



2015

***INFLUENCIA DE MATERIALES ORGÁNICOS EN LA
VARIACIÓN DEL PH DE UN SUELO ÁCIDO Y EN LA
PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE HABICHUELA
(Phaseolus Vulgaris L.)***



MELDY BELSON MORALES CAMPO

INFLUENCIA DE MATERIALES ORGÁNICOS EN LA VARIACIÓN DEL PH DE
UN SUELO ÁCIDO Y EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE HABICHUELA
(*Phaseolus Vulgaris L.*)

MELDYBELSON MORALES CAMPO



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2015

INFLUENCIA DE MATERIALES ORGÁNICOS EN LA VARIACIÓN DEL PH DE
UN SUELO ÁCIDO Y EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE HABICHUELA
(*Phaseolus Vulgaris L.*)

MELDYBELSON MORALES CAMPO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERO AGRÍCOLA

Director

Ing. ALDEMAR REYES TRUJILLO M. Sc

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2015

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	JUSTIFICACIÓN	15
3.	ANTECEDENTES	17
4.	OBJETIVOS.....	18
4.1	Objetivo General	18
4.1.1	Objetivos Específicos	18
5.	MARCO TEÓRICO	19
5.1	La reacción del suelo	19
5.1.1	Concepto de pH en el suelo	19
5.1.1.1	Medición del pH del suelo	19
5.1.1.2	Factor que afectan la medida del pH.....	20
5.1.1.2.1	Efecto de suspensión y dilución	20
5.1.1.3	Calificación del pH del suelo	20
5.1.1.4	Importancia del pH en el suelo	21
5.1.1.4.1	En las propiedades físicas	21
5.1.1.4.2	En la disponibilidad de nutrientes.....	22
5.1.1.4.3	En la actividad biológica.....	22
5.1.1.5	Poder amortiguador o regulador del suelo	23
5.2	Suelos ácidos.....	23
5.2.1	Naturaleza de la acidez del suelo.....	23
5.2.2	Formación de suelos ácidos.....	24
5.2.3	Tipos de acides en el suelo.....	25
5.2.4	Grupo y propiedades de suelos ácidos	25
5.2.4.1	Suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5.....	26
5.2.5	Interpretación de la reacción en suelos ácidos.....	26
5.2.5.1	El pH.....	26
5.2.6	Manejo de los suelos ácidos minerales	26

5.2.6.1	Suelos con pH entre 5.5 y 6.5	26
5.2.7	Clasificación taxonómica de suelos ácidos	27
5.3	Materiales orgánicos	27
5.3.1	Definiciones	28
5.3.2	Caracterización	28
5.3.3	Propiedades.....	29
5.3.3.1	Propiedades físicas.....	29
5.3.3.2	Propiedades químicas.....	29
5.3.3.3	Propiedades biológicas	29
5.4	Tipos de materiales orgánicos	30
5.4.1	Compost	30
5.4.1.1	Características del compost	30
5.4.1.2	Ventajas del uso del compost	31
5.4.1.3	Materiales para la elaboración del compost	32
5.4.1.4	Elaboración del compost.....	33
5.4.1.5	Proceso de compostaje.....	33
5.4.1.5.1	Fases del proceso de compostaje.....	34
5.4.1.5.2	Factores que intervienen en el proceso de compostaje.....	35
5.4.2	Lombricompost	36
5.4.2.1	Características del lombricompost	36
5.4.2.2	Ventajas del uso de lombricompost.....	37
5.4.2.3	Materiales para establecer la producción de lombricompost	38
5.4.2.4	Elaboración del Lombricompost	38
5.4.2.4.1	Factores en la producción del lombricompost	39
5.5	Cultivo de la Habichuela	40
5.5.1	Generalidades del cultivo	40
5.5.1.1	Origen	41
5.5.1.2	Taxonomía.....	41
5.5.1.3	Morfología.....	41
5.5.1.3.1	Epatas de desarrollo del cultivo	42

5.5.1.4	Características de las Vainas	44
5.5.2	Agronomía del cultivo.....	44
5.5.2.1	Adaptación	44
5.5.2.2	Épocas de siembra	45
5.5.2.3	Variedades.....	45
5.5.2.4	Sistema de producción.....	46
5.5.2.5	Preparación del suelo	46
5.5.2.6	Siembra	47
5.5.2.7	Tutorado	47
5.5.2.8	Riego	47
5.5.2.9	Fertilización.....	48
5.5.2.10	Manejo de arvenses.....	50
5.5.2.11	Manejo de plagas y enfermedades	50
5.5.2.12	Cosecha.....	50
5.5.3	Características agronómicas del cultivo	51
5.5.3.1	Variables cuantitativas	51
6.	METODOLOGÍA	53
6.1	Ubicación y localización del ensayo	53
6.1.1	Descripción de la zona de estudio.....	54
6.2	Diseño experimental	55
6.3	Caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.....	56
6.3.1	Caracterización inicial del suelo.	57
6.3.2	Caracterización final del suelo.	58
6.4	Preparación de los materiales orgánicos.....	58
6.4.1	Elaboración del Compost	58
6.4.1.1	Seguimiento en el proceso de compostaje	60
6.4.1.2	Cosecha del compost.....	61
6.4.2	Elaboración del Lombricompost	62
6.4.2.1	Manejo y cuidado de la lombricompostera	63

6.4.2.2	Recolección del lombricompost.....	63
6.4.3	Análisis de los materiales orgánicos	64
6.5	Manejo agronómico del ensayo	64
6.5.1	Adecuación de la parcela experimental	64
6.5.2	Riego	65
6.5.2.1	Demanda hídrica del cultivo	66
6.5.2.2	Diseño agronómico	67
6.5.3	Fertilización.....	69
6.5.3.1	Nitrógeno disponible del suelo	69
6.5.3.2	Nitrógeno disponible de los abonos orgánicos	70
6.5.3.3	Cantidad de abono orgánico requerido	70
6.5.3.4	Plan de fertilización	71
6.5.4	Siembra	73
6.5.5	Tutorado	74
6.5.6	Manejo de arvenses.....	74
6.5.7	Control de plagas y enfermedades.....	74
6.5.8	Cosecha.....	75
6.5.9	Medición de variables agronómicas del cultivo.....	76
6.5.9.1	Longitud del tallo principal (cm).....	76
6.5.9.2	Numero de flores por planta.....	76
6.5.9.3	Numero de vainas por planta	77
6.5.9.4	Variables características de las vainas.....	77
6.6	Definición de variables	78
6.7	Análisis estadístico de los datos.....	79
6.7.1	Prueba de hipótesis	80
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	81
7.1	Caracterización inicial del suelo	81
7.2	Caracterización de los abonos orgánicos.....	83
7.3	Análisis estadístico descriptivo de las variables explicatorias y de respuesta	84

7.3.1	Análisis de las propiedades físicas del suelo	84
7.3.2	Análisis de las propiedades químicas y biológicas del suelo	87
7.3.3	Análisis de las variables agronómicas y producción del cultivo	92
8.	CONCLUSIONES	100
9.	RECOMENDACIONES	102
10.	BIBLIOGRAFÍA	103
11.	ANEXOS	111

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Calificación del pH del suelo para dos métodos de determinación.	21
Tabla 2.	Composición físico-química media del compost.	31
Tabla 3.	Condiciones ideales para el compostaje.	36
Tabla 4.	Composición físico química del lombricompost.	37
Tabla 5.	Condiciones ideales para la producción de lombricompost.	40
Tabla 6.	Etapas de desarrollo de la habichuela.	43
Tabla 7.	Criterios generales para evaluar las características de la vaina de la habichuela.	44
Tabla 8.	Características de la variedad UNAPAL Milenio.	46
Tabla 9.	Distancias de siembra en el cultivo de la habichuela.	47
Tabla 10.	Distribución de lámina de riego, para el cultivo de una hectárea de habichuela UNAPAL Milenio.	48
Tabla 11.	Extracción de nutrientes del cultivo de habichuela voluble con un rendimiento de 12 t/ha.	49
Tabla 12.	Cantidades y distribución de nutrientes de la habichuela.	49
Tabla 13.	Diseño de los tratamientos.	55
Tabla 14.	Propiedades del suelo y métodos de análisis.	56
Tabla 15.	Cálculos de relación C/N para elaboración del compost.	59
Tabla 16.	Diseño agronómico del sistema de riego para el cultivo de habichuela.	69
Tabla 17.	Resultados del peso y nitrógeno disponible del suelo.	70
Tabla 18.	Cantidad de nitrógeno a aplicar.	71
Tabla 19.	Cantidad de abono orgánico requerido.	71
Tabla 20.	Distribución del nitrógeno para la habichuela.	71
Tabla 25.	Plan de fertilización orgánica para el cultivo de habichuela.	72
Tabla 22.	Caracterización inicial de las propiedades físicas.	81
Tabla 23.	Caracterización inicial de las propiedades químicas y biológicas.	81
Tabla 24.	Composición química de los materiales orgánicos.	83
Tabla 25.	Estadísticas descriptivas Da.	84

