baja: La primera capa tiene una profundidad de 8 cm. suelo franco, suelto con algún grado de estructura y un alto contenido de materia orgánica (suelo original). Se observa buena presencia de raíces, resistencia promedio a la penetración axial de 0.7 Kg./cm². La segunda capa presenta espesor de 36 cm. textura franca, con algún grado de estructura, muestra un buen desarrollo radical y adensamiento que disminuye un poco a mayor profundidad. Su valor promedio de resistencia a la penetración es de 4 Kg./cm². Su tercera capa es de textura franca, su resistencia a la penetración es de 2.8 Kg. /cm².

Calicata No. 2 Parte media: La primera capa presenta una profundidad de 28 cm. suelo franco limoso y buen crecimiento radical en los primeros 6 cm. aunque disminuye con la profundidad. Resistencia a la penetración de 2.6 Kg./cm². Se estima una pérdida de suelo de 50 cm. con respecto al nivel de la orilla del lote, no intervenida en 30 años. La segunda capa tiene un espesor de 22 cm. textura franco arcillosa, tiene baja presencia de raíces y su resistencia a la penetración es de 2.6 Kg./cm².

Calicata No. 3 Parte alta: Capa superficial en pasto kikuyo. La primera capa tiene un espesor de 30 cm. su suelo es franco limoso y su resistencia a la penetración es de 2.3 Kg./cm². Presenta alta presencia de raíces. Se estima una pérdida de suelo de 30 cm. con respecto al nivel de la orilla del lote, no intervenida en 30 años. La segunda capa tiene un espesor de 22 cm. su suelo es franco limoso, con poca presencia de raíces. Resistencia a la penetración de 2.5 Kg. /cm².

Figura 2. Perfiles de los suelos en estudio.



5.2 PROPIEDADES FISICAS

Se realizó el análisis de diferentes propiedades físicas antes y después de establecer los ensayos, con el fin de observar las variaciones que pudieran

presentarse. Los parámetros físicos evaluados fueron: textura, densidad aparente y real, retención de humedad, estabilidad estructural, resistencia a la penetración e infiltración.

5.2.1 Textura. En los cuadros 6 y 7 se presentan las condiciones iniciales y finales de textura en las fincas El Carmen, El Arrayán y Las Violetas.

Cuadro 6. Textura de las parcelas experimentales. Condición inicial.

Finca	Prof. cm.	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura
El Carmen	0-10	46.0	16.6	37.4	Franca
	10-20	45.0	19.6	35.4	Franca
El Arrayán	0-10	28.0	37.6	34.4	Franco – arcillosa
	10-20	22.0	37.6	40.4	Franco – arcillosa
Las Violetas	0-10	17.2	39.0	43.8	Franco-arcillo-limosa
	10-20	18.2	40.0	41.8	Franco-arcillo-limosa

Al hacer el análisis textural de los suelos antes y después de la incorporación de abonos verdes y del primer cultivo de papa, se obtienen resultados muy similares en cada uno de ellos, aún en los casos en los cuales la clasificación es diferente.

Cuadro 7. Textura de las parcelas experimentales. Condición final

FINCA	Prof. cm.	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura
El Carmen	0 – 10	33.8	19.9	46.3	Franca
	10 -20	33.8	20.9	45.3	Franca
El Arrayán	0 -10	36.0	30.0	34.0	Franco Arcillosa
	10 – 20	22.0	42.0	36.0	Arcillosa
Las Violetas	0 -10	14.4	46.8	38.8	Arcillosa
	10 -20	16.4	44.6	39.0	Arcillosa

El suelo perteneciente a la finca El Carmen, presenta textura franca en las dos profundidades estudiadas, antes y después del tratamiento. Esta textura presenta la mejor relación entre los diferentes separados del suelo y le proporciona las mejores condiciones físicas para un adecuado desarrollo agrícola.

En la finca El Arrayán, el suelo tiene textura franco – arcillosa en el perfil estudiado, en las condiciones iniciales. En la profundidad de 10 a 20 cm. en las condiciones finales la textura cambia a arcillosa, pero su ubicación en el triángulo textural es muy próxima a la textura franco arcillosa inicial lo que indica que el suelo presenta las mismas condiciones físicas.

Los suelos de la finca las Violetas, presentan textura franco - arcillo - limosa en las condiciones iniciales y textura arcillosa en las condiciones finales. Como en el caso anterior la textura franco arcillosa descrita está en el límite máximo de esa clasificación y la arcillosa en el límite más cercano a ella, por lo que las condiciones físicas reales del suelo no cambian, no obstante que la clasificación textural difiera un poco.

La textura es una propiedad muy estable en los suelos, debido a que depende exclusivamente de su composición mineral. Solo variaría significativamente, por un movimiento masivo de suelo producto de la erosión, lo cual no es el caso de la zona de estudio, ya que si bien presenta problemas de erosión, no alcanzan esa magnitud.

5.2.2. Índice de encostramiento (IE). En el cuadro 8 se consignan estos valores, calculados para las condiciones iniciales y finales del ensayo, en las tres fincas: El Carmen, El Arrayán y Las Violetas.

Cuadro 8. Índice de encostramiento (IE)

Finca	Profundidad cm.	Índice de encostra miento inicial	Índice de encostra miento final
El Carmen	0 – 10	2.25	2.33
	10 – 20	1.80	2.17
El Arrayán	0 – 10	0.91	0.83
	10 – 20	1.07	0.87
Las Violetas	0 – 10	1.12	1.13
	10 – 20	1.04	0.86

Malagón (1.984), citado por Herrera (1.996) considera que cuando se divide la fracción limo por la fracción arcilla y el valor obtenido es superior a 2.5 el suelo tendrá una alta tendencia a formar costra superficial. El lote de ensayo en la finca El Carmen, presenta el valor más alto, 2.25, indicando una leve susceptibilidad al encostramiento. Esta situación es totalmente explicable en este suelo a pesar de que su textura es franca, debido al alto contenido de limo que presenta.

5.2.3 Densidad real, aparente y porosidad de los suelos estudiados, en las condiciones iniciales y finales. Los valores de densidad obtenidos, en las condiciones iniciales y finales del suelo, se presentan en los cuadros 9 y 10.

Cuadro 9. Densidad real. Condición inicial y final

Profundidad cm.	<i>El Carmen</i>		<i>El Arrayán</i>		<i>Las Violetas</i>	
	Densidad real, gr./cm ³					
	ρ_{ri}	ρ_{rf}	ρ_{ri}	ρ_{rf}	ρ_{ri}	ρ_{rf}
0-10	1.92	1.91	1.89	2.30	2.45	2.46
10-20	1.97	1.92	1.92	2.60	2.45	2.47

Cuadro 10. Densidad aparente. Condición inicial y final

Profundidad cm.	<i>El Carmen</i>		<i>El Arrayán</i>		<i>Las Violetas</i>	
	Densidad aparente, gr./cm ³					
	ρ_{ai}	ρ_{af}	ρ_{ai}	ρ_{af}	ρ_{ai}	ρ_{af}
0-10	0.65	0.63	0.65	0.73	1.08	1.35
10-20	0.65	0.60	0.90	0.79	1.16	1.47

La densidad real de la Finca El Carmen es baja, al igual que la de la finca El Arrayán, esto obedece a que la fracción mineral de estos suelos es derivada de cenizas volcánicas, según lo confirman los estudios de suelos realizados por Cortés (1991) en la micro cuenca de la quebrada La Playa en el municipio de Caldas – Boyacá: estos suelos se desarrollaron a partir de un material parental constituido por lutitas y arcillolitas de la formación Chipaque, y de cenizas volcánicas depositadas en diferentes épocas, las cuales se conservan en las áreas más altas de la cuenca.

La densidad real en los suelos de la finca Las Violetas, se encuentra en los rangos esperados para un suelo mineral, Malagón y Montenegro (1990) sostienen que el valor normal de la densidad real en suelos minerales, se encuentra en un rango entre 2.3 y 2.5 gr./cm³.

El valor de la densidad aparente en las fincas El Carmen y El Arrayán es menor de 1 gr./cm.³ lo cual se debe al origen volcánico de su fracción mineral y a altos contenidos de materia orgánica (Tabla N). En la finca Las Violetas los valores de densidad aparente que se presentan coinciden con los característicos del suelo mineral.

Al comparar los valores de densidad aparente inicial y final en los suelos de las fincas El Carmen y El Arrayán, se aprecia una ligera disminución en estos

valores, lo cual obedece al aumento de materia orgánica en estos perfiles debido a los tratamientos con abono verde.

El suelo de la finca Las Violetas presentó un aumento en la densidad aparente, no obstante haber sido sometido a iguales tratamientos con abono verde, debido al carácter arcilloso de su fracción mineral, que le proporciona tendencia a compactarse cuando secos; aún más en las condiciones de fuerte verano que predominó en la región durante la ejecución del proyecto.

Con los valores de densidad real y de densidad aparente, se obtienen los valores de porosidad inicial y final, los cuales se presentan en el cuadro siguiente.

Cuadro 11. Porosidad del suelo. Condición inicial y final

Profundidad cm.	<i>El Carmen</i>		<i>El Arrayán</i>		<i>Las Violetas</i>	
	Porosidad, %					
	η_i	η_f	η_i	η_f	η_i	η_f
0-10	66.15	67.01	65.60	68.26	55.92	45.42
10-20	67.00	68.75	53.12	69.21	52.65	40.48

La porosidad del suelo es una propiedad asociada con la densidad del suelo. Normalmente suelos con densidad aparente baja tienen alta porosidad y viceversa.

