



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Efecto de acolchados sobre propiedades físicas de un suelo de la sabana de Bogotá y su relación con el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L)**

**Sergio Alexander Henríquez Henríquez**

Universidad Nacional de Colombia

Maestría en Ciencias Agrarias

Facultad de Agronomía

Bogotá DC., Colombia

2014

# **Efecto de acolchados sobre propiedades físicas de un suelo de la sabana de Bogotá y su relación con el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L)**

**Sergio Alexander Henríquez Henríquez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de  
**Magister en Ciencias Agrarias**

Director:

PhD., Jairo Leonardo Cuervo  
Profesor Facultad de Agronomía  
Universidad Nacional de Colombia

Codirector:

M.Sc., Roberto Villalobos  
Profesor Facultad de Agronomía  
Universidad Nacional de Colombia

Universidad Nacional de Colombia  
Maestría en Ciencias Agrarias  
Facultad de Agronomía  
Bogotá DC., Colombia

2014

*A Dios, mi esposa, mis padres y mis  
hermanos.*



## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi gratitud a la Universidad Nacional de Colombia, por la formación académica y humana que me brindó durante mi permanencia como estudiante.

A los profesores de la Maestría en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, en especial a Jairo Leonardo Cuervo, Roberto Villalobos y Martha Henao.

A mi esposa, Marivel Moreno, quien fue parte fundamental en esta investigación.

A todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo: Mis hermanos, Adriana y Hubert, Yessenia, Álvaro, Ligia.

A mis padres por su apoyo constante e incondicional.

Al I.A. PhD. Edgar Benítez por su gran colaboración en la realización de los análisis estadísticos.

## Resumen

En Cundinamarca, las hortalizas se destacan por su importancia económica y por prácticas de labranza intensivas e inadecuadas. Este hecho favorece la aceleración de procesos de degradación, como la pérdida de la estructura. Los acolchados hacen parte de las prácticas agrícolas que pueden contribuir a solucionar estos problemas. Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de los acolchados sobre las propiedades físicas del suelo y en el rendimiento del cultivo de lechuga Batavia (*Lactuca sativa* L.). El experimento se estableció a campo abierto en la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia. Se evaluaron 5 tratamientos: Dos acolchados sintéticos (plásticos de colores negro y blanco); dos acolchados orgánicos (pasto kikuyo en dosis de 2 y 3 kg m<sup>-2</sup>) y el testigo (suelo desnudo). Se realizaron 3 trasplantes consecutivos de plántulas y, al final de cada cosecha, se midieron indicadores de calidad del suelo. Los rendimientos en los tres ciclos de cultivo fueron siempre superiores en los tratamientos con acolchados con respecto al testigo. En general, las coberturas del suelo con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> y con plástico negro presentaron los mayores rendimientos. La menor fluctuación en la temperatura del suelo a las 12 m. y a las 3 p.m. se encontró en el tratamiento con plástico blanco. Los acolchados presentaron menor cantidad de agregados finos menores de 0.5 mm. El acolchado con pasto kikuyo (3 kg m<sup>-2</sup>) presentó las mayores conteos de Unidades formadoras de colonia (UFC).

**Palabras clave:** Suelos, Propiedades físicas, Acolchados, Lechuga

## Abstract

In Cundinamarca, vegetables are known for their economic importance and both the intensive and the inadequate farming practices. This facilitates the acceleration of soil degradation processes, such as the loss of the structure. Mulches are part of agricultural practices that can help to solve these problems. This research was conducted to evaluate the effect of mulches on soil physical properties and crop yield of Batavia lettuce (*Lactuca sativa* L.). The experiment was set in the open field at the Faculty of Agronomy of the Universidad Nacional de Colombia. 5 treatments were evaluated: Two synthetic plastics (black and white color); two organic mulches (Kikuyu grass in doses of 2 and 3 kg m<sup>-2</sup>) and the control (bare soil). 3 consecutive seedling transplants were performed. At the end of each harvest, different soil quality indicators were measured. Yields on three cycles were always higher in the treatments with mulches compared to the control. In general, the use of kikuyu mulch in a rate of 3 kg m<sup>-2</sup> and with black plastic had the highest yields. The less fluctuation in soil temperature at 12 m. and 3 pm. was found in treatment with white plastic. Treatments with mulches showed fewer fine aggregates smaller than 0.5 mm. Mulch with Kikuyu grass (3 kg m<sup>-2</sup>) had the highest counts of colony forming units.

**Keywords:** Soils, Physical properties, Mulch, Lettuce

## Tabla de contenido

Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Tabla de contenido.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tablas.....	xi
Índice de anexos.....	
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos específicos.....	5
3. Marco teórico.....	6
3.1. Propiedades biofísicas del suelo.....	6
3.1.1. Estructura.....	8
3.1.2. Densidad aparente.....	11
3.1.3. Infiltración.....	12
3.1.4. Microorganismos del suelo.....	13
3.2. Acolchados.....	15
3.2.1. Clasificación de los acolchados.....	16
3.2.2. Efecto de acolchados sobre el suelo y en la producción de cultivos.....	18
4. Metodología.....	22
4.1. Localización.....	22
4.2. Diseño experimental.....	23
4.3. Estimación de los rendimientos del cultivo de lechuga.....	28
4.4. Determinación de las propiedades físicas del suelo.....	30
4.4.1. Densidad aparente y densidad Real.....	30
4.4.2. Estabilidad Estructural.....	31
4.4.3. Infiltración.....	32
4.4.4. Temperatura del suelo.....	33
4.5. Cuantificación de unidades formadoras de hongos y bacterias del suelo.....	33
5. Resultados y discusión.....	35
5.1. Estimación de los rendimientos.....	36
5.1.1. Peso fresco de las cabezas de lechuga.....	36
5.1.2. Rendimiento estimado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).....	39
5.2. Temperatura del suelo.....	43

---

5.3. Densidad aparente .....	48
5.4. Porosidad .....	51
5.5. Estabilidad estructural .....	54
5.5.1. Porcentaje de agregados estables al agua .....	54
5.5.2. Contenido de agregados finos .....	58
5.5.3. Diámetro Ponderado Medio .....	61
5.6. Infiltración .....	64
5.7. Cuantificación de unidades formadoras de colonias .....	67
5.7.1. Unidades Formadoras de Colonias de Hongos .....	67
5.7.2. Unidades Formadoras de Colonias de Bacterias .....	71
5.8. Correlación entre el rendimiento y las variables evaluadas.....	74
6. Conclusiones.....	77
7. Recomendaciones.....	79

## Índice de Figuras

Figura 1: Área y producción de hortalizas en Colombia. Años 2006-2011 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2012).....	1
Figura 2: Área y producción de lechuga en Colombia. Años 2005-2012 (© FAO, 2014)....	2
Figura 3: Fertilidad de suelos. (Etchevers et al, 2000).....	7
Figura 4: Tipos de acolchados (Barche y Nair, 2014).....	17
Figura 5: Localización de la parcela de investigación. Área de invernaderos de la Facultad de Agronomía –Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (Google Earth, 2014).....	22
Figura 6: Instalación y disposición de los acolchados sobre las camas del cultivo. ....	25
Figura 7: Unidad experimental constituida por 4 camas de 1,2 m de ancho y 5 m de longitud.....	25
Figura 8. Distribución de bloques y tratamientos en campo. Demarcación del área destinada para cosecha en las dos camas centrales de cada unidad experimental. 26	
Figura 9: Disposición del sistema de riego por goteo en cada una de las unidades experimentales. ....	28
Figura 10: Ubicación de los tensiómetros en cada una de las unidades experimentales. 28	
Figura 11: Recolección de las plantas de lechuga, incluyendo los órganos aéreos y las raíces.....	29
Figura 12: Muestreador de cilindro y cilindros utilizados para recolectar la muestra sin disturbar para determinar la densidad aparente.....	30
Figura 13: Proceso de recolección y muestra de suelo sin disturbar para determinar la estabilidad de agregados en laboratorio. ....	31
Figura 14: Infiltrómetro utilizado para realizar las pruebas de infiltración. ....	33
Figura 15: Metodología de la dilución para cuantificar hongos y bacterias en cada uno de los tres ciclos del cultivo de lechuga. ....	34
Figura 16: Comparación en el tamaño de cabezas de lechuga en el tratamiento testigo, sin acolchado (izquierda), y en un suelo con acolchado con pasto en dosis de 3 kg m <sup>-2</sup> (derecha).....	38
Figura 17: Peso de las cabezas de lechuga acumulado en los tres ciclos de cultivo de lechuga.....	38
Figura 18: Rendimiento estimado de lechuga acumulado en los tres ciclos de cultivo de lechuga.....	41
Figura 19: Diferencia promedio entre la máxima y la mínima temperatura diaria del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.....	47
Figura 20: Densidad aparente del suelo (g cm <sup>-3</sup> ) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga, .....	48
Figura 21: Porosidad total del suelo (%) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.....	52

Figura 22. Contenido de agregados finos (A.F.) del suelo (%) menores a 0.5 mm en los tres ciclos del cultivo de lechuga.....	60
Figura 23. Diámetro ponderado medio en mm (DPM) de los agregados del suelo en los tratamientos evaluados en los tres ciclos de cultivo de lechuga.....	61
Figura 24. Relación entre el contenido de agregados finos de menos de 5 mm y el diámetro ponderado medio en los tres ciclos de cultivo.....	63
Figura 25: Velocidad de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ ) del agua en el suelo en el primer ciclo de cultivo.....	64
Figura 26: Velocidad de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ ) del agua en el suelo en el segundo ciclo de cultivo.....	65
Figura 27: Velocidad de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ ) del agua en el suelo en el tercer ciclo de cultivo.....	66
Figura 28: Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de hongos en los tratamientos evaluados en los tres (3) ciclos de cultivo de lechuga.....	70
Figura 29: Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de bacterias en los tratamientos evaluados en los tres (3) ciclos de cultivo de lechuga.....	72
Figura 30: Relación entre el Diámetro Ponderado Medio (DPM) y el Rendimiento del cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de lechuga.....	76

## Índice de Tablas

Tabla 1: Determinaciones para evaluar las funciones básicas del suelo relacionadas con la calidad física (Taboada y Álvarez, 2008).....	8
Tabla 2: Procesos biológicos, químicos y físicos influenciados por la estructura del suelo (Díaz-Zorita et al., 2002).....	9
Tabla 3: Relación general entre la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) y el grado de restricción para el crecimiento de raíces, según textura del suelo (Adaptado por Selles et al. (2012) de NRCS Soil Quality Institute). ....	11
Tabla 4: Influencia de la biota del suelo sobre la estructura del suelo (Coleman et al., 2004). ....	14
Tabla 5: Propiedades físico-químicas del suelo al comienzo del experimento .....	23
Tabla 6: Descripción de los Tratamientos. ....	24
Tabla 7: Análisis de varianza para la variable Peso de las cabezas de lechuga en los tres ciclos de cultivo. ....	36
Tabla 8: Prueba de comparación de medias de Tukey y coeficiente de variación (CV) para el peso promedio de las cabezas (g) en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ....	37
Tabla 9: Prueba de contrastes ortogonales del peso fresco de las cabezas en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.....	37
Tabla 10: Análisis de varianza para la variable Rendimiento estimado de lechuga en los tres ciclos de cultivo. ....	39
Tabla 11: Prueba de contrastes ortogonales del Rendimiento estimado en el primer ciclo del cultivo de lechuga .....	39
Tabla 12: Prueba de comparación de medias de Tukey y coeficiente de variación (CV) para el rendimiento estimado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ....	40
Tabla 13: Prueba de contrastes ortogonales del Rendimiento en el segundo ciclo del cultivo de lechuga. ....	40
Tabla 14: Análisis de varianza para la temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. Lecturas tomadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m. ....	43
Tabla 15: Valores medios y coeficiente de variación (CV) para la temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 cm de profundidad en el primer ciclo de cultivo de lechuga. Lecturas realizadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m. ....	43
Tabla 16: Valores medios y coeficiente de variación (CV) para la temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 cm de profundidad en el segundo ciclo de cultivo de lechuga. Lecturas tomadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m.....	44
Tabla 17: Prueba de contrastes ortogonales para la temperatura del suelo a las 12 m. en el segundo ciclo del cultivo de lechuga. ....	44

Tabla 18: Prueba de contrastes ortogonales para la temperatura del suelo a las 3 p.m. en el segundo ciclo del cultivo de lechuga. ....	44
Tabla 19: Valores medios y coeficiente de variación (CV) para la temperatura del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en el tercer ciclo de cultivo de lechuga. Lecturas tomadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m. ....	45
Tabla 20: Análisis de varianza para la diferencia entre la temperatura máxima y mínima del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ....	46
Tabla 21: Prueba de contrastes ortogonales para la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura del suelo en el tercer ciclo del cultivo de lechuga. ....	46
Tabla 22: Prueba de Tukey y desviación estándar para para la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura del suelo en el tercer ciclo del cultivo de lechuga. ....	46
Tabla 23: Análisis de varianza para la densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ....	48
Tabla 24: Promedios y Coeficiente de variación para la densidad aparente del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga. ....	49
Tabla 25: Prueba de contrastes ortogonales para la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura del suelo en el tercer ciclo del cultivo de lechuga. ....	50
Tabla 26: Densidad real, desviación estándar y coeficiente de variación del suelo en momento de establecer el experimento. ....	51
Tabla 27: Variabilidad de las propiedades físicas del suelo con base en el coeficiente de variación (Larreal et al., 2009). ....	51
Tabla 28: Análisis de varianza para la porosidad total del suelo ( $\%^3$ ) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ....	52
Tabla 29: Promedios y Coeficiente de variación para la porosidad total del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga. ....	53
Tabla 30: Análisis de varianza para el factor tratamiento del porcentaje de agregados estables al agua (%) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ...	54
Tabla 31: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 1-0.5 mm, en el primer ciclo del cultivo de lechuga. ....	54
Tabla 32: Prueba de comparación de medias de Tukey para la distribución de agregados estables al agua (%p/p) en el primer ciclo de cultivo de lechuga. ....	55
Tabla 33: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 0.5-0.25 mm, en el primer ciclo del cultivo de lechuga. ....	55
Tabla 34: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 1-0.5 mm, en el segundo ciclo del cultivo de lechuga. ....	56
Tabla 35: Prueba de comparación de medias de Tukey para la distribución de agregados estables al agua (%p/p) en el segundo ciclo de cultivo de lechuga. ....	56
Tabla 36: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados menores a 0.25 mm, en el segundo ciclo del cultivo de lechuga. ....	56
Tabla 37: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 0.5-0.25 mm, en el tercer ciclo del cultivo de lechuga. ....	57
Tabla 38: Prueba de comparación de medias de Tukey para la distribución de agregados estables al agua (%p/p) en el tercer ciclo de cultivo de lechuga. ....	57
Tabla 39: Análisis de varianza para el contenido de agregados finos (AF) con diámetro menor a 0.5 mm a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ....	58
Tabla 40: Prueba de contrastes ortogonales para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm en el primer ciclo del cultivo de lechuga. ....	58
Tabla 41: Promedios, prueba de comparación de media de Tukey y Coeficiente de variación para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga. ....	59
Tabla 42: Prueba de contrastes ortogonales para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm en el segundo ciclo del cultivo de lechuga. ....	59

Tabla 43: Prueba de contrastes ortogonales para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm en el tercer ciclo del cultivo de lechuga.....	59
Tabla 44: Análisis de varianza para el diámetro ponderado medio (DPM) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. ....	61
Tabla 45: Rangos para interpretar la estabilidad estructural con relación al diámetro ponderado medio - DPM (Montenegro y Malagón, 1990). ....	62
Tabla 46: Promedios y Coeficiente de variación para el diámetro ponderado medio (DPM) de los agregados del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga. ....	62
Tabla 47: Incremento porcentual con respecto al testigo del diámetro ponderado medio (DPM) de los agregados del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga. ....	62
Tabla 48: Análisis de varianza para la interacción entre el ciclo de producción y los tratamientos evaluados para la variable Conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de Hongos. ....	67
Tabla 49: Prueba de comparación de medias de Fisher para el conteo de unidades formadoras de colonias de hongos para la interacción entre tratamientos y ciclos, en el tratamiento con acolchado plástico negro. ....	67
Tabla 50: Análisis de varianza para el número de unidades formadoras de colonia (UFC) de hongos en los tres ciclos de cultivo. ....	68
Tabla 51: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos en el primer ciclo del cultivo de lechuga. ....	68
Tabla 52: Prueba de comparación de medias de Tukey para las unidades formadoras de colonia (UFC) de hongos en los tres ciclos del cultivo de lechuga.....	68
Tabla 53: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.....	69
Tabla 54: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.....	69
Tabla 55: Análisis de varianza para el número de unidades formadoras de colonia (UFC) de bacterias en los tres ciclos de cultivo. ....	71
Tabla 56: Prueba de comparación de medias de Tukey para las unidades formadoras de colonia (UFC) de bacterias en los tres ciclos del cultivo de lechuga.....	71
Tabla 57: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias en el tercer ciclo del cultivo de lechuga. ....	72
Tabla 58. Coeficientes de correlación Pearson de variables dependientes e independientes. Rend=Rendimiento; PCabeza=Peso de cabezas de lechuga; DPM=Diámetro Ponderado Medio; DA=Densidad Aparente; Porosid=Porosidad; Delta T=Delta de temperatura; Hongos=Unidades Formadoras de Colonias de hongos; Bacteria= Unidades Formadoras de Colonias de Bacterias. ....	74
Tabla 59. Coeficientes de correlación Pearson de variables independientes. DPM=Diámetro Ponderado Medio; DA=Densidad Aparente; Porosid=Porosidad; Delta T=Delta de temperatura.....	75
Tabla 60: Análisis de regresión lineal múltiple mediante la metodología Stepwise para el rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> ) y el Diámetro Ponderado Medio (DPM).....	75

## Índice de anexos

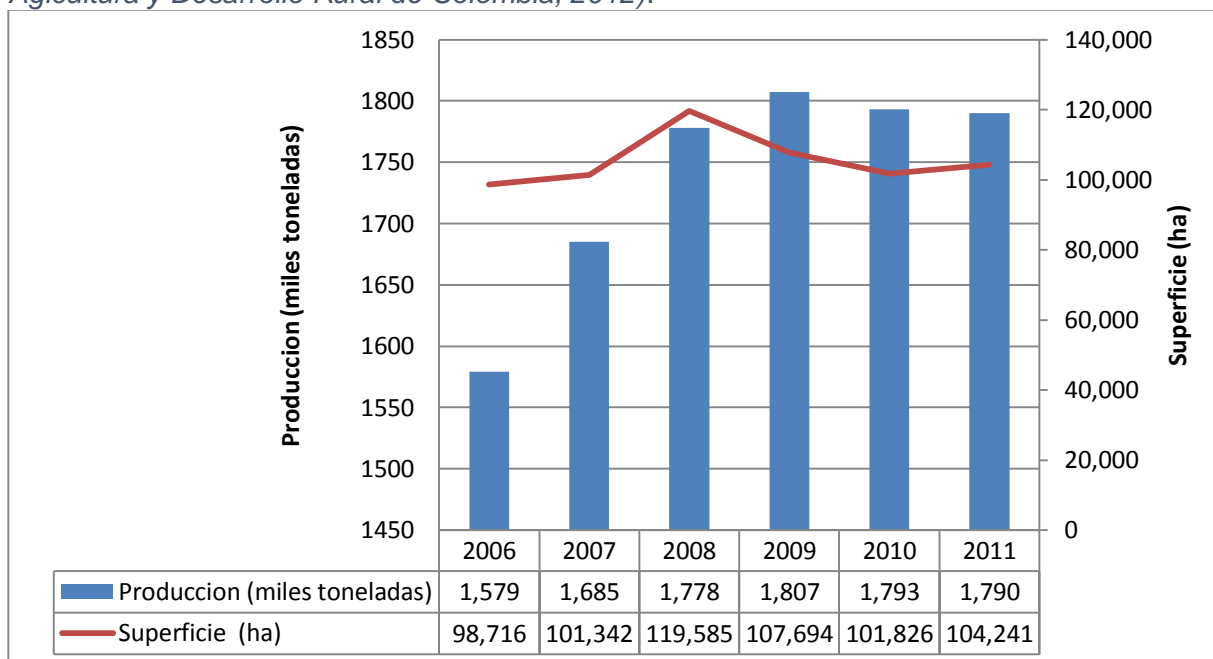
Anexo A: Resultado del análisis fisicoquímico de laboratorio del suelo antes de la instalación del experimento .....	89
Anexo B: Método del cilindro para determinar la densidad aparente .....	90
Anexo C: Método de tamizado en húmedo para determinar estabilidad estructural <b>del suelo</b> .....	91
Anexo D: Análisis combinados de varianza .....	93
Anexo E: Análisis de varianza de las variables de rendimiento por ciclo de cultivo .....	109
Anexo F: Análisis de varianza del diámetro ponderado medio por ciclo de cultivo.....	115
Anexo G: Análisis de varianza de la densidad aparente y la porosidad por ciclo de cultivo .....	118
Anexo H: Análisis de varianza del delta de temperatura del suelo por ciclo de cultivo...	124
Anexo I: Análisis de varianza de las Unidades Formadoras de Colonia de bacterias por ciclo de cultivo .....	127
Anexo J: Análisis de varianza de las Unidades Formadoras de Colonia de hongos por ciclo de cultivo .....	130
Anexo K: Análisis de correlación del rendimiento con variables independientes, incluyendo unidades formadoras de colonias de hongos y bacterias .....	133
Anexo L: Análisis de correlación de variables independientes.....	134

# 1. Introducción

En Colombia las hortalizas constituyen un renglón importante dentro del sector primario pues representan cerca del 6.54% del área de los cultivos transitorios y 2.24% del total del área cultivada en el país (104,241 ha de las 4,653,616 ha sembradas en 2011). Así mismo, los cultivos hortícolas representan el 21.63% del total de la producción de los cultivos transitorios (1,793,862 de las 8,293,398 toneladas producidas en 2011). Así mismo, el sector hortícola participa con el 3.85% del empleo generado en el sector agrícola (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2012).

En la Figura 1 se observa que, aunque el área cultivada en Colombia se mantuvo estable, la producción registró un incremento a finales de la década pasada y en el comienzo de la presente.

Figura 1: Área y producción de hortalizas en Colombia. Años 2006-2011 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2012).

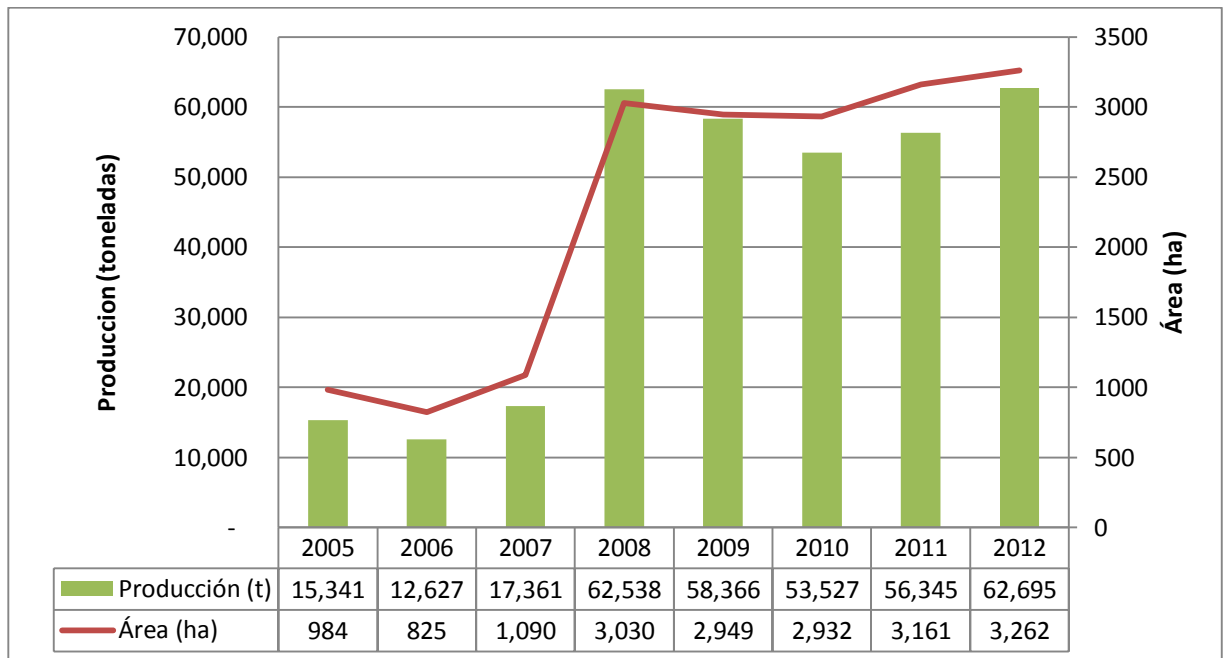


En términos del órgano cosechado, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2012) indica que, entre los cultivos hortícolas, las hortalizas de fruto se destacan por tener el mayor área sembrada (14,435 ha) y las hortalizas de hoja la mayor

producción (157,474 toneladas). De este último grupo (hortalizas de hoja), Cundinamarca es el departamento que tiene la mayor superficie cultivada y la más alta producción (4,825 ha y 83,459 toneladas, respectivamente), seguido por Nariño (1,460 ha y 35,300 t) y Antioquia (1,1193 ha y 32,889 t).

En cuanto a la lechuga, los datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (© FAO, 2014), evidencian que el área del cultivo de lechuga se ha incrementado en el país (Figura 2), al pasar de 984 hectáreas en el año 2005 a 3,262 ha en 2012. Así mismo, la producción se ha incrementado 4 veces entre 2005 y 2012, al pasar de 15,340 a 62,695 toneladas.

Figura 2: Área y producción de lechuga en Colombia. Años 2005-2012 (© FAO, 2014)



La importancia de estas cifras radica en las perspectivas de exportación de hortalizas de hoja, especialmente lechuga, a plazas altamente atractivas como el Reino Unido, Francia, México, Italia, Países Bajos y Bélgica, conforme a lo descrito en la Apuesta Exportadora (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2000), que identifica los productos exportables del sector agropecuario, con base en las oportunidades de mercado, sus indicadores de competitividad, y los requisitos para lograr su admisibilidad en los mercados internacionales. De hecho, los países mencionados en la última década han presentado tasas de crecimiento anual promedio y valores de importaciones promedio mayores a las mundiales.

Otro aspecto de interés es que el Ministerio de Agricultura indica que la producción de hortalizas en los municipios del departamento de Cundinamarca tienen la oportunidad de implementar proyectos y estrategias que permitan la generación de valor y el posicionamiento de productos agroindustriales con alto potencial por su cercanía con el mercado bogotano que, entre otras, es el más importante del país debido a la cantidad de población y el poder adquisitivo de sus habitantes.

## **Producción de hortalizas, degradación del suelo y oferta de agua**

Aunque en el departamento de Cundinamarca las hortalizas se destacan por su importancia económica, también lo hacen por el uso intensivo e inadecuado del suelo. En efecto, generalmente los suelos dedicados a la producción de hortalizas son sometidos tres o cuatro veces por año a labores indebidas de mecanización y labranza que, a la postre, terminan por eliminar la vegetación que cubre la superficie del suelo. Esta situación es perjudicial, si se tiene en cuenta que esta capa de vegetación presenta un importante papel amortiguador frente a algunos de los elementos climáticos, como la precipitación y la radiación solar. Además, el hombre al utilizar la tierra para la producción cambia la calidad y cantidad de la cobertura, lo que favorece la aceleración de procesos de degradación, como la pérdida de la estructura y la erosión del suelo, afectando directamente el balance hídrico dentro del sistema.

Adicionalmente al problema del uso inadecuado de maquinaria agrícola y de excesiva labranza de los suelos, durante los últimos años los municipios localizados en el costado occidental de la Sabana de Bogotá han experimentado una disminución en la cantidad y calidad de aguas para riego, lo cual evidentemente genera problemas en la producción, más aun si se tiene en cuenta que los municipios de Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá presentan promedios de precipitación anuales entre 587 y 712 mm (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1996), generando períodos secos que obligan a los productores a utilizar sistemas de riego para mantener producciones constantes.

En relación con este tema, el estudio realizado en el año 2000 por la Universidad Javeriana (Campos y Cardenas, 2001) se asegura que los municipios de Cundinamarca vienen creciendo ostensiblemente, en especial sus cabeceras urbanas, las industrias y las actividades agrícolas y ganaderas. Esto hace indispensable el mantenimiento del agua, tanto para consumo como para las actividades agropecuarias e industriales. Sin embargo es preocupante que en la década del 90 se registró la disminución de la disponibilidad de este recurso, aunque la situación de los diferentes municipios aun no es crítica.

De hecho, aunque Colombia es considerado uno de los países del mundo más ricos en agua (puesto 24 entre 203 países) según el informe "Agua para Todos, Agua para la Vida" (ONU/WWAP, 2003) y que el departamento de Cundinamarca es distinguido como una de las áreas geográficas que tiene entre sus recursos una óptima disponibilidad hídrica, los procesos de deforestación a los que son sometidas las diferentes cuencas y microcuencas (zonas de páramo y bosque andino); el cambio que se ha dado en el uso del suelo; la presencia de zonas críticas afectadas por procesos erosivos; la gran cantidad de vertimientos domésticos e industriales que se arrojan en las diferentes fuentes y cuerpos de agua del departamento y los residuos sólidos que aumentan los niveles de contaminación y alteran la disponibilidad de uno de los más vitales recursos naturales, haciéndolo cada vez más escaso y difícil de obtener en cantidad y calidad. Estos factores han conllevado a que en Cundinamarca empiece a descender la oferta frente al aumento en la demanda (Campos y Cardenas, 2001).

Un claro ejemplo de lo expuesto anteriormente es la laguna de la Herrera, que conforma el sistema hídrico del Municipio de Mosquera, junto con los ríos Bogotá, Balsillas, Subachoque, Bojacá y la Ciénaga del Gualí-Tres Esquinas. Dicha laguna fue centro turístico del Municipio pero debido a la falta del caudal del río Balsillas se encuentra en

gran parte seca por lo que su fauna y flora tienden a desaparecer generando pérdida significativa al sistema ecológico en toda la zona (Campos y Cardenas, 2001).

Ante este panorama la Corporación Autónoma Regional (CAR) ha realizado algunos esfuerzos que comprenden la expansión de las zonas de riego, como la ampliación del distrito de Riego de La Ramada (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2000), aunque estos trabajos no son suficientes para aliviar la demanda por el recurso agua. De hecho, el más reciente Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (World Water Assessment Programme - WWAP, 2012) indica que es poco probable que se pueda satisfacer la demanda de agua en continuo aumento solo con soluciones relacionadas con el suministro. Por el contrario, las soluciones a la crisis mundial del agua residen en la capacidad de gestionar mejor la demanda y en equilibrar y obtener el máximo beneficio del agua.

## **Acolchados, una alternativa de manejo**

Como parte de la alternativa para solucionar los problemas planteados y fomentar un equilibrio en el sistema suelo, se ha propuesto trabajar con acolchados o coberturas que, por definición, son prácticas agrícolas que procuran cubrir la superficie del suelo con una capa de materiales orgánicos e inorgánicos distribuidos uniformemente, con el fin de prevenir el crecimiento de plantas arvenses, conservar la humedad del suelo, estabilizar su temperatura, adicionar materia orgánica al suelo (cuando son de naturaleza orgánica), reducir la erosión del suelo en pendientes y mantener frutas, hortalizas y flores limpias, entre otras (Rose y Smith, 2001).

No obstante, a diferencia de las investigaciones realizadas en países templados, en el trópico y especialmente en Colombia la investigación obtenida en esta práctica agrícola se ha centrado en la cuantificación de los rendimientos de los cultivos y en los costos de producción, dejando de lado el conocimiento básico de los cambios biofísicos que realmente ocurren en el suelo y que permitirían explicar el efecto producido por los acolchados.

El presente trabajo busca evaluar el efecto de acolchados sintéticos y orgánicos dispuestos sobre la superficie del suelo, sobre las propiedades físicas de un suelo de la Sabana de Bogotá. Adicionalmente plantea determinar si los cambios en dichas propiedades inciden sobre el rendimiento durante tres (3) ciclos consecutivos de cultivo de lechuga Batavia (*Lactuca sativa* L.).

## **2. Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de acolchados sobre las propiedades físicas del suelo y en el rendimiento del cultivo de lechuga Batavia (*Lactuca sativa* L.) en la Sabana de Bogotá.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los cambios en la infiltración, estabilidad estructural, temperatura y densidad aparente del suelo y su relación con los acolchados utilizados.
- Evaluar la relación entre los cambios en las propiedades físicas y el rendimiento del cultivo de lechuga.

## 3. Marco teórico

### 3.1. Propiedades biofísicas del suelo

El suelo constituye un cuerpo natural continuo y multivariado que presenta cambios en diferentes niveles y diferentes direcciones, por lo cual resulta difícil caracterizarlo mediante entidades discretas (Bockheim *et al.*, 2005). Montenegro y Malagón, (1990) señalan que en el suelo ocurren numerosas interacciones dinámicas de los componentes orgánicos e inorgánicos, de cuya integración se deriva este cuerpo natural. Los mismos autores indican que las teorías y ecuaciones usadas en la física de suelos describen modelos ideales, aunque la validez de dichos modelos depende de su grado de aproximación a la realidad. De hecho, el suelo es concebido como un sistema trifásico, integrado por fases (sólida, líquida y gaseosa), las cuales, aunque interaccionan fuertemente unas sobre otras, pueden ser consideradas como constituyentes independientes con el objetivo de expresar sus proporciones de forma cuantitativa (Bockheim *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista agrícola, la importancia de lo mencionado anteriormente radica en que la intrínseca relación existente entre las propiedades físicas, químicas, biológicas y mineralógicas, determina, en gran magnitud, la fertilidad de los suelos (Montenegro y Malagón, 1990). En la Figura 3 se observan las relaciones entre las propiedades del suelo propuestas por Etchevers *et al.* (2000).

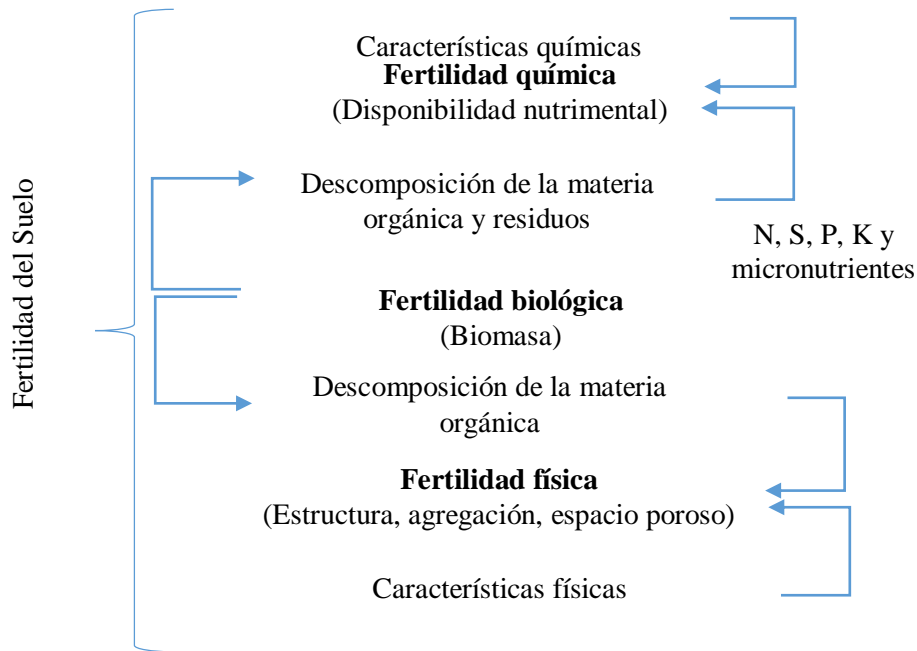
Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser usados para evaluar la sostenibilidad del uso de la tierra y de las prácticas de manejo del suelo (Shukla *et al.*, 2006). Un indicador es una variable que resume o simplifica, haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible, y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas, nominales, de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son muy altos. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Cantú *et al.*, 2007)

La fertilidad física comprende el estudio y manejo de aquellas características físicas del suelo que afectan el crecimiento vegetal (Taboada y Álvarez, 2008). Los factores que

|

afectan directamente el desarrollo de las raíces y la producción de los cultivos son las condiciones hídricas, térmicas, mecánicas y de aireación, que se generan en suelos como consecuencia de la interacción de los factores indirectos (estructura, textura, densidad aparente y la distribución y tamaño de poros) y de las prácticas de manejo utilizadas (Sellés *et al.*, 2012). El diagnóstico de la fertilidad física del suelo es complementario a la determinación de la fertilidad química y se puede realizar a través del uso de indicadores de calidad física y/o mediante diagnósticos visuales en campo (formas del relieve y drenaje; procesos de erosión hídrica o eólica, profundidad útil y procesos de halo-morfismo) (Hartemik, 1998; Etchevers, 1999).