Tabla 26. Estadísticas descriptivas porosidad total y distribución de poros.	85
Tabla 27. Estadísticas descriptivas diámetro ponderado medio (DPM).....	86
Tabla 28. Estadísticas descriptivas CE.	87
Tabla 29. Estadísticas descriptivas CIC.	88
Tabla 30. Estadísticas descriptivas MO.	89
Tabla 31. Estadísticas descriptivas AM.....	90
Tabla 32. Estadísticas descriptivas pH.	91
Tabla 33. Estadísticas descriptivas longitud del tallo.	92
Tabla 34. Estadísticas descriptivas número de flores.	93
Tabla 35. Estadísticas descriptivas número de vainas.....	94
Tabla 36. Estadísticas descriptivas peso de la vaina.	95
Tabla 37. Estadísticas descriptivas longitud de la vaina.	96
Tabla 38. Estadísticas descriptivas diámetro de la vaina.	97
Tabla 39. Estadísticas descriptivas producción del cultivo.	98

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo.	22
Figura 2. Ubicación microcuenca La Centella.	53
Figura 3. Distribución de las parcelas experimentales para el diseño de bloques completos al azar.	55
Figura 4. Extracción de muestras	57
Figura 5. Análisis de suelo físico y químico, laboratorio LASA: a) estabilidad de agregados, b) conductividad eléctrica, c) carbono orgánico.	57
Figura 6. Distribución del lote de estudio para muestreo inicial.	58
Figura 7. Proceso de preparación del compost: a) trituración de algunos residuos orgánicos, b) colocación de las capas e incorporación de humedad, c) montón totalmente mezclado, d) técnica de compost solarizado.	59
Figura 8. Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje.	60
Figura 9. Comportamiento del pH en el proceso de compostaje.	61
Figura 10. Seguimiento en el proceso de compostaje: a) medición de temperatura, b) determinación del pH.	61
Figura 11. Fase final del compost: a) compost estabilizado, b) empaque, c) almacenamiento.	62
Figura 12. Montaje de la lombricompostera: a) semilla de lombriz, b) establecimiento de la cama.	62
Figura 13. Manejo y cuidado de la lombricompostera: a) recolección del estiércol, b) fermentación del sustrato, c) aplicación y distribución del alimento.	63
Figura 14. Cosecha de lombricompost: a) condiciones ideales del sustrato, b) instalación de trampas, c) pérdida de humedad del lombricompost.	64
Figura 15. Adecuación de la parcela experimental.	65
Figura 16. Sistema de riego localizado de alta frecuencia finca El Brillante.	65
Figura 17. Prueba de bulbo húmedo.	68
Figura 18. Métodos de aplicación de los abonos orgánicos: a) recipientes	

calibrados para las aplicaciones, b) primera aplicación método de chorrillo, c) segunda aplicación método de ahoyado, d) tercera aplicación método media corona.....	73
Figura 19. Método de siembra manual.....	73
Figura 20. Sistema de tutorado.....	74
Figura 21. Fumigación manual para el Control de plagas y enfermedades.....	75
Figura 22. Cosecha del cultivo: a) recolección de vainas, b) pesaje	75
Figura 23. Medición tallo principal.....	76
Figura 24. Etapa de floración del cultivo.	76
Figura 25. Número de vainas por planta: a) recolección, b) conteo.	77
Figura 26. Medición de variables características de las vainas	77
Figura 27. Distribución acumulativa de los tamaños de los agregados del suelo. .	82
Figura 28. Efecto de la fertilización orgánica en la Da del suelo.	84
Figura 29. Efecto de la fertilización orgánica en la porosidad del suelo.	85
Figura 30. Efecto de la fertilización orgánica en estabilidad estructural del suelo.	86
Figura 31. Efecto de la fertilización orgánica en CE del suelo.....	87
Figura 32. Efecto de la fertilización orgánica en CIC del suelo.....	88
Figura 33. Efecto de la fertilización orgánica en la MO del suelo.	89
Figura 34. Efecto de la fertilización orgánica en la AM del suelo.....	90
Figura 35. Efecto de la fertilización orgánica en el pH del suelo.	91
Figura 36. Efecto de la fertilización orgánica en la longitud del tallo.	92
Figura 37. Efecto de la fertilización orgánica en el número de flores.	93
Figura 38. Efecto de la fertilización orgánica en el número de vainas por planta. .	94
Figura 39. Efecto de la fertilización orgánica en el peso de la vaina.	95
Figura 40. Efecto de la fertilización orgánica en la longitud de la vaina.....	96
Figura 41. Efecto de la fertilización orgánica en el diámetro de la vaina.	97
Figura 42. Efecto de la fertilización orgánica en producción del cultivo.....	97

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Evapotranspiración potencial en milímetros (mm).....	111
Anexo 2. Coeficiente del cultivo y diámetro de sombra de la habichuela.	111
Anexo 3. Valores de eficiencia de aplicación (Ea) en climas húmedos.	111
Anexo 4. Valores para coeficiente de uniformidad (CU).....	111
Anexo 5. Cálculos y resultados de la demanda hídrica para el cultivo de habichuela.	112
Anexo 6. Medición de caudal real de goteo (L/h).	113
Anexo 7. Prueba de bulbo húmedo.....	113
Anexo 8. Rangos de porcentaje de área a humedecer según Pizarro, 1990.....	113
Anexo 9. Cosechas del cultivo de habichuela en Kg.....	113
Anexo 10. Resultados estadísticos pH del suelo.	114
Anexo 11. Resultados estadísticos variables agronómicas del cultivo.	114

RESUMEN

El experimento se realizó en la finca El Brillante, vereda Centella Alta, corregimiento El Palmar, municipio de Dagua en el departamento del Valle del Cauca, a una altura de 1800 msnm. El principal objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de materiales orgánicos (compost y lombricompost) en la variación del pH de un suelo ácido y en la producción del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.). La metodología utilizada para su desarrollo fue realizar un muestreo y análisis inicial del suelo, con el fin de conocer las condiciones para determinar el manejo más adecuado tanto para el suelo como para el cultivo; lo más importante de este diagnóstico fue conocer las condiciones de acidez (pH) y los nutrientes disponibles del suelo. También se elaboraron y se caracterizaron dos tipos de abonos orgánicos, el compost con residuos de cosecha de la finca y el lombricompost con estiércol del ganado de la zona; siguiendo los parámetros para obtener abonos de calidad. La cantidad de abono orgánico que se aplicó a cada planta se realizó mediante un plan de fertilización, en donde se dosificó los abonos en tres etapas con diferentes métodos de aplicación; se calculó de acuerdo al contenido de nitrógeno en el suelo y en los abonos orgánicos, además de lo requerido por el cultivo.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones, para un total de 9 unidades experimentales, en donde se distribuyeron los tres tratamientos: compost, lombricompost y el testigo sin abono. Durante el ciclo vegetativo del cultivo se evaluaron las propiedades agronómicas y la producción de la habichuela, al finalizar el periodo del cultivo se evaluaron las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Los resultados indicaron que con la aplicación del compost y lombricompost no se presentaron diferencias significativas, por el contrario conservaron sus buenas propiedades físicas; en las propiedades químicas se mostraron leves incrementos, el compost aumento un poco la conductividad eléctrica (CE) y disminuyo la capacidad de intercambio catiónico, el lombricompost aumento la materia orgánica (MO); los dos materiales orgánicos no generaron diferencias significativas en el pH del suelo, pero incrementaron la actividad microbiana (AM). En cuanto a las variables agronómicas del cultivo el tratamiento con compost presentó el mejor comportamiento con los valores más altos para la longitud del tallo, numero de flores, numero de vainas, longitud de la vaina; en el diámetro de la vaina no se mostraron diferencias entre los tratamientos y para el peso de la vaina ambos abonos incrementaron respecto al testigo. La mayor producción del cultivo se obtuvo con la fertilización con compost (3.22 ton/ha), seguido de la fertilización con lombricompost (2.08 ton/ha) y por último el tratamiento sin fertilizar (0.81 ton/ha).

1. INTRODUCCIÓN

La acidificación del suelo es un proceso natural que se da durante la pedogénesis. En regiones donde la precipitación excede a la evapotranspiración. Existen otros procesos no naturales que incrementan la acidez de los mismos. Estos procesos son producto de la actividad del hombre, entre ellos están: la nutrición natural de las plantas, el drenaje de suelos que contiene compuestos reducidos de azufre, la fertilización química y las lluvias ácidas (Zapata, 2004).