El suelo de la finca El Carmen presenta una porosidad alta, la cual coincide con los valores reportados por Duchafour (1965), citado por Malagón (1990) para esos valores de densidad aparente. En la Finca El Arrayán la porosidad del suelo es alta relacionando muy bien con la densidad aparente, a excepción de la profundidad entre 10 y 20 cm. en las condiciones iniciales, lo que indica una

degradación de la estructura por efectos de la labranza La porosidad del suelo de la finca Las Violetas es óptima para el desarrollo de los cultivos, ya que presenta un equilibrio entre retención de humedad y aireación.

5.2.4 Estabilidad estructural. La estructura se evalúa cuantitativamente a través de la estabilidad estructural. La estabilidad estructural de las muestras se analizó, determinando el diámetro ponderado medio (DPM) y el índice de la media geométrica (MG). Los resultados se presentan en el cuadro 12.

De acuerdo a la interpretación del diámetro ponderado medio dada por Malagón y Montenegro (1990), los suelos pertenecientes a la finca

Cuadro 12. Porcentaje de agregados en diferentes tamaños, diámetro ponderado medio (DPM) y media geométrica (MG). Condición inicial

FINCA	Prof. cm.	Porcentaje de agregados, mm.						DPM mm.	MG mm.
		4.0	2.0	1.0	0.5	0.25	<0.25		
El Carmen	0-10	10.38	14.54	20.54	23.52	14.95	16.08	1.619	0.919
	10-20	19.61	23.34	26.45	17.06	7.93	5.63	2.438	1.558
El Arrayán	0-10	23.14	18.28	16.35	14.39	11.74	16.10	2.354	1.218
	10-20	19.02	9.56	19.62	17.87	14.78	19.15	1.936	0.951
Las Violetas	0-10	6.14	14.41	9.88	10.20	12.02	47.37	1.129	0.501
	10-20	6.23	14.40	11.69	11.74	11.91	44.05	1.168	0.554

El Carmen y el Arrayán son moderadamente estables, mientras que los de las Violetas se encuentran en el rango de ligeramente estables. Tiulin, citado por Malagón, (1990) señala que las partículas responsables de la estructura del suelo son las que tienen un diámetro entre 1 y 3 mm. Por tanto, si la media geométrica de las partículas del suelo es menor a 1 mm. indica poca estabilidad estructural. Al observar los valores de la media geométrica obtenidos en los

distintos suelos estudiados, se puede decir que solo poseen una adecuada estabilidad estructural el suelo de El Carmen y El Arrayán, mientras que se confirma la ligera estabilidad del suelo de la finca Las Violetas. Mientras mayor sea la estabilidad, mayor será la resistencia de un suelo a la erosión, por consiguiente el suelo con mayor tendencia a sufrir procesos erosivos es el de Las Violetas.

En el cuadro 13 se consignan los valores de diámetro ponderado medio y media geométrica de los agregados después del tratamiento. Se observa un aumento en los agregados finos en el suelo; con base en el diámetro ponderado medio, se define los suelos de EL Arrayán y Las Violetas como moderadamente estables, y los de El Carmen como ligeramente estables.

Cuadro 13. Porcentaje de agregados, diámetro ponderado medio (DPM) y media geométrica (MG). Condición final

FINCA	Prof. cm.	Porcentaje de agregados, mm.						DPM mm.	MG mm.
		4.0	2.0	1.0	0.5	0.25	<0.25		
El Carmen	0-10	2.46	10.88	15.20	25.08	18.56	27.85	0.994	0.575
	10-20	3.39	11.93	15.80	20.59	19.75	28.56	1.062	0.592
El Arrayán	0-10	9.35	15.39	22.05	16.79	20.07	16.35	1.58	0.82
	10-20	9.80	21.22	15.98	18.94	10.33	23.73	1.68	0.83
Las Violetas	0-10	9.06	20.71	12.02	9.23	6.17	42.81	1.491	0.654
	10-20	3.16	14.72	10.71	11.14	3.49	56.78	0.959	0.443

El cambio desfavorable de los suelos de la finca El Carmen, obedecen a los mayores contenidos de materia orgánica, lo cual a simple vista parece contradictorio ya que la materia orgánica es estructurador de suelos, pero cuando sus contenidos son tan altos como en este caso, no hay suficiente material mineral coloidal para formar complejos órgano-minerales que estabilicen el suelo.

Igualmente la materia orgánica es la responsable del mejoramiento en la estabilidad estructural del suelo de la finca Las Violetas, la cual por su contenido de arcilla permite la formación de complejos órgano-minerales que estabilizan el suelo.

5.2.5 Capacidad de infiltración. La tasa de infiltración está influenciada principalmente por las propiedades físicas del suelo y también por el gradiente de humedad del mismo. Forero (1.986), por tal motivo es necesario tener en cuenta las condiciones iniciales de humedad del suelo para interpretar de mejor manera los resultados de las pruebas de infiltración.

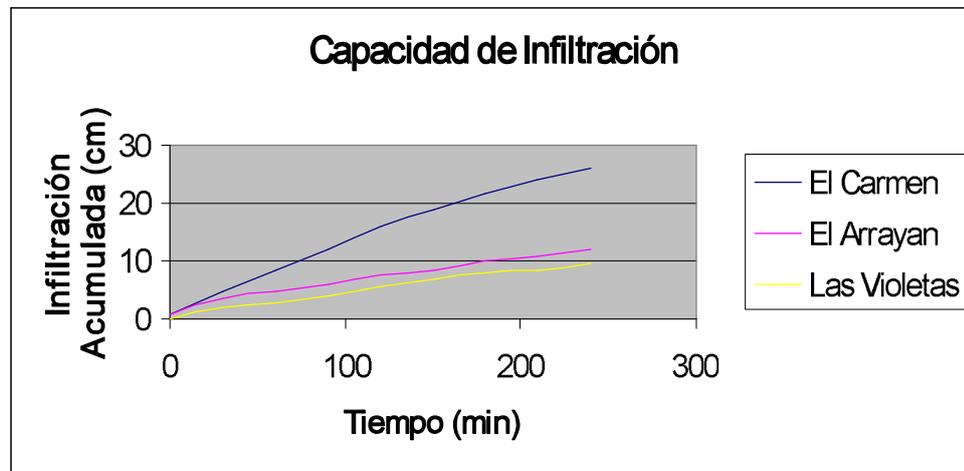
En la finca El Carmen el contenido de humedad al momento de iniciar la prueba fue de 43.3% en base húmeda. Presenta velocidades de infiltración moderadamente rápidas, con valores de 9.34 cm./h, 8.6 cm./h y 11.2 cm./h en las partes alta, media y baja de la finca respectivamente. El valor de infiltración básica es de 5.08 cm./hora

En la finca El Arrayán, el contenido de humedad al momento de iniciar la prueba fue de 33.17% en base húmeda. Se realizaron tres pruebas de infiltración, la velocidad de infiltración presentada se clasifica entre moderada y moderadamente rápida con valores de 3.0 y 5.3 y 9.1 cm./h. El valor de infiltración básica es de 1.14 cm./ h.

En la finca Las Violetas, el contenido de humedad al momento de iniciar la prueba fue de 26.03% en base húmeda. La infiltración presentada se clasifica como moderada con valores de 3.9 y 2.8 cm./h. El valor de infiltración básica es de 1.82 cm./h

En la figura 3 se presenta el comportamiento de la infiltración acumulada en los suelos en estudio, en las condiciones iniciales

Figura 3. Variación de la infiltración acumulada. Condiciones iniciales



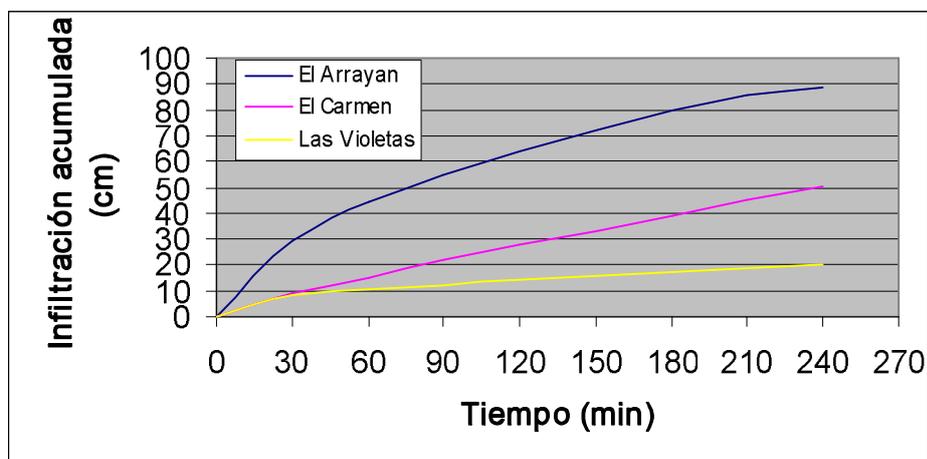
La curva de infiltración acumulada inicial presenta una gran similitud en el comportamiento del suelo de la Finca El Arrayán y Las Violetas, los cuales presentan valores de infiltración acumulada menores que los de El Carmen, la mayor acumulación de agua en este último obedece a sus mayores contenidos de materia orgánica.