Figura 3: Fertilidad de suelos. (Etchevers et al, 2000).



En términos generales, los métodos aplicables para predecir el comportamiento físico del suelo bajo condiciones de campo deben permitir mediciones directas y simples y deben considerar el aspecto dinámico de las propiedades físicas, especialmente las dependientes de la estructura. Así mismo, las fuerzas aplicadas en laboratorio deben simular las que actúan en campo, ya sea bajo condiciones naturales o con la intervención del hombre. No obstante, la escogencia de condiciones para la medición de propiedades físicas del suelo en campo o laboratorio dependerá del objetivo de la medición (Pla I Sentís, 2010).

Entre las principales características físicas del suelo que deben ser consideradas para comprender las cualidades de un suelo, se encuentran la estructura, densidad aparente e infiltración (Etchevers *et al.*, 2000; Taboada y Álvarez, 2008), como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1: Determinaciones para evaluar las funciones básicas del suelo relacionadas con la calidad física (Taboada y Álvarez, 2008).

Funciones básicas del suelo	Evaluación
Ambiente favorable, profundidad efectiva y capacidad de enraizamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad al horizonte Bt</li> <li>• Densidad aparente</li> <li>• Compactación relativa</li> <li>• Resistencia a la penetración</li> <li>• Perfil cultural</li> </ul>
Aireación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Macroporosidad</li> <li>• Encostramiento superficial</li> <li>• Rasgos redoximórficos</li> </ul>
Suministro de agua y amortiguación de deficiencias hídricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura (viva o muerta)</li> <li>• Contenido de agua del suelo</li> <li>• Lámina de agua útil</li> <li>• Infiltración</li> </ul>
Estabilidad o resistencia a la degradación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura (viva o muerta)</li> <li>• Estabilidad estructural</li> <li>• Pendiente</li> </ul>

### 3.1.1. Estructura

El suelo es un cuerpo natural dinámico, compuesto por cuatro componentes (materia mineral, materia orgánica, agua y aire), donde coexisten las fases sólida, líquida y gaseosa. La estructura del suelo hace referencia al tamaño, forma y disposición o arreglo de partículas sólidas y poros, a la continuidad de los poros, a su capacidad para retener y transmitir fluidos y sustancias orgánicas e inorgánicas, y a la capacidad para sustentar el crecimiento y desarrollo de la raíces (Bronick y Lal, 2005). De otra parte, Porta *et al.* (1999) definen la estructura como el ordenamiento de las partículas individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio poroso asociado a ellas, como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica. Este ordenamiento y ubicación de las partículas del suelo determinan su respuesta a factores externos como los generados por la labranza, el tránsito de maquinaria y el impacto de las lluvias. En efecto, la calidad del suelo está íntimamente relacionada con la estructura del suelo y muchos de los problemas ambientales (tales como erosión, desertificación y compactación) en suelos sometidos a prácticas intensivas de arado, tienen su origen en la degradación de la estructura del suelo (Dexter, 2002).

Los indicadores de la calidad estructural son tres: a) forma, tamaño y dureza de los agregados; b) estabilidad de los agregados; c) resiliencia o capacidad de regeneración de la estructura. No solo es importante que un suelo posea un tipo determinado de estructura (granular, blocosa subangular, etc.), sino que esa estructura sea persistente en el tiempo

ante diferentes factores o fuerzas exógenas, ya sean climáticos (lluvias erosivas, rápidos humedecimientos de suelos secos, vientos) o antrópicos (labranza, tráfico agrícola (Taboada y Álvarez, 2008).

La estructura del suelo es una compleja condición que está relacionada con varios procesos agronómicos y medioambientales (Tabla 2). Por ejemplo, la distribución de las unidades estructurales del suelo controla la disponibilidad de oxígeno, agua y la resistencia a la penetración de las raíces y brotes en las camas de cultivo. Así mismo, el contacto íntimo semilla – suelo, la consecuente imbibición de agua y la germinación de las semillas depende del tamaño y organización de los fragmentos del suelo (Brown *et al.*, 1996)

Tabla 2: Procesos biológicos, químicos y físicos influenciados por la estructura del suelo (Díaz-Zorita *et al.*, 2002)

Proceso		
Biológico	Químico	Físico
Protección microbiana y de la mesofauna	Adsorción y desorción de compuestos inorgánicos y orgánicos	Erosión hídrica y eólica
Reciclaje y almacenamiento de nutrientes (denitrificación, secuestro de C, etc.)	Transporte de solutos	Infiltración y movimiento de agua, aireación
Absorción de agua por la semilla (imbibición) y emergencia de las plántulas		Presencia de costras
Crecimiento de raíces y brotes		Retención de agua del suelo, evaporación

Márquez *et al.*, (2004), citando a Chen *et al.* (1998), mencionan que la estabilidad de los agregados del suelo es el resultado de interacciones complejas entre procesos biológicos, físicos y químicos, y que los factores que afectan la estabilidad de los agregados pueden ser agrupados como abióticos (minerales de arcilla, sesquióxidos, cationes de intercambio), bióticos (materia orgánica del suelo, la actividad de las raíces de las plantas, fauna y microorganismos del suelo), y medio ambientales (temperatura y humedad del suelo).

De otra parte, Pagliai, (2003) indica que los principales factores que afectan la estabilidad de los agregados también están asociados con la distribución del tamaño mechanistically de partículas y a los niveles de materiales cementantes. Al respecto, Degens (1997) y Boix-Fayos *et al.* (2001) señalan que los agregados más pequeños o microagregados (<250 µm) son estabilizados por agentes permanentes del tipo de las sustancias húmicas y son poco o nada afectados por el manejo del suelo. En cambio, los agregados de mayor tamaño (>250 µm) o macroagregados son estabilizados por restos vegetales en descomposición, alrededor de los cuales se producen agentes cementantes transitorios, como polisacáridos, mucilagos y otros compuestos microbianos. Degens (1997) destaca que en el caso de las unidades de mayor tamaño, como los terrones de una cama de siembra (>2 mm), la estabilización es también causa de agentes cementantes temporales, que realizan una acción de enredado, como las raíces de las plantas y las hifas de los hongos. Asimismo, el

autor indica que en la rizosfera se secretan compuestos lábiles de carbono que ejercen acciones de pegado. Es por esto que los suelos con vegetación permanente por lo general contienen macroagregados más grandes y en mayor cantidad que los suelos sometidos a labranza continua o a los suelos desnudos (Boix-Fayos *et al.*, 2001).

Lo anterior permite considerar que la pérdida de estabilidad estructural es el factor crítico que determina el deterioro estructural de los suelos (Six *et al.*, 2004) y vuelve susceptibles los agregados superficiales a la acción de los factores exógenos, como el impacto de las gotas de lluvia que destruye a los agregados más débiles y la acción del rápido humedecimiento e hinchamiento diferencial de agregados con bajo nivel de humedad, que resulta en estallido de aquellos agregados que no resisten el estrés. Al finalizar estos procesos, el resultado es la producción de agregados más pequeños y de partículas de arcilla dispersa luego de una lluvia intensa, que son fácilmente transportables suspendidos en agua de escorrentía, generando erosión hídrica.

Con respecto a la cantidad y distribución de los agregados estables e inestables en el suelo, Márquez *et al.*, (2004) manifiestan que estos tienen una asociación estrecha con la dinámica de la materia orgánica y la calidad del suelo. Diversos estudios han respaldado esta afirmación. Por ejemplo, Álvarez *et al.* (2006) encontraron que en suelos Argiudoles y Hapludoles de la Pampa Argentina, manteniendo el suelo cubierto con residuos en sistemas de siembra directa, se incrementaron los índices de estabilidad estructural. Un resultado similar fue reportado por Mulumba y Lal (2008), quienes encontraron que, en un suelo Franco-Limoso (Aeric Ochraqualf) en Ohio, Estados Unidos, la estabilidad estructural de los agregados en agua (entre 0 y 10 cm de profundidad) se incrementó conforme se aumentó la dosis de paja de trigo utilizado como acolchado. No obstante, algunos investigadores como Fortun y Fortun (1989) y Holeplass *et al.*, (2004) han señalado que el contenido de materia orgánica no siempre está correlacionado, o tiene baja correlación, con la estabilidad de los agregados del suelo. Estos resultados permiten suponer que la cantidad de materia orgánica per se no es directamente responsable del número y estabilidad de los agregados.

Por lo expuesto anteriormente, es necesaria la adecuada caracterización de la estabilidad de los agregados para tomar decisiones de manejo y estimar la probabilidad de problemas erosivos (Zobeck *et al.*, 2002). Uno de los métodos utilizados para determinar la estabilidad estructural se basa en aplicar fuerzas disruptivas al suelo y relacionar el tamaño de agregados resultante con la susceptibilidad del suelo para soportar un estrés determinado, sea el generado por el agua o por el viento (Diaz-Zorita *et al.*, 2002). Entre las metodologías más utilizadas para evaluar la estabilidad de los agregados se destaca la de cuantificación de la distribución de tamaño y diámetro medio de agregados estables al agua, en la cual, mediante un tamizado en agua se separan los agregados de diferentes tamaños que permanecen estables y las partículas que se separan de ellos. Los resultados obtenidos con esta metodología permiten comparar los efectos de diferentes manejos y tratamientos del suelo (Pla I Sentís, 2010).

Las metodologías utilizadas para determinar la estabilidad estructural son procesos que conllevan a la alteración continua del suelo, que inicia desde el momento de tomar la muestra y que involucra varios pasos, que pueden afectar la distribución del tamaño de los fragmentos de suelo obtenido después del tamizado. Por lo tanto, el uso de cajas rectangulares para transportar las muestras permite mantener las muestras representativas de la capa arable poco disturbadas (Diaz-Zorita *et al.*, 2002 citando a Hooker y Vyn, 2000). Además, se recomienda el uso de una pala porque la compresión es

menor comparada a la realizada por un barreno. Otro aspecto a considerar es que la estabilidad de los agregados disminuye con el incremento en el contenido de agua en el momento del muestreo (Perfect *et al.*, 1990) y, por esto, algunos investigadores prefieren secar las muestras antes de separar los macroagregados, aunque esta operación puede proocar cambios irreversibles en la adhesión entre los constituyentes de los agregados, lo cual puede alterar la estabilidad y originar un comportamiento anómalo. De hecho, la interacción entre la fuerza de agregación y el contenido de humedad del suelo es un proceso complejo dependiente de la cantidad y distribución de la materia orgánica, la mineralogía de las arcillas, la porosidad total y la distribución del tamaño de los poros entre los agregados (Díaz-Zorita *et al.*, 2002). Por este motivo, para ser comparables, las muestras deben ser manejadas de igual forma y procesadas con el mismo contenido / potencial de humedad (Gollany *et al.*, 1991).

### 3.1.2. Densidad aparente

La densidad aparente resulta de la relación masa a volumen. Desde el punto de vista práctico, Sellés *et al.* (2012) resaltan su influencia sobre la difusión de los gases y la permeabilidad del suelo. Así mismo, los autores indican que afecta el grado en que las raíces de las planta pueden penetrar o explorar el suelo. Por consiguiente, es una de las características utilizadas para calcular la masa de capa arable y la lámina de agua. El valor de densidad aparente que limita el desarrollo de raíces no es fijo y puede variar con la textura del suelo, pudiendo presentar mayores valores de densidad los suelos de textura gruesa que los de textura fina (Tabla 3).

Tabla 3: Relación general entre la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) y el grado de restricción para el crecimiento de raíces, según textura del suelo (Adaptado por Selles *et al.* (2012) de NRCS Soil Quality Institute).

Textura del suelo	Densidad aparente ideal ( $\text{g cm}^{-3}$ )	$D_a$ que puede afectar el desarrollo de raíces ( $\text{g cm}^{-3}$ )	$D_a$ que afecta el desarrollo de raíces ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Arenosa, arenosa franca	<1.6	1.69	>1.8
Franco arenosa, Franca	<1.4	1.63	>1.8
Franco areno arcillosa	<1.4	1.60	>1.75
Franco limosa, limosa	<1.4	1.60	>1.75
Franco arcillosa	<1.3	1.60	>1.75
Franco arcillosa, limosa	<1.1	1.55	>1.65
Franco arcillosa, arcillo limosa (35 – 45% de arcilla)	<1.1	1.49	>1.58
Arcillosa (>45% arcilla)	<1.1	1.39	>1.47

La densidad aparente suele presentar grandes variaciones en el tiempo (provocadas por operaciones de labranza) y en el espacio, tanto en sentido horizontal y vertical (especialmente en suelos no labrados). Todos estos factores limitan su medición, por problemas derivados del método utilizado, del tipo y tamaño de la muestra y de las condiciones de humedad del suelo al muestrear (Pla I Sentís, 2010).

Existen varios métodos para determinar la densidad aparente. Uno de ellos es el método del cilindro, que consiste en la extracción de una muestra de suelo utilizando un muestreador que, además de tener un cilindro externo con bisel, tiene un cilindro interno de menor diámetro y de volumen conocido. La muestra de suelo obtenida debe ponerse a ras con los bordes superior e inferior del cilindro interno. En el laboratorio se procede al secado total de la muestra, a una temperatura de 105°C, hasta lograr un peso constante. Luego se pesa y se expresa el peso en relación al volumen del cilindro interno (Taboada y Álvarez, 2008). Este método tiene aplicación en la mayoría de los suelos agrícolas que presentan poca o ninguna pedregosidad interna y/o que no son sueltos (Jaramillo D. , 2002).

### 3.1.3. Infiltración

La infiltración del agua, puede definirse como el proceso por el cual ocurre la entrada de agua a través de la superficie del suelo (Su, 2010) , generalmente de forma vertical, constituyendo la primera etapa en el movimiento del agua en el suelo. La entrada ocurre en condiciones no saturadas, bajo la influencia de los gradientes de potencial matricial, debido a las diferencias en el contenido de agua en el suelo (Jury y Horton, 2004) por efecto de la gravedad (Poros más grandes) y de la capilaridad (poros de menor radio). El agua puede llegar a la superficie del suelo por escorrentía superficial, lluvia y/o riego (inundación, surcos, goteo, aspersión) (Pla I Sentís, 2010).

Vélez y Vélez (2002) indican que muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración e influyen en el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. Sin embargo, se considera que la velocidad o tasa de infiltración, que se define como el volumen de agua que penetra en el suelo por unidad de tiempo (González Pelayo, 2011), depende directamente de la existencia de poros estructurales estables, no tortuosos y orientados verticalmente en la superficie del suelo. Dado que la existencia de este tipo de poros es muy sensible al manejo del suelo, la tasa de infiltración suele ser un parámetro indicador muy importante de la calidad del suelo (Taboada y Álvarez, 2008). Por ejemplo, la medición de la velocidad de infiltración sirve para determinar el efecto que tienen el impacto de las gotas de lluvia sobre un suelo desnudo que, por lo general, provoca la destrucción parcial de los agregados superficiales resultantes de la labranza. En esta situación, las fracciones más finas dispersadas son depositadas en la superficie del suelo al sedimentar después de haber estado en suspensión en el agua de inundación temporal. Parte de dichas partículas pueden moverse en suspensión con el agua de percolación hacia el suelo subsuperficial y pueden provocar un taponamiento de los poros cerca de la superficie, dando como resultado la formación de un sello superficial que reduce considerablemente la velocidad de infiltración (Pla I Sentís, 2010).

La determinación de esta propiedad física determina, entre otros, aspectos cruciales como la cantidad de agua que penetra en el suelo, la necesidad de fraccionamiento de fertilizantes y el método y tiempo de aplicación de una lámina de riego. Con relación a este último aspecto (la lámina de riego), vale la pena mencionar que para mantener el control de la humedad en el suelo en los sistemas de riego localizados, se pueden utilizar instrumentos confiables como los tensiómetros (Van der Gulik, 1999), que permiten medir

directamente el potencial mátrico del agua del suelo, cuyos cambios de valor se pueden registrar continuamente (Pla I Sentís, 2010).

Los métodos para determinar la tasa de infiltración varían mucho en su nivel de complejidad y/o similitud con la entrada de agua en el campo. El método más usado es el que produce artificialmente la inundación del suelo y mide el tiempo que demora en infiltrar un volumen de agua conocido. Los equipos más usados son los infiltrómetros de doble anillo o cilindro. La medición del agua infiltrada se hace a diferentes intervalos de tiempo hasta alcanzar valores más o menos constantes. A pesar del tiempo requerido para la medición, que en suelos con baja infiltración puede llevar horas, este es el método directo menos costoso y más preciso para medir la velocidad de infiltración por inundación en suelos cuya superficie no ha sido alterada por efectos mecánicos (Pla I Sentís, 2010).

### 3.1.4. Microorganismos del suelo

Olalde y Aguilera (1998) indican que, de la biomasa microbiana del suelo, las bacterias representan entre el 25 y 30% y son los organismos más numerosos (entre  $10^6$  y  $10^7$  bacterias por gramo de suelo). Asimismo, los autores señalan que los hongos, por su mayor tamaño, constituyen hasta un 80% de la biomasa del suelo y su cantidad está influenciada directamente por los contenidos de materia orgánica.

Infante (2004) señala que los microorganismos se localizan principalmente en los horizontes superficiales, cerca de la zona donde se localizan las raíces de las plantas, donde se ven favorecidos por la temperatura para realizar las funciones metabólicas.

En cuanto a las funciones, Coleman *et al.* (2004) destacan el hecho que los organismos del suelo afectan la estabilidad de los agregados, tanto vegetales como animales y desde los micro hasta los macro organismos (Tabla 4). Por ejemplo, las hifas fúngicas que crecen en el suelo entrelazan las partículas y las mantienen unidas entre sí. Las lombrices de tierra ingieren suelo y materia orgánica y descargan los residuos transformados, mediante sus excrementos, para formar agregados nuevos y estables. Así mismo, cuando la materia orgánica de las plantas se descompone por acción de los micro, meso y macroorganismos del suelo, sus productos, junto con las secreciones de los organismos vivos, suministran materiales susceptibles de unir partículas entre sí.

La dinámica de la agregación sucede a diferentes escalas de tiempo. En el corto plazo es influenciada por los eventos de humedecimiento y secado y la incorporación de materia orgánica fresca. A escala anual, las variaciones propias del clima y la actividad biológica son las que controlan la dinámica de los agregados en mayor medida que el uso de la tierra o las prácticas culturales (Perfect y Kay, 1990).

Como lo señalan Diaz-Zorita *et al.* (2002), los procesos microbianos son influenciados directa e indirectamente por la estructura del suelo. La presencia de poros pequeños limita el acceso de los organismos descomponedores a materiales orgánicos, provocando la protección física de Carbono y disminuyendo la mineralización de Nitrógeno. Así mismo, la distribución espacial de los microorganismos y de la mesofauna del suelo son asociados con la distribución del tamaño de los agregados.

Tabla 4: Influencia de la biota del suelo sobre la estructura del suelo (Coleman et al., 2004).

	<b>Estructura del suelo</b>
Microflora (Bacterias y hongos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producen compuestos orgánicos que unen agregados.</li> <li>• Las hifas ligan compuestos dentro de los agregados.</li> </ul>
Microfauna (Protozoos, nematodos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden afectar la estructura de los agregados mediante interacciones con la microflora.</li> </ul>
Mesofauna (Microartrópodos como ácaros y pequeños insectos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producen excretas.</li> <li>• Originan bioporos.</li> <li>• Promueve la humificación.</li> </ul>
Macrofauna (Insectos y otros artrópodos como arácnidos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezclan partículas minerales y materia orgánica.</li> <li>• Redistribuyen la materia orgánica y los microorganismos.</li> <li>• Originan bioporos</li> <li>• Promueven la humificación.</li> <li>• Producen excretas.</li> </ul>

Con respecto a la actividad biológica, algunos estudios, como los de Bossuyt *et al.*, (2001) y Deneff *et al.*, (2001), han demostrado que los hongos desempeñan una función más predominante que las bacterias en la estabilidad de los agregados. La mayor influencia de los hongos puede ser explicada por la variedad de mecanismos por los cuales pueden agregar suelo (formación de redes de hifas sobre agregados, producción de polisacáridos extracelulares y producción de sustancias hidrófobas). Así mismo, los hongos pueden agregar partículas de suelo a escalas espaciales mayores que las bacterias, por ejemplo entre 20 y 200  $\mu\text{m}$  (Degens, 1997).

Por lo anterior, Acuña et al., (2006) afirman que el conteo de las poblaciones microbianas más importantes de la microflora del suelo sirven para evaluar los efectos de prácticas agrícolas, aplicaciones de fertilizantes y sistemas de cultivo.

En cuanto a los métodos para determinar la población de hongos y bacterias del suelo se destaca el denominado "Recuento de colonias en placa", ya que es uno de los más utilizados. En el método en mención, el recuento de microorganismos se basa en que cada uno de ellos desarrollará una colonia visible, aunque debido a que una muestra no es totalmente homogénea con respecto a su composición microbiológica, es posible que una colonia se origine de un microorganismo o de cientos de ellos, dando en este último caso un recuento menor del real. Del mismo modo, es posible que algunos de los microorganismos presentes en la muestra no puedan desarrollarse en las condiciones elegidas (pH, temperatura, medio de cultivo, tiempo, etc.), por lo que el recuento también será inferior al real. No obstante, es importante reconocer que cada colonia observada se forma a partir de por lo menos un microorganismo (la colonia es considerada una unidad formadora de colonia -UFC- a los efectos de los cálculos). Coleman *et al.* (2004) señalan

que este método es muy útil cuando se utiliza con el propósito de comparar fácilmente diferentes tratamientos.

## 3.2. Acolchados

Algunas civilizaciones antiguas utilizaron los acolchados o coberturas como una práctica de manejo para la producción de sus cultivos (Acharya *et al.*, 2005). Desde entonces han sido utilizados para producir principalmente hortalizas y frutales (Bond y Grundy, 2001; Berger, *et al.*, 2013; Moreno *et al.*, 2013), aunque también se han utilizado en cultivos de maíz, algodón, caña de azúcar y arroz. (Kasirajan y Ngouajio, 2012). Su uso se ha masificado en diferentes países del mundo pero es en Europa y Norte América donde son empleados con mayor frecuencia para la producción agrícola (Miles *et al.*, (2012).

Existen diversas definiciones de acolchados, entre las que se destacan las siguientes:

- Es todo material de origen mineral o manufacturado por el hombre que puesto sobre la superficie del suelo lo protege contra la erosión, regula la entrada y salida del agua y ejerce una acción en el control de la temperatura del suelo. (Amezquita, 1994).
- Son materiales orgánicos e inorgánicos utilizados para cubrir el suelo con el propósito de proteger y fertilizar el suelo. (Zambrano *et al.*, 2002)
- Es todo material orgánico o mineral que se disponga uniformemente sobre la superficie del suelo, sea en campos de producción agrícola o zonas urbanas. (Gómez, 2000).
- Es cualquier manto de restos vegetales que se forman naturalmente o son aplicados a la superficie del suelo sin ser incorporados al mismo, así como cualquier material sintético (Turney y Menge, 1994) que se coloca sobre la superficie del suelo, con el fin de proteger el suelo y las raíces de las plantas de los efectos de las gotas de agua, formación de costras, congelamiento y evaporación del agua (Lugo-Perez y Lloyd, 2009).
- Es una capa de diferentes materiales que separan la superficie del suelo de la atmosfera, con el fin de generar cambios benéficos en el ambiente el suelo (Acharya, Hati, y Bandyopadhyay, 2005).

En términos generales, el uso de los acolchados tiene como fin de cubrir la superficie del suelo con una capa de materiales orgánicos o inorgánicos, distribuidos uniformemente (Rose y Smith, 2001), para prevenir la germinación de semillas o limitar el crecimiento de plantas arvenses (Ngouajio y Ernest, 2004), conservar la humedad del suelo, prevenir la salinidad del suelo (Unger, 2001) y estabilizar su temperatura (Lamont, 2005; Zhang *et al.*, 2007); fijar en el suelo el nitrógeno atmosférico, cuando se trata de coberturas vivas de leguminosas (Hartwig y Ammon, 2002); adicionar materia orgánica al suelo (cuando son de naturaleza orgánica), reducir la erosión del suelo en pendientes, mantener frutas, hortalizas y flores limpias (ya que interpone una barrera entre el suelo y la parte aérea de la planta, evitando el contacto de los órganos aéreos con el suelo) (Rahman *et al.*, 2006); disminuir los problemas asociados a plagas (Walters, 2003), acelerar los procesos de maduración en campo e incrementar la producción y la calidad de los productos cosechados (Nigouajio *et al.*, 2008) .

### 3.2.1. Clasificación de los acolchados

Los acolchados pueden ser clasificados, según su origen, en orgánicos y minerales (Zambrano *et al.*, 2002). En el primer grupo se incluyen aquellos materiales que se derivan de agroecosistemas que quedan sobre la superficie del suelo, cuando se hacen controles de arvenses mecánicos o con herbicidas, o al ser cortados o quemados. También pertenecen a este grupo los materiales orgánicos traídos desde el exterior del cultivo, como pueden ser los estiércoles animales, los compost, astillas o virutas de madera, hojas de pino, corteza de árboles, cáscaras de cacao, hojas, paja. En el segundo grupo (acolchados minerales), Zambrano y sus colaboradores (2002) incluyen la grava, arena, fragmentos de roca, ceniza volcánica, etc.

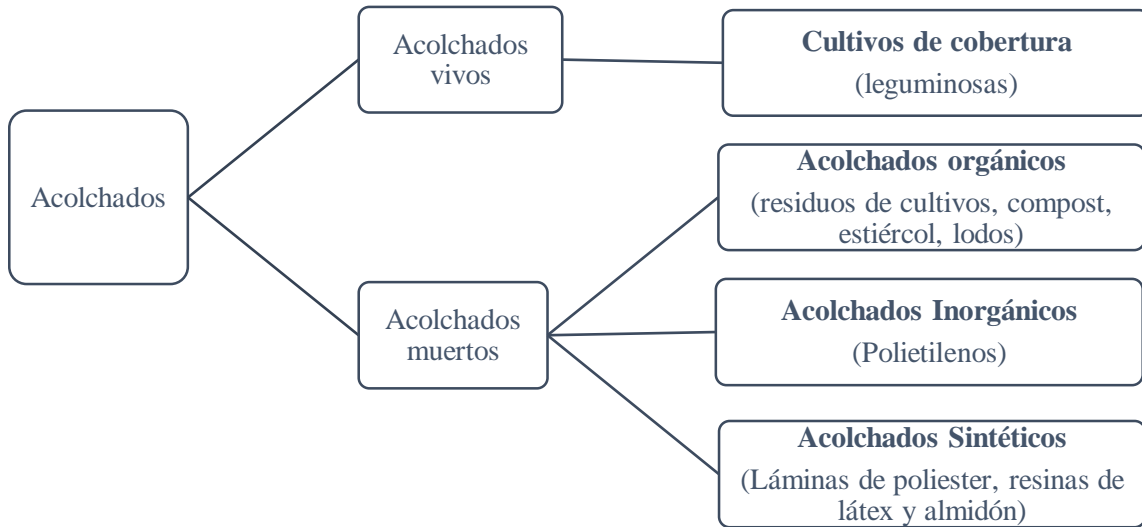
Por otra parte, Rose y Smith (2001) proponen dos categorías para la clasificación de los acolchados: los orgánicos y los inorgánicos o sintéticos. En este último grupo incluyen el polietileno, los geotextiles y los materiales minerales de la clasificación propuesta por Zambrano *et al.* (2002). En esta categoría también se incluyen los acolchados elaborados con biopolímeros, más conocidos como plásticos biodegradables, que pueden ser destruidos por los microorganismos del suelo, bioasimilados o mineralizados (Gross y Kalra, 2002).

Otra de las clasificaciones fue propuesta por Barche y Nair (2014), en la cual se catalogan como acolchados vivos y acolchados muertos (Figura 4). La primera categoría, los acolchados vivos, hacen referencias a cultivos de cobertura sembrados antes o al mismo tiempo que un cultivo principal y son mantenidos como acolchados vivos a lo largo de la temporada de crecimiento. Si el cultivo de cobertura vivo es una planta perenne, puede ser posible mantenerlo año tras año, sin necesidad de hacer resiembras, como sucede, por ejemplo, con las coberturas verdes con leguminosas (Hartwig y Ammon, 2002). En contraste, los acolchados muertos pueden ser subdivididos en: Acolchados orgánicos (residuos vegetales de cultivos y materiales orgánicos), Acolchados inorgánicos (Polietileno lineal de baja densidad –LLDPE, y Polietileno de baja densidad -LDPE) y Acolchados Sintéticos (láminas de poliéster, resinas de látex y almidón).

#### 3.2.1.1. Acolchados Plásticos

Los plásticos son moléculas poliméricas de cadena larga elaborados por el hombre. La palabra plástico proviene de la palabra griega "plastikos", que significa "apto para ser moldeado en diferentes formas". Los plásticos que se utilizan hoy en día son elaborados con materias primas inorgánicas y orgánicas, tales como carbono, silicio, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, y cloruro. Los materiales básicos utilizados para la fabricación de plásticos se obtienen del petróleo, carbón y gas natural. En Estados Unidos las películas de plástico se utilizaron como acolchado por primera vez en la década de 1950 en investigación universitaria y fueron utilizadas comercialmente para la producción de hortalizas desde principios de la década de 1960. Hoy en día, las películas de plástico son utilizadas en toda clase de climas, suelos y estaciones (Kasirajan y Ngouajio, 2012).

Figura 4. Tipos de acolchados (Barche y Nair, 2014).



El polietileno es uno de los materiales plásticos más utilizados como acolchado debido a que es fácil de procesar, tiene excelente resistencia física y química, alta durabilidad, flexibilidad y es inodoro, en comparación con otros polímeros (Zribi W. , 2013). Además, el polietileno es ampliamente utilizado como acolchado por su bajo costo y por la facilidad para conseguirlo (Miles *et al.*, 2012). En el mercado se encuentran diferentes tipos de láminas de plástico (material, espesor y color) que ofrecen diferentes alternativas para su uso (Zribi W. , 2013). Por ejemplo, en cuanto al espesor, hace unos años se utilizaban láminas gruesas (entre 30 y 50 micras) pero en la actualidad se usan láminas más delgadas (especialmente los de 15 micras) (Lamont, 2005). Con respecto al color, el acolchado plástico de color negro es el mayormente utilizado (Tarara, 2000), pero también se fabrica en otros colores con diferentes propiedades ópticas

Con el acolchado plástico se instala una barrera impermeable al flujo de vapor de agua que cambia el modelo de flujo de calor y de evaporación de agua (Zribi, 2013, citando a Tripathi y Katiyar, 1984). Este sistema afecta el microclima alrededor de la planta (Tarara, 2000), generando cambios en la humedad, la temperatura, la rugosidad, la resistencia aerodinámica y el albedo de la superficie del suelo (Tarara y Ham, 1999).

A pesar de las bondades de los acolchados plásticos, también generan algunos problemas de manejo. Por ejemplo, estos materiales son, en general, elaborados de productos derivados del petróleo, no son biodegradables, se deterioran con el tiempo y, por lo tanto, hay que reponerlos y eliminar los residuos adecuadamente (Moreno y Moreno, 2008). De acuerdo a Kyrikou y Briassoulis (2007) los plásticos utilizados en la agricultura son quemados en el campo, incinerados, reciclados, compostados o llevados a rellenos sanitarios. Li *et al.* (2014) señalan que los materiales plásticos que no son eliminados adecuadamente pueden fragmentarse y causar degradación ambiental de los recursos, como el suelo y el agua. En efecto hay referencias que evidencian lo expuesto. Por ejemplo, Shimao (2001) y Derraik (2002) encontraron que los residuos plásticos dejados en el campo pueden adsorber toxinas presentes en el medio ambiente y pueden alterar

ecosistemas terrestres y acuáticos. De otra parte, los plásticos que son quemados en el campo pueden liberar contaminantes del aire como las dioxinas (Bio Intelligence Service, 2011).

### 3.2.1.2. Acolchados orgánicos; Error! Marcador no definido.

Como se mencionó, los materiales de acolchado orgánico provienen de restos animales o vegetales (vivos o muertos), que se forman naturalmente o son aplicados a la superficie del suelo sin ser incorporados al mismo. Se han utilizado diferentes materiales como acolchados, entre ellos residuos de cosecha, (Kasirajan y Ngouajio, 2012), estiércol, compost, turba, astillas o virutas de madera, hojas de pino, corteza de árboles, cáscaras de cacao, restos de madera de poda, paja de distintos cereales, cascarilla de cereales y otros residuos vegetales. Estos materiales se descomponen con el tiempo, aportando materia orgánica al suelo (Zribi, *et al.*, 2011; (Zribi W. , 2013).

Entre los limitantes de los acolchados orgánicos se tienen: Deben renovarse periódicamente porque se descomponen con el paso del tiempo y frecuentemente no se disponen de las cantidades requeridas o su calidad es inconsistente (Kasirajan y Ngouajio, 2012). Adicionalmente, los costos de producción suelen incrementarse por el transporte de los materiales hasta su lugar de uso y por la mano de obra o maquinaria requerida para la instalación o distribución en el campo de los mismos (Zribi W. , 2013). Otro factor para tener en cuenta durante la descomposición in situ de materiales que contienen alta relación Carbono-Nitrógeno, es que pueden alterar la composición y la funcionalidad de la comunidad microbiana (Li *et al.*, 2014). Dado que la descomposición de los residuos ricos en Carbono se asocia con la inmovilización temporal de nitrógeno por parte de los microorganismos del suelo, el crecimiento de las plantas puede verse afectado, especialmente si existen fragmentos de mantillo parcialmente degradados y que se descomponen en el siguiente ciclo de cultivo. Además, se puede producir un efecto desencadenante en el cual la materia orgánica del suelo nativo se mineraliza a tasas aceleradas en respuesta al impulso del C agregado (Kuzyakov, 2010) o como resultado del aumento de la temperatura del suelo asociado con la presencia de coberturas en la superficie del suelo (Li *et al.*, 2004). También se ha reportado que algunos materiales utilizados como acolchado pueden contener semillas de plantas arvenses o introducir nuevas plagas y enfermedades (Barche y Nair, 2014). En efecto, los acolchados naturales pueden favorecer la presencia de termitas, babosas, caracoles (Kasirajan y Ngouajio, 2012). Por último, ciertas sustancias alelopáticas pueden ser producidas por algunos materiales orgánicos utilizados como acolchados y que pueden retardar el crecimiento de los cultivos (Acharya *et al.*, 2005).

### 3.2.2. Efecto de acolchados sobre el suelo y en la producción de cultivos

Como lo indican Acharya *et al.* (2005), el acolchado tiene un efecto amortiguador que disminuye la influencia de los factores ambientales en el suelo. La magnitud del efecto

amortiguador depende de la calidad, cantidad y durabilidad del material acolchado, tipo de suelo y de las condiciones climáticas.