Esta problemática ha venido tratándose desde hace ya muchos años en la agricultura y en las prácticas de recuperación de suelos ácidos, generando que se considere como uno de los principales criterios empleados en los sistemas de clasificación de suelos. La acidez es un factor que influye directamente en la fertilidad de los suelos, ocasionando un mayor o menor grado de solubilidad de los nutrientes para las plantas y afectando de este modo la producción agrícola, además de la limitación del tipo de cultivo que se pueda desarrollar en un tipo de suelo con acidez determinada.

El tema de suelos ácidos en el país parece un asunto redundante en los agricultores que tienen sus fincas en zonas de ladera, la mayoría se quejan por los problemas con los cultivos, asociado también con los altos costos de los insumos para su manejo; como una importante solución a esta problemática actualmente se está dando mayor importancia al uso de alternativas que permitan recuperar este tipo de suelos a bajos costos con residuos propios de la zona, dentro de estas alternativas se encuentra el uso de abonos o enmiendas orgánicas en donde su aplicación mejora las propiedades del suelo, aporta nutrientes para las plantas y regula el pH del suelo.

El objetivo de este trabajo es determinar el efecto de materiales orgánicos en la variación del pH en un suelo ácido de ladera andina y la producción de un cultivo de habichuela. Lo anterior se realizó determinando la variación del pH de un suelo ácido, sometido a diferentes tratamientos de materiales orgánicos y determinando la respuesta de los materiales orgánicos en el desarrollo agronómico y la producción del cultivo.

Esta investigación se desarrolló en el marco del proyecto “Estrategias agroecológicas para la sostenibilidad y adaptación a la variabilidad y el cambio climático en la cuenca alta del río Dagua, Valle del Cauca”; por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos (IREHISA) de la Universidad del Valle.

2. JUSTIFICACIÓN

El 30% de la América tropical (405 millones de hectáreas) está dominada por suelos con alto nivel de bases, relativamente fértiles que sostienen poblaciones densas. El 70% restante está dominado por suelos ácidos e infértiles de los órdenes Oxisol y Ultisol, con densidades de poblaciones relativamente bajas y la mayoría bajo la vegetación de bosque y sabana. Los principales limitantes relacionados con los suelos de América tropical y su región de suelos ácidos e infértiles son más de naturaleza química que física, incluyendo las deficiencias de fósforo, nitrógeno, potasio, azufre, calcio, magnesio, y zinc, más la toxicidad por aluminio y la alta fijación de fósforo (Sánchez y Salinas, 2008).

El parámetro de la acidez de los suelos adquiere gran importancia en los suelos tropicales y especialmente en Colombia, donde los suelos ácidos ocupan más del 80% del territorio. La acidez incide directamente en la fertilidad de los suelos, ocasionando un mayor o menor grado de solubilidad de los elementos nutrientes para las plantas y afectando de este modo la producción agrícola. Además, la acidez incide en otros fenómenos fisicoquímicos, como la capacidad de intercambio catiónico, la adsorción de elementos y la presencia de aluminio en forma tóxica para las plantas (Zapata, 2004). Por lo que se hace de vital importancia realizar prácticas de mejoramiento y recuperación hacia estos tipos de suelos, mediante la utilización de sustancias correctivas o la utilización de materiales orgánicos que contribuyan al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas, como también la regulación del pH de suelos acidificados, ya que estos suelos en su gran mayoría son utilizados en la producción agrícola del país.

La zona en donde se realizó la investigación se caracteriza por un clima muy húmedo, en donde la precipitación es mucho mayor que la evaporación, los suelos de esta zona presentan alta susceptibilidad a la acidez, debido a algunas características biofísicas, como relieves que se encuentra entre fuertemente ondulado y fuertemente quebrado con pendientes que varían desde 12 a 25 % respectivamente, precipitaciones medias anuales de 800 mm – 1600 mm, evapotranspiración anual de 1150-1200 mm. (Grupo de Investigación en Ingeniería de Recurso Hídricos y Suelos [IREHISA], Grupo de Investigación en Ecología de Agroecosistemas y Hábitats Naturales [GEAHNA] y Grupo de investigaciones entomológicas [GIE], 2012). Los principales limitantes que presentan los suelos de esta microcuenca para su uso y manejo son la alta saturación de aluminio mayor del 60%, reacción muy fuerte y moderadamente ácida (4.8 y 5.8) y moderada fertilidad (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca [CVC], 2004).

El uso de abonos orgánicos es cada vez más frecuente en la actividad agrícola no solo porque contiene de manera natural en menores proporciones los nutrientes que la planta necesita para su normal desarrollo, sino porque además mejora las características físicas, biológicas y químicas del suelo, tales como el pH. De igual forma con la utilización de los abonos orgánicos los agricultores pueden reducir el uso de insumos externos y aumentar la eficiencia de los recursos de la comunidad, debido al bajo costo que este tipo de abonos representa en comparación a otros (químicos), así mismo contribuir a la protección de la salud humana y del ambiente.

La habichuela es una hortaliza muy cultivada en algunas regiones de Colombia como el Valle del Cauca (552 hectáreas, con rendimiento de 8-12 t/ha) (Vallejo y Estrada, 2004). El cultivo de habichuela es uno de los productos más cultivados en la zona, según IREHISA, Universidad San Buenaventura [USB] y Corporación BIOTEC (2010); es el cuarto cultivo más importante con 5.9% hectáreas cultivadas por año. Además la región tiene las condiciones climáticas y ambientales favorables para su propagación, este cultivo tiene alta importancia porque ofrece alternativas económicas al agricultor, permitiendo obtener ingresos de manera rápida debido a su corto ciclo productivo; los problemas que presenta este cultivo son los suelos ácidos de la zona ya que la habichuela es moderadamente tolerante a la acidez, los altos costos de producción, debido a la aplicación incontrolada de agroquímicos para su manejo. La idea es poder generar alternativas ecológicamente amigables con el ambiente, a través de la aplicación de materiales orgánicos que contribuyan como enmiendas en la corrección del pH pero que a la misma vez aporten los nutrientes necesarios al cultivo para su buen desarrollo y producción a bajos costos.

3. ANTECEDENTES

Los abonos orgánicos tienen efectos benéficos de mejorar la productividad de los suelos, corregir los problemas de la acidez y restauran los desbalances nutricionales para obtener mayores rendimientos y mejor rentabilidad (Blanco, s.f.). Varios experimentos han corroborado los efectos benéficos en el manejo de suelos ácidos con la aplicación de abonos orgánicos; según Narváez et al. (2000), en un estudio sobre el efecto de los materiales orgánicos sobre el aluminio intercambiable del suelo y el desarrollo del cultivo, se analizó la relación entre la capacidad de remoción de aluminio en soluciones en tres materiales orgánicos (caupí, gallinaza y compost) y los efectos sobre las propiedades del suelo y el sobre el desarrollo de un cultivo de maíz. Los materiales mostraron el siguiente orden de remoción de aluminio y modificación del pH de las soluciones: gallinaza > compost > caupí > testigo. En el mismo orden todos los materiales incrementaron el pH con respecto al testigo ($5.8 > 4.7 > 4.6 > 4.4$), el P-disponible, disminuyeron el Al-intercambiable en el suelo, aumento la altura y el peso seco de la plantas.

Resultados interesantes se han obtenido en el manejo de andisoles ácidos con la aplicación de estiércol porcino, durante 10 años, a pasturas de kikuyo en los municipios de Don Matías y Rionegro, Colombia. La aplicación de este material orgánico incremento el pH del suelo de 5.4 a 5.9 en Don Matías y de 5.3 a 5.6 en Rionegro, mejoro la disponibilidad de nutrientes de estos suelos, aumento la CIC y disminuyo la cantidad de Al intercambiable (Osorio, 2003).

En cuanto a la aplicación de abonos orgánicos relacionada con la producción de cultivos; Muñoz (1994), en un estudio sobre efecto de la aplicación de gallinaza sobre la producción de algunos cultivos en Antioquia, encontró que en suelo andisol con aplicaciones de 1 ton/ha se logró una producción de frijol 1.5 ton/ha.

Jácome (2011), en la investigación sobre efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un inceptisol con propiedades andicas en la microcuenca Centella Dagua, la aplicación de lombricompost (300 kg/ha) incrementó el pH en el suelo 5.3 a 5.5 a los 45 dds y 4.5 a 4.6 a los 90 dds, con una producción de 250 kg/ha. En otra investigación en la misma zona Rojas (2012), en el estudio efecto de dos tipos de fertilización (orgánica y química) en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en la producción del cultivo de habichuela, el tratamiento con lombricompost (300 gr/planta) fue el que más incremento el pH del suelo de 5.1 a 5.7, con una producción de 5 ton/ha.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar el efecto de materiales orgánicos en la variación del pH en un suelo ácido de ladera andina y la producción de un cultivo de habichuela.