Al estudiar las condiciones finales de infiltración, se obtiene que el valor de la infiltración básica en los suelos de la finca El Carmen pasó de 5.08 cm./hora a 9.86 cm./h esto significa un aumento del 94%; en la finca Las Violetas la infiltración básica pasó de 1.82 cm./h a 3.05 cm./h, es decir un aumento del 68%, En la Finca el Arrayán el promedio de la infiltración básica del suelo pasó de 1.14 cm./h a 14.08 cm. /h

En la figura 4 se observan las curvas de infiltración acumulada de los suelos en estudio. Las curvas anteriores, muestran el gran aumento en la capacidad del suelo de almacenar agua, después de la aplicación del tratamiento de deposición de abonos verdes, para esta zona este comportamiento es de suma importancia

pues los períodos secos sumados al régimen ústico del suelo, dificultan su explotación agrícola.

Figura 4. Infiltración acumulada de los suelos en estudio. Condición final.



5.2.6 Retención de humedad. Al realizar el análisis de la retención de humedad se tienen en cuenta principalmente dos puntos de la curva de retención de humedad, correspondientes a capacidad de campo (0.1 a 0.3 bares) y punto de marchitez permanente (15 bares). Los resultados de la retención de humedad se presentan en el cuadro 11. En general los valores encontrados en los dos puntos corresponden con la clase textural de cada uno de los suelos, de acuerdo con Malagón (1990).

Cuadro 14. Retención de Humedad. Condición inicial.

Finca	Tensión, en bares				
	0.1	0.3	1	3	15
El Carmen	39.73	37.07	35.45	33.64	32.08
El Arrayán	37.64	35.23	33.73	31.81	30.16
Las Violetas	36.74	34.35	30.68	27.79	25.26

La retención de humedad presentó un incremento importante en los lotes en estudio después de los tratamientos. Estos valores se consignan en el cuadro .

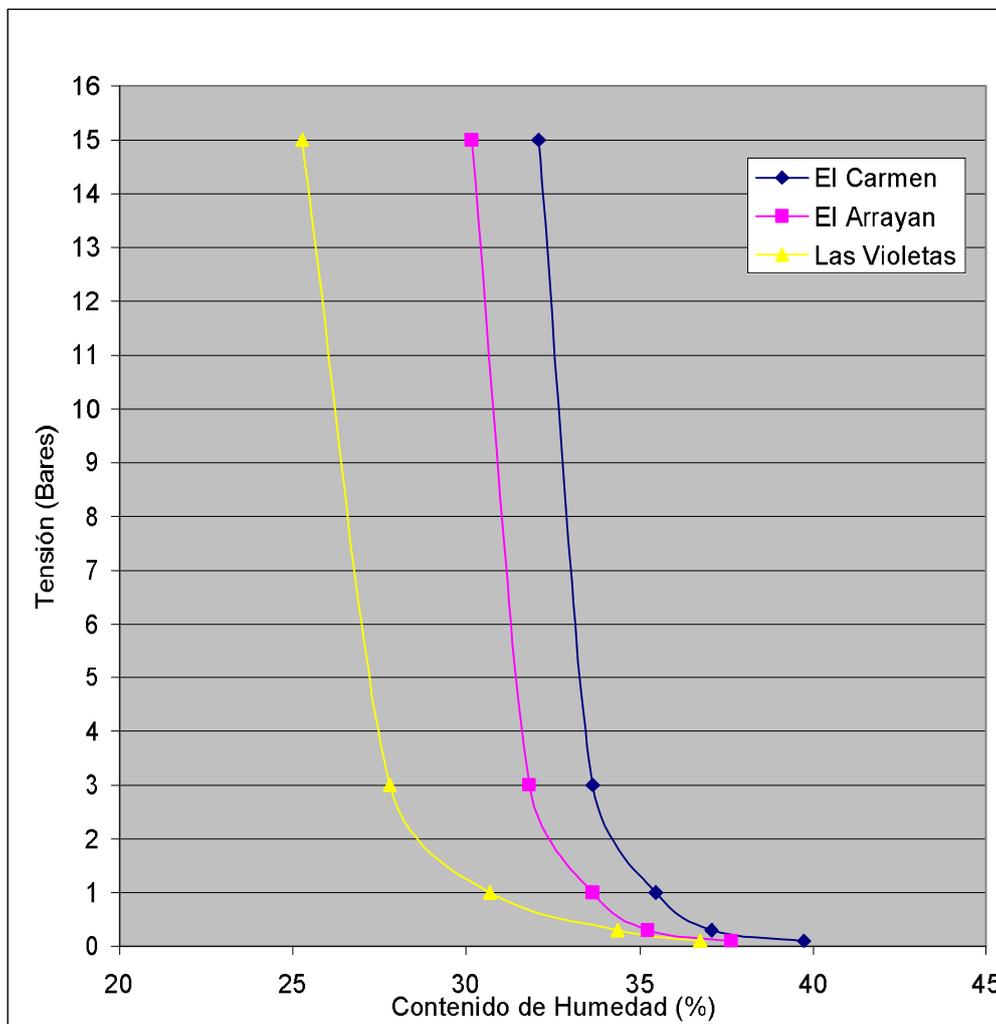
Cuadro 15. Retención de humedad. Condición final.

Finca	Tensión, en bares				
	0.1	0.3	1	5	15
El Carmen	49.03	49.63	45.54	44.46	43.78
Las Violetas	43.83	41.01	34.36	33.03	29.92
El Arrayán	47.50	44.22	38.25	34.82	32.0

En el caso de El Carmen el almacenamiento de agua a capacidad de campo aumentó en un 29.4%, mientras que en el lote de Las Violetas en el mismo punto de tensión el incremento fue de 19.4%. y en el Arrayán el incremento fue de 25.5 % Esta ganancia en el almacenamiento es muy favorable para el desarrollo del cultivo por cuanto dispondrá por más tiempo del agua necesaria para su desarrollo. En la figura 5 se puede apreciar el comportamiento de la curva de retención de humedad en los diferentes suelos. No obstante de que el suelo de la finca Las Violetas es el que contiene más arcilla en su fracción mineral, los otros suelos por tener mayor contenido de materia orgánica presentan más capacidad de almacenamiento, este comportamiento se acentúa después de la incorporación de los abonos verdes. Las figuras 6,7 y 8 muestran las curvas de retención de humedad al inicio y al finalizar el proyecto, para visualizar mejor los cambios presentados.

El suelo de la Finca El Carmen tiene mejor retención de humedad, y los de Las Violetas presentan una retención menor que hará que estos suelos sean más susceptibles a los procesos de erosión hídrica, pues su menor capacidad de almacenamiento, permite mayor acción del agua en superficie y más arrastre de finos.

Figura 5. Curvas de retención de humedad. Condición inicial.



En las figuras 6, 7 y 8 se presentan las curvas de retención de humedad inicial y final de cada suelo, lo que permite observar el efecto del tratamiento sobre esta propiedad.

Figura 6. Retención de humedad, finca El Arrayán. Condición inicial y final.