### 3.2.2.1. Efectos del acolchado sobre la temperatura del suelo

Entre los principales efectos de la temperatura sobresale su influencia sobre la actividad de los organismos y las plantas y sobre las reacciones que ocurren en el suelo, aspectos que afectan la productividad de los cultivos (Montenegro y Malagón, 1990). La temperatura del suelo es influenciada por las características (como el color, composición, permeabilidad, etc.) de las coberturas naturales y, especialmente, por residuos orgánicos u otros tipos de coberturas protectoras, aplicadas en la superficie del suelo (Salton y Mielniczuk, 1995; Alvarado y Castillo, 1999; Zribi *et al.*, 2011).

González *et al.* (2003) afirman que los acolchados modifican la energía que llega al suelo, el intercambio de calor, el balance de energía y el régimen térmico. Por ejemplo, el uso de acolchados que reflejan la luz tiene un efecto amortiguador de la temperatura del suelo en los primeros centímetros de la superficie (Coventry *et al.*, 2005). Un efecto similar se obtiene al utilizar ciertos acolchados que no reflejan la luz, como los acolchados de paja (Leal y Crawford, 2007). Por lo tanto, en periodos de calor mantienen la superficie del suelo más fresca que en los lugares en que no existe cobertura. En contraste, en los periodos fríos de invierno, funcionan como moderadores de los descensos rápidos de temperatura (Salton y Mielniczuk, 1995). Por esto, sí el efecto térmico permite amortiguar la fluctuación de la temperatura, en los primeros 15 cm de profundidad (Leal y Crawford, 2007), se puede generar un mayor crecimiento del sistema de raíces de las plantas (Smart *et al.*, 2006), principalmente en zonas con veranos muy cálidos y en cultivos hortofrutícolas (Turney y Menge, 1994; Foshee *et al.*, 1996).

Otro aspecto relevante es que los cambios en la temperatura y la humedad del suelo afectan la actividad microbiana y biótica, lo cual modifica las tasas de descomposición de la materia orgánica. Por ejemplo, temperaturas más altas incrementan la respiración y la actividad biológica en el suelo, mientras que temperaturas más bajas conllevan a un incremento en almacenamiento de Carbono Orgánico del suelo (Franzluebbbers *et al.*, 2001).

Munguia *et al.* (2004), indican que el uso de acolchados puede tener efecto en los componentes del balance de energía y en la resistencia estomática de las plantas, lo que a su vez puede causar un efecto fisiológico que afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por ejemplo, los mismos autores señalan que el grado de influencia sobre la temperatura del suelo y el microclima de la planta (balance espectral, calidad de la luz, temperatura de la zona radical, etc.) depende de las propiedades del acolchado, como reflexión, transmisión y absorción. Algunos estudios postulan en sus hipótesis que los mayores rendimientos en las cosechas y en la reducción de los días a cosecha en cultivos con acolchados se deben a la menor tasa de evaporación del agua y a los menores cambios de la temperatura del suelo entre el día y la noche (Arrellano *et al.*, 2003; Quezada *et al.*, 2003; Sánchez Valverde, 2013).

Barticevic (1997) encontró que con el uso de acolchados plásticos (transparentes, naranjas y negros) se incrementaron las temperaturas de suelo y se presentó una mayor precocidad

del cultivo, pues las cabezas de lechuga fueron cosechadas 8 días antes que el testigo (sin acolchado). En esta investigación, el acolchado blanco/negro presentó las más bajas temperaturas.

Por su parte Avendaño (1997), evaluando el efecto de acolchados plásticos de diferentes colores (negros, plateados y doble faz) en un cultivo de brócoli en el Centro de Investigación (C.I.) Tibaitatá, encontró diferencias significativas en la temperatura sobre y bajo el plástico, siendo menores los promedios del testigo y mayores en el polietileno plateado.

### **3.2.2.2. Efectos del acolchado sobre la estabilidad estructural y densidad aparente**

Varios autores afirman que las más altas producciones son causa del mayor desarrollo y de la mejor distribución de las raíces en el perfil del suelo debido al aumento en la porosidad y mejoramiento de la estructura del suelo (Blanco-Canqui y Lal, 2009).

En cuanto a la relación entre los efectos de los acolchados sobre la densidad aparente y la porosidad, se puede indicar que los resultados publicados por diferentes investigadores son ambiguos, ya que los efectos de los acolchados pueden variar de acuerdo al tipo de suelo, del manejo del suelo, del tipo de acolchado, del clima y del uso de la tierra (Jordán *et al.*, 2010). Por ejemplo, la densidad aparente disminuyó en los estudios llevados a cabo por Martens y Frankenberger (1992); Unger y Jones (1998); Oliveira y Merwin, (2001) y Jordán *et al.* (2010). Por el contrario, otros investigadores encontraron que el uso de acolchados incrementó significativamente (Bottenberg *et al.*, 1999) o no tuvo efectos sobre la densidad aparente (Acosta-Martínez *et al.*, 1999; Duiker y Lal, 1999).

Los estudios de Kladvko (1994), citados por Blanco-Canqui y Lal (2009), indican que a medida que aumenta la dosis de paja (tamo) de arroz aplicada a la superficie de Alfisoles en Nigeria aumentan la infiltración del agua y los macro y meso poros del suelo, al igual que disminuyen la densidad aparente y los micro poros. Estos cambios en las propiedades físicas de los suelos pudieron ser determinados después de seis meses de aplicados los tratamientos. Además de los estudios de Kladvko, otras investigaciones, como las de Blanco-Canqui y Lal, (2009) y Ruan *et al.*, (2001) también han concluido que los acolchados reducen la susceptibilidad a la compactación, así como la aparición de costras y sellamientos superficiales.

Por otro lado, Adetunji (1990), encontró que el uso de un acolchado orgánico en un cultivo de lechuga, redujo la temperatura diurna del suelo y conservó la humedad del mismo. Así mismo, en los tratamientos con acolchados obtuvo incrementos significativos en el rendimiento con respecto al suelo desnudo. En la misma investigación concluyó que, bajo las condiciones del experimento, la lechuga requiere suelo húmedo, no menor del 60% de la humedad aprovechable del suelo en los 12 primeros cm para un óptimo rendimiento.

### 3.2.2.3. Efectos del acolchado sobre el desarrollo de plantas y rendimiento de cultivos

En Colombia los acolchados han venido tomando auge en algunos cultivos hortícolas de la Sabana de Bogotá y del Oriente Antioqueño (Jaramillo, 2003) De hecho, en la última década se han incrementado el número de investigaciones tendientes a evaluar el efecto de esta práctica sobre el rendimiento y los costos de producción de los cultivos de hortalizas

Avendaño (1997), evaluando el efecto de acolchados plásticos de diferentes colores (negros, plateados y doble faz) en un cultivo de brócoli en el Centro de Investigación (C.I.) Tibaitatá, encontró que las medias más altas de los pesos frescos de las inflorescencias se alcanzaron con la utilización de cubiertas plateadas (173.8 g) y doble faz (140 g). Los menores promedios para esta variable se registraron en el suelo desnudo (90g).

Específicamente en lechuga se distinguen dos trabajos realizados en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, en el C.I. Tibaitatá por Forero y Ramos (1996) y por Melo y Ramírez (2001). En el primero de ellos evaluaron dos sistemas de siembra (trasplante y siembra directa) y dos tipos de plásticos (transparentes e infrarrojos), cada uno con tres calibres (2, 4 y 8 milésimas de pulgada). El testigo fue suelo descubierto. Los resultados más relevantes indican que con los acolchados hubo una diferencia de temperatura del suelo con respecto al suelo desnudo hasta de 13°C a 5 cm de profundidad en horas de la tarde (2 p.m.). Igualmente, en los suelos cubiertos hallaron mayor concentración de CO<sub>2</sub> por unidad de peso del suelo, sugiriendo que en ellos había un incremento en la actividad microbiana. En cuanto a las variables de crecimiento, se observó una disminución en los días a cosecha (hasta 30 días) y un aumento en el promedio del peso de las cabezas para los tratamientos con cubiertas plásticas comparadas con el testigo.

En el segundo trabajo en mención, Melo y Ramírez (2001), evaluaron acolchados sintéticos y orgánicos en cultivos de lechuga y brócoli. Los primeros fueron plásticos negros y doble faz (blanco y negro). Los segundos se referían a la utilización de pasto kikuyo sin flores ni rizomas en dosis de 1,2 y 3 kg m<sup>-2</sup> y de arvenses podadas y dejadas sobre las camas de siembra a los 30 y 45 días después del trasplante. Los datos obtenidos indican que el pasto en todas sus dosis y los plásticos mantienen por mayor tiempo la humedad del suelo y reducen la incidencia de arvenses y áfidos, aunque en los tratamientos con pasto se encontraron mayores promedios en la incidencia de trips. Por último, los promedios de rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) fueron superiores en los plásticos y en el pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> en valores cercanos al 100% con relación al testigo (suelo desnudo)

## 4. Metodología

### 4.1. Localización

El experimento se estableció a libre exposición en el área de los invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia (Figura 5), ubicado en la ciudad de Bogotá (4°38'9.21" Latitud Norte y 74° 05' 22.69" Longitud Oeste); ubicados en la zona de vida bosque seco Montano Bajo (bh-MB), a una altura sobre el nivel del mar de 2555 m. Las temperaturas promedio del lugar son: media de 14°C, mínima de 4°C y máxima 20,5°C. La humedad relativa promedio es de 80% y el brillo solar de 4,5 horas día<sup>-1</sup>.

Figura 5: Localización de la parcela de investigación. Área de invernaderos de la Facultad de Agronomía –Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (Google Earth, 2014).



Inicialmente se había planeado llevar a cabo este estudio en una finca dedicada a la producción de hortalizas de hoja, en los municipios de Cota o Chía, pero debido al exceso de lluvias que afectaron la región durante 2011 no fue posible conseguir un terreno con el área requerida (600 m<sup>2</sup>). Esta fue la razón para establecer el experimento en el bloque # 5 del área de los invernaderos de la Facultad de Agronomía (Figura 4), que se destaca por ser el resultado del depósito de diferentes capas de suelos transportados desde diferentes lugares de la ciudad.

El terreno se caracterizó por tener relieve ligeramente plano, con pendiente entre 1 y 3%; moderadamente bien drenado; ligeramente pedregoso. Los resultados de los análisis de laboratorio (Tabla 5) determinaron que el suelo presentó un pH medianamente ácido (5.6) y un contenido alto de carbono orgánico (5.3%). Los porcentajes de Arena, Limo y Arcilla fueron del 16, 46 y 38%, respectivamente (Clase textural: Franco arcillo limoso). Los niveles de cationes intercambiables fueron: 0.72 cmol\*kg<sup>-1</sup> de Potasio; 8.15 cmol\*kg<sup>-1</sup> de Calcio; 2.31 cmol\*kg<sup>-1</sup> de Magnesio y 0.4 cmol\*kg<sup>-1</sup> de Sodio. La saturación de cationes era adecuada para el cultivo de lechuga. El contenido de fósforo (276 ppm), aunque en exceso, presentó un valor considerado normal para muchos suelos de la Sabana de Bogotá (Anexo 1).

Tabla 5: Propiedades físico-químicas del suelo al comienzo del experimento

Característica	Unidad	Valor	Característica	Unidad	Valor
pH		5.6	Hierro	ppm	510
Carbono orgánico	%	5.3	Manganeso	ppm	32
Conductividad Eléctrica	dS/m	0.29	Cobre	ppm	2.3
CICE	cmol*kg <sup>-1</sup>	11.75	Zinc	ppm	24
Potasio	cmol*kg <sup>-1</sup>	0.72	Boro	ppm	0.41
Calcio	cmol*kg <sup>-1</sup>	8.15	Arena	%	16
Magnesio	cmol*kg <sup>-1</sup>	2.31	Limo	%	46
Sodio	cmol*kg <sup>-1</sup>	0.4	Arcilla	%	38
Aluminio	cmol*kg <sup>-1</sup>	0.12	Textura	Franco-arcillo-limoso	
Fósforo	ppm	276	Sat. Humedad	%	33
S-SO4	ppm	24			

## 4.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron cinco (5) tratamientos, que corresponden al testigo comercial, dos acolchados sintéticos (plásticos de dos colores diferentes) y dos acolchados vegetales. Se mantuvieron los acolchados durante tres (3) ciclos consecutivos de cultivo de lechuga. Los tratamientos mencionados se indican en la Tabla 6:

Específicamente, cada uno de los tratamientos presentaba las características mencionadas a continuación:

1. **Acolchados con plástico negro:** Se utilizó plástico negro de calibre 1.5 mm con un ancho de 1.3 m (Figura 6). El acolchado se mantuvo sobre las camas de cultivo durante tres (3) ciclos consecutivos del cultivo de lechuga.
2. **Acolchados con plástico doble faz:** Se usó plástico blanco negro de calibre 1.5 mm, con un ancho de 1.3 m. La cara de color blanco se ubicó expuesta a la luz. El acolchado se mantuvo sobre las camas de cultivo durante tres (3) ciclos consecutivos del cultivo de lechuga.
3. **Acolchados con pasto (*Pennisetum clandestinum*) en una proporción de 3 kg m<sup>-2</sup>:** Pasto Kikuyo podado, sin florecer y sin estolones. Se dispuso la cantidad indicada de pasto (3 kg m<sup>-2</sup>) antes del trasplante de las plántulas de lechuga en las camas de cultivo.
4. **Acolchados con pasto (*Pennisetum clandestinum*) en una proporción de 2 kg m<sup>-2</sup>:** Pasto Kikuyo podado, sin florecer y sin estolones. Se dispuso la cantidad indicada de pasto (2 kg m<sup>-2</sup>) antes del trasplante de las plántulas de lechuga en las camas de cultivo.
5. **Testigo comercial:** Se realizaron deshierbas en todas las camas de la unidad experimental. Se mantuvo el suelo desnudo como tradicionalmente lo hacen los agricultores.

Tabla 6: Descripción de los Tratamientos.

Tratamiento	Acolchados	Repeticiones
1	<i>Acolchado con plástico negro</i>	4
2	<i>Acolchado con plástico doble faz (blanco y negro)</i>	4
3	<i>Acolchados con pasto (<i>Pennisetum clandestinum</i>) en una proporción de 3 kg m<sup>2</sup></i>	4
4	<i>Acolchados con pasto (<i>Pennisetum clandestinum</i>) en una proporción de 2 kg m<sup>2</sup></i>	4
5	<i>Testigo comercial (suelo sin acolchado)</i>	4
TOTAL DE UNIDADES EXPERIMENTALES		20

Se eligieron los plásticos porque son los acolchados de mayor uso actualmente en la Sabana de Bogotá y es en ellos donde se ha centrado la investigación en Colombia. De otro lado, se eligió el pasto con el fin de brindar otras alternativas diferentes a las sintéticas, por ser de fácil adquisición en la zona, aportar materia orgánica y porque, de acuerdo a las conclusiones de investigaciones anteriores, el pasto utilizado como acolchado incrementó el rendimiento del cultivo de lechuga y disminuyó la incidencia de arvenses.

El área total del ensayo fue de 600 m<sup>2</sup>. Cada una de las unidades experimentales (figura 7) estuvo conformada por cuatro camas de 5 metros de longitud, 1.2 m. de ancho y 0.3 m de altura. La distancia entre camas era de 0.4 m. En cada cama se ubicaron cuatro hileras o surcos. La distancia entre surcos y plantas fue de 0.3 y 0.4 metros, respectivamente, con el fin de obtener una población de 62,500 plantas hectárea<sup>-1</sup>.

Figura 6: Instalación y disposición de los acolchados sobre las camas del cultivo.

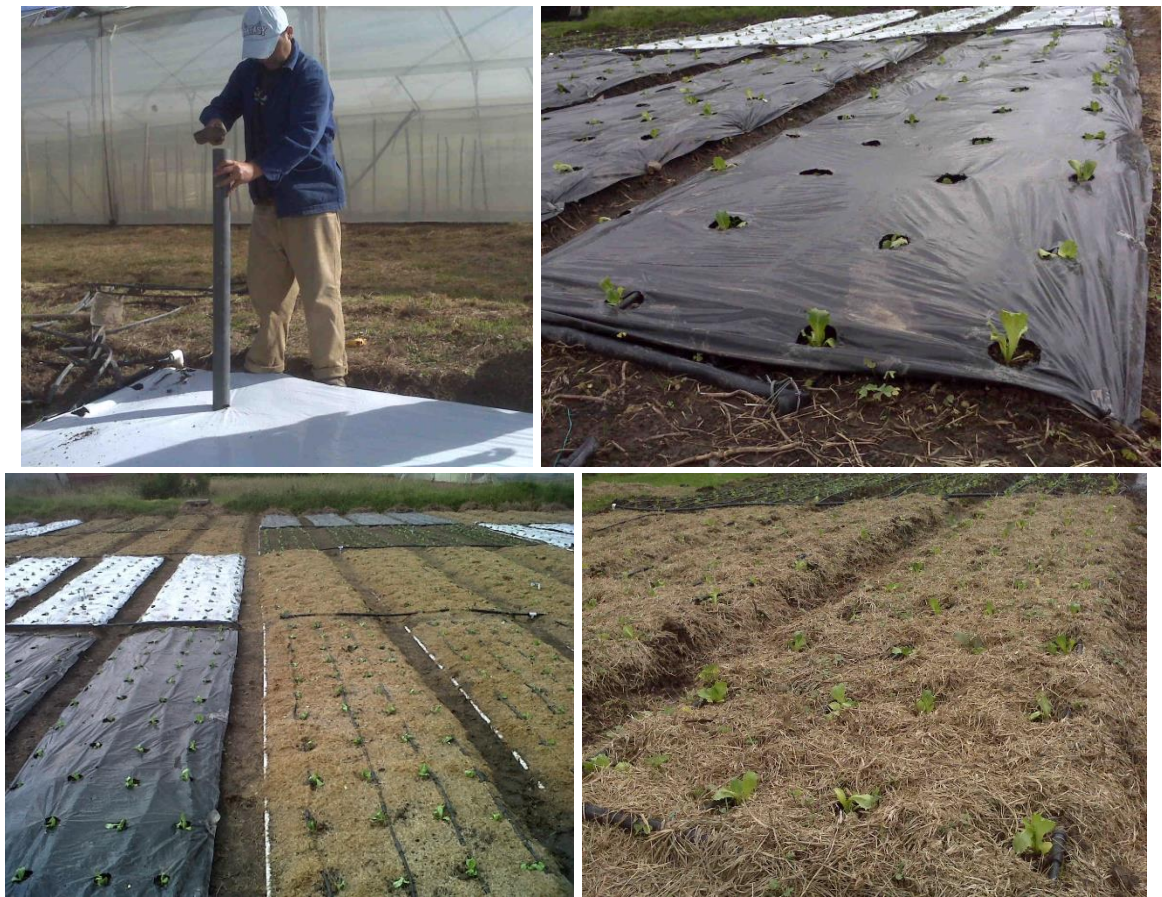
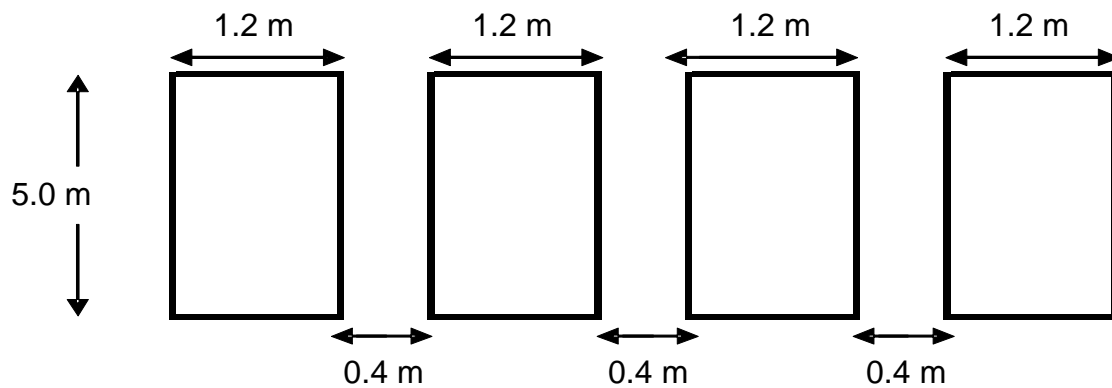
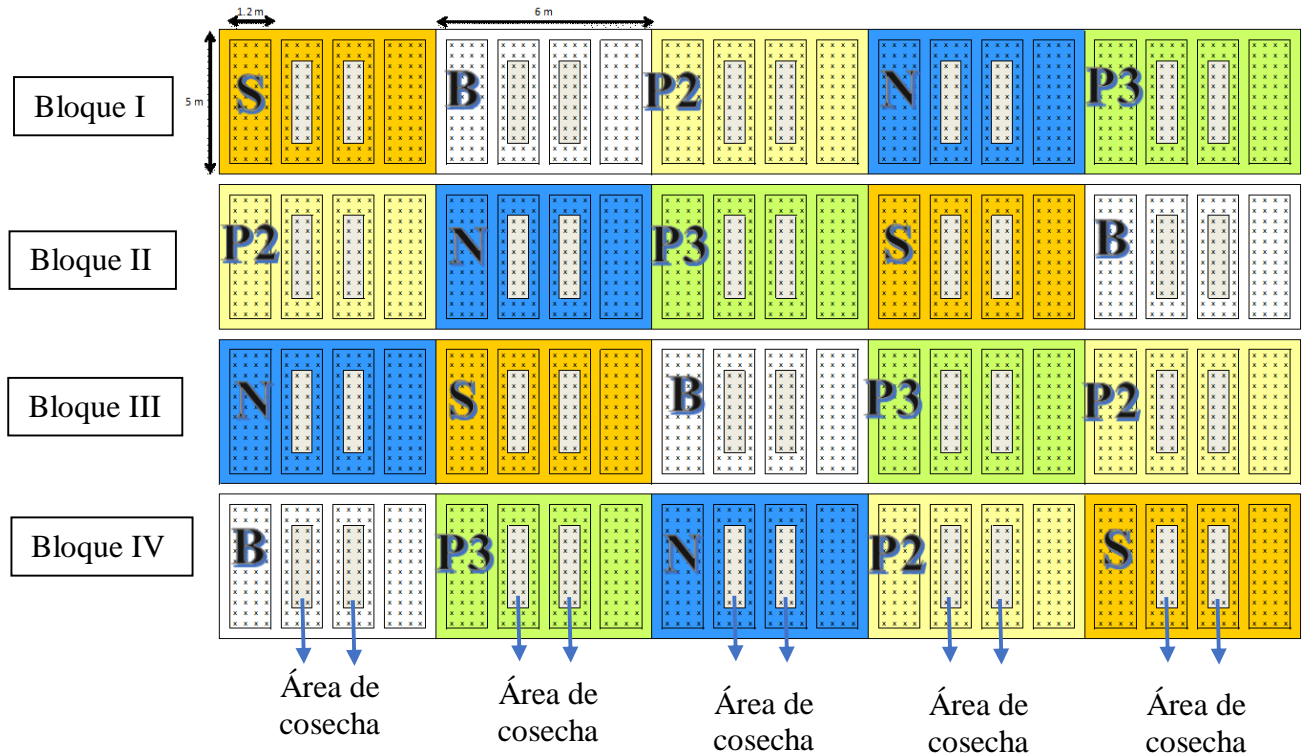


Figura 7: Unidad experimental constituida por 4 camas de 1,2 m de ancho y 5 m de longitud.



En la figura 8 se presenta el esquema de la distribución de los bloques y los tratamientos en campo.

Figura 8. Distribución de bloques y tratamientos en campo. Demarcación del área destinada para cosecha en las dos camas centrales de cada unidad experimental.



Tratamientos:

B. Plástico Blanco

N: Plástico negro

P2: Pasto en dosis de 2 kg m<sup>-2</sup>

P3: Pasto en dosis de 3 3 kg m<sup>-2</sup>

S: Testigo: suelo desnudo

El experimento se llevó a cabo durante tres (3) ciclos de cultivo. Cada ciclo tuvo una duración promedio de 90 días. Una vez finalizaba cada ciclo, se determinaban las variables en campo y se procedía con el trasplante de las plántulas de lechuga en el mismo sitio donde habían sido cultivadas las plantas del ciclo anterior. La duración total del experimento fue de 320 días.

El material de lechuga utilizado fue Coolguard (Lechuga de cabeza, tipo Batavia), ya que es ampliamente utilizado por los productores de la Sabana de Bogotá por su vigor y rusticidad, se adapta bien a suelos franco arcillosos y franco limosos y se caracteriza por tolerar períodos lluviosos y secos.

Es importante mencionar que el suelo solo fue mecanizado antes de establecer el experimento, utilizando las prácticas de mecanización que los agricultores realizan habitualmente, es decir, dos pases de rastrillo y la elaboración de las camas de cultivo (con una altura de 25 a 30 cm). En los siguientes dos ciclos de cultivo no se realizó ninguna práctica de mecanización, ya que los acolchados (plásticos y pasto) permanecieron sobre la superficie del suelo durante todo el tiempo.

Con base en el análisis químico del suelo y a los requerimientos del cultivo se realizó la fertilización edáfica, que consistió en la aplicación sobre la superficie del suelo de una mezcla física de grado 17-6-18 + 5MgO + 6,4 S + 0,15 Zn + 0,09 B. Para la elaboración de esta mezcla se utilizaron fuentes de última generación, que permitieran garantizar una alta eficiencia de la fertilización. Los productos utilizados fueron:

- Abotain (Inhibidor de ureasa), como fuente de nitrógeno.
- MicroEssentials SZ, como fuente de fósforo (fosfato monoamónico), nitrógeno (amonio), azufre (elemental y en forma de sulfato) y zinc.
- KMag, como fuente de magnesio (en forma de sulfato), potasio (en forma de sulfato) y azufre.
- Korn-Kali+B, como fuente de potasio, magnesio, azufre y boro.

Así mismo, todas las prácticas de cultivo tales como el manejo fitosanitario y cosecha fueron homogéneas en todo el ensayo, con el fin de que el único factor diferente fuera el tipo de acolchado. Vale la pena indicar que a cada una de las unidades experimentales se les instaló un sistema de riego por goteo independiente (goteros turboline de 4 L h<sup>-1</sup>), con el fin de suministrar el riego requerido para mantener el suelo en condiciones de capacidad de campo (Figura 9).

Las decisiones de iniciar y detener el riego se tomaron con base en las lecturas realizadas a las 7:00 a.m. y 3:00 p.m. en los vacuómetros de dos tensiómetros ubicados en cada una de las unidades experimentales. Los tensiómetros, uno de 15 cm y otro de 30 cm de longitud, se instalaron en una de las dos camas centrales de cada unidad experimental (Figura 10).

Figura 9: Disposición del sistema de riego por goteo en cada una de las unidades experimentales.



Figura 10: Ubicación de los tensiómetros en cada una de las unidades experimentales.



Los análisis estadísticos se manejaron con el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2012), por medio de análisis de normalidad, análisis de varianza (ANOVA), contrastes ortogonales y coeficientes de correlación, se compararon las variables caracterizadas y su respuesta al uso de acolchados sintéticos y orgánicos.

### 4.3. Estimación de los rendimientos del cultivo de lechuga

Los valores de cada uno de los componentes de rendimiento pueden variar de acuerdo a las relaciones genotipo-ambiente-suelo-manejo. En el cultivo de lechuga, dos de los

componentes de rendimiento que más influyen son: el número de cabezas por unidad de área y el peso de las cabezas.

La cosecha se realizó en el momento que más del 50% de las cabezas de lechuga tuvieran las características requeridas para ser comercializadas. Los principales índices de madurez utilizados fueron el tiempo desde el trasplante (aproximadamente 90 días) y el tamaño y compactación de las cabezas. Para determinar el grado de compactación, se presionaba con los dedos cada una de las cabezas y se establecía que si estaba apta para la cosecha cuando se requería una fuerza moderada para comprimirla.

Con el fin de evitar la mecanización del suelo al finalizar cada ciclo de cultivo y mantener permanentemente los acolchados plásticos sobre el suelo se tomó la decisión de retirar todos los órganos de la planta en el momento de la cosecha. Es decir, la recolección de las cabezas se realizó halando las cabezas, de forma que las raíces salieran unidas a las cabezas (Figura 11). Esta metodología se llevó a cabo en todos los tratamientos para mantener la uniformidad en las actividades de cosecha.

Figura 11: Recolección de las plantas de lechuga, incluyendo los órganos aéreos y las raíces.



Para determinar los rendimientos, se cosecharon 30 cabezas por unidad experimental, es decir, 15 lechugas de cada una de las dos camas centrales de cada unidad experimental (Figura 8). Las cabezas se pesaron con una balanza electrónica en campo y posteriormente se calcularon los rendimientos en  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## 4.4. Determinación de las propiedades físicas del suelo

### 4.4.1. Densidad aparente y densidad Real

Se tomaron tres (3) muestras de suelo sin disturbar (a capacidad de campo), a 5 cm de profundidad en cada unidad experimental, antes del montaje del ensayo y después de finalizar el primer, segundo y tercer ciclo del cultivo. Se utilizó un muestreador de cilindro (de volumen conocido) para obtener las muestras de suelo sin disturbar (Figura 12), el cual se introducía en el suelo ejerciendo presión sobre el suelo húmedo. Posteriormente, las muestras recolectadas se secaron en el laboratorio a 105°C hasta obtener un peso constante (Aproximadamente 48 horas). Por último, se determinó la masa del suelo seco y se calculó la densidad aparente teniendo en cuenta el volumen del cilindro, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad aparente (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Masa de suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^{-3}\text{)}}$$

Figura 12: Muestreador de cilindro y cilindros utilizados para recolectar la muestra sin disturbar para determinar la densidad aparente.



La densidad real del suelo se determinó en cinco (5) muestras de suelo seco pasadas por tamiz No 35 (500  $\mu\text{m}$ ) recolectadas en el momento de establecer el experimento en campo, utilizando el método del picnómetro, reportado por Montenegro y Malagón (1990). Se tomó la decisión de solo determinar la densidad real al inicio del experimento ya que es una propiedad que tiene una variación muy baja en el tiempo. El dato utilizado como densidad real para todos los cálculos fue el resultante del promedio de las cinco mediciones indicadas anteriormente.

Se calculó el valor de Porosidad con base en los resultados de las densidades aparente y real, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porosidad (\%)} = \left[ 1 - \frac{\text{Densidad aparente (cm}^3\text{)}}{\text{Densidad Real (cm}^3\text{)}} \right] \times 100$$

#### 4.4.2. Estabilidad Estructural

Se recolectaron tres (3) muestras representativas de suelo sin disturbar por cada unidad experimental después de finalizar el primer, segundo y tercer ciclo del cultivo. Las muestras se obtuvieron mediante el método de la excavación que consiste en realizar un hoyo, con una pala plana, afilada y de bordes rectos, y extraer un cubo de suelo (Figura 13). El muestreo se realizó cuando el suelo estaba próximo a la capacidad de campo. Las ventajas de este método radican en que utiliza el mayor tamaño de muestra, es menos dependiente de las condiciones del suelo al muestrear y resulta en una menor variabilidad en las mediciones.

Figura 13: Proceso de recolección y muestra de suelo sin disturbar para determinar la estabilidad de agregados en laboratorio.



Una vez tomadas las muestras en campo, se llevaron al laboratorio donde se evaluó la estabilidad de los agregados en los primeros 10 cm de profundidad mediante el método de tamizado en húmedo (modificado por Yoder), el cual fue ampliamente descrito por Montenegro y Malagón (1990) y consiste en ubicar la muestra de suelo en el tamiz superior de un juego de tamices con distintas aberturas de malla. Posteriormente, la batería es sumergida en una columna de agua que cubre hasta el último tamiz y se enciende el mecanismo que permite que los tamices asciendan y descendan una cantidad prefijada de veces en un tiempo determinado. Finalmente se determinan las cantidades de suelo seco en cada uno de los tamices y el diámetro ponderado medio, que expresa la relación entre el diámetro medio de una clase de tamaño dada y la fracción de peso de la clase de tamaño en referencia, respecto al peso total en la muestra de suelo. Para su determinación se utilizó la ecuación propuesta por Montenegro y Malagón (1990):

$$M_{ssi} \% = \frac{M_{ssi} \times 100}{M_{ss}}$$

Donde,

$M_{ssi} \%$  es el porcentaje de los agregados del suelo retenidos por cada tamiz en porcentaje (%).

$M_{ssi}$  es la masa de los agregados del suelo seco en una clase de tamaño en gramos (g).

$M_{ss}$  es la masa total de suelo seco en gramos (g)

El cálculo del Diámetro Ponderado Medio se realizó la siguiente ecuación (Montenegro y Malagón, 1990):

$$DPM = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \frac{M_{ssi}}{100}$$

Donde,

DPM: Diámetro Ponderado Medio.

$x_i$ : Diámetro promedio de la fracción de tamaño correspondiente.

$M_{ssi}$ : porcentaje de los agregados del suelo retenidos por cada tamiz.

El contenido de agregados finos (AF), es decir, aquellos menores a 0.5 mm se determinó utilizando la siguiente ecuación (Jaramillo D. , 2002):

$$AF_{<0.5} = W_{0.25-0.5} + W_{<0.25}$$

Donde,

$AF_{<0.5}$ : Contenido de agregados finos con diámetro menor a 2mm.

$W_{0.25-0.5}$ : Porcentaje de agregados estables comprendidos entre 0.25 y 0.5 mm

$W_{<0.25}$ : Porcentaje de agregados estables menores a 0.25 mm

#### 4.4.3. Infiltración

Las pruebas de infiltración se llevaron a cabo en una de las dos camas centrales de cada unidad experimental, después de finalizar el primer, segundo y tercer ciclo del cultivo. Se utilizó el método de los cilindros concéntricos (carga constante), que fue extensamente documentado por Montenegro y Malagón (1990),

La metodología consistió en retirar los acolchados en el lugar donde se instalaron los infiltrómetros de anillos, de tal forma que la superficie del suelo estuviera libre de plásticos, plantas o materia orgánica. Los infiltrómetros se instalaron en el suelo, con un contenido de humedad cercano a la capacidad de campo, a 10 cm de profundidad aproximadamente (Figura 14). A continuación, se midió el descenso del nivel de agua dentro del cilindro

interno. La medición del agua infiltrada se realizó a diferentes intervalos de tiempo hasta alcanzar valores más o menos constantes.

Figura 14: Infiltrómetro utilizado para realizar las pruebas de infiltración.



#### 4.4.4. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo se registró en una de las dos camas centrales de cada unidad experimental, mediante un termómetro electrónico de suelo introducido a 5 cm de profundidad.

Se tomaron tres (3) lecturas por día de la temperatura del suelo: a las 7:00 a.m., 12:00 m. y a las 3:00 p.m. Las lecturas se tomaron por lo menos durante 50 días, en cada uno de los tres ciclos de cultivo. Las lecturas se realizaron con un termómetro digital marca Keithley.

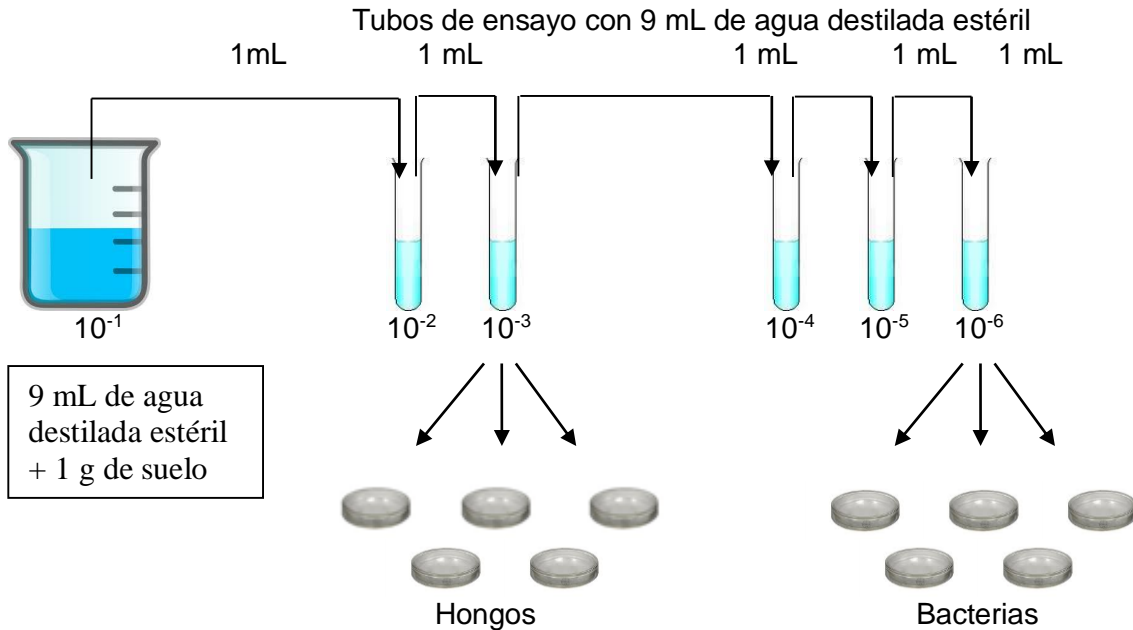
#### 4.5. Cuantificación de unidades formadoras de hongos y bacterias del suelo

La cuantificación de unidades formadoras de colonias de hongos y bacterias, se realizó al finalizar el primer, el segundo y el tercer ciclo de cultivo.