4.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar la variación del pH de un suelo ácido, sometido a diferentes tratamientos de materiales orgánicos.
- Determinar la respuesta de los materiales orgánicos en la producción del cultivo de habichuela.
- Seleccionar la mejor combinación de factores experimentales sobre la recuperación del pH del suelo, el desarrollo agronómico y la producción en el cultivo de habichuela.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 La reacción del suelo

“La reacción del suelo es aquella propiedad que establece el grado de **acidez** o de **alcalinidad** que él presenta y tiene una gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón, es una de sus propiedades más importantes. En términos generales, una sustancia es considerada como un **ácido** cuando tiene la capacidad de **ceder protones** al disociarse, para formar **hidronio** (H_3O^+). Análogamente, una sustancia se considera como una **base** cuando al disociarse **recibe protones** del agua, que actúa como ácido, y origina iones **hidróxido** (OH^-)” (Jaramillo, 2002, p. 346).

5.1.1 Concepto de pH en el suelo

El pH del suelo se determina por la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo. Esto se expresa con un parámetro denominado potencial de hidrógeno (pH). El pH se expresa como la inversa del logaritmo de la concentración de iones H^+ de acuerdo a la siguiente formula:

$$pH = \log \frac{1}{(\text{H}^+)}$$

La escala del pH oscila entre un rango que va desde 0 a 14. Un valor de 7.0 representa una condición de pH neutro (igual número de iones H^+ y OH^- en la solución), de otra parte, cuando los valores de pH sean menores que 7.0 se consideran suelos ácidos mientras que los valores mayores que se consideran como básicos (González, 2002).

5.1.1.1 Medición del pH del suelo

“El método más preciso y ampliamente utilizado usa el potenciómetro para medir el pH del suelo. Esta determinación que se puede hacer en el laboratorio, pero actualmente existen equipos portátiles miden el pH con la misma precisión de los equipos convencionales utilizados en el laboratorio. En este caso se determina el pH al poner en contacto una suspensión, hecha con suelo y agua destilada (1:1), con un electrodo de vidrio y otro de referencia conectados a un equipo electrónico (potenciómetro) que mide la concentración de iones H^+ e interpreta y entrega el resultado en la escala calibrada del aparato” (Espinosa y Molina, 1999, p. 1, 2).

“En algunos casos, se hace necesario ampliar la proporción suelo-agua para hacer la suspensión; esto es común cuando se trabaja con suelos que tienen altos contenidos de materia orgánica, con suelos orgánicos o con algunos Andisoles. Las variantes más comunes son las que utilizan relaciones volumétricas 1:2 o 1:5, suelo-agua; el procedimiento con estas variantes es igual al descrito anteriormente. Otras variaciones que se utilizan en el método potenciométrico consisten en cambiar el agua por soluciones de KCl 1N o de CaCl_2 0.01M para hacer las suspensiones; en estos casos, las relaciones suelo-agua son peso-volumen. Las relaciones más comunes son 1:1 peso-volumen en solución de KCl (20 g de suelo en 20 mL de solución) y 1:2 peso-volumen en solución de CaCl_2 (10 g de suelo en 20 mL de solución)” (Jaramillo, 2002, p. 348).

5.1.1.2 Factor que afectan la medida del pH

Si bien esta determinación en el laboratorio es bastante confiable existen ciertos factores que afectan la determinación del pH en suspensión del suelo. Uno de los principales factores que afectan estas medidas se discuten a continuación:

5.1.1.2.1 Efectores de suspensión y dilución

“Un error en la medición del pH se produce por el denominado efecto de suspensión. Cuando se mide el pH en suspensiones suelo-agua, los resultados son más bajos inmediatamente después de la agitación. Cuando se suspende la agitación, con los electrodos dentro de la suspensión y las partículas de suelo en proceso de decantación, el pH medido es gradualmente más alto debido a que los electrodos solamente miden la actividad del H^+ presente en la solución de equilibrio. La medición del pH también es influenciada por la dilución de la suspensión suelo-agua. Cuanto más diluida es la suspensión mayor es el pH. Por esta razón se aconseja ser consiente en la relación de suelo-agua utilizada en la determinación de pH. Las relaciones más comunes son 1:1 y 1:2.5 suelo agua” (Espinosa y Molina, 1999, p. 2).

5.1.1.3 Calificación del pH del suelo

De acuerdo con el valor de pH que presenten y con el método utilizado para determinarlo, los suelos se califican de varias maneras, según diferentes autores, como puede apreciarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Calificación del pH del suelo para dos métodos de determinación.

pH DETERMINADO EN AGUA 1:1		pH DETERMINADO EN KCl 1:1, P:V	
VALOR	CALIFICACIÓN *	VALOR	CALIFICACIÓN **
<3.5	Ultra ácido	<4.0	Extremadamente ácido
3.5 - 4.4	Extremadamente ácido	4.0 - 4.9	Fuertemente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido	5.0 - 5.9	Moderadamente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido	6.0 - 6.9	Ligeramente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido	7.0	Neutro
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido	7.1 - 8.0	Ligeramente alcalino
6.6 - 7.3	Neutro	8.1 - 9.0	Moderadamente alcalino
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino	9.1 - 10.0	Fuertemente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino	> 10.1	Extremadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino		
>9.0	Muy fuertemente alcalino		

* Según Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993). ** Según Fassbender (1982).

Fuente: Jaramillo, (2002).

“En términos generales puede considerarse que desde el punto de vista del pH, los suelos se pueden agrupar en tres grandes categorías: **Suelos ácidos** los que presentan pH < 6.5; **Suelos neutros** los que tienen pH entre 6.5 y 7.3 y **Suelos básicos** aquellos que exhiben valores de pH > 7.3” (Jaramillo, 2002, p. 353).

5.1.1.4 Importancia del pH en el suelo

El pH del suelo Influye en diversas propiedades físicas, químicas y biológicas.

5.1.1.4.1 En las propiedades físicas

“Los suelos excesivamente ácidos suelen poseer una estructura poco desarrollada y una baja porosidad, lo que origina mala aireación, la dificultad del laboreo, un reducido desarrollo radicular en las plantas, la baja permeabilidad del suelo, una mayor erodabilidad del suelo, etc. Estos efectos no se deben directamente a la fuerte presencia de protones o de aluminio en el suelo, sino a la falta de cationes Ca^{2+} , causa de la floculación de las arcillas, así como a la mala calidad de la materia orgánica humificada” (Jordán, 2005, p. 121). “Los pH neutros son los mejores para las propiedades físicas de los suelos. En pH alcalino, la arcilla se dispersa, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico” (Dorronsoro, 2013).

5.1.1.4.2 En la disponibilidad de nutrientes

“La disponibilidad de muchos nutrientes depende, entre otros factores, del equilibrio de solubilidad existente entre distintos compuestos en la fase sólida y las correspondientes formas en solución. El pH influye sobre este equilibrio y también en el de las reacciones de adsorción de aniones” (Molina, Andina y Fernández, s.f., p. 33). “La asimilación de nutrientes del suelo está influenciada por el pH (figura 1), ya que determinados nutrientes se pueden bloquear en determinadas condiciones de pH y no son asimilable para las plantas” (Dorronsoro, 2013).

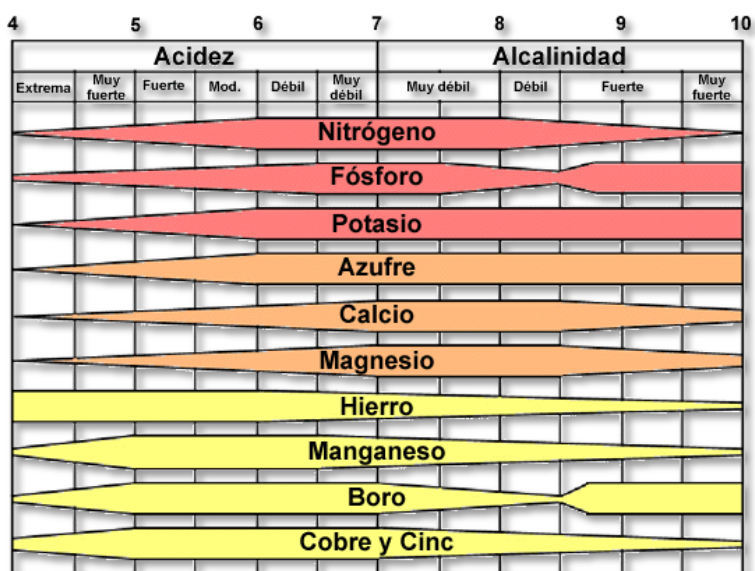


Figura 1. Disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo.

Fuente: García, (2005).