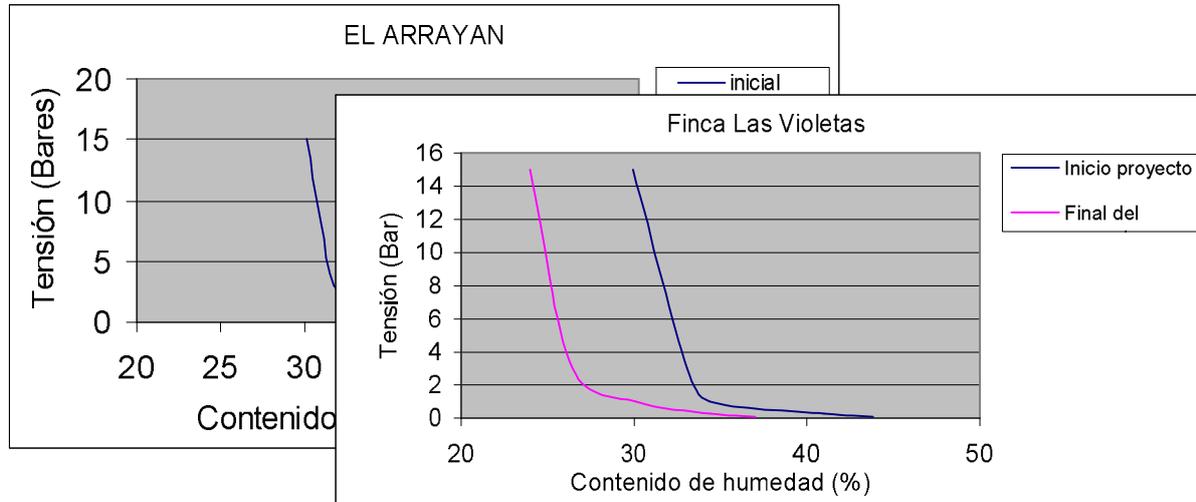


Figura 7. Retención de humedad, finca El Carmen. Condición inicial y final

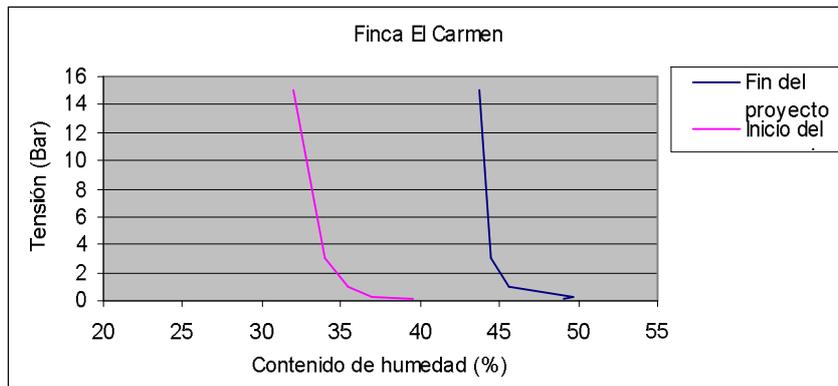
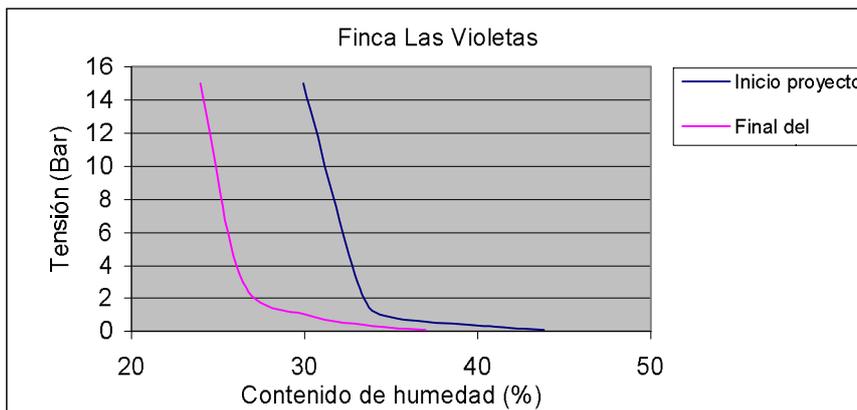


Figura 8. Retención de humedad, finca Las Violetas. Condición inicial y final



5.2 PROPIEDADES QUIMICAS.

Los cambios en las características de un suelo están íntimamente relacionados con la variación de los elementos presentes.. En los diferentes lotes en estudio se realizaron análisis químicos completos de suelos al iniciar del ensayo y al final del proceso (abono verde - papa - abono verde), cuando fueron incorporados para observar el comportamiento de las diferentes propiedades químicas. Se hizo además del análisis de caracterización, el análisis químico de suelos para determinar acidez, contenido de aluminio y porcentaje de saturación de aluminio, ya que es la característica química más limitante de estos suelos.

Cuadro 15. Análisis químico de suelos. Condición inicial

Finca	Profundidad cm.	pH	M.O. %	Al + H cmol./Kg	SAT Al %	C.E. ds/m.
El Carmen	0 – 10	5.05	17.05	4.90	32.0	0.55
	10 – 20	4.95	13.80	3.65	31.0	0.60
El Arrayán	0 – 10	4.80	7.10	6.00	36.0	0.40
	20 – 10	4.90	5.30	4.60	36.0	0.40
Las Violetas	0 – 10	5.10	4.65	3.25	39.5	0.20
	10 – 20	5.20	4.00	2.15	49.5	0.20

Se puede observar que todos los suelos presentan un pH clasificado como extremadamente ácido, siendo levemente más ácido en los 10 primeros centímetros de profundidad como extremadamente ácido, siendo levemente más ácido en los 10 primeros centímetros de profundidad en el caso de El Arrayán y Las Violetas. Estos suelos son demasiado ácidos para la mayoría de los cultivos, además el calcio, potasio, magnesio y sodio se toman altamente solubles y expuestos a pérdidas por lixiviación, cuando el aluminio, hierro y manganeso se presentan en cantidades tóxicas. También influye negativamente en las

actividades biológicas ya que cesa la nitrificación, baja la población de gusano de tierra, y disminuye la presencia de bacterias.

Cuando los suelos se presentan extremadamente ácidos se debe analizar el aluminio intercambiable, estos suelos presentan una gran cantidad de iones de aluminio, Al^3 , además la saturación de aluminio es alta. Es aquí donde se evidencia el problema de acidez, el cual es producido por un exceso de aluminio. Para corregir este problema es necesario manejar la relación calcio - magnesio para que introducir iones Ca^2 que puedan desplazar a los iones de aluminio. Sin embargo es de gran importancia tener más información acerca del tipo de arcillas que poseen estos suelos para conocer más exactamente el origen de los Al^3 .

La materia orgánica le da al suelo diferentes propiedades que ayudan al crecimiento de las plantas, tales como suministro de compuestos orgánicos, fomenta la estructuración, que desarrolla estructuras favorables para la aireación y drenaje de los suelos y aumenta la capacidad de retención de agua. El suelo de la finca El Carmen presenta un contenido de materia orgánica alto, mientras que el correspondiente a El Arrayán es medio y bajo en la finca Las Violetas.

Cuadro 16. Análisis químico de suelos. Condición final.

Finca	Profundidad cm.	pH	M.O. %	Al + H cmol./Kg	SAT Al %	C.E. ds/m.
El Carmen	0 – 10	5.00	17.25	4.15	47.5	0.40
	10 – 20	4.95	18.25	4.40	42.8	0.50
El Arrayán	0 – 10	4.90	9.10	4.5	29.6	0.60
	20 – 10	4.60	9.80	5.2	36.0	0.50
Las Violetas	0 – 10	4.70	4.40	4.50	30.4	0.40
	10 – 20	4.70	4.00	3.50	29.6	0.60

En la finca Las Violetas y El Carmen se presentó una leve disminución en el pH pasando en la finca Las Violetas de 5.1 a 4.7 en la evaluación realizada seis meses después, posiblemente se debe al aumento de los ácidos húmicos y fúlvicos que son liberados en el proceso de descomposición de la materia orgánica, Otra explicación a este fenómeno es la dada por Amaral y Meurer (2.001) quienes indican que el empleo de la labranza reducida puede ocasionar una disminución en el pH del suelo superficial. Esto se debe a que la falta de movimiento en el suelo ocasionan que el amonio sea convertido a nitrato en la superficie del suelo, lo que conlleva a una mayor acidificación. El pH en las partes más profundas del suelo no se afecta por el sistema de labranza.

En la finca El Arrayán, que se evaluó en un ciclo más largo (12 meses), se evidenció un aumento de pH pasando de 4.8 a 4.9 en los primeros 10 cm de profundidad, ya que posiblemente el proceso de descomposición de la materia orgánica había terminado y por ende los ácidos húmicos y fúlvicos habían disminuido.

Con respecto a la materia orgánica, en los suelos de la finca El Carmen y El Arrayán se presentó un significativo aumento, como consecuencia del aporte que hacen los abonos verdes, utilizados en los diferentes tratamientos e influenciado por el tiempo necesario para la mineralización de la materia orgánica en las condiciones climáticas de la región. El contenido de materia orgánica en el suelo de Las Violetas se mantuvo mas o menos constante, sin embargo su efecto fue importante en este suelo en el aumento de su estabilidad estructural.

La conductividad eléctrica disminuyó en el suelo de la finca El Carmen, por el aumento de la concentración de aluminio, mientras que en los predios de El Arrayán y Las Violetas aumentó ligeramente, sin embargo los tres suelos siguen clasificándose como no salinos.

Cuadro 17. Análisis químico de caracterización de suelos y micronutrientes.
Condición inicial.

Finca	Prof. cm.	P mg./Kg.	S mg./Kg.	cmol./Kg.						mg./Kg.				
				Al	Ca	Mg	K	Na	ClC	Fe	Cu	Mn	Zn	B
El Carmen	0-10	20	30.5	3.05	3.30	0.59	0.41	0.1	9.55	272	3.70	28.45	4.70	0.54
	10-20	21	17.5	2.30	2.90	0.54	0.41	0.1	7.60	245	3.15	14.6	2.10	0.31
El Arrayán	0-10	4	27.0	4.10	3.60	1.12	0.68	0.1	11.5	347	2.20	15.9	3.20	0.55
	10-20	19	22.0	3.40	3.10	1.08	0.47	0.1	9.40	327	2.00	10.4	3.30	0.49
Las Violetas	0-10	67	4.5	2.80	2.55	0.73	0.57	0.1	7.20	281	0.80	10.75	1.50	0.37
	10-20	34	4.0	1.95	3.25	0.92	0.54	0.1	6.95	271	0.65	8.45	1.15	0.39

Los suelos de la finca El Carmen presenta las siguientes características químicas: un contenido de fósforo medio, el azufre es alto en los 10 primeros centímetros de profundidad y medio entre los 10 y 20 cm. el contenido de cobre es alto, manganeso alto, el contenido de zinc es alto en los primeros 10 cm. y disminuye con la profundidad, el contenido de boro es alto entre los 0 y 10 cm. de profundidad y medio entre los 10 y 20 cm., el calcio se encuentra en rango medio, además presenta un contenido de magnesio alto y el sodio es bajo.

En la finca El Arrayán los suelos presentan las siguientes características, el fósforo es bajo, el azufre es muy alto, el contenido de cobre se encuentra en un rango medio, manganeso alto, el contenido de zinc es alto, el contenido de boro es alto, el calcio se encuentra en un rango medio, magnesio bajo y el sodio es bajo.

En los suelos de la finca Las Violetas se encontraron las siguientes características químicas: Un contenido de fósforo muy bajo, esta gran fijación de fósforo probablemente sea provocada por la alta acidez y el bajo contenido de materia orgánica, el contenido de azufre es muy bajo, el manganeso se encuentra alto en los primeros 10 cm. y medio entre los 10 y los 20 cm. de profundidad, magnesio muy bajo y el sodio bajo.