La metodología consistió en recolectar 5 plantas de lechuga con raíz por unidad experimental. Posteriormente se reunió el suelo que estaba en íntimo contacto con las raíces (aproximadamente 5 gramos). Esta muestra de suelo se llevó al laboratorio donde se tomó 1 gramo de suelo que fue introducido en un tubo de ensayo y se diluyó en 9 mL

de buffer Cloruro de sodio al 0.85%. A continuación se agitó durante 5 minutos y se tomó un mililitro de la mezcla y se diluyó en otro tubo de ensayo con 9 mL de la solución salina y así sucesivamente hasta llegar a la dilución  $10^{-6}$ . De estas, se tomaron las diluciones  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ , de las cuales se tomaron  $20\mu\text{l}$  de la dilución y se colocaron en cajas Petri (Figura 15). Los medios utilizados fueron agar nutritivo, para aislar bacterias, y Papa Dextrosa Agar (PDA) + ácido láctico ( $2\text{ mL L}^{-1}$ ) para aislar hongos. Con cada dilución se hicieron tres repeticiones para cada uno de los tratamientos.

Figura 15: Metodología de la dilución para cuantificar hongos y bacterias en cada uno de los tres ciclos del cultivo de lechuga.



Las muestras se incubaron a temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Por último, se procedió al conteo, a través del número de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo seco. Se tuvo en cuenta que un conteo válido debe estar entre 30-300 UFC por caja (Osorio, 2005).

Posteriormente se llevó a cabo el conteo de UFC, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Número de UFC} \times g^{-1} \text{ de suelo (unidades)} = \frac{\text{Número de colonias} \times \text{factor de dilución}}{\text{Dilución inicial (ml)}}$$

## 5. Resultados y discusión

En este apartado se encuentran los resultados de los análisis combinados de varianza, con previa evaluación de las varianzas en cada ciclo que permitiera su combinación, bajo un modelo básico de bloques completos al azar (Anexo D). A excepción del conteo de unidades formadoras de colonias de hongos, para el resto de las variables no se identificaron interacciones significativas entre el ciclo de producción y los tratamientos ( $p > 0,05$ )

Puesto que solo se encontraron diferencias significativas para la interacción entre tratamientos y ciclos para la variable de Unidades Formadoras de Colonias de Hongos, para las variables restantes el modelo para la comparación de medias fue solo evaluado en los efectos principales de ciclo y de tratamiento. (Anexos E, F, G, H, I, J) Para la comparación de ciclos se utilizó la prueba de mínima diferencia significativa protegida por Fisher con  $p < 0,05$ , para la evaluación de los tratamientos se utilizó la técnica de contrastes ortogonales bajo el siguiente esquema, también bajo  $p < 0.05$ :

Contraste 1: Testigo vs los tratamientos restantes;

Contraste 2: Acolchados plásticos vs acolchados orgánicos;

Contraste 3: entre acolchados plásticos (plástico negro vs plástico blanco);

Contraste 4: entre acolchados orgánicos (Pasto en dosis de  $2 \text{ kg m}^{-2}$  vs Pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ ).

## 5.1. Estimación de los rendimientos

### 5.1.1. Peso fresco de las cabezas de lechuga

En la Tabla 7 se presentan los resultados de los análisis de varianza para la variable Peso de las cabezas de lechuga cosechadas en cada uno de los tres ciclos de cultivo.

Tabla 7: Análisis de varianza para la variable Peso de las cabezas de lechuga en los tres ciclos de cultivo.

Fuente	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Tratamiento	Ns	0.0002	ns
Bloque	Ns	0.0103	ns

#### Primer ciclo de cultivo

Los análisis de varianza no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ) en el peso promedio de las cabezas cosechadas al finalizar el primer ciclo de cosecha (Tabla 7). Esta respuesta puede ser atribuida a las limitaciones que tuvieron las plantas para expresar su potencial de rendimiento debido al alto contenido de agua en el suelo ocasionado por las frecuentes e intensas lluvias que se presentaron especialmente durante el primer ciclo del experimento.

#### Segundo ciclo de cultivo

En la cosecha del segundo ciclo de cultivo si se presentaron diferencias altamente significativas ( $P > 0.0002$ ) entre tratamientos en el peso de las cabezas. La prueba de Tukey (Tabla 8) refleja que los mayores promedios en el peso de las cabezas (g) se obtuvieron en los tratamientos con acolchados de pasto a razón de  $3 \text{ kg m}^{-2}$  (773.6) y plástico negro (696.7). En tercer lugar se encontró el pasto en dosis de  $2 \text{ kg m}^{-2}$  (675.9), mientras que los más bajos promedios se obtuvieron en los tratamientos con acolchado con plástico blanco (657.7) y testigo (640.6).

La prueba de contrastes ortogonales (Tabla 9) presentó diferencias altamente significativas ( $P > 0.0030$ ) cuando se compararon los pesos frescos de las cabezas entre el testigo (suelo desnudo) versus los tratamientos restantes (con algún tipo de acolchado). En la misma prueba se encontraron diferencias altamente significativas ( $P > 0.0076$ ) cuando se compararon los pesos de cabezas entre los tratamientos con acolchados plásticos (blanco y negro) versus los tratamientos con acolchados orgánicos (pastos). Así mismo, hubo diferencias altamente significativas ( $P > 0.0076$ ) entre las coberturas orgánicas (Pasto en dosis de  $2 \text{ kg m}^{-2}$  y Pasto en proporción de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ ).

Tabla 8: Prueba de comparación de medias de Tukey y coeficiente de variación (CV) para el peso promedio de las cabezas (g) en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Tratamiento	Peso fresco promedio de las cabezas de lechuga					
	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	G	CV (%)	g	CV (%)	G	CV (%)
Blanco	684	17.6	657 a	15.5	731	8.2
Negro	696	13.3	696 ab	10.5	764	10.7
Pasto 2 kg	632	6.1	675 a	4.7	757	7.4
Pasto 3 kg	677	5.7	773 b	5.2	800	6.0
Testigo	629	14.2	640 a	12.8	685	8.7

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ )

Tabla 9: Prueba de contrastes ortogonales del peso fresco de las cabezas en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	-2.54	<b>0.0030</b>
Pasto vs Plásticos	1.14	<b>0.0076</b>
P. Negro vs P. Blanco	0.87	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-1.10	<b>0.0003</b>

Los resultados obtenidos indican que, con las condiciones ambientales del segundo ciclo, las plantas de lechuga cultivadas con acolchado de pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$  pueden incrementar su peso fresco con respecto a las plantas que se desarrollan sobre suelos desnudos (Figura 16).

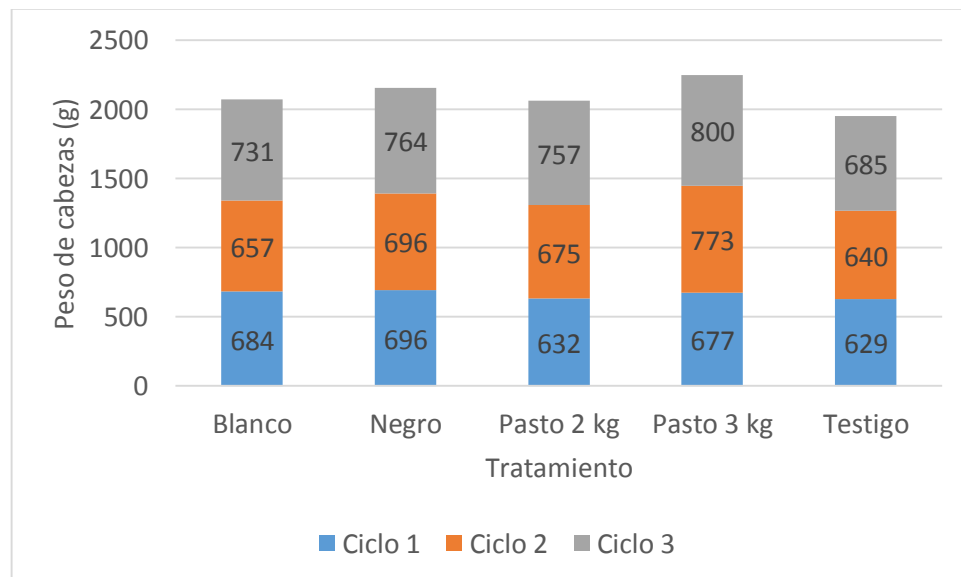
### Tercer ciclo de cultivo

En cuanto a los resultados del tercer ciclo de cultivo, el ANAVA no presentó diferencias entre tratamientos (Tabla 7). Los promedios de los pesos de las cabezas en este ciclo muestran que el mayor valor se obtuvo en el tratamiento con acolchado con pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ , con un valor medio de 799.6 g. Los tratamientos que le siguieron en peso fueron el acolchado con plástico negro (764.0 g), el acolchado con pasto en dosis de  $2 \text{ kg m}^{-2}$ , con un peso promedio de 757 g y el plástico blanco, con un peso fresco de 730.5 g. El valor más bajo se encontró en el testigo, con una media de 685 gramos por cabeza (Figura 17).

Figura 16: Comparación en el tamaño de cabezas de lechuga en el tratamiento testigo, sin acolchado (izquierda), y en un suelo con acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> (derecha)



Figura 17: Peso de las cabezas de lechuga acumulado en los tres ciclos de cultivo de lechuga.



Teniendo en cuenta los resultados del peso promedio de las cabezas (Figura 17) y los coeficientes de variación de los tratamientos (Tabla 8), pueden ser consideradas algunas características que impactan desde el punto de vista económico, como la facilidad de comercialización o el mayor precio de venta (en mercados especializados) que pueden tener aquellas cabezas de lechuga de mayor peso o que presenten entre sí una menor variación entre sus pesos (Diario Oficial de la Unión Europea, 2011).

### 5.1.2. Rendimiento estimado (kg ha<sup>-1</sup>)

Los rendimientos para cada tratamiento se estimaron con base en el peso y el número de cabezas recolectadas en las unidades experimentales (30 cabezas por unidad experimental en cada uno de los ciclos de cultivo) durante los tres ciclos de cultivo y, por este motivo, los resultados obtenidos para esta variable mantienen la tendencia descrita anteriormente en la sección dedicada al peso fresco de las cabezas.

El análisis de varianza (Tabla 10) presentó diferencias significativas entre tratamientos en el primer ciclo de cultivo ( $P > 0.0498$ ) y altamente significativas en el segundo ciclo ( $P > 0.0002$ ).

Tabla 10: Análisis de varianza para la variable Rendimiento estimado de lechuga en los tres ciclos de cultivo.

Fuente	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Tratamiento	0.0498	0.0002	ns
Bloque	ns	0.0103	ns

#### Primer ciclo de cultivo

Con respecto a los análisis de varianza para el rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) en el primer ciclo del cultivo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.0498$ ). La prueba de contrastes ortogonales presentó diferencias significativas ( $P > 0.0425$ ) al comparar el tratamiento testigo contra los restantes (Tabla 11).

Tabla 11: Prueba de contrastes ortogonales del Rendimiento estimado en el primer ciclo del cultivo de lechuga

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	-2.27	<b>0.0425</b>
Pasto vs Plásticos	-1.96	ns
P. Negro vs P. Blanco	0.41	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-1.97	ns

Al respecto, en la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 12) se observó que el tratamiento con plástico negro fue el que registró el mayor rendimiento estimado (43,561 kg

ha<sup>-1</sup>), seguido por los tratamientos con plástico blanco (42,749 kg ha<sup>-1</sup>) y acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> (42,352 kg ha<sup>-1</sup>). Los menores promedios se encontraron en los tratamientos con acolchado con pasto en dosis de 2 kg m<sup>-2</sup> (39,560 kg ha<sup>-1</sup>) y el testigo (39,318 kg ha<sup>-1</sup>).

Tabla 12: Prueba de comparación de medias de Tukey y coeficiente de variación (CV) para el rendimiento estimado (kg ha<sup>-1</sup>) en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Tratamiento	Rendimiento estimado de lechuga					
	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	kg ha <sup>-1</sup>	CV (%)	kg ha <sup>-1</sup>	CV (%)	kg ha <sup>-1</sup>	CV (%)
Blanco	42,749 ab	17.6	41,108 a	15.5	45,658	8.2
Negro	43,561 b	13.3	43,545 b	10.5	47,749	10.7
Pasto 2 kg	39,560 a	6.1	42,244 a	4.7	47,326	7.4
Pasto 3 kg	42,352 ab	5.7	48,354 b	5.2	49,977	6.0
Testigo	39,318 a	14.2	40,037 a	12.8	42,828	8.7

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

### Segundo ciclo de cultivo

Como se mencionó previamente, en el ANAVA para el segundo ciclo de cultivo (Tabla 10) se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos (P>0.0002).

La prueba de contrastes para el segundo ciclo (Tabla 13) presentó diferencias altamente significativas entre el testigo versus los restantes tratamientos (P>0.0030), entre acolchados plásticos versus orgánicos (P>0.0077) y, también, entre acolchados orgánicos (P>0.0003).

Tabla 13: Prueba de contrastes ortogonales del Rendimiento en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	-3.70	<b>0.0030</b>
Pasto vs Plásticos	3.20	<b>0.0077</b>
P. Negro vs P. Blanco	1.86	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-5.08	<b>0.0003</b>

Como se observa en la Tabla 12, en la prueba de comparación de medias el testigo presentó los menores promedios para el rendimiento en el segundo ciclo (40,037 kg ha<sup>-1</sup>), junto con los tratamientos con acolchado blanco (41,108 kg ha<sup>-1</sup>) y con pasto en dosis de 2 kg m<sup>-2</sup> (42,244 kg ha<sup>-1</sup>). Los mayores valores para esta variable se encontraron en los tratamientos con acolchados con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> y plástico negro, con 48,354 y 43,545 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Estos resultados concuerdan con los incrementos en rendimiento en cultivos hortícolas que se han desarrollado con acolchados plásticos en el suelo, como tomate, pimentón (Ibarra-Jiménez, *et al.*, 2004), melón (Munguia *et al.*, 2004) y lechuga (Melo y Ramírez, 2001). Es importante resaltar los resultados obtenidos en el trabajo desarrollado por los últimos autores citados (Melo y Ramírez, 2001), ya que en el municipio de Mosquera, en la Sabana de Bogotá,

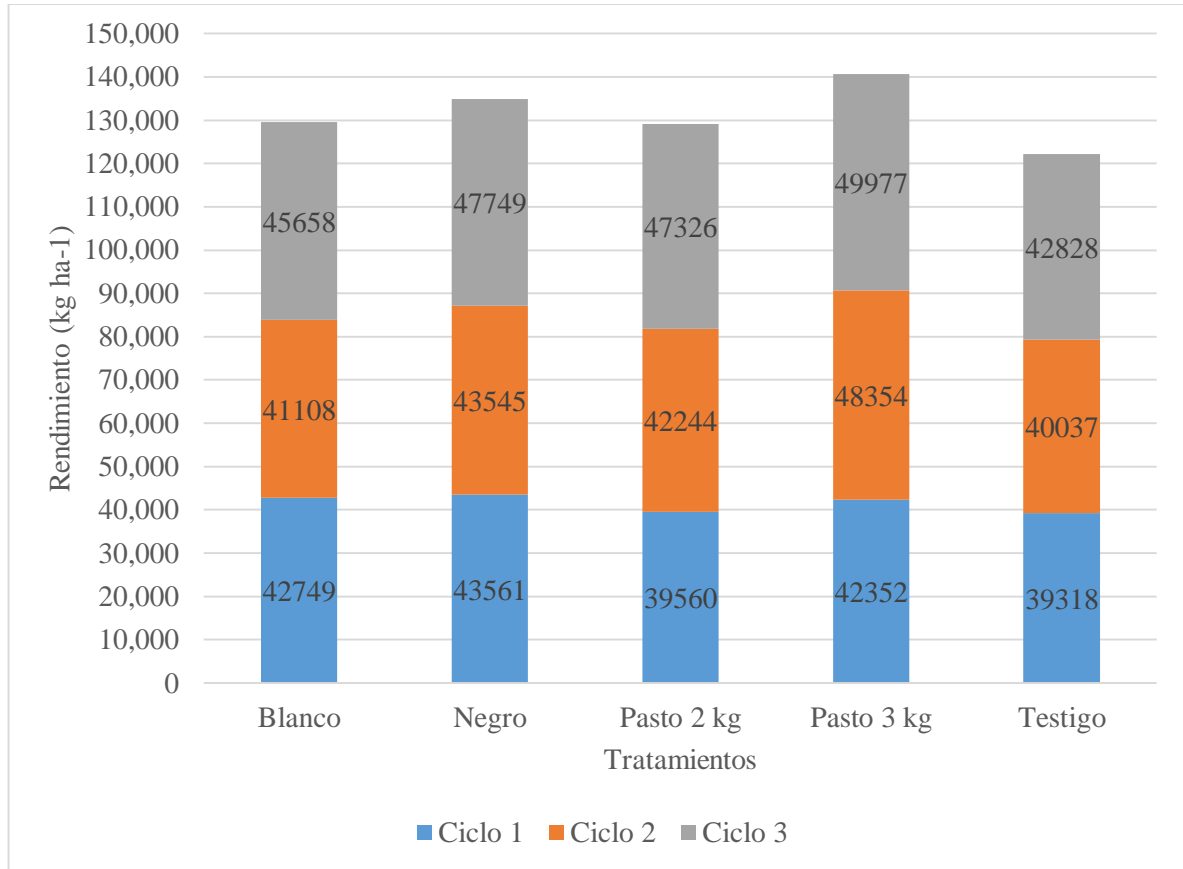
encontraron que el rendimiento del cultivo de lechuga fue menor en el tratamiento sin ningún tipo de acolchado mientras que los mayores promedios se obtuvieron utilizando acolchados plásticos, tanto negros como doble faz, así como acolchados con pasto kikuyo ( $3 \text{ kg m}^{-2}$ ).

Con respecto a los altos rendimiento en los tratamientos con acolchados orgánicos, es importante resaltar que, además de las ventajas desde el punto de vista del mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, su utilización puede afectar los rendimientos por la dinámica de los procesos de descomposición de los materiales orgánicos, su acción residual y el aporte de elementos (Matheus *et al.*, 2007)

### Tercer ciclo de cultivo

En el tercer ciclo de cosecha, en el análisis de varianza, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). No obstante, el tratamiento testigo (suelo desnudo) presentó nuevamente el menor promedio, con un rendimiento estimado de  $42,828 \text{ kg ha}^{-1}$ . Los tratamientos que le siguieron en rendimiento fueron el acolchado con plástico blanco ( $45,658 \text{ kg ha}^{-1}$ ), el acolchado con pasto en dosis de  $2 \text{ kg m}^{-2}$ , con un valor de  $47,326 \text{ kg ha}^{-1}$  y el plástico negro, con  $47,749 \text{ kg ha}^{-1}$ . El acolchado con pasto a razón de  $3 \text{ kg m}^{-2}$  registró el mayor rendimiento estimado con  $49,977 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 18).

Figura 18: Rendimiento estimado de lechuga acumulado en los tres ciclos de cultivo de lechuga.



Desde el punto de vista económico, estos resultados demuestran que el uso de los acolchados representa una alternativa viable para incrementar los rendimientos en el corto y mediano plazo. En efecto, si se tienen en cuenta que los rendimientos estimados acumulados registrados (en los tres ciclos de cultivo), tanto en el testigo ( $122,183 \text{ kg ha}^{-1}$ ) como los tratamientos con acolchado con pasto en dosis de  $2 \text{ kg m}^{-2}$  ( $129,130 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$  ( $140,683 \text{ kg ha}^{-1}$ ), se puede determinar que el uso de los acolchados podrían representar un incremento en los rendimientos del 5,7% hasta 15,1%.

Por lo tanto, la decisión del uso de acolchados (de naturaleza orgánica o de síntesis artificial), además de considerar las ventajas que brinda desde el punto de vista de conservación de suelos, debe contemplar un análisis económico que identifique las épocas del año en que su uso representa un incremento en la relación de beneficio/costo.

## 5.2. Temperatura del suelo

Se realizaron los análisis de varianza para determinar si se encontraban diferencias significativas entre tratamientos en la temperatura del suelo (a 5 cm de profundidad) en cada uno de los tres ciclos y en tres horas del día (7 a.m., 12 m. y 3 p.m.).

Tabla 14: Análisis de varianza para la temperatura del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga. Lecturas tomadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m.

Ciclo	p-valor		
	7 a.m.	12 m.	3 p.m.
Primer	ns	ns	ns
Segundo	ns	0.0083	0.032
Tercer	ns	ns	ns

### Primer ciclo de cultivo

En el primer ciclo de cultivo los ANAVA (Tabla 14) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos a las lecturas registradas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m. En la Tabla 15 se observa la temperatura del suelo en cada uno de los tratamientos en el primer ciclo de cosecha.

Tabla 15: Valores medios y coeficiente de variación (CV) para la temperatura del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en el primer ciclo de cultivo de lechuga. Lecturas realizadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m.

Tratamiento	Temperatura del suelo (°C) a 5 cm de profundidad					
	7 a.m.	CV (%)	12 m.	CV (%)	3 p.m.	CV (%)
Blanco	14.21	4,54	16.05	7,15	16.33	8,41
Negro	14.21	4,54	16.81	8,12	16.98	9,15
Pasto 2 kg	14.10	5,61	16.43	6,74	16.81	9,41
Pasto 3 kg	14.19	4,73	16.38	8,41	16.36	10,00
Testigo	14.14	4,54	16.40	7,15	16.86	8,41

### Segundo ciclo de cultivo

En las lecturas realizadas en el segundo ciclo de cosecha (Tabla 16), los ANAVA no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en las mediciones realizadas a las 7 a.m. Sin embargo, si se encontraron diferencias significativas entre tratamientos tanto a las 12 m. ( $P > 0.0083$ ) como a las 3 p.m. ( $P > 0.032$ ).

Tabla 16: Valores medios y coeficiente de variación (CV) para la temperatura del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en el segundo ciclo de cultivo de lechuga. Lecturas tomadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m.

Tratamiento	Temperatura del suelo (°C) a 5 cm de profundidad					
	7 a.m.	CV (%)	12 m.	CV (%)	3 p.m.	CV (%)
Blanco	13.23	7,18	16.26 A	10,60	16.76 A	10,85
Negro	13.43	6,35	16.99 B	11,18	17.53 B	11,32
Pasto 2 kg	13.31	6,27	16.45 AB	11,08	17.17 AB	10,92
Pasto 3 kg	13.39	7,21	16.56 AB	8,83	17.13 AB	9,99
Testigo	13.26	7,06	17.04 B	9,69	17.43 AB	10,67

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ )

Los contrastes ortogonales (Tabla 17) para la temperatura del suelo a las 12 m. presentaron diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos restantes ( $P>0.0214$ ) y en la comparación entre plásticos ( $P>0.0051$ ). En efecto, como se observa en la Tabla 16, la prueba de comparación de medias de Tukey muestra que el tratamiento con suelo desnudo presenta las mayores temperaturas a las 12 m. ( $17.04^{\circ}\text{C}$ ), seguido por el plástico Negro ( $16.99^{\circ}\text{C}$ ). De otro lado, el plástico blanco registró la temperatura promedio más baja ( $16.26^{\circ}\text{C}$ ).

Tabla 17: Prueba de contrastes ortogonales para la temperatura del suelo a las 12 m. en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	5.31	0.0214
Pasto vs Plásticos	0.41	ns
P. Negro vs P. Blanco	7.89	0.0051
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	0.18	ns

Para las lecturas realizadas a las 3 p.m., los contrastes ortogonales (Tabla 18) presentaron diferencias altamente significativas entre plásticos ( $P>0.0032$ ). La prueba de Tukey muestra que existen diferencias en la temperatura del suelo en el segundo ciclo (Tabla 16), en especial entre los tratamientos con plástico negro ( $17.53^{\circ}\text{C}$ ) y blanco ( $16.76^{\circ}\text{C}$ ).

Tabla 18: Prueba de contrastes ortogonales para la temperatura del suelo a las 3 p.m. en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	2.31	ns
Pasto vs Plásticos	0,001	ns
P. Negro vs P. Blanco	8.28	0.0041
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	0.03	ns

### Tercer ciclo de cultivo

Los ANAVA no presentaron diferencias significativas par a las lecturas de la temperatura del suelo en el tercer ciclo de cultivo, en ninguna de las tres horas evaluadas: 7 a.m.

( $P>0.1023$ ), 12 m. ( $P>0.7738$ ) y 3 p.m. ( $P>0.7022$ ). Los promedios y los coeficientes de variación de las temperaturas del suelo se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19: Valores medios y coeficiente de variación (CV) para la temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 cm de profundidad en el tercer ciclo de cultivo de lechuga. Lecturas tomadas a las 7 a.m., 12 m. y 3 p.m.

Tratamiento	Temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 cm de profundidad					
	7 a.m.	CV (%)	12 m.	CV (%)	3 p.m.	CV (%)
Blanco	12.69	8,24	14.66	14,16	15.76	13,97
Negro	12.72	7,54	14.82	16,33	16.03	15,17
Pasto 2 kg	12.82	8,02	14.70	14,80	15.81	14,14
Pasto 3 kg	12.55	7,25	14.71	13,73	15.77	13,25
Testigo	12.62	8,61	14.86	14,91	15.90	13,84

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ )

Con respecto a los resultados del presente trabajo, en el segundo ciclo del cultivo de lechuga, donde se encontraron diferencias en la temperatura del suelo por influencia de los acolchados plásticos evaluados (blanco y negro), Munguia *et al.* (2004) indican que la utilización de este tipo de cubiertas sintéticas supone alterar el balance de radiación, definiendo según el objetivo, un resultado más positivo o más negativo, el cual puede expresarse en mayor o menor temperatura en el suelo. La temperatura del suelo se manifiesta como resultado del balance energético que inicialmente se expresa como balance de radiación.

Así mismo, el hecho de tener mayores promedios de temperatura en el acolchado con plástico negro se explicaría por las razones expuestas por Misle y Norero (2002), quienes señalan que las cubiertas plásticas producen un efecto térmico en el suelo muy diferente a la práctica del acolchado con materiales orgánicos, debido a que los acolchados no porosos anulan el componente de evaporación y, aquellos de color oscuro, transmiten una parte importante de la radiación solar al interior del suelo.

### Delta de temperatura

Se realizó el análisis de diferencia del delta de temperatura, es decir la diferencia entre las lecturas de la máxima y la mínima temperatura diaria del suelo o, en otras palabras, la fluctuación de temperatura entre lecturas. Los resultados del ANAVA (Tabla 20) solo presentaron diferencias significativas entre tratamientos en el tercer ciclo de cultivo ( $P>F: 0.01$ ).

La prueba de contrastes ortogonales para la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura del suelo en el tercer ciclo del cultivo (Tabla 21) presentó diferencias entre el tratamiento testigo y los restantes tratamientos. También se encontraron diferencias en la comparación entre sí de los tratamientos con acolchados plásticos

Tabla 20: Análisis de varianza para la diferencia entre la temperatura máxima y mínima del suelo (°C) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Fuente	Diferencia entre la temperatura máxima y mínima del suelo a 5 cm de profundidad		
	Ciclo1	Ciclo2	Ciclo 3
Tratamiento	ns	ns	<b>0.0100</b>
Bloque	ns	ns	ns

Tabla 21: Prueba de contrastes ortogonales para la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura del suelo en el tercer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	3.67	<b>0.0063</b>
Pasto vs Plásticos	-0.24	ns
P. Negro vs P. Blanco	3.73	<b>0.0058</b>
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-0.79	ns

La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 22) muestra que los menores cambios en la temperatura diaria del suelo, en el tercer ciclo de cultivo, se encontró en el tratamiento con acolchado plástico blanco (3.78°C), seguido por los tratamientos con pasto, en dosis de 2 kg m<sup>-2</sup> (4.03°C) y 3 kg m<sup>-2</sup> (4.06 °C). Las mayores variaciones se obtuvieron en el tratamiento con acolchado negro (4.34 °C) y en el testigo (4.52 °C).

Tabla 22: Prueba de Tukey y desviación estándar para para la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura del suelo en el tercer ciclo del cultivo de lechuga.

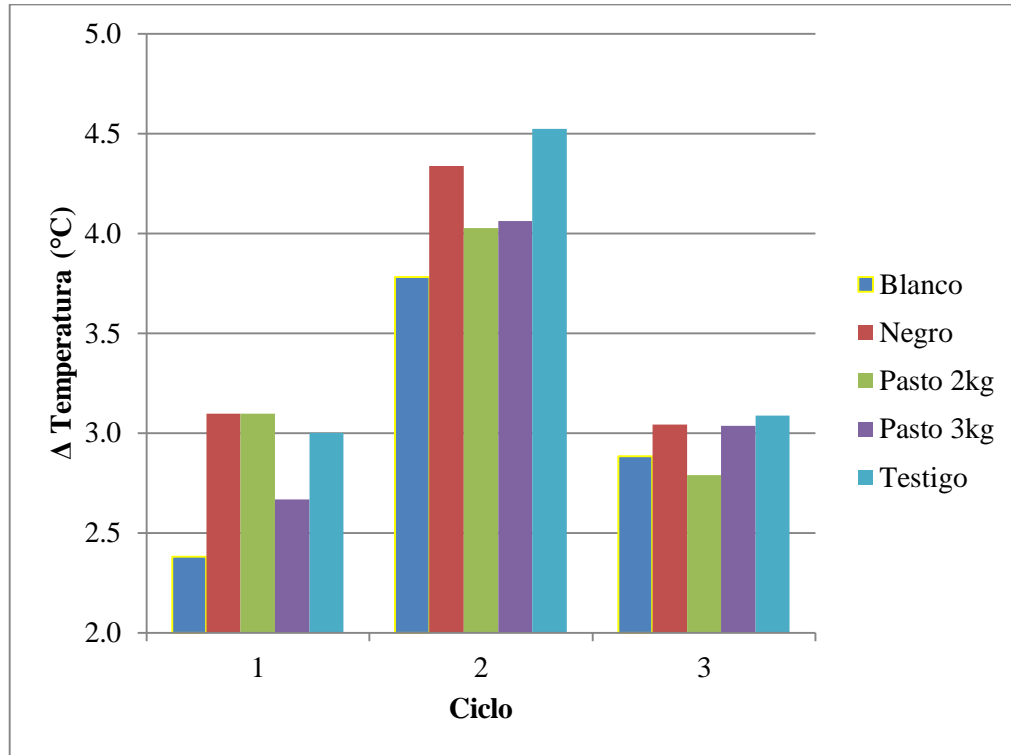
Tratamiento	Δ Temperatura (°C)	Desviación estándar
Blanco	3.78 A	2.29
Negro	4.34 AB	2.62
Pasto 2 kg	4.03 AB	2.4
Pasto 3 kg	4.06 AB	2.3
Testigo	4.52 B	2.61

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

Al respecto, Montenegro y Malagón (1990) indican que la utilización de colchados plásticos u orgánicos sobre la superficie del suelo afecta la temperatura del suelo, debido a la disminución de la radiación directa sobre el suelo y de la evaporación, haciéndose menores las fluctuaciones de temperatura en el suelo.

Como se mencionó, en el primer y tercer ciclo no se encontraron diferencias significativas en la fluctuación de temperatura diaria, sin embargo, como se observa en la Figura 19, es evidente que los tratamientos testigo y plástico negro presentaron las mayores diferencias, mientras que las menores se encontraron con el uso de acolchados con plástico blanco y con pastos.

Figura 19: Diferencia promedio entre la máxima y la mínima temperatura diaria del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.



Las respuestas que se obtuvieron en la diferencia en entre las temperaturas máximas y mínimas, coinciden con lo indicado por Munguia *et al.* (2004), quienes argumentan que la temperatura del suelo varía considerablemente de acuerdo al color del acolchado y sus propiedades (reflexión, transmisión y absorción). En efecto, algunos acolchados pueden transmitir casi toda la radiación en una longitud de onda del espectro electromagnético, mientras que otros pueden reflejar o absorber la radiación en otra longitud de onda. Por su parte, Leal y Crawford (2007) encontraron que los acolchados plásticos que reflejaban la radiación incidente, como el plástico blanco, permitieron amortiguar los picos máximos y mínimos de temperatura principalmente en los primeros 15 cm de profundidad. Así mismo, Yang *et al.* (2006) encontraron que la temperatura del suelo, cuando se utiliza un acolchado de paja, es menor que la temperatura del suelo con acolchado plástico, tanto en días soleados como en días nublados.

### 5.3. Densidad aparente

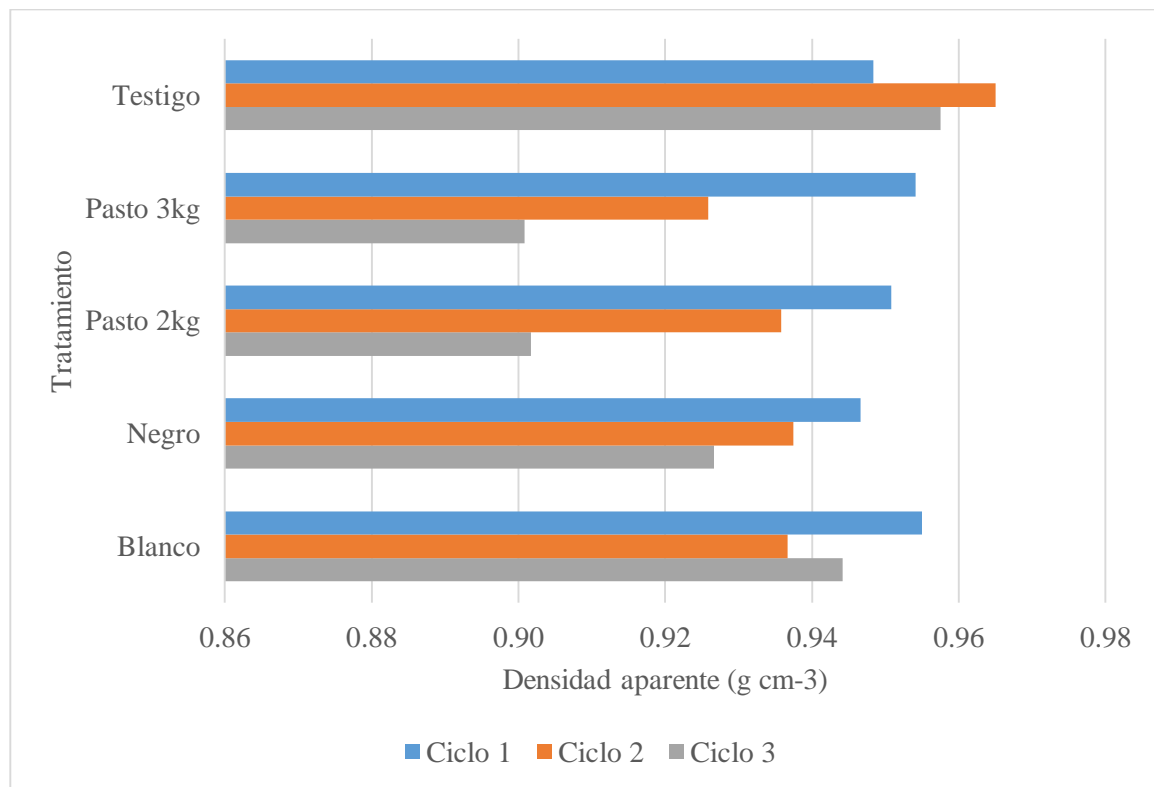
Los resultados de los análisis de varianza no presentaron diferencias significativas entre tratamientos para la variable densidad aparente a 5 cm de profundidad (Tabla 23) en las evaluaciones realizadas al finalizar el primer ( $P>F$ : 0.9996) y segundo cosecha ( $P>F$ : 0.9615). No obstante, si se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los valores de la densidad aparente en la evaluación efectuada al finalizar el tercer ciclo de cosecha ( $P>F$ : 0.0485).