5.1.1.4.3 En la actividad biológica

“La actividad de los microorganismos del suelo depende del pH. En general las bacterias son más activas en medios poco ácidos, en cambio los hongos suelen ser predominantemente acidófilos. Entre los procesos microbiológicos fuertemente dependientes del pH cabe mencionar la nitrificación, que consiste en la oxidación aeróbica del nitrógeno amoniacal a nitrógeno nítrico. Los microorganismos que llevan a cabo este proceso son muy sensibles a la acidez, pero, paradójicamente, ellos mismos generan acidez como producto de su actividad. Este ejemplo sirve para introducir otra función del suelo, que es la capacidad de autorregular el pH o capacidad buffer” (Molina, Andina y Fernández, s.f., p. 29).

5.1.1.5 Poder amortiguador o regulador del suelo

“Se llama poder amortiguador o regulador del suelo, a la propiedad que tiene de resistir a variar el pH. Las causas de esta resistencia, se debe a que en el suelo existen sustancias capaces de frenar el cambio del pH, actuando de amortiguadores. Estos son la arcilla y el humus que en su forma de complejo, tiene poder de retener más o menos iones de H^+ . La orientación de orden práctico para valorar el poder amortiguador que puede tener el suelo, nos la dan la textura y el contenido de materia orgánica del mismo pues solamente el pH mide la acidez pero no el poder regulador. La importancia del poder amortiguador es evidente, ya que tiene como consecuencia conocer la cantidad de enmiendas que han de hacerse a un suelo para producir una determinada variación del pH” (Prat, 1981, p. 20).

5.2 Suelos ácidos

“En términos generales, los suelos son ácidos cuando considerables porciones de sus cationes intercambiables están representados por hidrogeno y las diferentes formas de aluminio hidratado. Aunque la ocurrencia de suelos ácidos, en ciertos casos, puede deberse a la naturaleza de los materiales parentales, lo más común es que estos se desarrollen debido a la lixiviación de bases” (López, 2002, p. 151). A este grupo pertenecen aquellos suelos que presentan valores de pH menores a 6.5.

5.2.1 Naturaleza de la acidez del suelo

“Existen varios procesos en el suelo que promueven la reducción de pH. Todos estos procesos ocurren naturalmente dependiendo del tipo de suelo, del tipo de cultivo y de las condiciones de manejo. Un conocimiento adecuado de estos proceso en el suelo permiten un mejor control de los parámetros que conducen a condiciones acidas” (Espinosa y Molina, 1999, p. 3). Según Lora (2010, p 117), la acidez de los suelos proviene de diferentes fuentes, las cuales pueden ceder protones. Entre las más importantes están las siguientes:

Materia orgánica: La materia orgánica del suelo contiene grupos carboxílicos y fenólicos que al disociarse liberan iones de H^+ a la solución del suelo. El efecto de la materia orgánica depende de la cantidad presente, y de las condiciones de agua y temperatura. Por descomposición o mineralización básicamente por acción microbial, se produce CO_2 el cual al reaccionar con el agua pasa ácido carbónico ($CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$), el ácido carbónico puede formar bicarbonato principalmente con las bases intercambiables del suelo, y estos compuestos son relativamente solubles y, por tanto, producen condiciones de acidez. Debe tenerse en cuenta que por la capacidad buffer de la materia orgánica, el cambio de pH es lento y demorado.

Remoción de nutrientes por la planta: La planta absorbe cationes como Ca, Mg, K, y para mantener el equilibrio libera H^+ por la raíz, lo cual contribuye a incrementar la acidez del suelo. Igualmente, a medida que las bases intercambiables disminuyen debido a la absorción por la planta, se aumenta la acidez del suelo.

Fertilizantes nitrogenados y azufre: La aplicación de fertilizantes nitrogenados amoniacales como el sulfato de amonio, o de urea que por hidrólisis también produce NH_4^+ , pueden generar o incrementar la acidez del suelo. La mineralización de la materia orgánica también produce NH_4^+ el cual al nitrificarse conlleva acidificación.

Aluminio intercambiable: Uno de los factores principales en el desarrollo de la acidez del suelo es la presencia de Al^{3+} en la solución del suelo. Los iones Al^{+++} se hidrolizan para formar complejos monoméricos hidroxialumínicos. Fisiológicamente el Al^{3+} y particularmente $Al(OH)^{2+}$ son las formas más tóxicas del aluminio para la mayoría de las plantas.

5.2.2 Formación de suelos ácidos

Según Gonzáles (2002, P. 46), existen algunos factores relacionados con el origen de la acidez del suelo:

Material parental: El grado de acidez del suelo puede estar influenciado por el tipo de material parental a partir del cual se formó el suelo. Los suelos que se desarrollaron a partir de rocas o material generador básico, generalmente tiene valores de pH más altos que aquellos formados a partir de rocas ácidas.

Precipitaciones: Algunos de los factores climáticos como la precipitación, pueden afectar grandemente las características del perfil del suelo provocando una condición de acidificación. El agua lluvia, que pasa a través del suelo paulatinamente lixivia (lava) los elementos básicos tales como el Ca y Mg, los cuales son extraídos o desplazados fuera del suelo a través del agua de drenaje interno. Estos elementos a su vez, son reemplazados por elementos acidificantes tales como el Hidrógeno (H), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn). De esta manera, los suelos formados bajo ambientes de precipitaciones altas, son más ácidos (o de pH menor) que aquellos formados bajo condiciones áridas o semiáridas.

Actividad y crecimiento de las plantas: Las plantas que crecen durante la formación del suelo, influyen su pH. Los suelos formados bajo vegetación boscosa, tienden a ser más ácidos que aquellos formados bajo praderas.

Profundidad y erosión de horizontes: con excepción de las áreas de baja precipitación, por lo general la acidez del suelo aumenta con la profundidad y la pérdida de la capa superficial por erosión puede aumentar la acidez de la capa arable. A medida que la profundidad del suelo superficial disminuye, una mayor proporción del subsuelo es incluida en la capa arable. Existen situaciones en las que el pH del subsuelo es más alto que el de la capa superficial. Como resultado de esto, la erosión podría concluir a suelos con pH más alto.

5.2.3 Tipos de acides en el suelo

“Existen varios tipos de acidez que pueden actuar simultáneamente en el suelo o manifestarse individualmente de acuerdo con la naturaleza del complejo de cambio predominante en las arcillas, grado de evolución del suelo y contenido de materia orgánica” (Castro y Gómez, 2008, p. 142). Según Jaramillo (2002, p. 357), en el suelo se distinguen varios tipos de acidez, dependiendo de los iones que la producen, los cuales requieren diferentes métodos para cuantificarlas:

Acidez activa: Es la acidez que se evalúa cuando se mide el pH del suelo; es la que está determinando las condiciones de acidez actual del suelo e involucra los iones H_3O^+ disociados en la solución de éste.

Acidez intercambiable: Es la acidez que está asociada al Al^{+3} , $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ y al $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ y se establece determinando la cantidad de aluminio intercambiable que tiene el suelo al lavarlo con una solución de KCl 1N; este tipo de acidez es la más importante en suelos que tienen $\text{pH} < 5.5$, ya que a partir de este valor empieza a aumentar la solubilidad del aluminio, en forma exponencial.

Acidez titulable o potencial: Espinosa (1994, p. 113) “la define como la acidez dependiente del pH que se extrae con BaCl_2 -TEA a pH de 8.2. Es muy alta porque incluye H_3O^+ no intercambiable proveniente de la materia orgánica (fenol y carboxilo) y de sesquióxidos hidratados de Fe y Al.

Acidez total: Comprende la sumatoria de la acidez intercambiable más la acidez titulable; tanto este tipo de acidez como la titulable no tienen ninguna importancia práctica en el manejo de suelos.

5.2.4 Grupo y propiedades de suelos ácidos

Los diferentes valores de pH en el rango ácido presentan diferencias entre los cationes que controlan la acidez. Esto genera propiedades y problemas de manejo diferentes.

5.2.4.1 Suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5

“Estos suelos tienen algún contenido de acidez intercambiable que disminuye la posibilidad de toxicidad con Al^{3+} , H_3O^+ o Mn^{2+} . Hay una mejora en la actividad biológica bacteriana; el suministro de bases, de molibdeno y de fósforo se mejora llegando a ser óptimo para muchas plantas en el límite superior del rango de pH que define este grupo” (Jaramillo, 2002, p. 359).

5.2.5 Interpretación de la reacción en suelos ácidos

“Al considerar la reacción del suelo, conviene tener muy en cuenta las exigencias específicas de cada cultivo o lo que es lo mismo decir que cada cultivo se desarrolla en un determinado pH del suelo, lográndose los máximos rendimientos cuando hay una perfecta adaptación entre ambos” (Prat, 1981, p. 24). “En la actualidad, las prácticas de manejo de cultivos en suelos ácidos incluyen, como un criterio prioritario, la adopción de cultivos tolerantes. En consecuencia no solo se considera cuanto es el aluminio intercambiable, si no que habilidad o aptitud de la planta para crecer y producir rendimientos adecuados en condiciones acidas” (Guerrero, 1990, p. 148).