En general todos los suelos son pobres en bases y baja capacidad de intercambio catiónico, además presentan una conductividad eléctrica muy baja, es decir que son suelos no salinos, en estos suelos no hay procesos de nitrificación, ni problemas de erosión por sales.

Cuadro 18. Análisis químico de caracterización de suelos y micronutrientes.
Condición final.

Finca	Prof. cm.	P S		Al Ca Mg K Na ClC						Fe Cu Mn Zn B				
		Mg./Kg.		cmol./Kg.						mg./Kg.				
El Carmen	0-10	34.0	28.0	3.20	1.80	0.33	0.39	0.1	6.75	97.0	1.20	33.6	2.05	ND
	10-20	52.5	25.5	3.30	2.10	0.51	0.56	0.1	7.70	125	1.85	42.6	3.25	ND
El Arrayán	0-10	69.0	33.0	2.8	3.2	1.1	0.69	0.1	9.6	5.60	2.7	15.6	3.6	0.27
	10-20	47.0	25.0	3.2	2.3	0.9	0.51	0.1	8.9	4.15	2.2	12.2	2.7	0.21
Las Violetas	0-10	27.0	17.0	4.10	2.80	0.90	0.60	0.1	8.80	496	2.10	13.2	2.00	0.50
	10-20	41.0	22.0	2.40	2.80	0.83	0.65	0.1	7.90	482	1.90	12.9	2.00	ND

El contenido de fósforo tuvo un incremento importante y en los tres casos entre los 10 y 20 cm. de profundidad pasó de medio a alto. Es importante resaltar que en la finca El Arrayán el contenido de fósforo en los primeros 10 cm. De profundidad pasó de 4 mg./Kg. a 60 mg./Kg. en un periodo de un año, lo que nos deja ver la bondad de los abonos verdes con el reciclaje de algunos nutrientes no disponibles o difícilmente disponibles para las plantas. Los tres suelos presentaron un incremento en el contenido de potasio, solo se observó una muy leve disminución en los primeros 10 cm. En la finca El Carmen. El calcio y el magnesio presentaron una disminución, al igual que elementos como el hierro, cobre y boro, el cual ni siquiera se detectó en los análisis. Excepto en la finca El Arrayán donde el contenido de hierro y cobre presentaron un leve incremento. Se incrementó el contenido de aluminio y manganeso. La cantidad de zinc se mantuvo constante.

En términos generales los suelos continuaron pobres en bases y con una baja capacidad de intercambio catiónico.

5.3 PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS.

La actividad biológica en la fase inicial y final en los tres (3) lotes donde se ejecuta el proyecto, es presentada en el siguiente cuadro.

Cuadro 19. Variación de la actividad biológica de los suelos de las tres fincas.

Finca	Estado	Humedad (%)	Bacterias	Hongos	Actinomicetos
			U.F.C./g. suelo	U.F.C./g. Suelo	U.F.C./g. Suelo
El Carmen	Inicial	43.72	20×10^5	71×10^2	42×10^4
	Final	48.24	10×10^5	44×10^6	44×10^6
Las Violetas	Inicial	23.97	70×10^5	22×10^5	12×10^5
	Final	33.05	34×10^3	21×10^6	69×10^5
El Arrayán	Inicial	31.50	60×10^5	56×10^5	10×10^4
	Final	---	---	---	---

Las muestras para determinación de la actividad biológica se tomaron en los primeros 10 cm. de profundidad, con base en lo recomendado en este tipo de ensayos.

Se observa un notorio incremento de la población de hongos y actinomicetos en las fincas El Carmen y Las Violetas lo cual se atribuye principalmente al aumento en la humedad del suelo, la cual se conserva por el material depuesto sobre él. En este caso específico el aumento de la actividad biológica no puede atribuirse directamente a la materia orgánica ya que en la finca Las Violetas ésta se mantuvo constante, si contribuye al mejorar las condiciones físicas del suelo, que le permiten a los microorganismos su mayor desarrollo y actividad.

En ambos suelos, la actividad correspondiente a las bacterias se redujo considerablemente, debido al incremento en los contenidos de aluminio, hierro y manganeso en los suelos, pues se presentan en cantidades tóxicas, lo que disminuye la nitrificación, siendo las bacterias los microorganismos más sensibles a esta situación.

En las diferentes investigaciones bajo labranza reducida se ha determinado que favorecen el incremento en la actividad biológica. Queda igualmente claro que la actividad microbiológica en los suelos se incrementa a medida que aumenta la materia orgánica, la humedad de los suelos y se evita la inversión del suelo; sin embargo, durante el establecimiento y desarrollo del cultivo de papa bajo el sistema convencional son varias las labores que implican movimiento de suelo que junto a la gran cantidad de plaguicidas que se utilizan, reduce la actividad biológica de los suelos.

5.4 Evaluación de Abonos Verdes. Los abonos verdes empleados en la ejecución del proyecto fueron: Avena Caldas (Avena Sativa L.), nabo forrajero (Raphanus Sativus L.) centeno (Secale Cereale L.) y lupinus azul (Lupinus Angustifolius L.), aunque la adaptación de este último no fue muy buena. En todos los casos, los abonos verdes se deponen sobre el suelo, cuando el fruto se encuentra en el estado lechoso, para evitar propagación ya sea por semilla o por rebrote de los tallos.

En el cuadro 18 se presenta la composición química que las diferentes especies de abonos seleccionados pueden aportar al suelo, para atender los requerimientos nutricionales del cultivo a establecer.

Igualmente en el cuadro 19 se presentan los requerimientos nutricionales del cultivo de papa, con base en los rendimientos esperados por cosecha

Cuadro 18. Composición química de los abonos verdes empleados.

	% en materia seca							Rel.	Micronutrientes, ppm.				
	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>MO</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>B</i>
Avena Caldas	2.7	0.26	3.54	0.28	0.17	55.9	32.4	12	42.8	8.8	400	84.8	5
Nabo forrajero	3.9	0.36	3.34	1	0.36	50.4	29.2	7.5	48.4	6.4	411	103	11.2
Centeno	1.16	0.13	1.04	0.31	0.1	55.1	31.1	27.1	44	5.2	1508	83.2	3.8
Lupino	2.37	0.17	1.28	0.61	0.18	65.9	37.4	15.8	31	9.2	127	31	9.9

Fuente: CULTIVAR SIN ARAR.2000.

Para los tratamientos realizados en cada una de las fincas se fertilizó teniendo en cuenta los resultados de los respectivos análisis químicos de los suelos.

Cuadro 19. Requerimientos nutricionales del cultivo de papa.

<i>Nutrientes</i>	Rendimiento, Ton./Ha.		
	20	40	50
<i>N</i>	120	210	300
<i>P₂O₅</i>	40	70	100
<i>K₂O</i>	250	430	600
<i>Mg</i>	20	40	60
<i>S</i>	10	20	25

Fuente: Guerrero, 1.993.

En la finca el Carmen, tanto la avena Caldas como el nabo forrajero alcanzaron rendimientos de masa verde en promedio de 156.86 t/ha, correspondiente a 18.38 t/ha de materia seca.

En la finca el Arrayán, la avena Caldas, el nabo forrajero y el centeno, fueron depuestos sobre el suelo a los 92 días, alcanzando la avena Caldas rendimientos

de masa verde de 62.31 t/ha, equivalente a 11.43 t/ha de materia seca; el nabo alcanzó rendimiento de masa verde de 96.88 t/ha, equivalente a 11.35 t/ha de materia seca. El centeno no tuvo los rendimientos esperados, alcanzó a producir 23.73 t/ha de masa verde, equivalente a 3.04 t/ha de materia seca. Lo anterior se debe a que por ser mayor su período vegetativo, en el momento de la deposición, se encontraba aun pequeño, además de que tuvo problemas de germinación, siendo necesario resembrar dicha área.

En la finca las Violetas, la avena Caldas fue sembrada en el primer semestre de 2000 y depuesta sobre el suelo a los 100 días, alcanzando rendimientos de masa verde 31.84 t/ha, equivalente a 5.84 t/ha de materia seca. A finales del segundo semestre, se sembró el nabo forrajero siendo depuesto sobre el suelo a los 93 días, alcanzando rendimiento de masa verde en promedio de 112.6 t/ha, equivalente a 13.2 t/ha de materia seca. Para estas condiciones, la composición química de estos abonos verdes se encuentra en el siguiente cuadro.

En los cuadros 19, 20 y 21 se consigna la cantidad de elementos fertilizantes incorporados por hectárea, por el uso de abonos verdes.

Cuadro 19. Elementos fertilizantes aportados por el abono verde. Finca El Carmen.

Especie	Elementos fertilizantes, en Kg./ha											
	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>MO</i>	<i>C</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>B</i>
Avena Caldas	363	35.0	476	37.6	22.9	7515	2435	0.6	0.1	5.4	1.1	0.1
Nabo forrajero	717	66.2	614.	184	66.2	9265	2706	0.9	0.1	7.6	1.9	0.2

Cuadro 20. Elementos fertilizantes aportados por el abono verde. Finca El Arrayán.

Especie	Elementos fertilizantes, en Kg./ha											
	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>MO</i>	<i>C</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>B</i>
Avena Caldas	308.7	29.7	405	32.0	19.4	6391	2073	0.5	0.1	4.6	1.0	0.1
Nabo forrajero	442.8	40.9	379	113	40.9	5723	1671	0.5	0.1	4.7	1.2	0.1
Centeno	35.3	4.0	31.6	9.4	3.0	1675	952	0.1	0.0	4.6	0.3	0.0

Cuadro 21. Elementos fertilizantes aportados por el abono verde. Finca Las Violetas.