Tabla 23: Análisis de varianza para la densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Factor	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Bloque	Ns	ns	ns
Tratamiento	Ns	ns	<b>0.0485</b>

En la Figura 20 se muestran los cambios en los valores de la densidad aparente por tratamiento en cada uno de los tres ciclos del cultivo.

Figura 20: Densidad aparente del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga,



### Primer ciclo de cultivo

Como se mencionó, al finalizar el primer ciclo del cultivo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 23). El valor de la densidad aparente fue igual para todos los tratamientos ( $0.95 \text{ g cm}^{-3}$ ), excepto en el tratamiento con acolchado de pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ , que presentó un valor de  $0.96 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabla 24).

Tabla 24: Promedios y Coeficiente de variación para la densidad aparente del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga.

Tratamiento	Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )					
	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	$\text{g cm}^{-3}$	CV (%)	$\text{g cm}^{-3}$	CV (%)	$\text{g cm}^{-3}$	CV (%)
Blanco	0.95	8.3	0.94	10.7	0.94 AB	12.9
Negro	0.95	7.7	0.94	10.1	0.93 AB	14.7
Pasto 2 kg	0.95	6.4	0.94	7.5	0.90 A	10
Pasto 3 kg	0.96	5.2	0.93	3.1	0.90 A	12.7
Testigo	0.95	6.5	0.96	3.3	0.96 B	15.3

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ )

### Segundo ciclo de cultivo

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la densidad aparente del suelo al finalizar el segundo ciclo del cultivo (Tabla 23). El mayor valor de la densidad aparente se presentó en el tratamiento testigo ( $0.96 \text{ g cm}^{-3}$ ). Los tratamientos con acolchados plásticos (blanco y negro) y con acolchado con pasto en dosis de  $2 \text{ kg m}^{-2}$  presentaron un valor de  $0.94 \text{ g cm}^{-3}$ . El menor valor para esta variable y en este ciclo de cultivo ( $0.93 \text{ g cm}^{-3}$ ) se obtuvo en el tratamiento con pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ .

### Tercer ciclo de cultivo

El ANAVA (Tabla 25) presentó diferencias significativas al finalizar el tercer ciclo de cosecha ( $P > F: 0.0485$ ). La prueba de contrastes ortogonales presentó diferencias significativas ( $P > F: 0.0401$ ) en la densidad aparente del suelo en el tercer ciclo del cultivo, entre los tratamientos con acolchados (bien sean orgánicos o sintéticos) con respecto al testigo (Tabla 25).

En la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 24), del tercer ciclo de cosecha, el mayor valor de la densidad aparente se obtuvo en el testigo ( $0.96 \text{ g cm}^{-3}$ ), seguido por los tratamientos con acolchados plásticos blanco y negro ( $0.94$  y  $0.93 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente). El menor valor de densidad aparente ( $0.90 \text{ g cm}^{-3}$ ) se encontró en los tratamientos con acolchado orgánico (Pasto en dosis de 2 y  $3 \text{ kg m}^{-2}$ ). En otras palabras, la densidad aparente en este ciclo de cultivo fue menor en un 6.6% en los tratamientos con acolchados de pasto con respecto al testigo.

Tabla 25. Prueba de contrastes ortogonales para la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura del suelo en el tercer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	3.67	<b>0.0401</b>
Pasto vs Plásticos	-0.24	Ns
P. Negro vs P. Blanco	3.73	Ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-0.79	Ns

Los resultados encontrados en los valores de la densidad aparente en el tercer ciclo de cultivo puede ser explicado por Taboada y Álvarez (2008) que indican la densidad aparente puede variar en el tiempo por causas del manejo del cultivo (como el uso de acolchados orgánicos o sintéticos). Además, el valor de la densidad aparente puede ser mayor o menor en función de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica. De esta forma, la adición progresiva de materia orgánica (pasto en dosis de 2 y 3 kg m<sup>-2</sup>) sobre la cama de cultivo a manera de acolchado, influye para que la densidad aparente disminuya de forma significativa con el paso del tiempo.

Mota *et al.* (2011) señalan que los mayores valores en la densidad aparente, que conducen a una menor porosidad del suelo, están asociados principalmente a la disminución de los macroporos. Por lo tanto, en suelos con una densidad aparente menor (para este caso, suelos con acolchados de pasto) existiría una relación de sólidos / espacio poroso que debería hacer posible que las raíces de las plantas puedan explorar un mayor volumen de suelo en busca de agua y nutrientes, lo que se vería reflejado en un incremento en el peso fresco de las plantas. En efecto, como es reportado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2000), la densidad aparente, además de la difusión de gases en el suelo, influye sobre la permeabilidad, el grado de penetración de las raíces y el régimen térmico. De esta forma, valores bajos de densidad aparente están asociados a una mayor porosidad y a efectos positivos en el desarrollo de las plantas.

## 5.4. Porosidad

Se determinó la densidad real del suelo mediante el método del picnómetro. La densidad real es una propiedad que no es muy afectada en el corto plazo por el manejo, como el uso de acolchados o la adición de materia orgánica (Seguel *et al.*, 2003). Por este motivo, la densidad real se determinó solo en el momento de establecer el experimento en campo. En la Tabla 26 se muestra el valor promedio ( $2.31 \text{ g cm}^{-3}$ ) de las cinco (5) muestras analizadas y que fue el valor que se utilizó para determinar la porosidad del suelo.

Tabla 26: Densidad real, desviación estándar y coeficiente de variación del suelo en momento de establecer el experimento.

	Unidad	Valor
Número de muestras analizadas	Unidad	5
Densidad real	$\text{g cm}^{-3}$	2.31
Desviación estándar	$\text{g cm}^{-3}$	0.08
Coeficiente de variación	%	3.46

El valor de la densidad real ( $2,31 \text{ g cm}^{-3}$ ) se encuentra dentro de los valores normales para suelos minerales. Como lo señalan Flint y Flint (2002), los minerales constituyentes del suelo tienen una densidad real específica, es por esto que el valor de este parámetro es similar a la densidad real del cuarzo, el mineral predominante en el suelo, ( $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ ). El coeficiente de variación de la densidad real de las cinco muestras analizadas puede ser catalogado como muy bajo, de acuerdo a la clasificación presentada por Larreal *et al.*, (2009) (Tabla 27).

Tabla 27: Variabilidad de las propiedades físicas del suelo con base en el coeficiente de variación (Larreal *et al.*, 2009).

Coeficiente de variación	Rango	Variabilidad
Muy bajo	0 – 15 %	Muy baja
Bajo	15 – 30 %	Baja
Mediano	30 – 45 %	Mediana
Alto	45 – 60 %	Alta
Muy alto	< 60 %	Muy alta

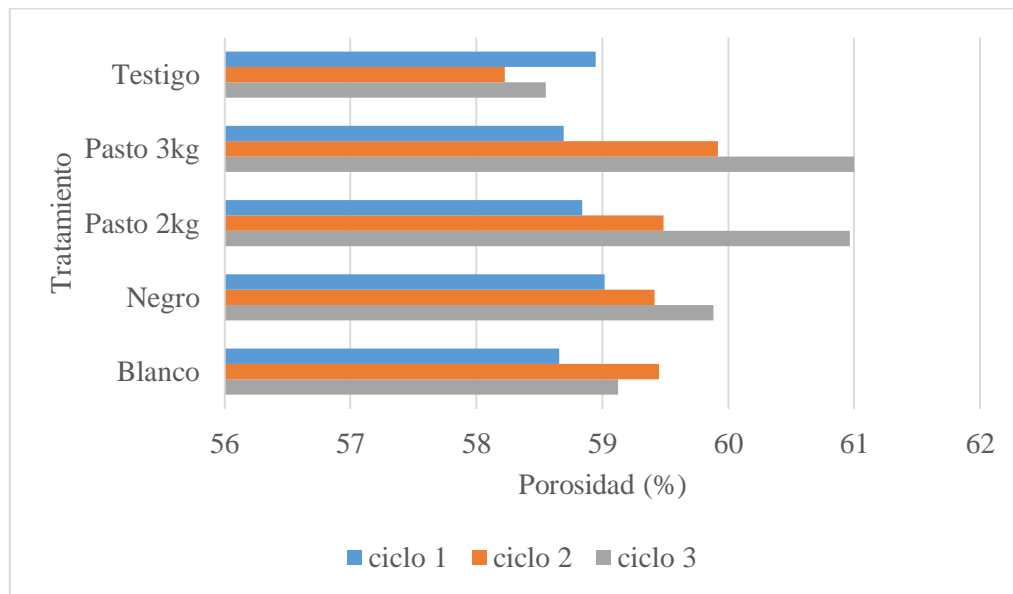
Dado que la porosidad se determina con base en los datos de la densidad aparente, los resultados de esta variable presentan una tendencia similar al encontrado en la densidad aparente. En los análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 28) para ninguno de los tres ciclos de cultivo. Los valores encontrados en el ANAVA fueron  $P>F$ : 0.9996, en el primer ciclo;  $P>F$ : 0.9647, en el segundo ciclo; y  $P>F$ : 0.0593, en el tercer ciclo de cultivo.

Tabla 28: Análisis de varianza para la porosidad total del suelo (%<sup>3</sup>) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Factor	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Bloque	ns	ns	ns
Tratamiento	ns	ns	ns

En la Figura 21 se muestran los cambios en los valores de la porosidad del suelo con el paso del tiempo (en cada uno de los tres ciclos del cultivo).

Figura 21: Porosidad total del suelo (%) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.



### Primer ciclo de cultivo

En el primer ciclo del cultivo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 28). El valor de la porosidad total del suelo fue similar para todos los tratamientos y osciló entre 58.7% y 59 % (Tabla 29).

### Segundo ciclo de cultivo

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la porosidad del suelo al finalizar el segundo ciclo del cultivo (Tabla 28). El menor valor de la densidad aparente se presentó en el tratamiento testigo (58.2 %). El tratamiento con acolchado plástico negro

registró un valor de 59.4, mientras que los tratamientos con acolchado plástico blanco y con pasto en dosis de 2 kg m<sup>-2</sup> presentaron un valor de 59.5 %. El mayor valor para esta variable y en este ciclo de cultivo (59.9 %) se obtuvo en el tratamiento con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> (Tabla 29).

Tabla 29: Promedios y Coeficiente de variación para la porosidad total del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga.

Tratamiento	Porosidad total del suelo					
	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	%	CV (%)	%	CV (%)	%	CV (%)
Blanco	58.7	8.3	59.5	10.7	59.1	12.9
Negro	59.0	7.7	59.4	10.1	59.9	14.7
Pasto 2 kg	58.8	6.4	59.5	7.5	61.0	10
Pasto 3 kg	58.7	5.2	59.9	3.1	61.0	12.7
Testigo	58.9	6.5	58.2	3.3	58.5	15.3

### Tercer ciclo de cultivo

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el tercer ciclo de cultivo, se observó una tendencia en la cual los tratamientos con acolchados (orgánicos o sintéticos) presentaron mayores valores de porosidad con respecto al tratamiento testigo. Los dos mayores valores de la porosidad total se obtuvieron en los tratamientos con acolchados con pasto en dosis de 2 y 3 kg m<sup>-2</sup> (61.0 %). Los valores medios se encontraron en los tratamientos con acolchados plásticos negro (59.9 %) y blanco (59.1 %). El menor valor se encontró en el testigo (sin acolchado), con 58.5% (Tabla 29).

Con respecto a esta tendencia, varios autores señalan que el uso de acolchados (orgánicos e inorgánicos) sobre la superficie del suelo influye sobre la densidad aparente y la porosidad (Traub Ponce, 2011; Mohamed *et al.*, 2009; Bandyopadhyay *et al.*, 2009). Por ejemplo, Jordán *et al.* (2010) reportaron que con el uso de acolchados orgánicos (paja de trigo) se produjo en superficie del suelo (0 a 10 cm de profundidad) un incremento significativo de la porosidad, del contenido de materia orgánica y de la estabilidad estructural del suelo después de 3 años de tratamiento, con respecto al tratamiento testigo.

Algunas investigaciones, como la realizada por Mulumba y Lal (2008) indican que, aunque en suelos con acolchados orgánicos se incrementa la porosidad total, no hay una relación lineal entre la dosis de acolchado utilizada y la densidad aparente.

## 5.5. Estabilidad estructural

### 5.5.1. Porcentaje de agregados estables al agua

En la tabla 30 se presentan los resultados de los análisis de varianza para el factor tratamiento para el tamaño de los agregados estables al agua, en los tres ciclo de cultivo evaluados (tabla 30).

Tabla 30: Análisis de varianza para el factor tratamiento del porcentaje de agregados estables al agua (%) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Tamaño de los agregados	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
8 - 4 mm	ns	ns	ns
4 - 2 mm	ns	ns	ns
2 - 1 mm	ns	ns	ns
1 - 0.5 mm	<b>0.0186</b>	<b>0.0495</b>	ns
0.5 - 0.25 mm	<b>0.0095</b>	ns	<b>0.0360</b>
0.25 - 0 mm	ns	<b>0.0417</b>	ns

#### Primer ciclo de cultivo

Para el primer ciclo de cultivo, de las clases de tamaño de agregados estables al agua evaluadas (8-4 mm, 4-2 mm, 2-1 mm, 1-0.5 mm, 0.5-0.25 mm, 0.25-0 mm), se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el ANAVA para las comprendidas entre 1-0.5 mm ( $P>F$ : 0.0186) y 0.5-0.25 mm ( $P>F$ : 0.0095).

Con la prueba de contrastes ortogonales (Tabla 31) se determinó que hay diferencias significativas en la clase de tamaño correspondiente a los agregados entre 1-0.5 mm, entre tratamientos con plásticos versus tratamientos con acolchados orgánicos ( $P>F$ : 0.0053) y en el contraste entre plástico blanco y plástico negro ( $P>F$ : 0.0390).

Tabla 31: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 1-0.5 mm, en el primer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	0.02	ns
Pasto vs Plásticos	8.76	0.0053
P. Negro vs P. Blanco	4.57	0.0390
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	0.13	ns

Como se observa en la Tabla 32, en el primer ciclo de cultivo, los tratamientos con plásticos presentaron un mayor porcentaje de agregados con respecto a aquellos con acolchado

orgánico (pasto) en los agregados correspondientes a la clase comprendida entre 1-0.5 mm. Además, el tratamiento con plástico blanco presentó el mayor porcentaje de agregados correspondientes a la clase comprendida entre 1-0.5 mm.

Tabla 32: Prueba de comparación de medias de Tukey para la distribución de agregados estables al agua (%p/p) en el primer ciclo de cultivo de lechuga.

Tratamiento	Agregados estables al agua de acuerdo al tamaño (%)					
	8-4 mm	4-2 mm	2-1 mm	1-0.5 mm	0.5-0.25 mm	>0.25 Mm
Plástico Blanco	7.91	18.03	21.77	28.58 B	19.97 AB	3.74
Plástico Negro	7.70	19.19	23.92	26.93 AB	19.04 A	3.22
Pasto 2 kg m <sup>-2</sup>	8.00	18.63	21.89	26.00 A	21.63 B	3.84
Pasto 3 kg m <sup>-2</sup>	8.28	19.35	23.12	26.28 A	19.24 A	3.74
Testigo	7.96	17.53	23.18	27.04 AB	20.76 AB	3.53

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ )

Así mismo, la prueba de contrastes ortogonales presentó diferencias significativas ( $P > F$ : 0.0037) en los agregados comprendidos entre 0.5-0.25 mm, cuando se realizó la comparación entre acolchado con pasto en dosis de 2 kg<sup>-2</sup> versus acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> (Tabla 33).

Tabla 33: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 0.5-0.25 mm, en el primer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	1.67	ns
Pasto vs Plásticos	2.88	ns
P. Negro vs P. Blanco	1.45	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	9.59	0.0037

### Segundo ciclo de cultivo

En el segundo ciclo de cultivo, el ANAVA (Tabla 30) presentó diferencias significativas ( $P > F$ : 0.0495) para los agregados comprendidos entre 1-0.5 mm y para los agregados menores a 0.25 mm ( $P > F$ : 0.0417).

Con relación a los agregados comprendidos entre 1-0.5 mm, los contrastes ortogonales (Tabla 34) presentaron diferencias significativas cuando se comparan los acolchados plásticos con los acolchados con pasto ( $P > F$ : 0.02390).

En la tabla 35 se muestran los resultados de las pruebas de comparación de medias de la distribución de los agregados estables al agua en el segundo ciclo del cultivo. Es evidente que, para los agregados pertenecientes al rango comprendido entre 1 y 0.5 mm, al igual que en el ciclo 1, se observan mayores promedios en los acolchados plásticos con respecto a los acolchados orgánicos.

Tabla 34: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 1-0.5 mm, en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	0.15	ns
Pasto vs Plásticos	4.57	0.0390
P. Negro vs P. Blanco	3.98	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	1.35	ns

Tabla 35. Prueba de comparación de medias de Tukey para la distribución de agregados estables al agua (%p/p) en el segundo ciclo de cultivo de lechuga.

Tratamiento	Agregados estables al agua de acuerdo al tamaño (%)					
	8-4 Mm	4-2 Mm	2-1 mm	1-0.5 Mm	0.5-0.25 mm	>0.25 Mm
Plástico Blanco	12.67	20.90	25.23	22.23 B	15.03	3.94 AB
Plástico Negro	14.82	21.94	24.63	20.35 AB	14.01	4.25 AB
Pasto 2 kg m <sup>-2</sup>	9.34	28.19	25.47	20.41 AB	12.95	3.64 AB
Pasto 3 kg m <sup>-2</sup>	13.82	26.45	24.33	19.32 A	12.55	3.53 A
Testigo	11.65	26.92	22.68	20.86 AB	13.43	4.45 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

Con relación a los agregados menores a 0.25 mm, los contrastes ortogonales (Tabla 36) presentaron diferencias significativas cuando se compran los acolchados plásticos con los acolchados con pasto (P>F: 0.0369).

Tabla 36: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados menores a 0.25 mm, en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	0.15	ns
Pasto vs Plásticos	4.57	0.0369
P. Negro vs P. Blanco	3.98	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	1.35	ns

Como se observa en la Tabla 35, al finalizar el segundo ciclo de cultivo, el tratamiento testigo es el que presentó la mayor proporción de agregados estables al agua menores a 0.25 mm (4.45%), seguido por los tratamientos con plásticos negro (4.25%) y blanco (3.94%) y por el acolchado con pasto en una proporción de 2 kg m<sup>-2</sup> (3.64%). El tratamiento con acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> registró el menor valor para esta variable (3.53%).

### Tercer ciclo de cultivo

En cuanto al tercer ciclo de cultivo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las clases evaluadas (8-4 mm, 4-2 mm, 2-1 mm, 1-0.5 mm y <0.25 mm) relacionadas con la distribución de agregados estables al agua, excepto para la comprendida en el rango entre 0.5-0.25 mm (P>F: 0.0360) (Tabla 30).

Los contrastes ortogonales presentaron diferencias significativas ( $P > F$ : 0.0071) para la comparación entre el tratamiento testigo versus los restantes tratamientos, es decir, acolchados orgánicos y plásticos. (Tabla 37)

Tabla 37: Prueba de contrastes ortogonales de la estabilidad de agregados comprendidos entre 0.5-0.25 mm, en el tercer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	8.09	0.0071
Pasto vs Plásticos	0.64	ns
P. Negro vs P. Blanco	0.43	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	2.32	ns

En la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 38) se observa que el testigo (suelo desnudo) presentó los mayores promedios para la variable en mención (16.60%), seguida por los tratamientos con acolchados de plástico negro (13.62%), pasto a razón de 3 kg m<sup>-2</sup> (13.38%) y plástico blanco (12.44%). El menor porcentaje de agregados estables comprendidos entre 0.5 y 0.25 mm se encontró en el tratamiento con pasto con dosis de 2 kg m<sup>-2</sup> con 10.62%.

Tabla 38: Prueba de comparación de medias de Tukey para la distribución de agregados estables al agua (%p/p) en el tercer ciclo de cultivo de lechuga.

Tratamiento	Agregados estables al agua de acuerdo al tamaño (%)					
	8-4 mm	4-2 mm	2-1 Mm	1-0.5 Mm	0.5-0.25 mm	>0.25 Mm
Plástico Blanco	15.42	25.03	25.69	17.79	12.44 AB	3.63
Plástico Negro	18.71	21.09	24.61	18.03	13.62 AB	3.94
Pasto 2 kg m <sup>-2</sup>	16.71	25.29	24.29	19.25	10.62 A	3.84
Pasto 3 kg m <sup>-2</sup>	18.19	23.58	24.09	17.02	13.38 AB	3.74
Testigo	15.78	17.85	24.15	21.08	16.60 B	4.54

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ )

Con respecto a mejorar la estabilidad estructural, García-Orenes *et al.* (2009) reportaron que el uso de acolchados de paja incrementó significativamente la estabilidad de los agregados después de 16 meses de tratamiento con respecto a las condiciones iniciales. Mulumba y Lal (2008) también encontraron que la porosidad total y la agregación del suelo incrementaron conforme se incrementaba la dosis de paja de trigo como acolchado.

La mayor estabilidad de los agregados en los tratamientos con acolchados orgánicos puede estar relacionada con por el efecto de la materia orgánica del suelo en la disipación de energía del impacto de las gotas de agua y al incremento de la actividad de hongos y bacterias (Mulumba y Lal, 2008). Con respecto a este último aspecto, Hadas *et al.* (1994) encontraron que, en la primera semana, el tamaño y la resistencia a la ruptura de los agregados del suelo se debe al reforzamiento dado por el crecimiento de las hifas de los hongos, mientras que, después de seis semanas, este efecto puede ser atribuido al reforzamiento originado por las secreciones bacterianas.

### 5.5.2. Contenido de agregados finos

Los análisis de varianza para el contenido de agregados finos (AF) con diámetro menor a 0.5 mm presentaron diferencias significativas entre tratamientos en los tres ciclos de cultivo evaluados (Tabla 39).

Tabla 39: Análisis de varianza para el contenido de agregados finos (AF) con diámetro menor a 0.5 mm a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Factor	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Bloque	ns	ns	ns
Tratamiento	<b>0.0117</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.0082</b>

#### Primer ciclo de cultivo

Los análisis de varianza presentaron diferencias altamente significativas, en el primer ciclo de cultivo, para el contenido de agregados finos (AF) con diámetro menor a 0.5 mm ( $P > F$ : 0.0117). La prueba de contrastes ortogonales presentó diferencias significativas en el cuarto contraste ( $P > F$ : 0.0087), que compara los tratamientos con acolchados orgánicos. En efecto, como se observa en la tabla 41, donde se presentan los promedios y el agrupamiento de la prueba de comparación de medias de Tukey, el tratamiento con acolchado de pasto con dosis de 2 kg m<sup>-2</sup> se encontraron los mayores valores (25.47%) mientras que el acolchado con pasto a razón de 3 kg m<sup>-2</sup> presentó uno de los menores valores (22.97%) para esta variable. El menor valor se obtuvo en el tratamiento con acolchado de plástico negro ((2.26%).

Tabla 40: Prueba de contrastes ortogonales para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm en el primer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	8.09	ns
Pasto vs Plásticos	0.64	0.0024
P. Negro vs P. Blanco	0.43	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	2.32	ns

#### Segundo ciclo de cultivo

El ANAVA presentó diferencias significativas ( $P > F$ : 0.0171) entre tratamientos, en el segundo ciclo de cultivo para esta variable (Tabla 39). La prueba de contrastes ortogonales presentó diferencias significativas en el segundo contraste ( $P > F$ : 0.0011), es decir, en aquel que compara los acolchados plásticos versus los acolchados con pasto.

En la tabla 41 se presentan los valores promedio y la agrupación de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Es importante notar que los menores valores para esta variable se encontraron en los tratamientos con acolchado orgánico, o sea, pasto en dosis de 3 y 2 kg m<sup>-2</sup>, con promedios de 16.08 y 16.59%, respectivamente. Por el contrario, lo mayores valores se encontraron en los tratamientos testigo (17.89%), acolchado con plástico negro (18.26%), y con plástico blanco (18.972%)

Tabla 41: Promedios, prueba de comparación de media de Tukey y Coeficiente de variación para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga.

Tratamiento	A.F. < 0.5 mm					
	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	%	CV (%)	%	CV (%)	%	CV (%)
Blanco	23.71 AB	11.5	18.97 B	16.5	16.07 A	12.6
Negro	22.26 A	9.6	18.26 AB	13.7	17.56 AB	11.4
Pasto 2 kg	25.47 B	4.5	16.59 AB	9.4	14.46 AB	16.4
Pasto 3 kg	22.97 AB	5.9	16.08 A	9.9	17.12 AB	37.1
Testigo	24.29 AB	6.2	17.89 AB	17.0	21.14 B	16.2

Tabla 42: Prueba de contrastes ortogonales para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	8.09	Ns
Pasto vs Plásticos	0.64	0.0011
P. Negro vs P. Blanco	0.43	Ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	2.32	Ns

### Tercer ciclo de cultivo

Como se observa en la tabla 39, el análisis de varianza para el tercer ciclo de cultivo presentó diferencias significativas entre tratamientos (P>F: 0.0082). La prueba de contrastes ortogonales resultó significativa (P>F: 0.0012) en el primer contraste que compara el tratamiento testigo versus los restantes tratamientos (Tabla 43).

Tabla 43: Prueba de contrastes ortogonales para el contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm en el tercer ciclo del cultivo de lechuga.

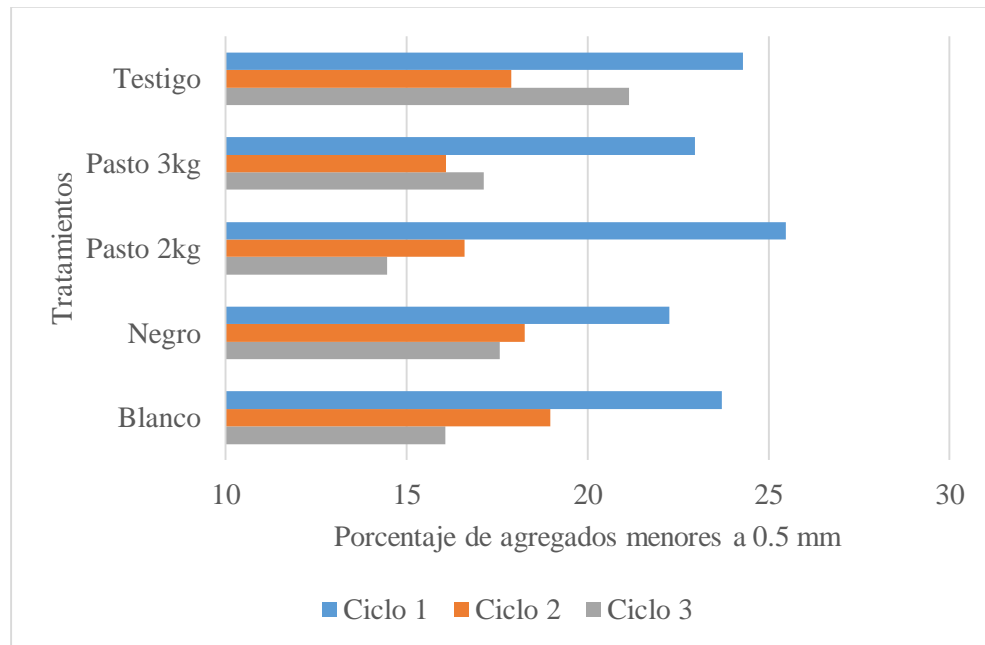
Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	8.09	0.0012
Pasto vs Plásticos	0.64	ns
P. Negro vs P. Blanco	0.43	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	2.32	ns

En la Tabla 41 se presentan los promedios de cada uno de los tratamientos en esta variable. Es evidente que el tratamiento testigo, al finalizar el tercer ciclo de cultivo registró

los mayores valores (21.14%). Los otros tratamientos presentaron los siguientes valores: Acolchado con plástico negro, 17.56; acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup>, 17.12%; acolchado con plástico blanco, 16,07% y acolchado con pasto a razón de 2 kg m<sup>-2</sup>, 14.46%

En cuanto a los resultados de los tratamientos en el tiempo, la Figura 22 muestra que, a excepción del testigo y acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup>, los restantes tratamientos presentaron la tendencia a disminuir los valores del contenido de agregados finos (A.F.) menores a 0.5 mm con el transcurrir de los ciclos.

Figura 22. Contenido de agregados finos (A.F.) del suelo (%) menores a 0.5 mm en los tres ciclos del cultivo de lechuga.



Según Gómez (1995), los agregados menores a 0.5 mm son los más susceptibles a la pérdida por erosión siendo indicadores de la estabilidad estructural del suelo. Teniendo en cuenta esta afirmación y que, al finalizar el tercer ciclo de cultivo, el porcentaje de agregados finos (menor a 0.5mm) fue significativamente más alto en el tratamiento testigo con respecto a los restantes tratamientos, se puede inferir que, contrariamente a lo que sucede con el testigo, los acolchados favorecen la estabilidad estructural del suelo y disminuyen la susceptibilidad a la erosión en los suelos.

Es importante indicar que en suelos de topografía plana, como en el que se llevó a cabo este estudio, los procesos erosivos pueden ocurrir especialmente por el efecto del impacto de las gotas de lluvia o de riego sobre la superficie del suelo desnudo, que actúan compactando y destruyendo la estructura, facilitando el arrastre de partículas por el flujo de agua (Dotterweich, 2013). Este flujo de agua se da cuando dos eventos de lluvia que se sucedan sin haberse alcanzado a secar el suelo pueden llevar a que la segunda lluvia no se infiltre, o lo haga mínimamente, y gran parte de ella escurra. El fenómeno es similar al que se produce cuando una lluvia de larga duración satura el suelo: la desaparición de la infiltración genera escorrentía (León, 2001).

### 5.5.3. Diámetro Ponderado Medio

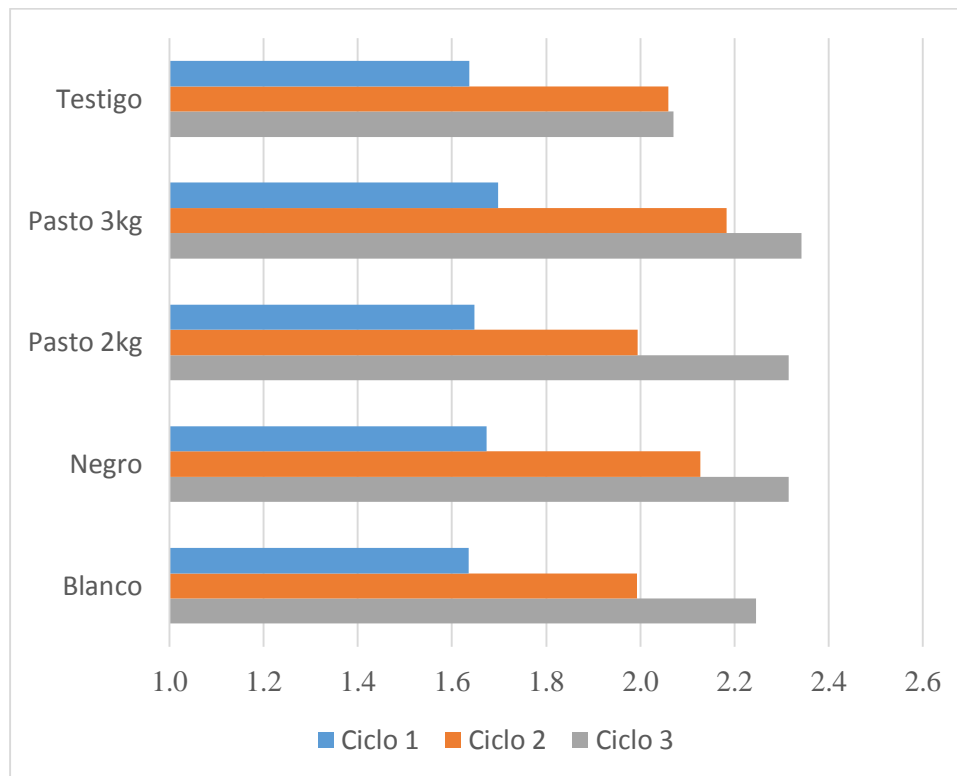
En cuanto al diámetro ponderado medio (DPM), como se observa en la tabla 44, los análisis de varianza no encontraron diferencias significativas en las evaluaciones realizadas al finalizar los tres ciclos de cultivo.

Tabla 44: Análisis de varianza para el diámetro ponderado medio (DPM) a 5 cm de profundidad en los tres ciclos de cultivo de lechuga.

Factor	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Bloque	ns	ns	ns
Tratamiento	ns	ns	ns

Como se muestra en la figura 23, todos los valores de DPM se encontraron entre 1.61 y 2.34 mm, lo cual, según los criterios de clasificación (Tabla 45) presentados por Montenegro y Malagón (1990), permiten clasificar estos suelos de moderada estabilidad.

Figura 23. Diámetro ponderado medio en mm (DPM) de los agregados del suelo en los tratamientos evaluados en los tres ciclos de cultivo de lechuga.



Como se observa en la figura 23 y en la tabla 46, en el tercer ciclo del cultivo todos los tratamientos con acolchado presentaron valores más altos que el testigo en el DPM.

Tabla 45: Rangos para interpretar la estabilidad estructural con relación al diámetro ponderado medio - DPM (Montenegro y Malagón, 1990).

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

Tabla 46: Promedios y Coeficiente de variación para el diámetro ponderado medio (DPM) de los agregados del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga.

Tratamiento	DPM						
	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3		
	%	CV (%)	%	CV (%)	%	Incremento con respecto al testigo (%)	CV (%)
Blanco	1.64	4.45	1.99	9.22	2.25	8.5	9.12
Negro	1.67	4.43	2.13	15.87	2.32	11.8	13.92
Pasto 2 kg	1.65	4.39	1.99	9.02	2.31	11.8	11.50
Pasto 3 kg	1.70	5.03	2.18	13.91	2.34	13.1	10.40
Testigo	1.64	7.08	2.06	4.97	2.07	-	16.94

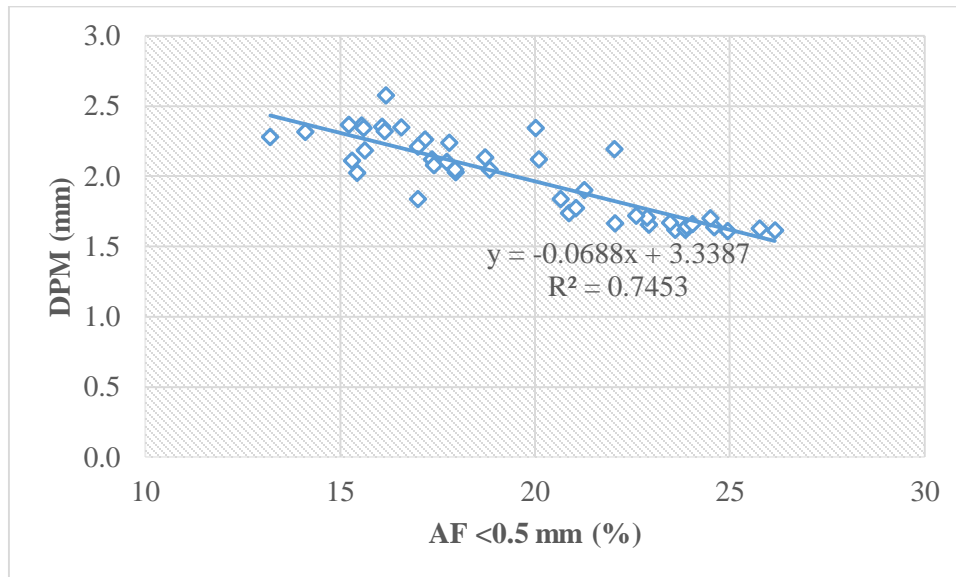
Aunque no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el diámetro ponderado medio (DPM), al finalizar el tercer ciclo de cultivo, los tratamientos con acolchados presentaron valores superiores al testigo en un rango entre el 8,5% y 13,3% (Tabla 47).