5.2.5.1 El pH

“Para evaluar esta medida, hay que tener en cuenta el cultivo que se piensa plantar en el suelo que se estudia, pues cada planta tiene un valor de pH óptimo y un rango de tolerancia para su desarrollo” (Jaramillo, 2002, p. 360). Según el ICA (1992) reporta algunos rangos de tolerancia de pH para algunas plantas de cultivo así:

- Plantas con rango entre 4.8 y 5.5: Piña, yuca, papa y pastos gordura, braquiaria y puntero.
- Plantas con rango de pH entre 5.6 y 6.4: Arroz, maíz, tomate, trigo, frijol.
- Plantas con rango de pH entre 6.5 y 7.3: Alfalfa, trébol, algodón, coliflor, caña de azúcar.

5.2.6 Manejo de los suelos ácidos minerales

5.2.6.1 Suelos con pH entre 5.5 y 6.5

“Los suelos con pH entre 6.1 y 6.5 presentan las condiciones casi óptimas para la nutrición de la mayoría de las plantas. En los suelos con pH entre 5.5 y 6.0 los principales limitantes para su uso agropecuario se relacionan con problemas de

nutrición ocasionados por desbalances entre nutrientes o por deficiencia de ellos en el suelo. En el caso del nitrógeno, este elemento puede suplirse aplicando materia orgánica al suelo o por medio de fertilizantes químicos; el fósforo y el potasio, en caso de que sean deficientes, se aplican al suelo en forma de fertilizantes, en las dosis que corresponda de acuerdo con el nivel de deficiencia y con la exigencia del cultivo. Si en el suelo se presentan deficiencias de las otras bases (Ca y Mg), éstas se aplican al suelo en las cantidades requeridas a partir de cales agrícolas (si se requiere sólo Ca) o de cales dolomíticas (si se requieren Ca y Mg); estos materiales se aplican con los métodos y precauciones que se utilizan para los fertilizantes, pues se están usando como si fueran uno de ellos” (Jaramillo, 2002, p. 361).

5.2.7 Clasificación taxonómica de suelos ácidos

“En la Taxonomía sólo se toma al pH como un indicador de acidez. Es una variable muy útil ya que se relaciona con el contenido de bases, con el grado de meteorización y evolución del suelo, con la cantidad de bases lixiviadas, con la disponibilidad de nutrientes para las plantas y con la toxicidad de aluminio, entre otras propiedades” (Zapata, 2004, p. 179).

“Los Andisoles son suelos derivados de cenizas volcánicas, tienen alta capacidad tampón (resistencia al cambio de pH) y una moderada CIC, por lo cual la determinación de los requerimientos de cal es más complicada que en otros suelos. Además la capacidad de tampón varía de un lugar a otro, dependiendo de intemperización de la ceniza volcánica, el cual depende de factores como la altitud, precipitación, temperatura y edad del material” (Lora, 2010, p. 126). Los Andisoles colombianos están distribuidos en la región andina del país. Los resultados de los estudios de las propiedades andicas indican que la mayoría de ellos son ácidos, presentan aluminio (Al) y hierro (Fe) en los primeros 60 cm (González, 2002).

5.3 Materiales orgánicos

Material orgánico es cualquier material que tiene alto contenido de carbono, algunos se pueden incorporar al suelo, en forma de abonos orgánicos, son de gran importancia porque actúan como enmiendas, acondicionadores y mejoradores de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

5.3.1 Definiciones

Abonos o fertilizantes: “Material orgánico de origen vegetal y/o animal estandarizado (estabilizado) y manejado de manera ambientalmente limpia, tanto en su procesamiento como en el transporte, que es agregado al suelo fundamentalmente para la nutrición de la plantas (Instituto Colombiano de Normas y certificaciones [ICONTEC] e Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2003, p. 13). “Son productos resultantes de la descomposición biológica de la Materia Orgánica que al ser incorporados al suelo mejoran sus propiedades físicas, químicas y biológicas lo cual se refleja en un incremento de la capacidad productiva del suelo” (Blanco, s.f., p. 15).

Enmiendas: “Son el conjunto de materiales orgánicos que se incorporan al suelo con diversos propósitos, para mejorar sus cualidades físicas de estructura, aireación, absorción y retención de agua y para aportar algunos elementos que mejoren la nutrición de la planta y que ayuden a aminorar el efecto dañino de las enfermedades y plagas” (Burbano, 1998, p. 339).

Acondicionadores: “Producto de origen vegetal o animal, o vegetal y animal, estandarizado y manejado de manera ambientalmente limpia, que se aplica principalmente para mejorar sus propiedades físicas y biológicas” (ICONTEC e ICA, 2003, p. 14).

5.3.2 Caracterización

“Los abonos orgánicos, por las propias características en su composición son formadores de humus y enriquecen al suelo con este componente, modificando algunas de las propiedades y características del suelo” (Trinidad, s.f., p. 2). Según Jaramillo (2002, p. 435), antes de aplicar un abono deben establecerse sus características, entre las cuales se destacan:

Composición elemental: La composición de los abonos es muy variable; para conocer su valor nutricional hay que realizar análisis de laboratorio con el fin de establecer los contenidos de elementos esenciales que posea, especialmente de N, P, K, Ca, Mg, y elementos menores (Fe, Zn, Mn, Cu, B); algunos abonos (porquinaza, gallinaza) pueden presentar niveles altos de Cu y Zn principalmente, que pueden llegar a ser fitotóxicos.

Humedad: Para aplicar abonos sólidos, el contenido de humedad debe ser menor del 15 %, lo cual facilita y abarata su transporte y aplicación.

Contenido de ácidos Fúlvicos: Está relacionado con la movilidad del abono en el suelo y con la facilidad que tenga éste de solubilizar metales tóxicos en aquel. En un abono adecuado, su contenido debe ser menor al 3%.

Relación C/N: Con base en los contenidos de C y N totales; es una medida de la facilidad de mineralización del abono.

pH: Necesario para conocer el peligro de acidificación o de alcalinización que pueda tener el abono en el suelo por su aplicación.

Conductividad eléctrica: Frecuentemente es alta en los abonos; hay que tenerla en cuenta para evitar una posible salinización del suelo o problemas de toxicidad en las plantas debidos a la aplicación de altas cantidades de sales.

CIC: Es deseable un abono con una CIC alta.

5.3.3 Propiedades

Según Mosquera (2010, p. 6) los abonos orgánicos básicamente actúan en el suelo sobre las siguientes tres propiedades:

5.3.3.1 Propiedades físicas

El abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo haciéndole más ligero a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. También permite mejorar la permeabilidad del suelo ya que influye en el drenaje y aireación de éste. Aumenta la retención de agua en el suelo cuando llueve y contribuye a disminuir el uso de agua para riego por la mayor absorción del terreno; además, disminuye la erosión ya sea por efectos del agua o del viento.

5.3.3.2 Propiedades químicas

Los abonos orgánicos aumentan el poder de absorción del suelo y reducen las oscilaciones de pH de éste, lo que permite mejorar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que se aumenta la fertilidad.

5.3.3.3 Propiedades biológicas

Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios. También producen sustancias inhibidoras y activadoras de crecimiento

incrementan considerablemente el desarrollo de microorganismos benéficos, tanto para degradar la materia orgánica del suelo como para favorecer el desarrollo del cultivo.

5.4 Tipos de materiales orgánicos

Los abonos orgánicos son muy variables en sus características físicas y composición química principalmente en el contenido de nutrimentos. Existen diferentes tipos de abonos orgánicos, los que se diferencian por su forma de preparación, tipos de productos utilizados en su elaboración, tiempo de fermentación y formas de usos; entre los más reconocidos está el estiércol (aves, ganado, porcinos, etc.), el compost, lombricompost, abonos verdes, residuos vegetales de cosecha, etc.

5.4.1 Compost

Es un abono orgánico que se obtiene mediante un proceso biológico de descomposición completa (descomposición y maduración) de diferentes clases de materiales orgánicos (restos de cosecha, estiércoles de animales y otros residuos), realizado por microorganismos, en ambientes adecuados de temperatura, humedad y aireación, lo cual da como resultado final un material de alta calidad que finalmente será utilizado para fertilizar y acondicionar los suelos.

5.4.1.1 Características del compost

“La calidad de un compost es usualmente determinado por parámetros químicos los cuales dan una determinación exacta de cada sustancia, y los parámetros biológicos los cuales permiten evaluar la estabilidad del compuesto como un todo. Sin embargo, desde el punto de vista práctico la madurez del compost puede ser medido basándose en el potencial de utilización para el propósito agrícola, lo que significa que la calidad del compost puede ser evaluado en función a la producción agrícola y en el mejoramiento de las propiedades del suelo. Sin embargo se sabe que este análisis sobreestima la disponibilidad de nutrimentos al corto plazo, ya que las tasas de liberación van a ser más lentas. En realidad no existe a la fecha un análisis único que nos mida la calidad del compost. Es necesario que se utilicen una mezcla de análisis” (Soto y Meléndez, 2003, p. 107, 108).