Especie	Elementos fertilizantes, en Kg./ha											
	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>MO</i>	<i>C</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>B</i>
Avena Caldas	157.7	15.2	207	16.4	9.9	3266	1893	0.3	0.1	2.3	0.5	0.0
Nabo forrajero	514.8	47.5	441	132	47.5	6652	3854	0.6	0.1	5.4	1.4	0.1

Como se aprecia en los resultados, el nabo forrajero tuvo mejor comportamiento en cuanto al aporte de nutrientes, en los tres lotes. También se observa que los abonos verdes hicieron un mejor aporte en el lote de El Carmen, seguido por el Arrayán y en menor cantidad en el predio de Las Violetas. Esto es consecuencia de la retención de humedad de los suelos, ya que a mayor humedad, se acelera el proceso de descomposición y liberación de nutrientes de la materia orgánica. Al comparar la ganancia de fertilizantes en el suelo por los abonos verdes con los requerimientos nutricionales de la papa se puede decir que el nabo forrajero y la Avena Caldas aportan una cantidad significativa de nutrientes que cubren satisfactoriamente las necesidades del cultivo en toda la cosecha inclusive para una productividad alta, como es el caso del nitrógeno, el potasio y magnesio. El fósforo aportado es suficiente para alcanzar rendimientos en papa de muy próximos a 40 t/ha.

Efecto de la labranza reducida y los abonos verdes.

En la finca El Arrayán, en una hectárea se evaluó el efecto de la labranza reducida, simultáneamente con el uso de abonos verdes, teniendo en este caso como indicador la producción, tomando un promedio de tres muestras por cada uno de los tratamientos. Los resultados se consignan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Producción de papa en cada uno de los tratamientos.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	PRODUCCIÓN PAPA
T1	Avena Caldas + un aporque	41.85 Ton/Ha
T3	Nabo forrajero + un aporque	36.5 Ton/Ha
T5	Centeno + un aporque	40.5 Ton/Ha
T2	Avena Caldas + dos aporques	34.17 Ton/Ha
T4	Nabo forrajero + dos aporques	34.53 Ton/Ha
T6	Centeno + dos aporques	34.30 Ton/Ha

Comparando el efecto de los diferentes tratamientos se aprecia que no hay diferencia significativa entre las medidas de rendimiento de papa en los tratamientos con un solo aporque, ni en los tratamientos de dos aporques entre sí

Cuando se compara un aporque contra dos aporques, en todos los casos el rendimiento es mayor cuando se realiza un solo aporque, la única diferencia significativa encontrada en rendimiento es cuando se utiliza centeno como abono verde siendo mayor para un solo aporque. Esto se debe tal vez a la alteración de la flora y la fauna en el suelo a temprana edad del cultivo, lo que favorece su crecimiento. Además con un solo aporque no se interfiere el crecimiento de la raíz lo que si puede suceder al hacer un segundo aporque.

Otros aspectos importantes obtenidos como resultados fueron los siguientes:

Rotando los ciclos de producción de papa con abonos verdes y otros cultivos tradicionales se controlan malezas que compiten con el normal desarrollo del cultivo, se reduce la tasa poblacional de plagas y los daños por enfermedades. Así mismo se produce más y de mejor calidad y se obtuvo una estrategia para producir bajo condiciones climáticas adversas; por la cobertura permanente el suelo lo cual le permite conservar la humedad por más tiempo.

6. ANALISIS ECONOMICO

Desde el punto de vista de rendimientos reales (producción real /área real) en la finca Las Violetas se obtuvo un rendimiento de 27 toneladas /Ha; en la finca El Carmen 25.6 Ton/Ha y en la finca el Arrayán 34 Ton/Ha correspondiendo a incrementos del 42 al 88 %, con respecto al promedio de rendimiento del sistema convencional en la región, el cual se encuentra alrededor de 18 Ton /Ha.

En cuanto a costos de producción por hectárea, en la finca El Carmen fueron de \$ 6.038.114 en el Arrayán de \$6.040.011, mientras en la finca Las violetas fueron de \$4.912.669. Los costos bajos incurridos en la finca las Violetas, se debe básicamente a que coincidió con una época relativamente seca y por ende menor incidencia de enfermedades; adicionalmente, en ese momento la semilla mejorada se encontraba a \$ 410 por kilogramo comparado con \$ 1.000 / Kg. en las otras dos fincas. Comparando los costos de producción obtenidos con los correspondientes al sistema convencional, los cuales se encontraban al rededor de \$ 6.000.000 por Ha, se obtuvo que los correspondientes a la finca Las Violetas fueron un 30% menos, mientras que los correspondientes a las fincas el Carmen y el Arrayán influenciados por el alto costo de las semillas mejorada, fueron similares los costos bajo el sistema convencional. En general los costos de producción se distribuyeron de la siguiente manera:

DESCRIPCIÓN	COSTO %
Maquinaria	1.77
Mano de obra	24.21
Fertilizantes	16.03
Semilla mejorada	20.3
Funguicidas, insecticidas, empaque y cabuya	31.3
Transporte	7.58
TOTAL	100

RELACIÓN BENEFICIO / COSTO.

En el cuadro se presenta la relación beneficio/costo obtenidos en las tres fincas donde se establecieron los ensayos

FINCA	COSTO PRODUCCIÓN	TOTAL INGRESOS	GANANCIA NETA	RELACIÓN B/C
Las Violetas	4.912.669	9.189.259	4.276.590	1.87
El Carmen	6.038.114	7.581.967	1.543.853	1.26
El Arrayán	6.040.011	13.158.032	7.493.895	2.2

Con base en este criterio la inversión debe hacerse sólo si la razón de beneficios a costos es mayor que la unidad; En este caso todas las alternativas de producción presentan razón B/C mayor a la unidad para cada ciclo de cultivo, por lo que la metodología propuesta es viable.

CONCLUSIONES

Las conclusiones y consideraciones que se enuncian a continuación son de carácter preliminar, debido al corto tiempo transcurrido desde la investigación dado que producir cambios en las características físicas, químicas y biológicas de los suelos requieren de mayor tiempo de evolución de los suelos, y especialmente del uso continuo de las prácticas de conservación.

1. Las propiedades físicas de los suelos trabajados bajo el sistema de labranza reducida propuesto, presentan un significativo mejoramiento de su capacidad de infiltración en todos los suelos, el mayor cambio se observa en la finca Las Violetas en la cual pasó de 3.3 cm /hora a 10.19 cm /hora cambiando de moderada a rápida, con incremento del 208 % en su valor de velocidad de infiltración.
2. La retención de humedad de los suelos trabajados bajo el sistema de labranza reducida presentó un incremento significativo en los lotes bajo estudio. Es así como en la Finca El Carmen aumentó en un 33.9 %, mientras que en la finca Las Violetas el aumento fue de un 19.4 % con respecto a los valores iniciales.
3. Respecto a la compactación del suelo, podemos concluir que se presentó una leve disminución en la resistencia a la penetración, considerándose no limitante hasta una profundidad de 10.5 cm, y aceptable hasta los 17.5 cm.

4. En cuanto a la densidad aparente podemos afirmar que se presentó una leve disminución entre los 10 y 20 centímetros de profundidad, mientras que en los 10 primeros centímetros no presentaron cambios importantes. En la finca Las Violetas se presentó una situación diferente, con aumento en la densidad aparente y la consecuente disminución en la porosidad.
5. El sistema propuesto presenta enormes beneficios en el aporte de nutrientes al suelo, lo que permite una disminución en los costos de producción, y en la contaminación por el uso de fertilizantes químicos.
6. La presencia de cobertura sobre el suelo ejerce un excelente control de malezas, lo que reduce significativamente los costos del control químico y mecánico.
7. La presencia de insectos plagas y enfermedades tienen un pequeño aumento lo cual no afecta los umbrales de daño económico del cultivo, pues también se aumenta la cantidad de especies de microorganismos causando posiblemente un efecto de auto control entre ellas, además que los insectos plaga se dedican a consumir las malezas y residuos orgánicos sin atacar severamente el cultivo.
8. La implementación de este sistema permite concluir que al mejorar los contenidos de materia orgánica de los suelos se mejoran algunas propiedades físicas como son infiltración, retención de humedad entre otras.
9. El sistema es aplicable bajo unas condiciones específicas y puede ser flexible dependiendo de las condiciones climáticas y la susceptibilidad de los suelos a la erosión, por lo que su optimización depende de un análisis profundo de los factores que intervienen en el proceso de producción agrícola.

10. La rotación de cultivos favorece la disminución de presión ejercida por plagas, ya que se interrumpe el hábitad adecuado y la cadena alimenticia específica para cada uno de ellos. Además debido a la diferenciación del crecimiento radical de las plantas se favorecen el mejoramiento de propiedades químicas y físicas y biológicas de los suelos.