Tabla 47: Incremento porcentual con respecto al testigo del diámetro ponderado medio (DPM) de los agregados del suelo en los tres ciclos del cultivo de lechuga.

Tratamiento	Ciclo 3	
	DPM (mm)	Incremento con respecto al testigo (%)
Blanco	2.25	8.5
Negro	2.32	11.8
Pasto 2 kg	2.31	11.8
Pasto 3 kg	2.34	13.1
Testigo	2.07	-

Estos resultados tienen importancia si se tiene en cuenta que el valor del diámetro ponderado medio está relacionado con el contenido de agregados finos menores a 5 mm (AF<0.5 mm), como se muestra en la Figura 24. De esta forma, como los tratamientos con acolchados favorecen la estabilidad estructural del suelo (al disminuir el contenido de agregados finos menores de 5 mm y al aumentar el diámetro ponderado medio de los agregados del suelo), se esperaría que los acolchados disminuyan la susceptibilidad a la erosión en los suelos.

Figura 24. Relación entre el contenido de agregados finos de menos de 5 mm y el diámetro ponderado medio en los tres ciclos de cultivo.



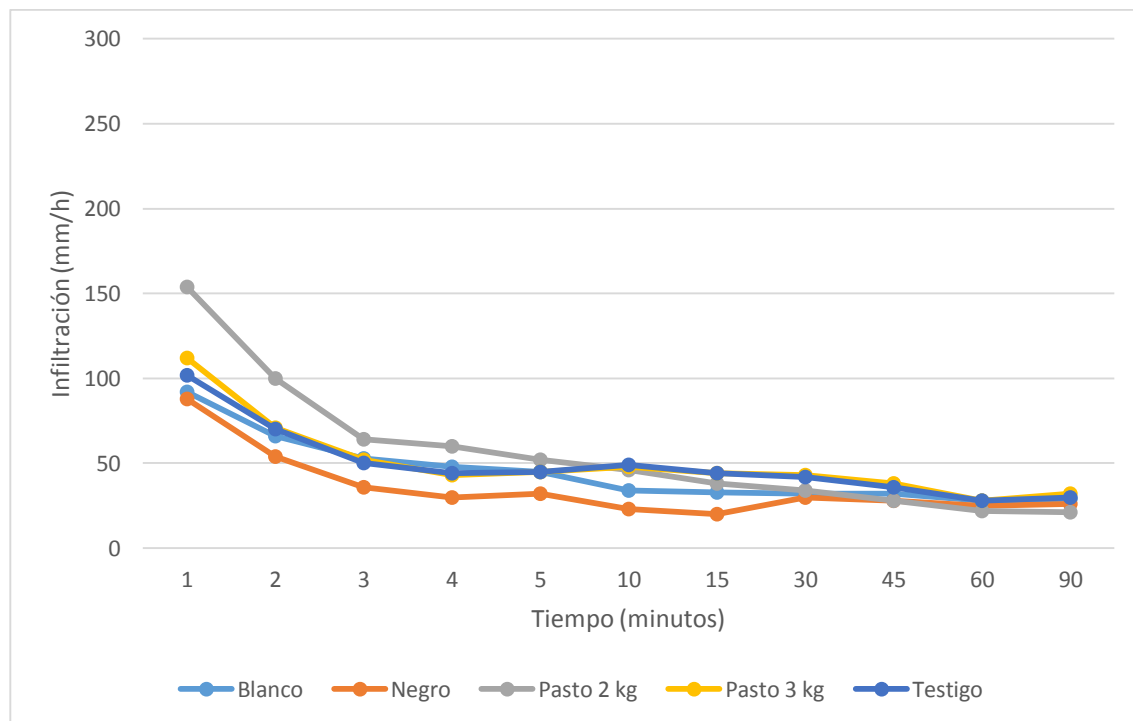
## 5.6. Infiltración

En las figuras 23, 24 y 25 se presentan las curvas de la velocidad de infiltración para todos los tratamientos, en cada uno de los tres ciclos de cultivo de lechuga.

### Primer ciclo de cultivo

En la figura 23 se observa que la velocidad de infiltración en el primer ciclo de cultivo fue similar para todos los tratamientos, excepto para el tratamiento con acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup>, en el cual, en los primeros cinco minutos, se presentó una velocidad de infiltración mayor. No obstante, en las lecturas realizadas a partir de los 10 minutos, se encontró que todos los tratamientos presentaron valores semejantes en la velocidad de infiltración.

Figura 25: Velocidad de infiltración (mm h<sup>-1</sup>) del agua en el suelo en el primer ciclo de cultivo.

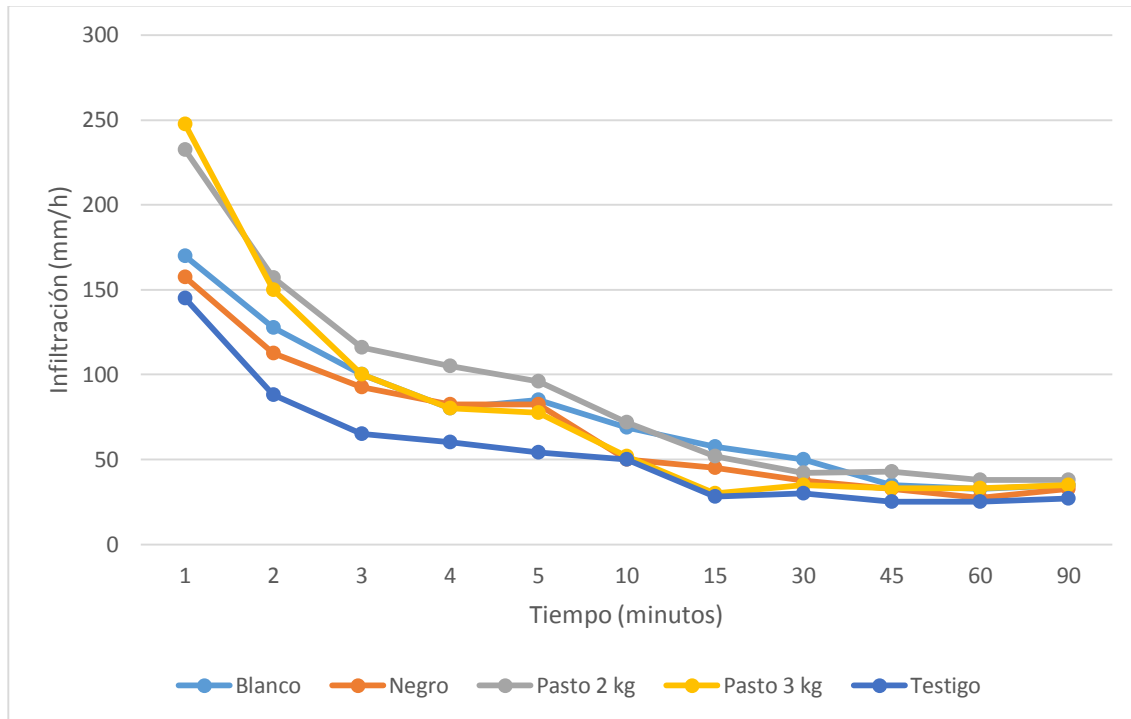


### Segundo ciclo de cultivo

En el segundo ciclo de cultivo (Figura 26) la velocidad de infiltración (mm h<sup>-1</sup>) fue mayor en las lecturas realizadas en los primeros dos minutos en los tratamientos con acolchados con pastos. Posteriormente, las velocidades de infiltración registradas fueron muy similares en

todos los tratamientos con algún tipo de acolchado (plásticos y con pasto). También es destacable que el testigo presentó los menores valores de infiltración durante los primeros cinco minutos, aunque a partir del minuto 10, las velocidades de infiltración fueron semejantes entre tratamientos.

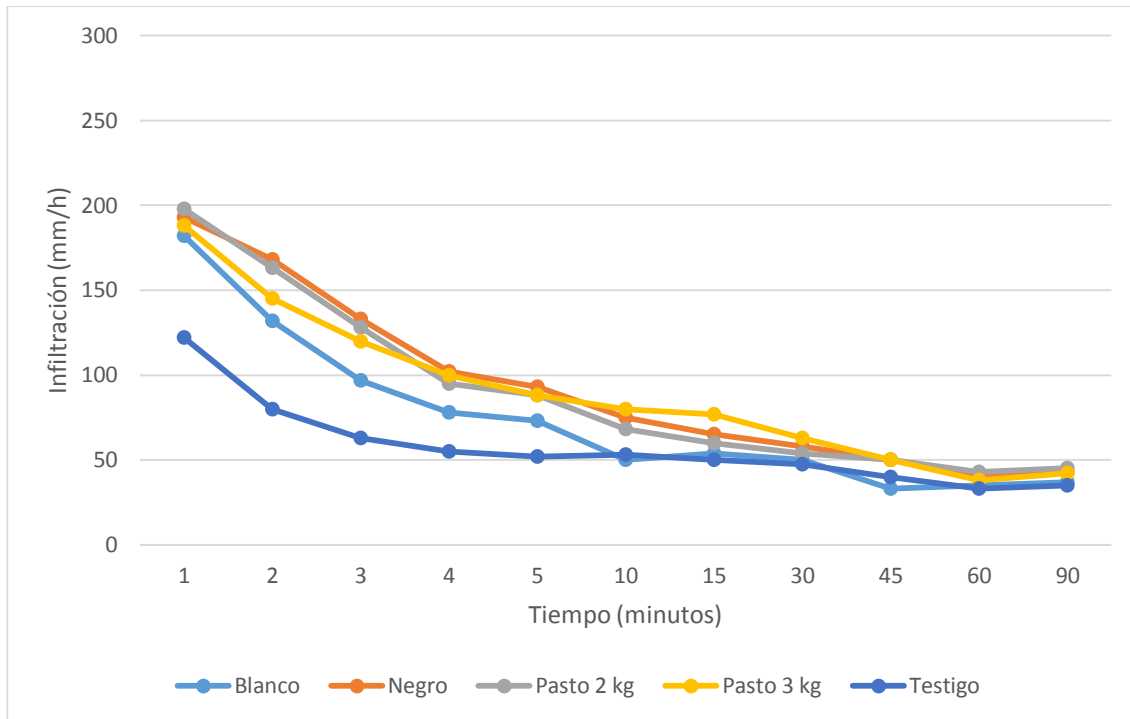
Figura 26: Velocidad de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ ) del agua en el suelo en el segundo ciclo de cultivo.



### Tercer ciclo de cultivo

La velocidad de infiltración en el primer minuto fue similar entre los tratamientos con algún tipo de acolchado, aunque en los siguientes 15 minutos la velocidad disminuyó en el tratamiento con acolchado plástico blanco mientras que en los tres restantes tratamientos con acolchado (plástico negro y con pastos) la velocidad fue similar. Por el contrario, el tratamiento testigo, a diferencia de los otros tratamientos, presentó los menores valores de infiltración en los primeros 5 minutos (Figura 27). En el minuto 10, tanto el testigo como el acolchado con plástico blanco presentaron valores semejantes. Solo hasta el minuto 15, todos los tratamientos presentaron tasas de infiltración similares, exceptuando al tratamiento con pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ , que registró mayores valores.

Figura 27: Velocidad de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ ) del agua en el suelo en el tercer ciclo de cultivo.



Resultados similares, en donde los tratamientos con acolchados presentaron mayores tasas de infiltración, fueron encontrados por Marrero *et al.* (2009) quienes encontraron que la velocidad de infiltración aumentó significativamente con el uso de coberturas con respecto al suelo desnudo. Esto, según los investigadores, puede ser debido a la influencia de la materia orgánica aportada por las coberturas. Al respecto, Vergara *et al.* (2011) y Lado *et al.* (2004) indican que la materia orgánica es un factor que influye en la tasa de infiltración, debido a su mayor porosidad y a su influencia sobre la mayor estabilidad de los agregados del suelo. En este sentido, los autores previamente mencionados señalan que la estabilidad de la agregación del suelo tiene una correlación positiva con la tasa de infiltración.

Por su parte, Chaudhry *et al.* (2004), evaluaron durante un año el efecto de diferentes tratamientos (suelo desnudo, acolchados con paja de arroz, lámina de polietileno y suelo con una labor mecánica) sobre la tasa de infiltración de agua de un suelo arcillo-limoso en una plantación de eucalipto y reportaron que la tasa de infiltración de agua en el suelo cubierto con diferentes tipos de acolchados permeables aumentó un 30% en comparación con el suelo desnudo.

En cuanto a la mayor infiltración en los suelos con acolchados plásticos versus el tratamiento testigo, puede ser explicado de acuerdo a lo planteado por Erenstein (2002), quien indica que uno de los efectos de los acolchados sobre la estructura y la tasa de infiltración de agua en el suelo es la reducción de la dispersión física del suelo y el sellado superficial, debido a la amortiguación de la energía cinética de las gotas (de lluvia y de riego por aspersión).

## 5.7. Cuantificación de unidades formadoras de colonias

### 5.7.1. Unidades Formadoras de Colonias de Hongos

Se realizó el análisis combinado de varianza, con previa evaluación de las varianzas en cada ciclo que permitiera su combinación, bajo un modelo básico de bloques completos al azar. Únicamente se encontraron diferencias altamente significativas en el tratamiento con acolchado plástico negro en el conteo de unidades formadoras de colonias de hongos para la interacción entre tratamientos y ciclos.

Tabla 48: Análisis de varianza para la interacción entre el ciclo de producción y los tratamientos evaluados para la variable Conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de Hongos.

Factor / tratamiento	p valor
<b>Ciclo</b>	<b>0.0013</b>
<b>Tratamiento</b>	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Ciclo x Tratamiento (p valor)</b>	<b>0.0225</b>
Blanco	ns
Negro	<b>&lt;0.0001</b>
Pasto 2 kg	ns
Pasto 3 kg	ns
Testigo	ns

En la prueba de comparación de medias de Fisher para el tratamiento con acolchado con plástico negro se observa que en el segundo ciclo se obtuvieron los mayores conteos de unidades formadoras de colonias de hongos (Tabla 8).

Tabla 49: Prueba de comparación de medias de Fisher para el conteo de unidades formadoras de colonias de hongos para la interacción entre tratamientos y ciclos, en el tratamiento con acolchado plástico negro.

Ciclo	Conteo de unidades formadoras de colonias de hongos
1	4.451 AB
2	4.507 A
3	4.236 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ )

Puesto que solo se encontraron diferencias significativas para la interacción entre el tratamiento con acolchado con plástico negro y ciclos para la variable de unidades formadoras de colonias de hongos, para las variables restantes el modelo para la comparación de medias fue solo evaluado en los efectos principales de ciclo y de tratamiento. Los resultados de los análisis de varianza se presentan en la tabla 50.

Tabla 50: Análisis de varianza para el número de unidades formadoras de colonia (UFC) de hongos en los tres ciclos de cultivo.

Fuente	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Tratamiento	0.0011	0.0004	<0.0001
Bloque	ns	ns	0.0071

### Primer ciclo de cultivo

Con respecto a los análisis de varianza para el primer ciclo del cultivo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.0011$ ). La prueba de contrastes ortogonales presentó diferencias significativas en el segundo ( $P > 0.0057$ ) y tercer ( $P > 0.0006$ ) contraste. Es decir, cuando se compararon los acolchados con pastos vs los acolchados con plásticos y cuando se compararon los acolchados con plástico negro vs plástico blanco (Tabla 51).

Tabla 51: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos en el primer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	-1.30	Ns
Pasto vs Plásticos	3.36	0.0057
P. Negro vs P. Blanco	-4.57	0.0006
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-2.02	Ns

Los promedios de las unidades formadoras de colonia se presentan en la tabla 52. Los valores más bajos se obtuvieron en el tratamiento con acolchado plástico negro (480,769 UFC), seguido por los tratamientos testigo (744,444 UFC), acolchado con pasto en dosis de 2 kg m<sup>-2</sup> (952,586 UFC) y plástico blanco (1,153,846 UFC). El mayor valor se encontró en el tratamiento con acolchado con pasto a razón de 3 kg m<sup>-2</sup> (1,370,833 UFC)

Tabla 52: Prueba de comparación de medias de Tukey para las unidades formadoras de colonia (UFC) de hongos en los tres ciclos del cultivo de lechuga.

Tratamiento	UFC de hongos		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Blanco	1,153,846 BC	1,165,179 B	836,538 B
Negro	480,769 A	625,000 A	287,356 A
Pasto 2 kg	952,586 ABC	1,095,833 B	774,691 B
Pasto 3 kg	1,370,833 BC	1,342,308 B	1,450,617 C
Testigo	744,444 AB	633,333 A	666,667 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ )

### Segundo ciclo de cultivo

El análisis de varianza presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.0004$ ). De la misma manera, los contrastes ortogonales (Tabla 53) presentaron diferencias significativas cuando se compararon el testigo con los restantes tratamientos ( $P > 0.0019$ ), los acolchados con pastos vs los acolchados con plásticos ( $P > 0.0044$ ) y cuando se compararon los acolchados con plásticos entre sí ( $P > 0.0019$ ).

Tabla 53: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	-3.96	0.0019
Pasto vs Plásticos	3.5	0.0044
P. Negro vs P. Blanco	-4.05	0.0016
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-1.32	Ns

Como se observa en la tabla 52, en el segundo ciclo se repitió la tendencia vista en el primer ciclo, ya que el tratamiento testigo y con acolchado plástico negro presentaron los valores más bajos de unidades formadoras de colonia (633,333 y 625,000 UFC, respectivamente). Los mayores valores se encontraron en los tratamientos con plástico blanco (1,165,179 UFC) y con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> (1,342,308 UFC).

### Tercer ciclo de cultivo

El ANAVA para el tercer ciclo presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $P > < 0.0001$ ). En la prueba de contrastes ortogonales (Tabla 54) se encontraron diferencias altamente significativas en los contrastes Pasto vs Plásticos ( $P > < 0.0001$ ), Plástico Negro vs Plástico Blanco ( $P > < 0.0001$ ) y entre pastos ( $P > 0.0003$ ).

Tabla 54: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos en el segundo ciclo del cultivo de lechuga.

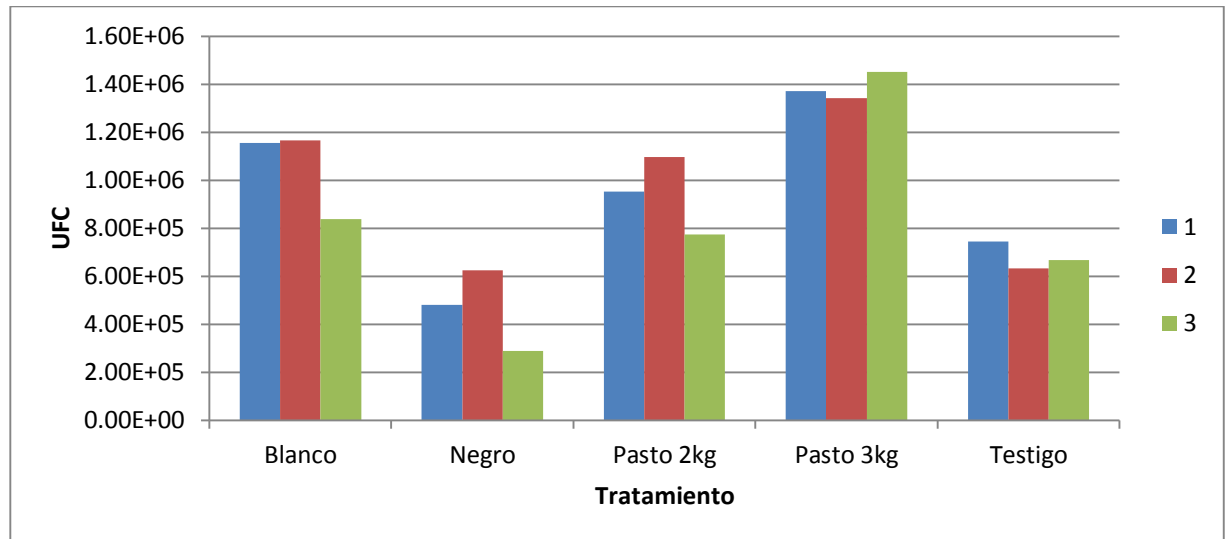
Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	-0.77	ns
Pasto vs Plásticos	9.05	<0.0001
P. Negro vs P. Blanco	-8.7	<0.0001
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-5	0.0003

El menor valor promedio de las unidades formadoras de colonia de hongos se encontró en el tratamiento con plástico negro (287,356 UFC) mientras que el mayor valor se registró en el tratamiento con acolchado con pasto en dosis de 3 kg m<sup>-2</sup> con 1,450,617 UFC.

Las unidades formadoras de colonia de hongos (figura 28) permiten concluir que los acolchados con pastos ofrecen un sustrato y un ambiente favorable para que estos

microorganismos puedan colonizar el área de rizosfera. Los resultados también sugieren que hay condiciones ambientales que no favorecen el establecimiento de hongos cuando se utilizan acolchados de color negro. Con los datos recolectados se puede indicar que los cambios en la temperatura del suelo durante el día propios del colchado con plástico negro pueden estar limitando el establecimiento de hongos. Esta hipótesis puede ser sustentada por lo descrito por infante (2004), que indica que el acolchado orgánico favorece el desarrollo y la actividad de diversos microorganismos que se encuentran en el suelo, ayudando también a mantener una temperatura constante para garantizar su actividad.

Figura 28: Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de hongos en los tratamientos evaluados en los tres (3) ciclos de cultivo de lechuga.



Como lo señalaron Heritage *et al.* (2003) y Acuña *et al.* (2006), entre las diferentes funciones de los hongos se encuentran la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos frescos o recién incorporados al suelo y, durante este proceso, su metabolismo libera diversas enzimas (por ejemplo, lacasas, lignina peroxidasa, celulasa) capaces de destruir compuestos de estructuras complejas, para obtener su fuente energética y alimenticia. Lo anteriormente mencionado explicaría el hecho que en los suelos con acolchados con pasto se encuentren las mayores unidades formadoras de colonia de hongos.

De otra parte, Gómez (2000), Acuña *et al.* (2006) y Bajoriené *et al.*, (2013) citando a Blanchart *et al.*, también señalan que los hongos liberan al medio proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y nutrientes, que favorecen el desarrollo de los cultivos. Esto explicaría, en parte, los altos rendimientos registrados en los tratamientos con pasto como acolchado.

### 5.7.2. Unidades Formadoras de Colonias de Bacterias

Los resultados de los análisis de varianza para esta variable se presentan en la tabla 55.

Tabla 55: Análisis de varianza para el número de unidades formadoras de colonia (UFC) de bacterias en los tres ciclos de cultivo.

Fuente	p-valor		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Tratamiento	ns	ns	0.0038
Bloque	ns	ns	ns

#### Primer ciclo de cultivo

Con respecto a los análisis de varianza para el primer ciclo del cultivo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.0981$ ). Los promedios de las unidades formadoras de colonia se presentan en la tabla 56. Los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos con acolchado con pasto a razón de 3 y 2 kg m<sup>-2</sup>, seguidos de los tratamientos con acolchado con plástico negro y blanco. El mayor valor se encontró en el tratamiento testigo (Tabla 56).

Tabla 56: Prueba de comparación de medias de Tukey para las unidades formadoras de colonia (UFC) de bacterias en los tres ciclos del cultivo de lechuga.

Tratamiento	UFC de bacterias		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Blanco	152,884,615	66,964,286	101,923,077 A
Negro	121,153,846	97,222,222	72,158,365 A
Pasto 2 kg	106,034,483	93,750,000	59,876,543 A
Pasto 3 kg	80,000,000	73,076,923	83,333,333 A
Testigo	206,666,667	104,166,667	200,000,000 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ )

#### Segundo ciclo de cultivo

El ANAVA no presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.5764$ ). Como se observa en la tabla 56, el testigo presentó el mayor valor de Unidades formadoras de colonias de bacterias.

### Tercer ciclo de cultivo

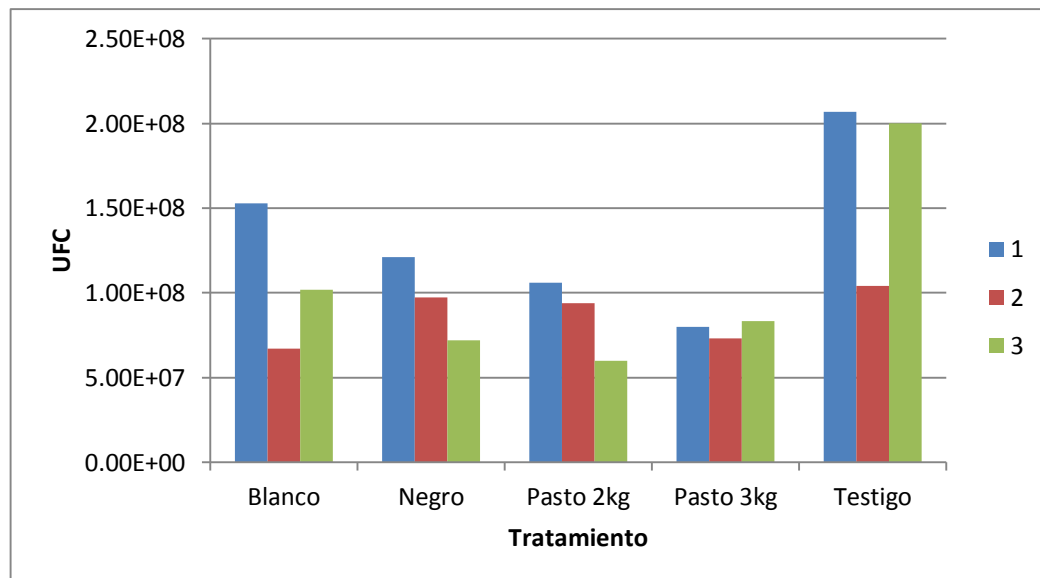
El análisis de varianza presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.0038$ ). La prueba de contrastes ortogonales presentó diferencias altamente significativas ( $P > 0.0005$ ) en el primer contraste, que compara el tratamiento testigo versus los restantes tratamientos (Tabla 57).

Tabla 57: Prueba de contrastes ortogonales del número de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias en el tercer ciclo del cultivo de lechuga.

Contraste	Valor de t	P>F
Testigo vs resto	4.77	0.0005
Pasto vs Plásticos	-1.09	ns
P. Negro vs P. Blanco	-1.52	ns
Pasto 2kg vs Pasto 3kg	-1.33	ns

En la tabla 56, se observa que, continuando con la tendencia de los ciclos anteriores, el testigo presentó significativamente una mayor cantidad de Unidades formadoras de colonias de bacterias. Esta tendencia (Figura 29) puede ser explicada por la aplicación de bacterias en las fumigaciones realizadas para el manejo de insectos plaga y enfermedades. En este tratamiento, al no haber una cobertura sobre el suelo, un gran número de esporas alcanzaron la superficie del suelo. Por el contrario, en los tratamientos con acolchados las esporas quedaron sobre los plásticos o el pasto, impidiendo que alcanzaran a establecerse en el suelo.

Figura 29: Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de bacterias en los tratamientos evaluados en los tres (3) ciclos de cultivo de lechuga.



En cuanto a las unidades formadoras de colonia de bacterias que se contabilizaron en los tratamientos con plásticos y con pastos, se observa que en los suelos cubiertos con pastos tiende a disminuir con el paso del tiempo. Esta situación puede ser explicada por Acuña *et al.* (2006), que afirman que la presencia de otros organismos antagónicos es uno de los

factores que puede afectar negativamente las poblaciones de bacterias. En efecto, como se observó en el apartado anterior, los suelos con cobertura con pasto presentaron la tendencia de aumentar las unidades formadoras de colonia de hongos a medida que transcurrían los ciclos de cultivo.

## 5.8. Correlación entre el rendimiento y las variables evaluadas

Para relacionar las variables independientes con las variables dependientes (Rendimiento y peso de cabezas) se evaluó un modelo de regresión múltiple (Tablas 58 y 59). Para tal fin se determinó inicialmente la multicolinealidad de las variables independientes. Dado que la porosidad se calcula con base en la densidad aparente, se encontró un alto valor de correlación entre dichas variables. Por lo tanto fue necesario retirar la variable porosidad de los análisis para corregir la multicolinealidad que es una violación a los supuestos del análisis (Bernal M., 2014) en la que las variables independientes (en este caso porosidad y densidad aparente) están fuertemente interrelacionadas y, por lo tanto, resulta difícil medir sus efectos individuales sobre las variables dependientes (Anexos K y L).

Tabla 58. Coeficientes de correlación Pearson de variables dependientes e independientes. Rend=Rendimiento; PCabeza=Peso de cabezas de lechuga; DPM=Diámetro Ponderado Medio; DA=Densidad Aparente; Porosid=Porosidad; Delta T=Delta de temperatura; Hongos=Unidades Formadoras de Colonias de hongos; Bacteria=Unidades Formadoras de Colonias de Bacterias.

Coeficientes de correlación Pearson, N = 15  
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	<u>Rend</u>	<u>PCabeza</u>	<u>DPM</u>	<u>DA</u>	<u>Porosid</u>	<u>Delta T</u>	<u>Hongos</u>	<u>Bacteria</u>
<u>Rend</u>	1.00000 <.0001	1.00000 <.0001	0.74561 0.0014	-0.78439 0.0005	0.78847 0.0005	0.51936 0.0472	0.01077 0.9696	-0.48791 0.0650
<u>PCabeza</u>	1.00000 <.0001	1.00000 <.0001	0.74605 0.0014	-0.78458 0.0005	0.78865 0.0005	0.51946 0.0472	0.01028 0.9710	-0.48802 0.0650
<u>DPM</u>	0.74561 0.0014	0.74605 0.0014	1.00000	-0.65245 0.0084	0.66108 0.0073	0.66100 0.0073	-0.14541 0.6051	-0.53614 0.0394
<u>DA</u>	-0.78439 0.0005	-0.78458 0.0005	-0.65245 0.0084	1.00000	-0.99950 <.0001	-0.43992 0.1008	-0.13601 0.6289	0.60139 0.0177
<u>Porosid</u>	0.78847 0.0005	0.78865 0.0005	0.66108 0.0073	-0.99950 <.0001	1.00000	0.44494 0.0965	0.13131 0.6409	-0.60062 0.0179
<u>Delta T</u>	0.51936 0.0472	0.51946 0.0472	0.66100 0.0073	-0.43992 0.1008	0.44494 0.0965	1.00000	-0.41160 0.1274	0.00093 0.9974
<u>Hongos</u>	0.01077 0.9696	0.01028 0.9710	-0.14541 0.6051	-0.13601 0.6289	0.13131 0.6409	-0.41160 0.1274	1.00000	-0.10720 0.7037
<u>Bacteria</u>	-0.48791 0.0650	-0.48802 0.0650	-0.53614 0.0394	0.60139 0.0177	-0.60062 0.0179	0.00093 0.9974	-0.10720 0.7037	1.00000

Tabla 59. Coeficientes de correlación Pearson de variables independientes. DPM=Diámetro Ponderado Medio; DA=Densidad Aparente; Porosid=Porosidad; Delta T=Delta de temperatura.

Coeficientes de correlación Pearson Prob >  r  suponiendo H <sub>0</sub> : Rho=0 Número de observaciones				
	<u>DPM</u>	<u>DA</u>	<u>Porosid</u>	<u>Delta T</u>
<u>DPM</u>	1.00000 0.0730 45	-0.26983 0.0730 45	0.27101 0.0717 45	0.52668 0.0002 45
<u>DA</u>	-0.26983 0.0730 45	1.00000 60	-0.99952 <.0001 60	-0.15726 0.3022 45
<u>Porosid</u>	0.27101 0.0717 45	-0.99952 <.0001 60	1.00000 60	0.15623 0.3054 45
<u>Delta T</u>	0.52668 0.0002 45	-0.15726 0.3022 45	0.15623 0.3054 45	1.00000 45

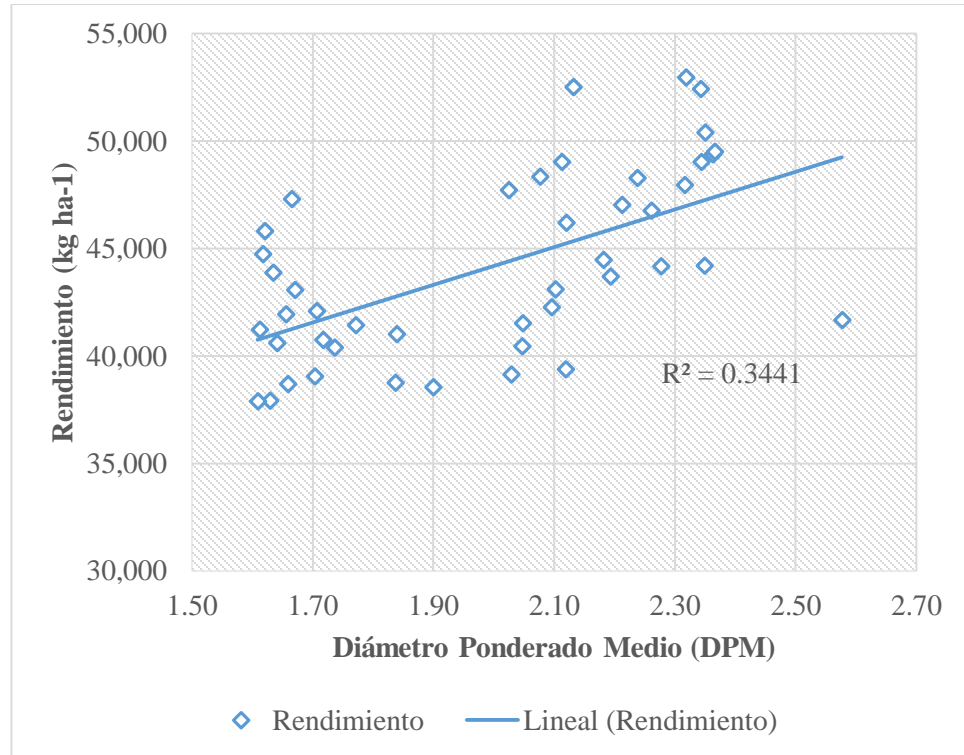
Posteriormente, se seleccionó un modelo de relación mediante la metodología Stepwise o “paso a paso”, en la cual la construcción de la ecuación de regresión se realiza seleccionando las variables una a una. De esta forma se puede obtener, de entre todas las posibles variables explicativas, aquellas que más y mejor expliquen la variable dependiente (rendimiento, en este caso), sin que ninguna de ellas sea combinación lineal de las restantes (Rodríguez Jaume y Mora Catalá, 2001). Del análisis en mención se encontró que solo el diámetro ponderado medio (DPM) afecta la variable de rendimiento con una tasa de 8761 kg mm<sup>-1</sup> (Tabla 60), con un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) del 0.34.

Tabla 60: Análisis de regresión lineal múltiple mediante la metodología Stepwise para el rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) y el Diámetro Ponderado Medio (DPM).