Para poder determinar que el producto que estamos cosechando es de buena calidad, se tienen en cuenta algunos de los siguientes parámetros (tabla 2):

Tabla 2. Composición físico-química media del compost.

pH H ₂ O	7,8-8	Nitrógeno Total	1,5-1,8%
M.O.	35-40%	Fósforo total	0,8-1%
C/N	16-20	Potasio (K)	1%
Humedad	40-45%	Germinación	Inferior al 8%
C.I.C.	167 meq/100gr	Presentación	Granos inferiores a 10 mm
Densidad	0,48-0,5 ton./m ³	Nematodos	Ausentes

Fuente: Bioagro, (2010).

5.4.1.2 Ventajas del uso de compost

Según Suquilanda (1996, p. 190), entre las ventajas del uso de compost encontramos las siguientes:

- Mejora la cantidad de materia orgánica del suelo. Los suelos son más fértiles cuando tiene más del 5 por ciento de materia orgánica.
- Mejora la estructura del suelo al favorecer la formación y estabilización de agregados modificando el espacio poroso, lo cual favorece el movimiento de agua y del aire, así como también la penetración de raíces.
- Incrementa la retención de humedad del suelo casi el doble, contribuyendo de esta manera a que las plantas toleren y resistan las sequías.
- Aportar de manera natural, los 16 elementos minerales que requieren las plantas.
- Incrementa la capacidad de retención de nutrientes en el suelo, liberando progresivamente a muchos de ellos para satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas.
- Incrementa y favorece el desarrollo de la actividad biológica del suelos (macro y microorganismos), favoreciendo de esta manera a la salud y el crecimientos de las plantas.
- Retarda el proceso de cambio de reacción (pH).
- Ayuda a corregir las condiciones toxicas del suelo.

5.4.1.3 Materiales para la elaboración del compost

Para la preparación del compost se puede emplear diferentes materiales orgánicos, con la condición de que no se encuentre contaminados. Las posibles fuentes de materia orgánica son muy variadas, cada día encontramos más variedad de productos que pueden ser utilizados. Según Suquilanda (1996, p. 191), para la elaboración del compost se requieren los siguientes materiales:

Fuente de materia carbonada (Rica en celulosa, lignina y azúcares): Aserrín de madera, ramas y hojas verdes de arbustos, caña de maíz, malezas secas obtenidas de las deshierbas, paja de cereales (trigo, cebada, avena arroz,), basuras urbanas, desechos de cocina.

Fuente de materia nitrogenada: Estiércoles (de vaca, cerdo, oveja, llama, cabra, caballo, conejo, cuy, aves), sangre, hierba tierna.

Fuente de materia mineral: Cal agrícola, roca fosfórica (fosforita Huila), ceniza vegetal, tierra común, agua.

Según IREHISA (2010), para obtener un compost de buena calidad se sugiere mezclar homogéneamente variedad de residuos orgánicos (animales y vegetales) y minerales, según la disponibilidad de cada finca y estimar la relación C/N optima, teniendo en cuenta que los residuos presentan características que inciden en el proceso, así:

Estiércoles calientes: Cuya procedencia pueden ser de aves de corral, caballos, ovejas o cabras, los cuales al iniciar el proceso de fermentación elevan la temperatura en la pila a más de 70 °C.

Estiércoles fríos: Procedentes de vaca o de cerdo, mediante los cuales se regula la temperatura en la pila evitando que pase de 70 °C y contribuyen al acondicionamiento para la etapa termófila (60-70 °C).

Material vegetal verde o seco: Cachazas, bagazos, residuos de cosechas y domésticos, pasto de cortes, ramas de árboles u hojarascas, entre otros. Antes de incorporar estos residuos a la mezcla deben ser picados o triturados (tamaños de 1 a 5 cm son adecuados) para facilitar el ataque microbiano, la difusión del calor en forma uniforme en toda la pila y acelerar el proceso de descomposición.

5.4.1.4 Elaboración del compost

Según la Corporación Educativa para el desarrollo Costarricense [CEDECO] (2005), describe los siguientes pasos para elaboración de compost a través del método convencional:

- Escoger un sitio que se encuentre protegido de las lluvias (puede ser debajo de un árbol o barbacoa, en un techo rústico o cualquier lugar protegido).
- Se juntan todos los residuos disponibles cerca del lugar seleccionado para la elaboración de la compostera. Aquellos que lo requieran, deben picarse un poco.
- Haga una primera capa de unos 15 cm. de espesor con residuos de cosechas y otras plantas. La siguiente capa será de algún estiércol animal de unos 8 cm de grosor y sobre ésta una capa de tierra de 3 cm de grosor. Repita esta secuencia de capas hasta donde le alcancen los materiales o hasta que el montón alcance una altura de 1.5 m.
- Riegue el montón uniformemente hasta que esté lo suficientemente húmedo.
- Haga respiraderos en el montón haciendo un hoyo central o varios laterales, o bien use cañas de bambú perforadas, para permitir que salga el exceso de calor.
- Cubra el montón con hojas secas o sacos y déjelo reposar por unas 3 semanas.
- A las 3 semanas, dele vuelta al montón de tal forma que quede una mezcla uniforme, cúbralo nuevamente con hojas o sacos.
- Voltee nuevamente la mezcla dentro de 5 semanas. Luego se cubre y se cosecha el compost a los 3 o 4 meses.

5.4.1.5 Proceso de compostaje

“Se puede definir como una descomposición aeróbica y termofílica de los residuos orgánicos por las poblaciones microbianas quimiorganotróficas que existen en los propios residuos, bajo condiciones controladas, y que produce un material parcialmente estabilizado de lenta descomposición, cuando hay condiciones favorables” (Burbano, 1998, p. 355).

5.4.1.5.1 Fases del proceso de compostaje

Durante este proceso suceden una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo una estrecha relación entre la temperatura, el pH y el tipo de microorganismos. Manteniendo el montón en las condiciones de aireación y humedad adecuadas, en el proceso se distinguen las siguientes fases:

Fase de latencia y crecimiento: “Es el tiempo que necesitan los microorganismos para aclimatarse a su nuevo medio y comenzar a multiplicarse. Esta fase suele durar de 2 a 4 días y al final de ella la temperatura alcanza más de 50 °C” (López, 2003, p. 68). “Como consecuencia de la descomposición, la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH (la acidez), se produce una degradación de azúcares y aminoácidos por la acción de grupos de bacterias (*Bacillus* y *Thermus*)” (CEDECO, 2005, p. 20).

Fase Termófila: “Los microorganismos iniciales son sustituidos por otros que viven a temperaturas altas (termófilos). En esta fase, debido a la alta actividad bacteriana, se alcanzan las temperaturas más elevadas (de 50 a 70 °C) lo cual elimina gérmenes patógenos, larvas y semillas. La mayor parte de la materia orgánica fermentable se transforma, por lo que la pila se estabiliza. Esta es la fase que más se debe vigilar para asegurar una buena pasteurización y evitar una excesiva mineralización si se prolonga demasiado. Dependiendo del producto de partida y las condiciones ambientales; este proceso suele durar entre una semana, en los sistemas acelerados, y de uno a dos meses en los de fermentación lenta” (López, 2003).

Fase de Enfriamiento: “Luego de la etapa anterior cuando la temperatura baja a menos de 60 °C, reaparecen los microorganismos termófilos que reinvaden la compostera y descomponen la celulosa. Al bajar la temperatura a menos de 40 °C los mismos organismos de la primera etapa reinician su actividad y la acidez (pH) del medio desciende ligeramente” (CEDECO, 2005).

Fase de Maduración: “Es un período de fermentación lenta. Los microorganismos termófilos disminuyen su actividad y aparecen otros, como hongos, que continúan el proceso de descomposición. Si la fermentación se realiza encima de la tierra, entran en la masa de la composta otros descomponedores como las lombrices, que actúan positivamente. Durante el proceso de fermentación es conveniente vigilar una serie de condiciones de las que dependerá la buena marcha del mismo y la calidad del abono orgánico obtenido” (López, 2003, p. 69).

5.4.1.5.2 Factores que intervienen en el proceso de compostaje

Todo material orgánico eventualmente se descompondrá, la velocidad a la cual se descompone depende de estos factores (López, 2003, p. 70-72):

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N): El carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo y se han de encontrar en unas proporciones determinadas para una buena fermentación, los microorganismos de una composta utilizan el carbono para energía y el nitrógeno para la síntesis de proteína. El parámetro que mide esta proporción se llama relación carbono/nitrógeno.