RECOMENDACIONES

1. En suelos de ladera se recomiendan sistemas de labranza que dejen rastrojo en la superficie y que reduzca al mínimo posible el movimiento del suelo.
2. Continuar estos estudios en períodos más largos, para determinar con mayor certeza los efectos de la labranza reducida en la zona.
3. Hacer difusión y capacitación a los agricultores de las zonas de ladera sobre las técnicas de labranza reducida.
4. Que las instituciones del orden Nacional Departamental y Municipal se vinculen de forma más directa, con la implementación de las técnicas de labranza reducida, especialmente en zonas propensas a erosión o cultivos en laderas.
5. En aquellos lotes destinados al cultivo de papa que en la cosecha anterior han sido destinados a otro cultivo, se recomienda usar el sistema de labranza reducida que por su fácil manejo y bajo costo de implementación, permite producir más y de mejor calidad ya que se obtiene un mejor balance hídrico y nutricional del cultivo.
6. El cultivo de papa, que es el cultivo por excelencia en la zona, demanda una gran cantidad de humedad, por lo tanto los agricultores prefieren aquellas

zonas de mayor humedad (páramos), se recomienda delimitar las zonas con mapas agrícolas para determinar las bondades y características de cada suelo, y así se pueda realizar una explotación apropiada de dichas áreas y evitar la deforestación de los páramos.

BIBLIOGRAFIA

ALMANZA, E. y BURGOS, J. Informe Modelamiento EPIC. Proyecto Colciencias “Modelamiento de agentes externos climáticos y mecánicos y su relación con procesos de degradación y recuperación de suelos” Villavicencio: 2000.

AMEZQUITA, E. Procesos Físicos de la Degradación de Suelos en Colombia. Manejo Integral de Suelos para una Agricultura Sostenible. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira, Agosto de 1992.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFE. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. Chinchina - Caldas. 1975.

CORTES, A. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Microcuenca de la Quebrada “La Playa” Municipio de Caldas, Boyacá. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Centro de Investigaciones Científicas. Bogotá, D.C. Noviembre de 1991.

CROVETTO, C. Rastrojos sobre el Suelo. Santiago de Chile, Marzo de 1992.

GTZ, KFW, CAR. Cultivar sin Arar. Labranza mínima y siembra directa en los Andes. Proyecto Checua. Colombia. 2000.

GUERRERO, R. Fertilización del Cultivo de la Papa. Fertilización de Cultivos en Clima Frío. Abonos Nutrimón. Divulgación técnica. 1996.

HERRERA, P. Aproximación a los Problemas de Degradación en el Suelo y Posibles Soluciones. Mecanización y Labranza de Conservación. CORPOICA - SENA. Bogotá, D.C., 1999.

LOPEZ, P. Evaluación y Predicción de la Pérdida de Suelos en el Piedemonte Amazónico Colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de maestría. 1995.

Mc CONNELL, K. "An economic model of soil conservation". En: *American Journal of Agricultural Economics* N°65 (1), 1983.

MITCHELL, G., GRIGGS, R. et al. The EPIC Model Environmental Policy Integrated Climate. The United States Department of Agriculture Natural Resource Conservation Service. Manual.

MOKATE, K. Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. Universidad de los Andes, BID, Bogotá. Julio de 1998.

_____ & Castro, Raúl. Evaluación Económica y Social de Proyectos. Universidad de los Andes, BID, Bogotá. Abril de 1998.

MONTENEGRO, H. y MALAGÓN, D. Propiedades Físicas de los Suelos. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" - IGAC. Bogotá, D.E. 1990.

PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LOS MUNICIPIOS DE CALDAS Y SIMIJACA. Años 1999 y 2000.

PROCIANDINO. XII Curso "Producción de Semilla de Papa para el Pequeño Productor. Cochabamba, Bolivia. Febrero de 1989.

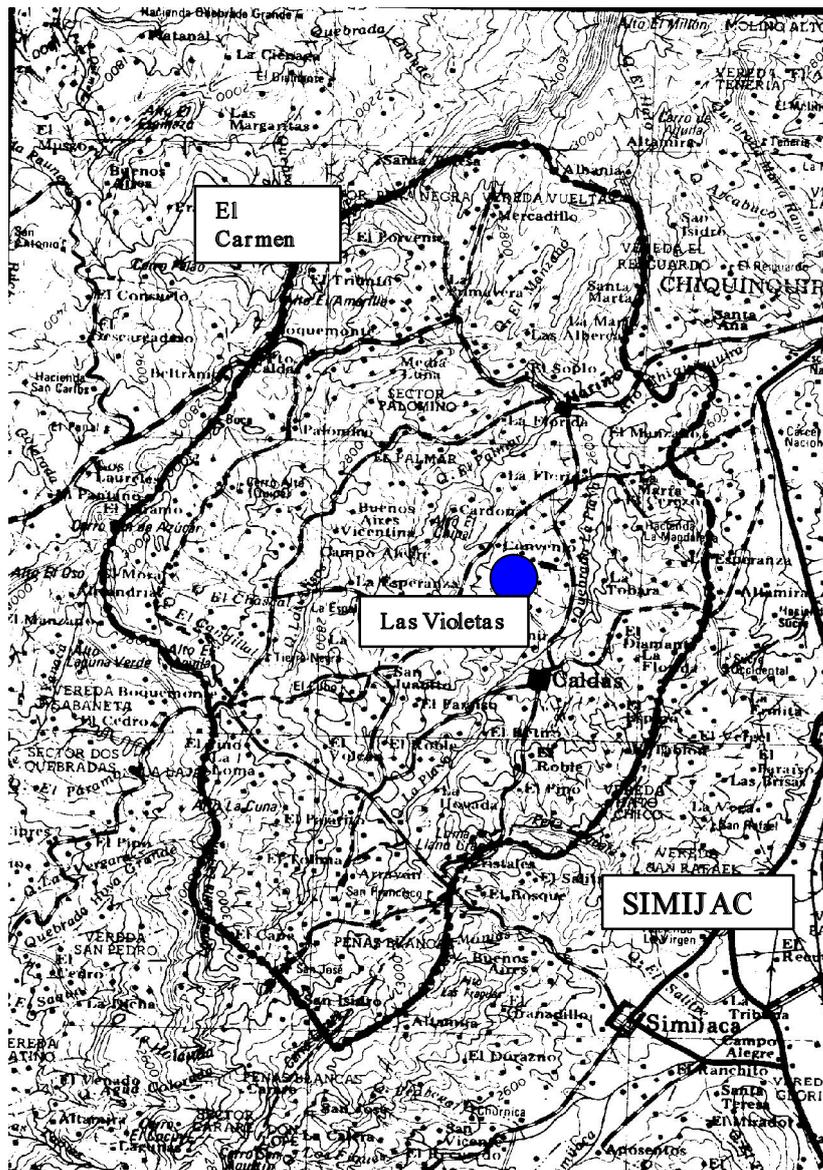
SIMS, B.G.; SMITH, D.W. y O'NEIL, D.H.. Principios y Prácticas de Prueba y Evaluación de Maquinaria y Equipos Agrícolas: Boletín de servicios agrícolas de la FAO No. 110. Primera ed. Roma, Noviembre de 1994.

VAN KOOTEN, G. C.; WEISENSEL, W. P. ; DE JONG, E. "Estimating the costs of soil erosion in Saskatchewan". En: *Canadian Journal of Agricultural Economics*. N°37, 1989.

VARELA, R. Evaluación Económica de Proyectos de Inversión. Grupo Editorial Iberoamericana. Santafé de Bogotá: 1997.

VILLANEDA, E. Determinación de Algunas Propiedades Físicas de los Suelos y su Relación con Labores de Mecanización. Mecanización y Labranza de Conservación. CORPOICA - SENA. Bogotá, D.C., 1999.

ANEXO A. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO



CONVENCIONES:

Limite Municipal: —●●—●●—

Carretera Pavimentada: —————

Carretera sin pavimento: —■—■—■—

Carreteable: ————

ANEXO B. Estructura de costos – Finca Las Violetas – 2000

Municipio: Simijaca		Vereda: El Salitre	
Propietario: Pedro Molina		Siembra: 29/02/2000	
Semilla: Parda Pastusa	Finca: Las Violetas	Area: 3836 m ²	

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Preparación terreno (26/02/2000)				
Quema química (Roundap)	2	l.	13000	26000
Mano de obra	1	jornales	10000	10000
Rotovator	0	hora		
Arado de discos	0	hora		
Rastrillo	0	hora		
Surcada	2	hora	13000	26000
Siembra (29/02/2000)				
Semilla de papa, básica degradada (11 bultos)	605	Kg.	410	248050
Fertilizantes, 13-26-6 (9 bultos)	450	Kg.	466,7	210015
Cal dolomita (5.5 bultos)	275	Kg.	120	33000
Insecticida	0	0		0
Mano de obra: Zanjas	4	jornales	10000	40000
Siembra	6	jornales	10000	60000
Reabone (15/04/2000)				
Fertilizantes (4.5 bultos)	225	Kg.	600	135000
Mano de obra	2	jornales	10000	20000
Desyerbe (15/04/2000)				
Mano de obra	9	jornales	10000	90000
Aporque (4/04/2000)				
Mano de obra	7	jornales	10000	70000
Fumigadas				
Primera fumigada				
Insecticida (Pirestar)	1	l.	23000	16500