Variable	Grados de libertad	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )		
		Estimador del parámetro	Valor t	P>[t]
Intercepto	1	26,655	7.13	<0.0001
Diámetro Ponderado Medio (DPM)	1	8,761	4.73	<0.0001

En otras palabras, la variabilidad del rendimiento puede ser explicada en un 33% por los cambios en el diámetro ponderado medio (DPM) de los agregados del suelo (Figura 30).

Figura 30: Relación entre el Diámetro Ponderado Medio (DPM) y el Rendimiento del cultivo (kg ha<sup>-1</sup>) de lechuga.



Este resultado se puede explicar porque en suelos con mayor porcentaje de agregados finos, que no tienen la capacidad de mantener su forma, cuando se someten a fuerzas de tensión generadas por el agua, tienden a disminuir su porosidad y a ser muy afectados por eventos como riego o lluvia. En efecto, durante el primer ciclo de cultivo se presentó una alta precipitación que influyó en el tamaño de los agregados de los tratamientos testigo y pasto 2 kg m<sup>-2</sup> (tabla 23) que, además, registraron los menores rendimientos (Tabla 12).

En cuanto al diámetro ponderado medio (DPM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2000) indica que los agregados muy finos, relacionados con DPM de menor valor, afectan el adecuado suministro de aire y que, por lo tanto, el tamaño más apropiado está entre 2 y 3 mm, asociado con un equilibrio entre macro y micro poros, un adecuado suministro de aire y agua, lo que favorece el desarrollo de las plantas (Figura 30).

## 6. Conclusiones

La práctica de colocar acolchados sobre la superficie del suelo, ya sean de naturaleza orgánica o sintética, no incrementaron los rendimientos del cultivo de lechuga de forma significativa en todos los ciclos de cultivo.

Diferencias significativas se obtuvieron en el rendimiento en el segundo ciclo de cultivo. Los tratamientos que presentaron los mayores promedios fueron los acolchados con plástico negro y con pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ .

Los mayores promedios acumulados en los tres ciclos de cultivo en el peso de las cabezas y en el rendimiento se obtuvieron en el tratamiento con acolchado con pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ .

El acolchado con plástico blanco presentó consistentemente los menores promedios en la temperatura del suelo en las lecturas tomadas a las 12 m. y a las 3 pm. Así mismo, en el tercer ciclo de cultivo, este tratamiento fue el que presentó significativamente la menor fluctuación de temperatura del suelo.

El uso de acolchados orgánicos en dosis de 2 y  $3 \text{ kg m}^{-2}$  permitieron disminuir significativamente la densidad aparente del suelo en el tercer ciclo de cultivo con respecto al tratamiento testigo.

El efecto de los acolchados en el porcentaje de agregados estables al agua se presenta especialmente en los agregados de menor tamaño, es decir, aquellos menores a 1 mm de diámetro. En efecto, al finalizar el tercer ciclo de cultivo, el tratamiento testigo presentó significativamente el mayor porcentaje de agregados finos menores a 0.5 mm. Estos resultados indican que el uso de acolchados favorece el proceso de formación de agregados de mayor tamaño que están asociados a suelos con menor susceptibilidad a procesos erosivos y de degradación.

El uso de acolchados permite incrementar la velocidad de la infiltración de agua con el transcurso del tiempo. De hecho, en el tercer ciclo de cultivo, la tasa de infiltración es mayor en los primeros 10 minutos en los suelos con acolchados orgánicos y sintéticos. Este efecto permite disminuir la escorrentía en eventos con fuertes precipitaciones, lo que reduce las pérdidas de capa arable por efecto de la erosión hídrica.

La aplicación de pasto en dosis de  $3 \text{ kg m}^{-2}$ , en forma de acolchado, generó condiciones favorables para el establecimiento de hongos desde el primer ciclo hasta el tercer ciclo de

|

cultivo. Por el contrario, esta dosis de pasto disminuye significativamente el número de unidades formadoras de colonias de bacterias en el tercer ciclo de cultivo.

El diámetro ponderado medio de los agregados del suelo es el indicador de la estabilidad estructural que mejor explica el incremento en el rendimiento del cultivo de lechuga, mediante la formación de agregados de mayores tamaños y más resistentes al agua.

## 7. Recomendaciones

Evaluar diferentes tipos de acolchados orgánicos y biodegradables que sean económicamente competitivos y fáciles de adquirir en las zonas hortícolas de la Sabana de Bogotá.

Evaluar la influencia sobre la temperatura y las poblaciones de microorganismos del suelo con el uso de acolchados sintéticos de diversos colores y calibres, en las principales zonas hortícolas de la Sabana de Bogotá.

Realiza trabajos de investigación que permitan evaluar los cambios en la concentración de elementos del suelo, por efecto de la utilización de acolchados orgánicos y sintéticos en cultivos de hortalizas.

Determinar los cambios en la densidad aparente, porosidad y compactación del suelo con el uso prolongado de acolchados en camas de cultivos de hortalizas.

Identificar las poblaciones de hongos y bacterias que encuentran condiciones favorables para desarrollarse con el uso de acolchados en los cultivos de hortalizas.

Realizar investigaciones para determinar el efecto de prácticas agronómicas como labranza, rotación de cultivos, uso de herbicidas, incorporación de materia orgánica, en la dinámica de poblaciones de hongos y bacterias en sistemas hortícolas que utilicen acolchados.

Evaluar diferentes tipos de acolchados en zonas donde se presenten problemas de erosión por efecto de la pendiente, con el fin de determinar si esta práctica permite la producción comercial de cultivos hortícolas, bajo un esquema de conservación y mejoramiento de las propiedades físicas y biológicas del suelo.

## 8. Bibliografía

- Bajorienė, K., Jodaugienė, D., Pupalienė, R., & Sinkevičienė, A. (2013). Effect of organic mulches on the content of organic carbon in the soil. *Estonian Journal of Ecology*, 62(2), 100-106.
- © FAO. (06 de 09 de 2014). *FAOSTAT*. Obtenido de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>
- Acharya, C. L., Hati, K. M., & Bandyopadhyay, K. K. (2005). Mulches. En *Encyclopedia of soils in the environment* (págs. 521-532). Oxford: Elsevier.
- Acosta-Martínez, V., Reicher, Z., Bischoff, M., & Turco, R. F. (1999). The role of tree leaf mulch and nitrogen fertilizer on turfgrass soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 29(1), 55-61.
- Acuña, O.; Peña, W.; Serrano, E.; Pocasangre, L.; Rosales, F.; Delgado, E.; Trejos, J.; Segura, A. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. *XVII Reunión Internacional ACORBAT*, (págs. 222-233). Joinville, Santa Catarina - Brasil.
- Adetunji, I. A. (1990). Effect of mulches and irrigation on growth and yield of lettuce in semi-arid region. *Biotronics*, 19, 93-98.
- Alvarado, P., & Castillo, H. (1999). Acolchado de suelo mediante filmes de polietileno. *Agroeconómico*, 50, 47-52.
- Álvarez, C. R., Taboada, M. A., Gutiérrez Boem, F. H., Fernandez, P. L., & Prystupa, P. (2006). Distintos manejos del suelo en La Pampa Ondulada: I. Efecto sobre las propiedades físicas. *XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta, Argentina: AACS.
- Amezquita, E. (1994). Residuos orgánicos superficiales (Mulch), su importancia en el manejo de los suelos. *VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo* (págs. 9-15). Bucaramanga - Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Arrellano, J., Ríos, P., & Castillo, I. (2003). Utilización de tecnologías de producción modernas para obtener ventajas de mercado: los casos del acolchado plástico y semillas híbridas en melón en la comarca lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 12, 582-595.
- Arshad, M. A., & Coen, G. M. (1992). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 25-31.
- Astier Calderón, M., Maass Moreno, M., & Etchevers Barra, J. (septiembre - octubre de 2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.
- Avendaño, S., & Villamizar, G. (1997). *Evaluación del efecto de acolchados plásticos y gallinaza en el crecimiento y rendimiento del cultivo de brócoli (Brassica oleracea L. variedad Itálica) en la Sabana de Bogotá*. Bogotá D.C.: Tesis, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.
- Bandyopadhyay, K. K., Hati, K. M., & Singh, R. (2009). Management Options for Improving Soil Physical Environment for Sustainable Agricultural Production: A Brief Review. *Journal of Agricultural Physics*, 9, 1-8.

- Barche, S., & Nair, R. (2014). Mulching- An Effective Conservation Technique in Olericulture. *Popular Kheti*, 2(2), 49-55.
- Barticevic, M. C. (1997). *Efecto de distintos tipos de acolchado de polietileno en la produccion de lechuga*. Santiago de Chile: Trabajo de grado. Universidad de Chile. Escuela de Agronomia.
- Berger, S., Kim, Y., Kettering, J., & Gebauer, G. (2013). Plastic mulching in agriculture— Friend or foe of N<sub>2</sub>O emissions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 167, 43-51.
- Bernal M., E. (2014). *Bioestadística Básica para Investigadores con SPSS* (Primera ed.). España: S.L., Bubok Publishing.
- Bio Intelligence Service. (2011). *Plastic waste in the environment. Revised final report*. Paris, France: European Commission (DG Environment); Institute for European Environmental Policy;.
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2009). 'Crop Residue Removal Impacts on Soil Productivity and Environmental Quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3), 139-163.
- Bockheim, J. G., Gennadiyev, A. N., Hammer, R. D., & Tandarich, J. P. (2005). Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*(124), 23-36.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A. C., & Soriano-Soto, M. D. (2001). Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena*, 44, 47-67.
- Bond, W., & Grundy, A. C. (2001). Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, 41(5), 383-405.
- Bossuyt, H., Deneff, K., Six, J., Frey, S. D., Merckx, R., & Paustian, K. (2001). Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology*, 16(3), 195-208.
- Bottenberg, H., Masiunas, J., & Eastman, C. (1999). Strip tillage reduces yield loss of snapbean planted in rye mulch. *HortTechnology*, 9, 235-240.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3-22.
- Brown, A. D., Dexter, A. R., Chamen, W. C., & Spoor, G. (1996). Effect of soil macroporosity and aggregate size on seed-soil contact. *soil and Tillage Research*, 38, 203-216.
- Campos, C., & Cardenas, M. (2001). *Evaluación de pruebas de ecotoxicidad en las aguas del municipio de Mosquera, Cundinamarca (Colombia) : informe final de actividades del proyecto*. Bogotá DC: Pontificia Universidad Javeriana.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 5(2), 173-178.
- Chaudhry, M. R., Maik, A. A., & Sidhu, M. (2004). Mulching Impact on Moisture Conservation—Soil Properties and Plant Growth. *Pakistan Journal of Water Resources*, 8(2), 1-8.
- Coleman, D., Crossley, D., & Hendrix, P. (2004). *Fundamentals of soil ecology* (Second ed.). Athens, Georgia: Elsevier Academic Press.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca . (2000). *Informe para el comité técnico: Distrito de riego y drenaje La Ramada*. Bogotá DC.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca .

- Coventry, J. M., Fisher, K. H., Strommer, J. N., & Reynolds, A. G. (2005). Reflective mulch to enhance berry quality in Ontario wine grapes. *Acta Horticulturae*, 95-101.
- Degens, B. P. (1997). Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 35(3), 431-460.
- Denef, K., Six, J., Bossuyt, H., Frey, S. D., Elliott, E. T., Merckx, R., & Paustian, K. (2001). Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter and microbial community dynamics. *Soil Biology & Biochemistry*, 33(12-13), 1599-1611.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2012). *Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria*. Bogotá DC.: DANE.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842-852.
- Dexter, A. R. (2002). Soil structure: the key to soil function. *Advances in Geocology*, 35, 57-69.
- Diario Oficial de la Unión Europea. (15 de 6 de 2011). Parte 4: Norma de comercialización para las lechugas, las escarolas de hoja rizada y las escarolas de hoja lisa. *REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) No 543/2011 DE LA COMISIÓN de 7 de junio de 2011*, pág. 157.
- Diaz-Zorita, M., Perfect, E., & Grove, J. H. (2002). Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil and Tillage Research*, 64, 3-22.
- Dotterweich, M. (2013). The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation—A global synopsis. *Geomorphology*, 201, 1-34.
- Duiker, S. W., & Lal, R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 52, 73-81.
- Erenstein, O. (2002). Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil & Tillage Research*, 67, 115-133.
- Etchevers, B. (1999). Indicadores de calidad de suelos. *Conservación y restauración de suelos* (págs. 239-262). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente.
- Etchevers, B., Fisher, I., Vidal, I., Sayre, K., & Sandoval, M. (2000). Labranza de conservación, índices de calidad del suelo y captura de carbono. *Memorias Simposio Internacional de Labranza de Conservación*. Mazatlán, Sinaloa: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias - Produce.
- Flint, A. L., & Flint, L. E. (2002). Particle density. En J. H. Dane, & G. C. Topp, *Soil Sampling and Methods of Analysis. Part 4. Physical Methods* (págs. 229-240). Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Book Series: 5.
- Forero, G., & Ramos, J. (1996). *Evaluación de coberturas plásticas en el crecimiento de un cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) variedad Grandes Lagos bajo condiciones de la Sabana de Bogotá*. Bogotá D.C.: Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.
- Fortun, C., & Fortun, A. (1989). Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 48, 185-204.

- Foshee, W., Goff, W., Tilit, K., & Williams, J. (1996). Organic mulches increase growth of young Pecan trees. *HortScience*, 31(5), 811-812.
- Franzluebbers, A. J., Haney, R. L., Honeycutt, C. W., Arshad, M. A., Schomberg, H. H., & Hons, F. M. (2001). Climatic influences on active fractions of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 1103-1111.
- García-Orenes, F.; Cerda, A.; Mataix-Solera, J.; Guerrero, C.; Bodí, M. B.; Arcenegui, V.; Zornoza, R.; Sempere, J. G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, 106, 117-123.
- Gollany, H. T., Schumacher, T. E., Evenson, P. D., Lindstrom, M. J., & Lemme, G. D. (1991). aggregate stability of an eroded and desurfaced Typic Argiustoll. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 811-816.
- Gómez Zambrano, J., Pineda Santos, A. B., & Prager Mosquera, M. (2002). *Acolchados orgánicos (mulch)*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Gómez, J. (2000). *La materia orgánica en los agroecosistemas*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- González Pelayo, O. (2011). *Dinámica de la humedad del suelo. Propiedades físicas y escorrentía en laderas mediterráneas afectadas por incendios forestales*. Valencia: Tesis Doctoral. Universitat de València.
- González, A., Fernández, J. A., Martín, P., Rodríguez, R., López, J., Bañón, S., & Franco, J. A. (2003). Behaviour of Biodegradable Film for Mulching in Open-Air Melon Cultivation in South-East Spain. *Biodegradable materials and natural fibre composites in agriculture and horticulture International symposium* (págs. 71-77). Hanover, Germany: Kuratorium fur Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL SCHRIFT).
- Google Earth. (Septiembre de 2014). *Google Earth*. Obtenido de <http://earth.google.es>
- Gross, R. A., & Kalra, B. (2002). Biodegradable Polymers for the Environment. *Science*, 297, 803-807.
- Hadas, A., Rawitz, E., Etkin, H., & Margolin, M. (1994). Short-term variations of soil physical properties as a function of the amount of C/N ratio of decomposing cotton residues. I. Soil aggregation and aggregate tensile strength. *Soil and Tillage Research*, 32, 183-198.
- Hartemik, A. E. (1998). Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, 283-306.
- Hartwig, N., & Ammon, H. (2002). Cover crops and living mulches. *Weed science*, 50(6), 688-699.
- Heritage, J., Evans, E. V., & Killington, R. A. (2003). *Microbiology in action* (1st ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 1999: Cambridge Books Online. Web. 03 October 2014.
- Holeplass, H., Singh, B. R., & Lal, R. (2004). Carbon sequestration in soil aggregates under different crop rotation and nitrogen fertilization in an inceptisol in Southeastern Norway. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70, 167-177.
- Ibarra-Jiménez, L., Flores, J., Quezada, M. R., & Zermeño, A. (2004). Acolchado, riego y micro túneles en tomate, chile Anaheim y chile pimienta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 179-187.
- Infante, A. (2004). Abonos verdes y Mulch. *Chile Agrícola*, 29(266), 30-31.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2000). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca* (Vol. Tomo 2). Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1996). *Diccionario Geográfico de Colombia* (Tercera ed., Vol. 4). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. 613.
- Jaramillo, J. (2003). Efecto del uso de coberturas plásticas (mulch) del suelo en el rendimiento y control de plagas y enfermedades en los cultivos de tomate, pimentón y pepino.
- Jordán, A., Zavala, L., & Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81, 77-85.
- Jury, W., & Horton, R. (2004). *Soil Physics* (6th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 501-529.
- Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 501-529.
- Kuzyakov, Y. (2010). Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*, 42, 1363-1371.
- Kyrikou, I., & Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(2), 125-150.
- Lado, M., Paz, A., & Ben-Hur, M. (2004). Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 935-942.
- Lamont, W. J. (2005). Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *Hort Technology*, 15, 477-481.
- Larreal, M., Chirinos, I., Jiménez, L., Polo, V., Peters, W., & Noguera, N. (2009). Variabilidad de algunas de las propiedades físicas de un suelo para la definición de la serie “Los Cortijos”, sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo, Venezuela. *Revista UDO Agrícola*, 9(4), 925-936.
- Leal, G. R., & Crawford, M. A. (2007). *Influence of reflective mulch on Pinot noir grape and wine quality. A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Applied Science (thesis Only) at Lincoln University*. New Zealand: Lincoln University.
- León Peláez, J. D. (2001). *Estudio y control de la erosión hídrica*. Medellín: Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Colombia.
- Li, C., Moore-Kucera, J., Lee, J., Corbin, A., Brodhagen, M., Miles, C., & Inglis, D. (2014). Effects of biodegradable mulch on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 79, 59-69.
- Li, F.-M., Song, Q.-H., Jjemba, P. K., & Shi, Y.-C. (2004). Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry*, 36, 1893-1902.
- Lugo-Perez, J., & Lloyd, J. E. (2009). Ecological Implications of Organic Mulches in Arboriculture: A Mechanistic Pathway Connecting the Use of Organic Mulches with Tree Chemical Defenses. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35(4), 211-217.

- Márquez, C. O., García, V. J., Cambardella, C. A., Schultz, R. C., & Isenhardt, T. M. (2004). Aggregate-Size Stability Distribution and Soil Stability. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 725-735.
- Marrero, D., Pulido, L., Cubillas, N., Mazorra, C., Rodríguez, M., Rodríguez, L., & Castellano, L. (2009). Cubierta vegetal con *Teramnus labialis* en plantaciones cítricas: Efectos sobre algunas propiedades físicas del suelo. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 30(suplemento 1), 1073-1082.
- Martens, D. A., & Frankenberger, W. T. (1992). Modification of infiltration rates in an organic-amended irrigated soil. *Agronomy Journal*, 84, 707-717.
- Matheus L., J., Caracas, J., Montilla, F., & Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* l. *Agricultura Andina*, 13, 27-38.
- Melo, L., & Ramírez, J. (2001). *Evaluación de dos tipos de coberturas en Brócoli (Brassica oleracea L.) y lechuga (Lactuca sativa L.) en la Sabana de Bogotá*. Fusagasuga. : Trabajo de Grado. Universidad de Cundinamarca.
- Miles, C., Wallace, R., Wszelaki, A., Martin, J., Cowan, J., Walters, T., & Inglis, D. (2012). Deterioration of potentially biodegradable alternatives to black plastic mulch in three tomato production regions. *Hortscience*, 47, 1270-1277.
- Miles, C., Wallace, R., Wszelaki, A., Martin, J., Cowan, J., Walters, T., & Inglis, D. (2012). Deterioration of potentially biodegradable alternatives to black plastic mulch in three tomato production regions. *Hortscience*, 47, 170-1277.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2012). Consideraciones para pensar en el fortalecimiento del sector hortofrutícola colombiano. *Memorias. 4o Congreso Nacional Hortofrutícola*. Medellín: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2000). *Apuesta exportadora agropecuaria 2006-2020*. Bogotá DC.
- Misle A., E., & Norero Sch., A. (2002). Comportamiento térmico del suelo bajo cubiertas plásticas: II. Efecto del polietileno transparente a diferentes profundidades. *Agricultura Técnica*, 62(1), 133-142.
- Mohamed, A. A., Saeed , A. B., & Mohamed, A. M. (2009). Effect of surface-applied millet stalk mulch on soil bulk density and total porosity. *Journal of Science Education and Technology*, 10(1), 1-13.
- Montenegro, H., & Malagón, D. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Moreno, M. M., & Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on productivity and soil thermal and biological properties in a tomato crop. *Scientia Horticulturae*, 116, 256-263.
- Moreno, M. M., Moreno, C., & Tarquis, A. M. (2013). Mulch materials in processing tomato: a multivariate approach. *Scientia agricola*, 70(4), 250-256.
- Mota, M. S.; Cremon, C.; Mapeli, N. C.; Da Silva, W. M. ; Magalhães, W. A.; Cremon, T.; (2011). Qualidade e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico típico em diferentes sistemas de. *Revista Agrarian*, 4(12), 105-112.
- Mulumba, L. N., & Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 98, 106-111.

- Munguia, J., Zermeño, A., Quezada, R., De La Rosa, M., Ibarra, I., & Torres-B., A. (2004). Relación entre los componentes del balance de energía y la Resistencia estomática en el cultivo de melón bajo acolchado plástico. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 181-192.
- Ngouajio, M., & Ernest, J. (2004). Light transmission through colored polyethylene mulches affected weed population. *HortScience*, 39(6), 1302-1304.
- Nigouajio, M., Auras, R., Fernandez, R. T., Rubino, M., Counts, J. W., & Kijchavengkul, T. (2008). Field performance of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system. *HortTechnology*, 18(4), 605-610.
- Olalde Portugal, V., & Aguilera Gómez, L. I. (1998). Microorganismos y Biodiversidad. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 289-292.
- Oliveira, M. T., & Merwin, I. A. (2001). Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. *Plant Soil*, 234, 233-237.
- ONU/WWAP. (2003). *1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, agua para la vida*. París, Nueva York y Oxford: Naciones Unidas -Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y Berghahn Books.
- Pagliai, M. (2003). Soil surface sealing and crusting—soil compaction. *College on Soil Physics* (pág. 24). Trieste, Italy: International Centre for Theoretical Physics.
- Perfect, E., & Kay, B. D. (1990). Relations between aggregate stability and organic components for a silt loam soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 72, 731-735.
- Perfect, E., Kay, B. D., Van Loon, W. K., Sheard, R. W., & Pojasok, T. (1990). Factors Influencing Soil Structural Stability within a Growing Season. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 173-179.
- Pla I Sentís, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Alcance*, 32, 91.
- Pla I Sentís, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades Físicas de los suelos: Dificultades más frecuentes. II-Propiedades Hidrológicas. *Suelos Ecuatoriales*, 40(2), 94-127.
- Pla I Sentís, I. (2010). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: Dificultades y errores más frecuentes. I- Propiedades Mecánicas. *Suelos Ecuatoriales*, 40(2), 75-93.
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (2a ed.). Barcelona, España: Ediciones Mundo-Prensa.
- Quezada, R., De la Rosa, M., Munguia, J., Ibarra, L., & Cedeno, B. (2003). Differences in the degradation of padded photodegradable films, caused by the management of melon cultivation (*Cucumis melo* L.). *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 72, 135-142.
- Rahman, M. J., Uddin, M. S., Bagum, S. A., Mondol, A. T., & Zaman, M. M. (2006). Effect of mulches on the growth and yield of tomato in the costal area of Bangladesh under rainfed condition. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 1, 6-10.

- Rodríguez Jaume, M. J., & Mora Catalá, R. (2001). *Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Rose, M. A., & Smith, E. (2001). *Ohio State University Extension, online Fact Sheet, "Mulching Landscape Plants", HYG-1083-96*. Obtenido de <http://ohioline.osu.edu/hyg-fact/1000/1083.html>
- Ruan, H. X., Ahuja, L. R., Green, T. R., & Benjamin, J. G. (2001). Residue cover and surface-sealing effects on infiltration: numerical simulations for field applications. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 853-861.
- Salton, J. C., & Mielniczuk, J. (1995). Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19(2), 313-319.
- Sánchez Valverde, E. (2013). *Aplicación de nuevas técnicas de cultivo para el ciruelo*. Elche: Tesis Doctoral. Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Seguel, O., García de Cortázar G. de C., V., & Casanova, M. (2003). Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica*, 63(3), 287-297.
- Sellés Van Schouwen, G., Ferreyra Espada, R., Ruiz Schneider, R., Ferreyra Bustos, R., & Ahumada Briones, R. (2012). Compactación de suelos y su control: Estudio de casos en El Valle de Aconcagua. *Boletín INIA*(234), 53.
- Shimao, M. (2001). Biodegradation of plastics. *Current Opinion in Biotechnology*, 1, 42-247.
- Shukla, M. K., Lal, R., & Ebingerb, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & tillage Research*, 87(2), 194-204.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79, 7-31.
- Smart, D. R., Schwass, E., Lakso, A., & Morano, L. (2006). Grapevine rooting patterns: A comprehensive analysis and review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(1), 89-104.
- Su, N. (2010). Theory of infiltration: Infiltration into swelling soils in a material coordinate. *Journal of Hydrology*, 395, 103-108.
- Taboada, M. A., & Álvarez, C. R. (2008). *Fertilidad Física de los suelos* (2a ed.). Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Tarara, J. M. (2000). Microclimate modification with plastic mulch. *Hortscience*, 35, 169-180.
- Tarara, J. M., & Ham, J. M. (1999). Measuring the sensible heat flux in plastic mulch culture with aerodynamic conductance sensors. *Agricultural and forest meteorology*, 95(1), 1-13.
- Traub Ponce, M. R. (2011). *Uso de una emulsión orgánica y mulch como medida de control de erosión en una ladera cultivada con vid, vi región de Chile*. Santiago, Chile.
- Turney, J., & Menge, J. (1994). *Root health: mulching to control root diseases in avocado and citrus*. University of California, Riverside circular CAS 94/2.
- Unger, P. W. (2001). Paper pellets as a mulch for dryland grain sorghum production. *Agronomy Journal*, 93, 349-357.

- Unger, P. W., & Jones, O. R. (1998). Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil and Tillage Research*, 45, 39-57.
- Van der Gulik, T. W. (1999). *British Columbia Trickle Irrigation Manual*. Abbotsford, British Columbia, Canada: Ministry of Agriculture and Food Resource Management Branch and Irrigation Industry Association of British Columbia.
- Vélez, M., & Vélez, J. (2002). *Capítulo 8:Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica.* . Obtenido de <http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrología.html>
- Vergara, J., Fuster, R., León, A., & León, P. (2011). *Manual técnico: Manejo del riego en condiciones de sequía*. Santiago de Chile: Programa de Aguas y Sociedad. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. Universidad de Chile.
- Walters, S. A. (2003). Suppression of watermelon mosaic virus in summer squash with plastic mulch and rowcovers. *HortTechnology*, 13(2), 352-357.
- World Water Assessment Programme - WWAP. (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. Paris: Unesco.
- Yang, Y.-m., Liu, X.-j., Li, W.-g., & Li, C.-z. (2006). Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. *Journal Of Zhejiang University Science B*, 7(11), 858-867.
- Zambrano, J., Pineda, A., & Mosquera, M. (2002). *Acolchados orgánicos (mulch)*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Zhang, T. Q., Tan, C. S., & Warner, J. (2007). Fresh market sweet corn production with clear and wavelength selective soil mulch films. *Canadian Journal of Plant Science*, 87(3), 559-564.
- Zobeck, T. M.; Popham, T. W.; Skidmore, E. L.; Lamb, J. A.; Merrill, S. D.; Lindstrom, J. M.; Mokma, D. L.; Yoder, R. E. (2002). Aggregate-Mean Diameter and Wind-Erodible Soil Predictions Using Dry aggregate-size distributions. *Soil Science Society of America Journal*, 67(2), 425-436.
- Zribi, W. (2013). *Efectos del acolchado sobre distintos parámetros del suelo y de la nectarina en riego por goteo*. Zaragoza, España: Universitat de Lleida. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl.
- Zribi, W., Faci, J. M., & Aragüés, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria*, 107(2), 148-162.

# Anexo A: Resultado del análisis físicoquímico de laboratorio del suelo antes de la instalación del experimento



Calle 79B No. 70-16 Bogotá, D.C.  
Teléfono: 2231999  
Telefax: 2234087  
email: agrilab@etb.net.co

Página 1 de 1

## ANÁLISIS DE SUELO

10-27-2011

Campo  Invernadero  No. Laboratorio 82635

Remitente	Ing. Sergio Henríquez	Propietario	Ing. Sergio Henríquez
Ciudad		Asist. Técnico	
Dirección		Fecha Muestreo	14/10/2011
Teléfono		Fecha Recepción	14/10/2011

Cultivo	LECHUGA	Municipio	BOGOTA D.C.
Cultivar	NO ESPECIFICADO	Departamento	BOGOTA
Densidad	0	Finca	Universidad Nacional
Edad	0 No Especificado	Lote	Coolguard

## RESULTADO

TEXTURA	FRANCO-ARCILLO-LIMOSO	pH	5,66	M
		C.E. dS/m	0,29	D
Arena %	16	Sat. Hum. %	33	M
Limo %	48	C.I.C.E. me/100	11,75	M
Arcilla %	38	C.O. %	5,30	M

Potasio me/100 g	0,72	282	ppm	M	Hierro ppm	510	E	Fósforo ppm	276	E
Calcio me/100 g	8,15	1633	ppm	A	Mn ppm	32	M	S-SO4 ppm	24	B
Mg me/100 g	2,31	281	ppm	M	Cobre ppm	2,3	M	N-NH4 ppm	10	B
Sodio me/100 g	0,4	92	ppm	M	Zinc ppm	24	E	N-NO3 ppm	49	B
Aluminio me/100g	0,12	11	ppm	B	Boro ppm	0,41	B			

% Sat. Magnesio	19,7	Ca/Mg	3,53
% Sat. Sodio	3,4	Ca/K	11,3
% Sat. Aluminio	1,02	Mg/K	3,21
% Sat. Potasio	6,13	(Ca+Mg)/K	14,5
% Sat. Calcio	69,3		

## METODOLOGIAS ANALITICAS

PARAMETRO	METODO DE DETERMINACION	CLAVES
TEXTURA	BOUYOUOS	D Deficiente
CARBONO ORGANICO	WALKLEY - BLACK - Colorimetría	B Bajo
pH	Pasta de Saboración	M Medio
C.E. (dSm)	Extracto de Saboración	A Alto
% SATURACION HUMEDAD	Con Base en el peso húmedo	E Excesivo
C.I.C.E. (me/100 g)	Suma de Cationes.	ML Muestra Insuficiente
FOSFORO ASIMILABLE (ppm)	Bray II. Colorimetría	NA No Analizado
NITROGENO AMONIACAL (ppm)	Extracción con cloruro de Sodio. Colorimetría	
NITROGENO NITRICO (ppm)	Extracción con Acetato de Sodio. Colorimetría	
AZUFRE : S-SO4 (ppm)	Extrac. Fosfato Monocálcico. Turbidimetría	
K, Ca, Mg, Na	Extrac. Acetato de Amonio. Absorción Atómica	
Aluminio Intercambiable	Extracción con Cloruro de Potasio. Volumetría	
Fe, Mn, Cu y Zn (ppm)	Método de Mellich I	
BORO (ppm)	Extracción con Fosfato Monocálcico. Colorimetría	

Myriam Bendeck Lugo  
Química Director Técnico PQ 1168

## Anexo B: Método del cilindro para determinar la densidad aparente

Se introduce el barreno para la toma de muestras no disturbadas (Un muestreador dentro del cual se acoplan tres anillos, cada uno con un diámetro de 5.36 cm y una altura de 3 cm). Se introduce el barreno en el suelo de forma suave y uniforme. Posteriormente se desentierra el muestreador cuidadosamente y, con una navaja, se enrasa el suelo contenido en el cilindro central.

Toda la muestra de suelo del cilindro central se lleva al laboratorio y se seca a 105 °C por 48 horas.

La determinación de la densidad aparente se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad aparente (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Masa de suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^{-3}\text{)}}$$

## Anexo C: Método de tamizado en húmedo para determinar estabilidad estructural **del suelo**

### **Materiales y equipo**

Aparato de tamizado en húmedo tipo Yoder, que sube y baja el juego de tamices a través del agua, 32 mm aproximadamente a razón de 30 ciclos por minuto; juego de tamices compuesto por 5 tamices cuyo ancho de los huecos es de 4, 2, 1, 0.5 y 0.25 mm; un tamiz de 5/16 de pulgadas (ancho de hueco 8 mm); atomizador; balanza con 0.01 g de aproximación; estufa; vidrios de reloj; espátulas; cápsulas taradas para humedad y formato para el registro de datos.

### **Procedimiento**

Se toma una muestra de suelo (de 10 cm x 10 cm x 10cm) cuando el suelo este húmedo y friable, y se deja secar al aire. En el laboratorio se cierne por un tamiz de 8 mm. Se rompen con los dedos los terrones mayores de este tamaño, sin amasar el suelo, hasta lograr que pasen el tamiz. Se cuartea el suelo tamizado y se toma una muestra de aproximadamente 100 gramos (Msh).

Se ordenan los tamices de 4, 2, 1, 0.5 y 0.25 mm, de tal forma que el de mayor diámetro quede arriba dentro del soporte, para luego introducirlos en un recipiente con agua (el área del recipiente debe ser mayor o igual que 1.6 veces el diámetro de los tamices). Se introducen los tamices en forma inclinada para evitar que llegue a quedar aire debajo de los mismos, se ajusta el mecanismo de tal forma que la malla del tamiz superior quede a ras con el agua, cuando oscile el aparato y su brazo o eje quede en la parte superior de su movimiento. Se debe tener cuidado de que, cuando el brazo se encuentre en la parte inferior, el agua no reboce el borde superior del tamiz. Se distribuye la muestra de suelo sobre el tamiz en forma homogénea. Luego, se humedece la muestra con ayuda de un atomizador, para que se produzca el menor rompimiento de los agregados cuando se saturan por capilaridad o mojado rápido.

Se pone en funcionamiento el aparato por 30 minutos. El motor debe estar graduado de tal forma que el conjunto de tamices suban y bajen a una distancia de 32 mm a razón de 30 oscilaciones por minuto.

Se sacan los tamices del agua y se dejan drenar por cinco (5) minutos. Se coloca cada tamiz invertido sobre un vidrio de reloj y se transvasa la muestra a una cápsula que se lleva al horno, a una temperatura de 105 grados centígrados durante 48 horas. Luego se halla la masa de cada una de las fracciones secas (Mssip)

Para hacer los cálculos se determina la masa de la muestra de suelo seca a 105 grados Centígrados (Mss) y, por lo tanto, se halla el porcentaje de humedad con la cual se trabajó la muestra de suelo y hacer la corrección correspondiente a partir de la siguiente relación:

$$\theta g = \frac{Mshc - Mssc}{Mssc - Mc} 100$$

$$M_{ss} = \frac{M_{sh}}{1 + \theta g/100}$$

Donde,

$\theta g$  es la humedad gravimétrica en porcentaje (%).

$M_{shc}$  es la masa del suelo húmedo más la cápsula, en gramos (g).

$M_{ssc}$  es la masa del suelo seco más la cápsula, en gramos (g).

$M_{ss}$  es la masa del suelo seco en gramos (g).

$M_{sh}$  es la masa del suelo húmedo en gramos (g).

Los cálculos de los índices de agregación se hacen a partir del porcentaje de agregados retenidos en cada tamiz.

$$M_{ssi} (\%) = \frac{M_{ssi} \times 100}{M_{ss}}$$

Donde,

$M_{ssi} \%$  es el porcentaje de los agregados del suelo retenidos por cada tamiz en porcentaje (%).

$M_{ssi}$  es la masa de los agregados del suelo seco en una clase de tamaño en gramos (g).

$M_{ss}$  es la masa total de suelo seco en gramos (g).

El cálculo del Diámetro Ponderado Medio se realizó la siguiente ecuación (Montenegro y Malagón, 1990):

$$DPM = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \frac{M_{ssi}}{100}$$

Donde,

DPM: Diámetro Ponderado Medio.