Mano de obra	1	jornales	10000	10000
Segunda fumigada				
Insecticida (Pirestar)	1	l.	23000	16500
Mano de obra	1	jornales	10000	10000
Tercera fumigada				
Fungicida (Antracol)	2	lb.	9750	19500
Insecticida (Furadán)	1	l.	24000	24000
Mano de obra	1	jornales	10000	10000
Cuarta fumigada				
Fungicida (Antracol)	2	lb.	9900	19800
Mano de obra	1	jornales	10000	10000
Quinta fumigada				
5. Fungicida (Antracol)	2	lb.	9900	19800
Fertilizante Foliar (Complezal)	1	l.	7000	7000
Mano de obra	1	jornales	10000	10000
Sexta fumigada				
Fungicida (Antracol)	3	lb.	10.250	30750
Fertilizante Foliar (Amicsur)	1	l.	15000	15000
Mano de obra	2	jornales	10000	20000
Séptima Fumigada				
Fungicida (Antracol)	2	lb.	10.250	20500
Fungicida (Fitoraz)	1	lb.	13500	13500
Fertilizante Foliar (Amicsur)	1	l.	15000	15000
Mano de obra	2	jornales	10000	20000
Octava fumigada				
Fungicida (Antracol)	4	lb.	10.150	40600
Insecticida (Furadán)	1	l.	24000	24000
Mano de obra	3	jornales	10000	30000
Cosecha 10/09 - 20/09/2000				
Mano de obra	33	jornales	10000	330000
Empaque	175	costales	420	73500
Transporte	130	Bultos	850	110500
Total Costos				1.884.500

Equivalente a \$ 4.912.669/ha

Producción

Primera (Papa gruesa)	120	Bultos	17500	2100000
------------------------	-----	--------	-------	---------

Segunda (Papa semilla)	45	Bultos	30000	1350000
Tercera (Riche)	10	Bultos	7500	75000
Total producción	175	Bultos		3.525.000

Equivalente a \$ 9.189.259/ha

Ganancia neta	1.640.500
----------------------	------------------

Equivalente a \$ 4.276.590/ha

Utilidad	\$ 4.276.590/ha
Rentabilidad	0,87 %

ANEXO C. Estructura de costos – Finca El Carmen – 2000

Municipio: Caldas		Vereda: El Quipe	
Propietario: Alvaro Peña		Siembra: 07/02/2000	
Semilla: Parda Pastusa	Finca: El Carmen	Area: 6100 m²	

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Preparación terreno (4/02/2000)				
Quema química (Roundap)	2	l.	13000	26000
Mano de obra	1	jornales	12000	12000
Rotovator	0	hora		
Arado de discos	0	hora		
Rastrillo	0	hora		
Surcada	3	hora	13000	39000
Siembra (7/02/2000)				
Semilla de papa básica degradada (13 bultos)	715	Kg.	410	293150
Fertilizantes Nutrimón 10-30-10 (10 bultos)	500	Kg.	600	300000
Cal dolomita (10 bultos)	500	Kg.	120	60000
Insecticida	0			0
Mano de obra	10	jornales	12000	120000
Reabone (22/03/2000)				
Fertilizantes (10 bultos)	500	Kg.	570	285000
Mano de obra	2	jornales	12000	24000
Desyerbe (22/03/2000)				
Mano de obra	10	jornales	12000	120000
Aporque (4/04/2000)				
Mano de obra	10	jornales	12000	120000
Fumigadas				
Primera fumigada				
Insecticida (Monitor)	1	l.	23000	23000
Fungicida (Manzate)	2	lb.	11000	22000
Mano de obra	2	jornales	12000	24000

Segunda fumigada				
Fungicida (Manzate)	1	lb.	11000	11000
Fungicida (Curzate)	1	lb.	13000	13000
Insecticida (Sistemin)	1	lb.	17500	17500
Mano de obra	2	jornales	12000	24000
Tercera fumigada				
Fungicida (Manzate)	3	lb.	11000	33000
Fungicida (Curzate)	3	lb.	13000	39000
Insecticida (Monitor)	2	l.	23000	46000
Mano de obra	3	jornales	12000	36000
Cuarta fumigada				
Fungicida (Curzate)	6	lb.	13000	78000
Insecticida (Carate)	3	l.	19000	57000
Mano de obra	3	jornales	12000	36000
Quinta fumigada				
Fungicida (Curzate)	6	lb.	13000	78000
Insecticida (Monitor)	2	l.	23000	46000
Insecticida (Furadán)	2	l.	25000	50000
Mano de obra	3	jornales	12000	36000
Sexta fumigada				
Fungicida (Curzate)	6	lb.	13000	78000
Insecticida (Monitor)	2	l.	23000	46000
Fertilizante (Nitra Potásico)	3	Kg.	1200	3600
Insecticida (Furadán)	2	l.	25000	50000
Fertilizante foliar (Amicsur)	2	l.	15000	30000
Mano de obra	3	jornales	12000	36000
Séptima fumigada				
Fungicida (Curzate)	8	lb.	13000	104000
Mano de obra	4	jornales	12000	48000
Octava fumigada				
Fungicida (Curzate)	8	lb.	13000	104000
Insecticida (Monitor)	2	l.	23000	46000
Fertilizante foliar (Amicsur)	2	l.	15000	30000
Mano de obra	4	jornales	12000	48000
Novena fumigada				
Fungicida (Curzate)	4	lb.	13000	52000

Fungicida (Manzate)	4	lb.	12000	48000
Mano de obra	4	jornales	12000	48000

Décima fumigada				
Fungicida (Manzate)	4	lb.	12000	48000
Insecticida (Monitor)	2	l.	23000	46000
Mano de obra	4	jornales	12000	48000

Cosecha 30/07 - 01/08/2000

Mano de obra	23	jornales	12000	276000
Empaque	250	costales	700	175000
Transporte	250	bultos	1000	250000

Total Costos				3.683.250
---------------------	--	--	--	------------------

Equivalente a \$6.038.557/ha

Producción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Total
Primera (Papa gruesa)	230	bultos	17500	4025000
Segunda (Papa semilla)	20	bultos	30000	600000
Total Producción				4.625.000

Equivalente a \$7.581.762/ha

Ganancia Neta	941.750
----------------------	----------------

Equivalente \$1.543.811/ha

Utilidad	\$ 1.543.811/ha
Rentabilidad	0,26 %

ANEXO E

ESTRUCTURA DE COSTOS – FINCA EL ARRAYÁN – 2001

Municipio: Caldas	Vereda: El Quipe	
Propietario: Roque Castellanos	Siembra: 02/07/2000	
Semilla: Parđa Pastusa	Area: 9579.7 m ²	Finca: El Arrayán

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Preparación de suelos				
Quema química (Roundap)		l.		0
Mano de obra		Jornales		0
Rotovator		Hora		
Arado de discos		Hora		
Rastrillo		Hora		
Surcada	3	Hora	14000	42000
Siembra				
Semilla de papa (23 bultos)	1200	Kg.	1000	1200000
		Kg.		
Fertilizantes (13 bultos)	650	Kg.	650	422500
Cal dolomita (13 bultos)	650	Kg.	130	84500
Gallinaza	1000	Kg.	100	100000
Mano de obra	15	Jornales	10000	150000
Reabone				
Fertilizantes (9 bultos)	450	Kg.	650	292500
Mano de obra	3	Jornales	12000	36000
Desyerbe				
Mano de obra	20	Jornales	12000	240000
Aporque				
Mano de obra	12	Jornales	12000	144000
Fumigadas				
Mano de obra	20	Jornales	12000	240000
Fungicidas e insecticidas				1513650
Cosecha 20 a 28/02/2001				
Mano de obra	60	Jornales	12000	720000

Empaque	441	Costales	430.80	190000
Transporte	441	bultos	1000	441000
Total Costos				5786150

Equivalente \$ 6.089.494 / ha.

Rendimientos	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Primera (papa gruesa)	310	bultos	30.000	9300000
Segunda (papa - semilla)	106	bultos	30.000	3180000
Tercera (riche)	25	bultos	5000	125000
Total Producción	441	bultos		12.605.000

Equivalente \$ 13.268.421/ha

Ganancia Neta	6818850
----------------------	----------------

Utilidad	7.178.927/ha
Rentabilidad	1,18

ANEXO F

**PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN LA REGIÓN DE EJECUCIÓN DEL
PROYECTO (mm)**

Mes	Precipitación (mm)
Enero/2000	28*
febrero/2000	42*
Marzo/2000	73*
Abril/2000	104*
mayo/2000	80*
Junio/2000	43*
Julio/2000	33*
Agosto/2000	58*
Septiembre/2000	110
Octubre/2000	98
Noviembre/2000	67
Diciembre/2000	25
Enero/2001	27
febrero/2001	34
Marzo/2001	54
Abril/2001	36
mayo/2001	53
Junio/2001	35
Julio/2001	25
Agosto/2001	10
Septiembre/2001	75
Octubre/2001	95
Noviembre/2001	45.5
Diciembre /2001	63.

*Tomados del promedio de 25 años de registro.

Los otros datos fueron leídos directamente en un pluviómetro ubicado en la Finca El Arrayán.

Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad total (%)
< 1.0	> 63
1.0 - 1.2	55 – 62
1.2 - 1.4	47 – 54
1.4 - 1.6	40 - 46
1.6 - 1.8	32 - 39
> 1.8	< 31

Fuente Malagon 1990

Tabla. 3. Relación entre la densidad aparente y la porosidad total (Duchaufour, 1965).

DPM (mm)	Interpretación
< 0.5	Inestable
0.5 - 1.5	Ligeramente Estable
1.5 - 3.0	Moderadamente Estable
3.0 - 5.0	Estable
> 5.0	Muy estable

Fuente: Malagón 1990

Tabla.4. Rangos de la estabilidad estructural con relación al diámetro ponderado medio DPM.