$\bar{x}_i$ : Diámetro promedio de la fracción de tamaño correspondiente.

$M_{ssi}$ : porcentaje de los agregados del suelo retenidos por cada tamiz.

## Anexo D: Análisis combinados de varianza

Procedimiento GLM

Variable dependiente: Peso de Cabeza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	23	192198.3661	8356.4507	4.99	<.0001
Error	36	60335.0138	1675.9726		
Total corregido	59	252533.3798			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPC Media
0.761081	5.855856	40.93864	699.1061

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	76313.76526	38156.88263	22.77	<.0001
BLO	3	24834.30979	8278.10326	4.94	0.0057
BLO(CIC)	6	2415.10245	402.51707	0.24	0.9602
TRA	4	67052.01171	16763.00293	10.00	<.0001
CIC*TRA	8	21583.17685	2697.89711	1.61	0.1565

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	76313.76526	38156.88263	94.80	<.0001

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-241.703869	52.8515626	-4.57	<.0001
PASTOS VS PLÁSTICOS	28.451488	23.6359374	1.20	0.2365
NEGRO VS BLANCO	27.260913	16.7131316	1.63	0.1116
PASTO2 VS PASTO3	-64.694345	16.7131316	-3.87	0.0004

Procedimiento GLM

t Tests (LSD) para PESO DE CABEZAS

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error de cuadrado medio	402.5171
Valor crítico de t	2.44691
Diferencia menos significativa	15.524

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	747.375	20	3
B	687.638	20	2
C	662.306	20	1

Variable dependiente: RENDIMIENTO ESTIMADO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	23	749.7584871	32.5981951	4.98	<.0001
Error	36	235.7761784	6.5493383		
Total corregido	59	985.5346655			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MREN Media
0.760763	5.857100	2.559167	43.69342

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	297.5020084	148.7510042	22.71	<.0001
BLO	3	97.1045590	32.3681863	4.94	0.0056
BLO (CIC)	6	9.5275196	1.5879199	0.24	0.9592
TRA	4	261.3045678	65.3261419	9.97	<.0001
CIC*TRA	8	84.3198323	10.5399790	1.61	0.1566

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	297.5020084	148.7510042	93.68	<.0001

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-15.0951438	3.30387103	-4.57	<.0001
PASTOS VS PLÁSTICOS	1.7760853	1.47753604	1.20	0.2372
NEGRO VS BLANCO	1.6916682	1.04477576	1.62	0.1141
PASTO2 VS PASTO3	-4.0404757	1.04477576	-3.87	0.0004

t Tests (LSD) para RENDIMIENTO ESTIMADO

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error de cuadrado medio	1.58792
Valor crítico de t	2.44691
Diferencia menos significativa	0.9751

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	46.7081	20	3
B	42.9745	20	2
C	41.3977	20	1

Variable dependiente: DIAMETRO PONDERADO MEDIO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	20	3.67147407	0.18357370	16.78	<.0001
Error	24	0.26254815	0.01093951		
Total corregido	44	3.93402222			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDPM Media
0.933262	5.050047	0.104592	2.071111

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	3.12606815	1.56303407	142.88	<.0001
BLO	2	0.20270370	0.10135185	9.26	0.0010
BLO (CIC)	4	0.10565926	0.02641481	2.41	0.0768
TRA	4	0.13048642	0.03262160	2.98	0.0393
CIC*TRA	8	0.10655654	0.01331957	1.22	0.3309

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	3.12606815	1.56303407	59.17	0.0011

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-0.34629630	0.15591669	-2.22	0.0360
PASTO VS PLÁSTICOS	0.05962963	0.06972806	0.86	0.4009
NEGRO VS BLANCO	0.08481481	0.04930519	1.72	0.0983
PASTO2 VS PASTO3	-0.08962963	0.04930519	-1.82	0.0816

t Tests (LSD) para DIAMETRO PONDERADO MEDIO

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error de cuadrado medio	0.026415
Valor crítico de t	2.77645
Diferencia menos significativa	0.1648

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	2.34578	15	3
B	2.15200	15	2
C	1.71556	15	1

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	23	0.03958926	0.00172127	0.45	0.9765
Error	36	0.13767444	0.00382429		
Total corregido	59	0.17726370			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDA Media
0.223335	6.585040	0.061841	0.939111

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	0.00620037	0.00310019	0.81	0.4525
BLO	3	0.01517778	0.00505926	1.32	0.2820
BLO (CIC)	6	0.00437000	0.00072833	0.19	0.9776
TRA	4	0.00722667	0.00180667	0.47	0.7556
CIC*TRA	8	0.00661444	0.00082681	0.22	0.9859

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	0.00620037	0.00310019	4.26	0.0707

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	0.08916667	0.07983619	1.12	0.2714
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.02583333	0.03570383	-0.72	0.4740
NEGRO VS BLANCO	-0.00833333	0.02524642	-0.33	0.7433
PASTO2 VS PASTO3	0.00250000	0.02524642	0.10	0.9217

t Tests (LSD) para DENSIDAD APARENTE

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error de cuadrado medio	0.000728
Valor crítico de t	2.44691
Diferencia menos significativa	0.0209

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	0.951000	20	1
A			
B A	0.940167	20	2
B			
B	0.926167	20	3

Variable dependiente: POROSIDAD

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	23	75.2176459	3.2703324	0.46	0.9723
Error	36	254.0002756	7.0555632		
Total corregido	59	329.2179215			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPO Media
0.228474	4.475503	2.656231	59.35044

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	11.83900926	5.91950463	0.84	0.4404
BLO	3	29.76385333	9.92128444	1.41	0.2568
BLO(CIC)	6	8.25396556	1.37566093	0.19	0.9762
TRA	4	12.95833074	3.23958269	0.46	0.7651
CIC*TRA	8	12.40248704	1.55031088	0.22	0.9851

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	11.83900926	5.91950463	4.30	0.0693

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-3.82305556	3.42917950	-1.11	0.2723
PASTO VS PLÁSTICOS	1.06638889	1.53357569	0.70	0.4913
NEGRO VS BLANCO	0.34333333	1.08440177	0.32	0.7534
PASTO2 VS PASTO3	-0.10805556	1.08440177	-0.10	0.9212

## t Tests (LSD) para POROSIDAD

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	6
Error de cuadrado medio	1.375661
Valor crítico de t	2.44691
Diferencia menos significativa	0.9076

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	59.9135	20	3
A			
B A	59.3102	20	2
B			
B	58.8277	20	1

Variable dependiente: DELTA DE TEMPERATURA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	20	19.29218165	0.96460908	3.99	0.0008
Error	24	5.79705931	0.24154414		
Total corregido	44	25.08924096			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDEL Media
0.768942	14.64624	0.491471	3.355615

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	16.38312668	8.19156334	33.91	<.0001
BLO	2	0.07802221	0.03901110	0.16	0.8518
BLO(CIC)	4	0.55660810	0.13915202	0.58	0.6827
TRA	4	1.33238141	0.33309535	1.38	0.2708
CIC*TRA	8	0.94204326	0.11775541	0.49	0.8530

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	16.38312668	8.19156334	58.87	0.0011

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	1.17233390	0.73264231	1.60	0.1226
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.00435747	0.32764760	-0.01	0.9895
NEGRO VS BLANCO	0.37320881	0.23168184	1.61	0.1203
PASTO2 VS PASTO3	0.13911782	0.23168184	0.60	0.5538

t Tests (LSD) para DELTA DE TEMPERATURA

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	4
Error de cuadrado medio	0.139152
Valor crítico de t	2.77645
Diferencia menos significativa	0.3782

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	4.2085	15	3
B	2.9536	15	2
B	2.9048	15	1

Variable dependiente: UFC BACTERIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	23	7.70622669	0.33505333	2.34	0.0107
Error	36	5.15205346	0.14311260		
Total corregido	59	12.85828015			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLBAC Media
0.599320	8.286486	0.378302	4.565292

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	1.54926685	0.77463343	5.41	0.0088
BLO(CIC)	9	0.74424959	0.08269440	0.58	0.8062
TRA	4	3.04532150	0.76133037	5.32	0.0018
CIC*TRA	8	2.36738875	0.29592359	2.07	0.0656

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	1.54926685	0.77463343	9.37	0.0063

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	2.07369387	0.48838611	4.25	0.0001
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.35423762	0.21841291	-1.62	0.1136
NEGRO VS BLANCO	-0.10080513	0.15444125	-0.65	0.5181
PASTO2 VS PASTO3	0.06803774	0.15444125	0.44	0.6622

t Tests (LSD) para UFC BACTERIAS

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	9
Error de cuadrado medio	0.082694
Valor crítico de t	2.26216
Diferencia menos significativa	0.2057

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	4.78486	20	1
B	4.50623	20	3
B	4.40478	20	2

Variable dependiente: UFC HONGOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	23	12.69300554	0.55186981	10.97	<.0001
Error	36	1.81180430	0.05032790		
Total corregido	59	14.50480984			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLHON Media
0.875089	5.100556	0.224339	4.398320

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	0.81349394	0.40674697	8.08	0.0013
BLO(CIC)	9	1.28392210	0.14265801	2.83	0.0125
TRA	4	9.53949713	2.38487428	47.39	<.0001
CIC*TRA	8	1.05609236	0.13201155	2.62	0.0225

Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLO(CIC) como un término de error

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CIC	2	0.81349394	0.40674697	2.85	0.1099

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-1.00306485	0.28962015	-3.46	0.0014
PASTO VS PLÁSTICOS	1.08575616	0.12952207	8.38	<.0001
NEGRO VS BLANCO	-0.85876386	0.09158593	-9.38	<.0001
PASTO2 VS PASTO3	-0.40298101	0.09158593	-4.40	<.0001

Procedimiento GLM  
Medias de cuadrados mínimos

CIC\*TRA Efecto dividido por TRA para UFC HONGOS

TRA	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Blanc	2	0.269977	0.134989	2.68	0.0821
Negro	2	1.277727	0.638864	12.69	<.0001
Past2	2	0.249796	0.124898	2.48	0.0978
Past3	2	0.009277	0.004639	0.09	0.9122
Testi	2	0.062808	0.031404	0.62	0.5415

NOTA: Para asegurar un nivel de protección completo, sólo se deben usar probabilidades asociadas con comparaciones preplanificadas

t Tests (LSD) para UFC HONGOS

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error

rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	9
Error de cuadrado medio	0.142658
Valor crítico de t	2.26216
Diferencia menos significativa	0.2702

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t Agrupamiento	Media	N	CIC
A	4.5071	20	2
A			
B A	4.4510	20	1
B			
B	4.2369	20	3

## Anexo E: Análisis de varianza de las variables de rendimiento por ciclo de cultivo

----- CIC=1 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: PESO DE CABEZAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	19054.20809	2722.02973	2.23	0.1066
Error	12	14665.89570	1222.15797		
Total corregido	19	33720.10379			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPC Media
0.565070	5.278435	34.95938	662.3057

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	15932.07884	3983.01971	3.26	0.0500
BLO	3	3122.12925	1040.70975	0.85	0.4922

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-177.236607	78.1715413	-2.27	0.0426
PASTO VS PLÁSTICOS	-68.437202	34.9593761	-1.96	0.0739
NEGRO VS BLANCO	10.116071	24.7200119	0.41	0.6896
PASTO2 VS PASTO3	-48.791369	24.7200119	-1.97	0.0719

CIC=2

Procedimiento GLM

Variable dependiente: PESO DE CABEZAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	58068.95521	8295.56503	10.17	0.0003
Error	12	9789.61806	815.80150		
Total corregido	19	67858.57326			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPC Media
0.855735	4.153677	28.56224	687.6375

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	43641.10972	10910.27743	13.37	0.0002
BLO	3	14427.84549	4809.28183	5.90	0.0103

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-237.250000	63.8671083	-3.71	0.0030
PASTOS VS PLÁSTICOS	91.416667	28.5622391	3.20	0.0076
NEGRO VS BLANCO	38.041667	20.1965530	1.88	0.0841
PASTO2 VS PASTO3	-102.791667	20.1965530	-5.09	0.0003

----- CIC=3 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: PESO DE CABEZAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	38761.43750	5537.34821	1.85	0.1662
Error	12	35879.50000	2989.95833		
Total corregido	19	74640.93750			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPC Media
0.519305	7.316342	54.68051	747.3750

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	29062.00000	7265.50000	2.43	0.1048
BLO	3	9699.43750	3233.14583	1.08	0.3940

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-310.625000	122.269341	-2.54	0.0259
PASTOS VS PLÁSTICOS	62.375000	54.680511	1.14	0.2762
NEGRO VS BLANCO	33.625000	38.664960	0.87	0.4016
PASTO2 VS PASTO3	-42.500000	38.664960	-1.10	0.2933

11 Efecto de acolchados sobre propiedades físicas de un suelo de la sabana de  
 2 Bogotá y su relación con el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L)

----- CIC=1 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: RENDIMIENTO ESTIMADO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	74.4415245	10.6345035	2.23	0.1065
Error	12	57.2690336	4.7724195		
Total corregido	19	131.7105581			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MREN Media
0.565190	5.277071	2.184587	41.39771

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	62.28496534	15.57124133	3.26	0.0498
BLO	3	12.15655918	4.05218639	0.85	0.4934

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-11.0854315	4.88488458	-2.27	0.0425
PASTO VS PLÁSTICOS	-4.2834107	2.18458680	-1.96	0.0735
NEGRO VS BLANCO	0.6284628	1.54473614	0.41	0.6913
PASTO2 VS PASTO3	-3.0471354	1.54473614	-1.97	0.0720

----- CIC=2 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: RENDIMIENTO ESTIMADO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	226.6567023	32.3795289	10.14	0.0003
Error	12	38.3047947	3.1920662		
Total corregido	19	264.9614969			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MREN Media
0.855433	4.157430	1.786635	42.97451

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	170.0839229	42.5209807	13.32	0.0002
BLO	3	56.5727793	18.8575931	5.91	0.0103

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-14.8003750	3.99503831	-3.70	0.0030
PASTOS VS PLÁSTICOS	5.7145417	1.78663545	3.20	0.0077
NEGRO VS BLANCO	2.3555417	1.26334204	1.86	0.0869
PASTO2 VS PASTO3	-6.4234167	1.26334204	-5.08	0.0003

11 Efecto de acolchados sobre propiedades físicas de un suelo de la sabana de  
 4 Bogotá y su relación con el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L)

----- CIC=3 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: RENDIMIENTO ESTIMADO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	151.1582519	21.5940360	1.85	0.1670
Error	12	140.2023501	11.6835292		
Total corregido	19	291.3606019			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MREN Media
0.518801	7.318049	3.418118	46.70805

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	113.2555118	28.3138780	2.42	0.1055
BLO	3	37.9027400	12.6342467	1.08	0.3940

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-19.3996250	7.64314372	-2.54	0.0260
PASTOS VS PLÁSTICOS	3.8971250	3.41811778	1.14	0.2765
NEGRO VS BLANCO	2.0910000	2.41697426	0.87	0.4039
PASTO2 VS PASTO3	-2.6508750	2.41697426	-1.10	0.2943

## Anexo F: Análisis de varianza del diámetro ponderado medio por ciclo de cultivo

----- CIC=1 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: DIAMETRO PONDERADO MEDIO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	0.01009037	0.00168173	0.99	0.4895
Error	8	0.01356889	0.00169611		
Total corregido	14	0.02365926			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDPM Media
0.426487	2.400614	0.041184	1.715556

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.00871111	0.00217778	1.28	0.3527
BLO	2	0.00137926	0.00068963	0.41	0.6789

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-0.12222222	0.10633629	-1.15	0.2836
PASTO VS PLÁSTICOS	0.04666667	0.04755504	0.98	0.3552
NEGRO VS BLANCO	0.02888889	0.03362649	0.86	0.4153
PASTO2 VS PASTO3	-0.04888889	0.03362649	-1.45	0.1841

CIC=2

Procedimiento GLM

Variable dependiente: DIAMETRO PONDERADO MEDIO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	0.30512444	0.05085407	2.84	0.0873
Error	8	0.14344889	0.01793111		
Total corregido	14	0.44857333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDPM Media
0.680211	6.222449	0.133907	2.152000

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.08944000	0.02236000	1.25	0.3651
BLO	2	0.21568444	0.10784222	6.01	0.0255

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-0.01555556	0.34574664	-0.04	0.9652
PASTO VS PLÁSTICOS	0.03777778	0.15462260	0.24	0.8131
NEGRO VS BLANCO	0.14666667	0.10933469	1.34	0.2166
PASTO2 VS PASTO3	-0.19333333	0.10933469	-1.77	0.1150

----- CIC=3 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: DIAMETRO PONDERADO MEDIO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	0.23019111	0.03836519	2.91	0.0824
Error	8	0.10553037	0.01319130		
Total corregido	14	0.33572148			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDPM Media
0.685661	4.896174	0.114853	2.345778

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.13889185	0.03472296	2.63	0.1137
BLO	2	0.09129926	0.04564963	3.46	0.0826

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-0.90111111	0.29655012	-3.04	0.0161
PASTO VS PLÁSTICOS	0.09444444	0.13262125	0.71	0.4966
NEGRO VS BLANCO	0.07888889	0.09377738	0.84	0.4246
PASTO2 VS PASTO3	-0.02666667	0.09377738	-0.28	0.7834

## Anexo G: Análisis de varianza de la densidad aparente y la porosidad por ciclo de cultivo

----- CIC=1 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	0.00729444	0.00104206	0.25	0.9613
Error	12	0.04944111	0.00412009		
Total corregido	19	0.05673556			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDA Media
0.128569	6.749521	0.064188	0.951000

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.00020778	0.00005194	0.01	0.9996
BLO	3	0.00708667	0.00236222	0.57	0.6433

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-0.01333333	0.14352861	-0.09	0.9275
PASTO VS PLÁSTICOS	0.00333333	0.06418795	0.05	0.9594
NEGRO VS BLANCO	-0.00833333	0.04538773	-0.18	0.8574
PASTO2 VS PASTO3	-0.00333333	0.04538773	-0.07	0.9427

----- CIC=2 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	0.01466944	0.00209563	0.35	0.9117
Error	12	0.07089667	0.00590806		
Total corregido	19	0.08556611			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDA Media
0.171440	8.175559	0.076864	0.940167

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.00344111	0.00086028	0.15	0.9615
BLO	3	0.01122833	0.00374278	0.63	0.6075

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	0.12416667	0.17187285	0.72	0.4839
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.01250000	0.07686388	-0.16	0.8735
NEGRO VS BLANCO	0.00083333	0.05435097	0.02	0.9880
PASTO2 VS PASTO3	0.01000000	0.05435097	0.18	0.8571

CIC=3

Procedimiento GLM

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	0.01142500	0.00163214	1.13	0.04062
Error	12	0.01733667	0.00144472		
Total corregido	19	0.02876167			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDA Media
0.397230	4.103959	0.038010	0.926167

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.01019222	0.00254806	1.76	0.0485
BLO	3	0.00123278	0.00041093	0.28	0.8357

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	0.15666667	0.08499183	1.84	0.0401
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.06833333	0.03800950	-1.80	0.0974
NEGRO VS BLANCO	-0.01750000	0.02687678	-0.65	0.5272
PASTO2 VS PASTO3	0.00083333	0.02687678	0.03	0.9758

----- CIC=1 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: POROSIDAD

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	13.9934522	1.9990646	0.26	0.9587
Error	12	92.4620833	7.7051736		
Total corregido	19	106.4555356			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPO Media
0.131449	4.718561	2.775819	58.82767

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.43317444	0.10829361	0.01	0.9996
BLO	3	13.56027778	4.52009259	0.59	0.6352

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	0.48250000	6.20692098	0.08	0.9393
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.22750000	2.77581945	-0.08	0.9360
NEGRO VS BLANCO	0.34916667	1.96280076	0.18	0.8618
PASTO2 VS PASTO3	0.21333333	1.96280076	0.11	0.9152

CIC=2

Procedimiento GLM

Variable dependiente: POROSIDAD

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	28.1880628	4.0268661	0.37	0.9025
Error	12	130.4235033	10.8686253		
Total corregido	19	158.6115661			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPO Media
0.177718	5.558507	3.296760	59.31017

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	6.02387444	1.50596861	0.14	0.9647
BLO	3	22.16418833	7.38806278	0.68	0.5811

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-5.17583333	7.37177905	-0.70	0.4960
PASTO VS PLÁSTICOS	0.48750000	3.29675981	0.15	0.8849
NEGRO VS BLANCO	-0.05083333	2.33116122	-0.02	0.9830
PASTO2 VS PASTO3	-0.46000000	2.33116122	-0.20	0.8469

----- CIC=3 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: POROSIDAD

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	21.19712167	3.02816024	1.17	0.3875
Error	12	31.11468889	2.59289074		
Total corregido	19	52.31181056			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MPO Media
0.405207	2.687617	1.610246	59.91350

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	18.90376889	4.72594222	1.82	0.0593
BLO	3	2.29335278	0.76445093	0.29	0.8284

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-6.77583333	3.60061852	-1.88	0.4430
PASTO VS PLÁSTICOS	2.93916667	1.61024555	1.83	0.0929
NEGRO VS BLANCO	0.73166667	1.13861555	0.64	0.5326
PASTO2 VS PASTO3	-0.07750000	1.13861555	-0.07	0.9469

## Anexo H: Análisis de varianza del delta de temperatura del suelo por ciclo de cultivo

----- CIC=1 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: DELTA DE TEMPERATURA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	1.68979592	0.28163265	0.49	0.7987
Error	8	4.58231293	0.57278912		
Total corregido	14	6.27210884			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDEL Media
0.269414	26.05475	0.756828	2.904762

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	1.19727891	0.29931973	0.52	0.7226
BLO	2	0.49251701	0.24625850	0.43	0.6647

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	1.66666667	1.95412234	0.85	0.4185
PASTO VS PLÁSTICOS	0.14285714	0.87391008	0.16	0.8742
NEGRO VS BLANCO	0.42857143	0.61794774	0.69	0.5076
PASTO2 VS PASTO3	0.57142857	0.61794774	0.92	0.3822

----- CIC=2 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: DELTA DE TEMPERATURA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	0.04738500	0.00789750	0.07	0.9979
Error	8	0.91468179	0.11433522		
Total corregido	14	0.96206679			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDEL Media
0.049253	11.44814	0.338135	2.953623

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.02444865	0.00611216	0.05	0.9936
BLO	2	0.02293636	0.01146818	0.10	0.9057

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	0.01449275	0.87306061	0.02	0.9872
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.10144928	0.39044457	-0.26	0.8016
NEGRO VS BLANCO	0.10144928	0.27608601	0.37	0.7228
PASTO2 VS PASTO3	-0.02898551	0.27608601	-0.10	0.9190

CIC=3

Procedimiento GLM

Variable dependiente: DELTA DE TEMPERATURA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	1.17187405	0.19531234	5.21	0.0182
Error	8	0.30006459	0.03750807		
Total corregido	14	1.47193864			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MDEL Media
0.796143	4.601923	0.193670	4.208459

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	1.05269711	0.26317428	7.02	0.0100
BLO	2	0.11917694	0.05958847	1.59	0.2624

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	1.83584229	0.50005382	3.67	0.0063
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.05448029	0.22363087	-0.24	0.8137
NEGRO VS BLANCO	0.58960573	0.15813090	3.73	0.0058
PASTO2 VS PASTO3	-0.12508961	0.15813090	-0.79	0.4517

## Anexo I: Análisis de varianza de las Unidades Formadoras de Colonia de bacterias por ciclo de cultivo

----- CIC=1 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: UFC BACTERIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	1.95459122	0.27922732	1.53	0.2476
Error	12	2.19390604	0.18282550		
Total corregido	19	4.14849726			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLBAC Media
0.471156	8.936119	0.427581	4.784862

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	1.82844647	0.45711162	2.50	0.0981
BLO	3	0.12614475	0.04204825	0.23	0.8737

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	2.15847772	0.95610016	2.26	0.0434
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.77116913	0.42758099	-1.80	0.0964
NEGRO VS BLANCO	-0.27637193	0.30234542	-0.91	0.3787
PASTO2 VS PASTO3	0.27310853	0.30234542	0.90	0.3841

CIC=2

Procedimiento GLM

Variable dependiente: UFC BACTERIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	0.72275988	0.10325141	0.78	0.6183
Error	12	1.59456831	0.13288069		
Total corregido	19	2.31732819			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLBAC Media
0.311894	8.275739	0.364528	4.404779

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	0.39896668	0.09974167	0.75	0.5764
BLO	3	0.32379320	0.10793107	0.81	0.5113

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	0.46627223	0.81510948	0.57	0.5779
PASTO VS PLÁSTICOS	0.07503021	0.36452804	0.21	0.8404
NEGRO VS BLANCO	0.33700380	0.25776025	1.31	0.2156
PASTO2 VS PASTO3	0.24770150	0.25776025	0.96	0.3555

----- CIC=3 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: UFC BACTERIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	3.47960874	0.49708696	4.37	0.0125
Error	12	1.36357911	0.11363159		
Total corregido	19	4.84318785			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLBAC Media
0.718454	7.480591	0.337093	4.506233

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	3.18529710	0.79632428	7.01	0.0038
BLO	3	0.29431164	0.09810388	0.86	0.4866

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	3.59633166	0.75376254	4.77	0.0005
PASTO VS PLÁSTICOS	-0.36657395	0.33709285	-1.09	0.2982
NEGRO VS BLANCO	-0.36304726	0.23836064	-1.52	0.1536
PASTO2 VS PASTO3	-0.31669680	0.23836064	-1.33	0.2087

## Anexo J: Análisis de varianza de las Unidades Formadoras de Colonia de hongos por ciclo de cultivo

----- CIC=1 -----

Procedimiento GLM

Variable dependiente: UFC HONGOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	3.16036905	0.45148129	6.22	0.0030
Error	12	0.87127333	0.07260611		
Total corregido	19	4.03164238			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLHON Media
0.783891	6.053764	0.269455	4.451036

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	2.75044184	0.68761046	9.47	0.0011
BLO	3	0.40992721	0.13664240	1.88	0.1865

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-0.78047797	0.60252017	-1.30	0.2196
PASTO VS PLÁSTICOS	0.90403198	0.26945521	3.36	0.0057
NEGRO VS BLANCO	-0.87051676	0.19053361	-4.57	0.0006
PASTO2 VS PASTO3	-0.38453868	0.19053361	-2.02	0.0665

----- CIC=2 -----

## Procedimiento GLM

Variable dependiente: UFC HONGOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	2.45281528	0.35040218	7.38	0.0014
Error	12	0.57001721	0.04750143		
Total corregido	19	3.02283250			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLHON Media
0.811429	4.835701	0.217948	4.507066

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	2.18783773	0.54695943	11.51	0.0004
BLO	3	0.26497755	0.08832585	1.86	0.1903

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-1.92774861	0.48734708	-3.96	0.0019
PASTO VS PLÁSTICOS	0.76257196	0.21794824	3.50	0.0044
NEGRO VS BLANCO	-0.62462110	0.15411268	-4.05	0.0016
PASTO2 VS PASTO3	-0.20344010	0.15411268	-1.32	0.2114

CIC=3

Procedimiento GLM

Variable dependiente: UFC HONGOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	7	6.26632726	0.89518961	28.99	<.0001
Error	12	0.37051376	0.03087615		
Total corregido	19	6.63684102			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MLHON Media
0.944173	4.147321	0.175716	4.236858

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	4	5.65730992	1.41432748	45.81	<.0001
BLO	3	0.60901734	0.20300578	6.57	0.0071

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr >  t
TESTIGO VS RESTO	-0.30096797	0.39291314	-0.77	0.4585
PASTO VS PLÁSTICOS	1.59066454	0.17571610	9.05	<.0001
NEGRO VS BLANCO	-1.08115372	0.12425004	-8.70	<.0001
PASTO2 VS PASTO3	-0.62096424	0.12425004	-5.00	0.0003

## Anexo K: Análisis de correlación del rendimiento con variables independientes, incluyendo unidades formadoras de colonias de hongos y bacterias

Procedimiento CORR

8 Variables: MREN MPC MDPM MDA MPO MDEL MH MB

### Estadísticos simples

Variable	N	Media	Dev tip	Suma	Mínimo	Máximo
MREN	15	43.78647	3.31906	656.79701	39.29211	49.97775
MPC	15	700.59669	53.15524	10509	628.63158	799.75000
MDPM	15	2.07111	0.28297	31.06667	1.69111	2.42778
MDA	15	0.93911	0.01892	14.08667	0.90083	0.96500
MPO	15	59.35044	0.81504	890.25667	58.27500	61.02583
MDEL	15	3.35538	0.66596	50.33075	2.57143	4.57143
MH	15	4.39832	0.45137	65.97480	3.31366	4.96005
MB	15	4.56529	0.35259	68.47937	4.07642	5.22550

### Coefficientes de correlación Pearson, N = 15 Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	MREN	MPC	MDPM	MDA	MPO	MDEL	MH	MB
MREN	1.00000	1.00000 <.0001	0.74561 0.0014	-0.78439 0.0005	0.78847 0.0005	0.51936 0.0472	0.01077 0.9696	-0.48791 0.0650
MPC	1.00000 <.0001	1.00000	0.74605 0.0014	-0.78458 0.0005	0.78865 0.0005	0.51946 0.0472	0.01028 0.9710	-0.48802 0.0650
MDPM	0.74561 0.0014	0.74605 0.0014	1.00000	-0.65245 0.0084	0.66108 0.0073	0.66100 0.0073	-0.14541 0.6051	-0.53614 0.0394
MDA	-0.78439 0.0005	-0.78458 0.0005	-0.65245 0.0084	1.00000	-0.99950 <.0001	-0.43992 0.1008	-0.13601 0.6289	0.60139 0.0177
MPO	0.78847 0.0005	0.78865 0.0005	0.66108 0.0073	-0.99950 <.0001	1.00000	0.44494 0.0965	0.13131 0.6409	-0.60062 0.0179
MDEL	0.51936 0.0472	0.51946 0.0472	0.66100 0.0073	-0.43992 0.1008	0.44494 0.0965	1.00000	-0.41160 0.1274	0.00093 0.9974
MH	0.01077 0.9696	0.01028 0.9710	-0.14541 0.6051	-0.13601 0.6289	0.13131 0.6409	-0.41160 0.1274	1.00000	-0.10720 0.7037
MB	-0.48791 0.0650	-0.48802 0.0650	-0.53614 0.0394	0.60139 0.0177	-0.60062 0.0179	0.00093 0.9974	-0.10720 0.7037	1.00000

## Anexo L: Análisis de correlación de variables independientes

Procedimiento CORR

4 Variables: MDPM MDA MPO MDEL

## Estadísticos simples

Variable	N	Media	Dev tip	Suma	Mínimo	Máximo
MDPM	45	2.07111	0.29901	93.20000	1.66333	2.68000
MDA	60	0.93911	0.05481	56.34667	0.83000	1.07000
MPO	60	59.35044	2.36219	3561	53.73667	64.24667
MDEL	45	3.35561	0.75512	151.00266	1.57143	4.83333

## Coeficientes de correlación Pearson

Prob > |r| suponiendo H<sub>0</sub>: Rho=0

Número de observaciones

	MDPM	MDA	MPO	MDEL
MDPM	1.00000	-0.26983	0.27101	0.52668
		0.0730	0.0717	0.0002
	45	45	45	45
MDA	-0.26983	1.00000	-0.99952	-0.15726
	0.0730		<.0001	0.3022
	45	60	60	45
MPO	0.27101	-0.99952	1.00000	0.15623
	0.0717	<.0001		0.3054
	45	60	60	45
MDEL	0.52668	-0.15726	0.15623	1.00000
	0.0002	0.3022	0.3054	
	45	45	45	45

Procedimiento REG

Modelo: MODEL1  
Variable dependiente: PESO DE CABEZAS

Número de observaciones leídas	60
Número de observaciones usadas	45
Número de observaciones con valores ausentes	15

Selección escalonada: Paso 1

Variable DIAMETRO PONDERADO MEDIO introducida: R-cuadrado = 0.3345 y C(p) = 2.2985

Análisis de la varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Model	1	68698	68698	21.62	<.0001
Error	43	136650	3177.90471		
Total corregido	44	205348			

Variable	Estimador del parámetro	Error estándar	Tipo II SS	F-Valor	Pr > F
Intercept	432.68994	59.46159	168276	52.95	<.0001
MDPM	132.14574	28.42183	68698	21.62	<.0001

Límites en el número de la condición: 1, 1

-----

All variables left in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

ANALISIS DE REGRESION 00:00 Tuesday, October 15, 2014 2283

Procedimiento REG  
Modelo: MODEL1  
Variable dependiente: PESO DE CABEZAS

## Resumen de Selección escalonada

Paso	Variable introducida	Variable eliminada	Número vars en	R-cuadrado parcial	R cuadrado del modelo	C(p)	F-Valor	Pr > F
1	MDPM		1	0.3345	0.3345	2.2985	21.62	<.0001

ANALISIS DE REGRESION 00:00 Tuesday, October 15, 2014 2284

Procedimiento REG  
Modelo: MODEL1  
Variable dependiente: RENDIMIENTO ESTIMADO

Número de observaciones leídas	60
Número de observaciones usadas	45
Número de observaciones con valores ausentes	15

Selección escalonada: Paso 1

Variable DIAMETRO PONDERADO MEDIO introducida: R-cuadrado = 0.3343 y C(p) = 2.2928

Análisis de la varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Model	1	267.89013	267.89013	21.59	<.0001
Error	43	533.46866	12.40625		
Total corregido	44	801.35879			

Variable	Estimador del parámetro	Error estándar	Tipo II SS	F-Valor	Pr > F
Intercept	27.05743	3.71524	658.02272	53.04	<.0001
MDPM	8.25201	1.77583	267.89013	21.59	<.0001

Límites en el número de la condición: 1, 1

All variables left in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

2014 2285

ANALISIS DE REGRESION

00:00 Tuesday, October 15,

Procedimiento REG  
Modelo: MODEL1  
Variable dependiente: RENDIMIENTO ESTIMADO

## Resumen de Selección escalonada

Paso	Variable introducida	Variable eliminada	Número vars en	R-cuadrado parcial	R cuadrado del modelo	C(p)	F-Valor	Pr > F
1	MDPM		1	0.3343	0.3343	2.2928	21.59	<.0001

ANALISIS DE REGRESION 00:00 Tuesday, October 15, 2014 2286

Procedimiento REG

Modelo: MODEL1

Variable dependiente: PESO DE CABEZAS

Número de observaciones leídas	60
Número de observaciones usadas	45
Número de observaciones con valores ausentes	15

## Análisis de la varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Model	1	68698	68698	21.62	<.0001
Error	43	136650	3177.90471		
Total corregido	44	205348			

Raíz MSE	56.37291	R-cuadrado	0.3345
Media dependiente	706.37844	Adj R-Sq	0.3191
Var Coef	7.98055		

## Estimadores de parámetros

Variable	DF	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t	Tolerancia	Inflación de la varianza
Intercept	1	432.68994	59.46159	7.28	<.0001	.	0
MDPM	1	132.14574	28.42183	4.65	<.0001	1.00000	1.00000

2014 2287

ANÁLISIS DE REGRESION

00:00 Tuesday, October 15,

Procedimiento REG

Modelo: MODEL1

Variable dependiente: RENDIMIENTO ESTIMADO

Número de observaciones leídas	60
Número de observaciones usadas	45
Número de observaciones con valores ausentes	15

## Análisis de la varianza

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Model	1	267.89013	267.89013	21.59	<.0001
Error	43	533.46866	12.40625		
Total corregido	44	801.35879			

Raíz MSE	3.52225	R-cuadrado	0.3441
Media dependiente	44.14827	Adj R-Sq	0.3188
Var Coef	7.97823		

## Estimadores de parámetros

Variable	DF	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t	Tolerancia	Inflación de la varianza
Intercept	1	26.65540	3.73701	7.13	<.0001	.	0
MDPM	1	8.76198	1.85348	4.73	<.0001	1.00000	1.00000