Si el material de partida es muy rico en carbono y pobre en nitrógeno, la relación será alta, el proceso de fermentación será lento, las temperaturas no subirán suficientemente y se perderá el exceso de carbono en forma de dióxido de carbono. Si por el contrario, el material es rico en nitrógeno, relación baja, se producirán pérdidas de este elemento en forma de amoníaco (NH_3). Los valores de la relación C/N del material a fermentar han de estar entre 25 y 35 para que pueda darse una buena fermentación.

Tamaño de Partícula: Es importante el tamaño de partículas del material de partida. Aunque no es necesario, normalmente la materia orgánica de las basuras se suele moler. Es preciso vigilar el grado de trituración, puesto que un tamaño pequeño de las partículas supone mayor superficie de ataque, y por lo tanto fermentaciones más rápidas y homogéneas. Sin embargo, si el tamaño es excesivamente pequeño pueden originarse problemas de compactación excesiva que impiden la necesaria aireación.

Aireación: La aireación es necesaria para garantizar el proceso aerobio, tanto para suministrar oxígeno como para que pueda desprenderse el dióxido de carbono producido. La aireación deficiente retrasa la fermentación aerobia, origina procesos de fermentación anaerobia, con sensibles pérdidas de nitrógeno y carbono, malos olores y temperatura baja, efectos que sirven de indicadores de la necesidad de aireación.

Humedad: La humedad óptima es del 50% que al final del proceso ha de bajar hasta 30 o 40%. La humedad es necesaria para la vida de los microorganismos. Un defecto de humedad provocará una sensible disminución de la actividad microbiana, por lo que se paralizará la fermentación y bajará la temperatura. Un exceso de humedad también tiene consecuencias negativas pues dificulta la circulación del oxígeno y puede provocar fermentaciones anaerobias.

Temperatura: Dada su facilidad de medición y su relación con el proceso de fermentación, la temperatura es el parámetro que más se usa para vigilar la fermentación. Durante los primeros días debe elevarse rápidamente hasta los 60 o 70 °C, comenzando posteriormente a estabilizarse y bajar lentamente hasta 40 o

50 °C. Cuando no se eleva hasta esos niveles, indica que la fermentación no marcha bien. Si las temperaturas bajas son acompañadas de malos olores, es señal de fermentaciones anaerobias. Las temperaturas altas (mayores de 65 °C prolongadas, no son convenientes, pues pueden ocasionar una especie de suicidio bacteriano que frena la fermentación y también pérdidas de nitrógeno.

pH: La acidez o pH es un factor menos importante de vigilar. Suele ser ligeramente ácido al inicio (cerca de 6), neutro hacia la mitad del proceso y algo alcalino (7 a 8) al final. Los valores extremos inhiben la actividad microbiana durante el proceso de degradación, por lo que deben ser corregidos, para no aumentar los costos del procesamiento, valores más altos (alcalinos) pueden provocar pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco.

Según Soto 2003, en la tabla 3 muestra los rangos aceptables y las condiciones óptimas de algunos factores para la producción de un compost de buena calidad.

Tabla 3. Condiciones ideales para el compostaje.

Condición	Rango aceptable	Condición optima
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 – 50%	50 – 60%
Oxígeno	+ 5%	≈ 8%
pH	5.5 – 9.5	6.5 – 8.0
Temperatura °C	55 – 75	65 – 70
Tamaño partícula	0.5 – 1.0	variable

Fuente: Soto, 2003.

5.4.2 Lombricompost

“Es el Producto resultante de la transformación de los residuos orgánicos (vegetales, estiércoles, etc.) por la Lombriz Roja Californiana, que luego de ingerirlos los metaboliza en su tracto digestivo y los expele en forma de excretas que se consideran dentro de la categoría de los abonos orgánicos por ser de excelente calidad para mantener la fertilidad de los suelos” (Blanco, s.f., p. 17).

5.4.2.1 Características del lombricompost

El efecto de la lombriz sobre las características final del producto puede ser un criterio más a la hora de definir qué sistema de compostaje utilizar. Pero serán los criterios de manejo, infraestructura, recursos disponibles, los que en la mayoría de los casos nos ayudarán a tomar las decisiones sobre el sistema de producción a utilizar (Soto, 2003).

Para poder determinar que el producto que estamos cosechando es de buena calidad, se tienen en cuenta algunos de los siguientes parámetros (tabla 4):

Tabla 4. Composición físico química del lombricompost.

pH H ₂ O	7-8,8	Nitrógeno total	2-2,6
pH KCL	7-7,3	Fósforo P ₂ O ₅	1,5-2%
M.O.	35-40%	Potasio (K)	1,5%
C/N	12-14	Actividad Biológica Global	0,93u gr/ml (I.N.F.T./gr)
Humedad	40-45%	Germinación	Inferior al 8%
C.I.C.	167 meq/100gr	Presentación	Gránulos de aprox. 2 mm
Densidad	0,6-0,65 ton./m ³	Densidad	0,6-0,65 ton./m ³

Fuente: Bioagro, (2010).

5.4.2.2 Ventajas del uso de lombricompost

Según Martínez (s.f., p. 5, 7), entre las ventajas del uso de compost encontramos las siguientes:

- Favorece la ecología al reducir problemas de contaminación generados por desechos orgánicos sólidos.
- Transforma los desechos orgánicos en productos o coproductos de gran beneficio para el hombre.
- El abono de lombriz presenta una alta carga microbiana que le permite participar directamente en la regeneración de suelos.
- Los nutrimentos en el abono de la lombriz están en forma disponible para las plantas; su contenido respecto a ciertos elementos en particular varía en función del alimento que consume la lombriz.
- El contenido de proteína presente en las lombrices permite que puedan utilizarse como complemento en la alimentación humana y animal.
- Incrementa la flora microbiana y fauna del suelo en los terrenos de cultivo.
- Los elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg y B), están disponibles para las plantas.
- Favorece la retención de agua en el suelo.
- Mejora las características físicas, químicas y estructurales en el suelo

5.4.2.3 Materiales para establecer la producción de lombricompost

Para la producción de lombricompost se requiere los siguientes componentes:

Sustrato para la alimentación: Para alimentar a las lombrices se puede utilizar paja, malezas, restos de cosechas, frutos, pasto, estiércoles, sobras de cocina. Para poder dar de comer a las lombrices, es necesario estos materiales hayan pasado por un proceso de descomposición, es decir, que hayan sido transformados por la acción de los microorganismos (Vázquez et al., 2003).

Cama o módulo de crianza: Los materiales para la construcción de los módulos varían de acuerdo a la disponibilidad de su finca. Se puede utilizar guadua, madera o bloque; en la construcción del techo se puede usar zinc, cartón, hojas de plátano. Las camas pueden ser de 1 metro de ancho, por el largo que desee, por 30 cm de alto (una altura superior a 30 cm puede afectar la lombriz) (Escobar, Ule y Colorado, 2001).

Tipo de lombrices: La lombriz californiana (*Eisenia Foetica*) es una de las especies más utilizadas en el cultivo intensivo o en pequeña y en gran escala, bajo techo o a la intemperie con distintos tipos de alimentos y climas (Mosquera, 2010); es fácil de manejar, es fácil de reproducir y es altamente productora de excretas, así se dice que un kilo de lombriz consume un kilo de desechos orgánicos en fase de descomposición al día (Vázquez et al., 2003).

5.4.2.4 Elaboración del Lombricompost

La tecnología para la crianza de la lombriz y la producción del lombricompost, es sencilla. A continuación se describe de manera esquemática el proceso para tal fin:

Preparación del alimento: las lombrices son alimentadas con un sustrato producto de la mezcla de residuos orgánicos vegetales (desechos de cosecha, basuras domésticas, residuos de la agroindustria, etc.) y de residuos animales (estiércol), en una relación 1 a 3. Es importante que este sustrato sea fermentado entre 15 a 30 días, antes de proporcionárselo a las lombrices (Suquilanda, 1996).

Establecimiento: “Una vez garantizado el buen estado del alimento, se procede a la inoculación de las lombrices de la siguiente manera, el piso de la cama sobre la cual se van a criar las lombrices se cubre con una capa de paja de 5 cm; sobre ésta se deposita el alimento de manera que la capa del alimento tenga de 7 a 10 cm (aproximadamente una carretilla por m²). Sobre la capa de alimento se colocan las lombrices en densidad de 2,500 ejemplares por m² en pequeños montículos” (Mosquera, 2010, p. 15). “Una vez colocada las lombrices, se procede a tapar la cama con pasto y se riega cuidadosamente” (IPADE, 2009, p. 28).

Manejo y cuidado de la lombricompostera: “El manejo de camas consiste en principio en alimentar, proporcionar agua y protección a las lombrices. Las lombrices pasan de 7 a 15 días para consumir el sustrato dependiendo de la cantidad de alimento y cantidad de población. Cuando el sustrato esta consumido se observaran grumulos pequeños siendo esta la característica principal de que el lecho no tiene comida, teniendo la necesidad de agregar más sustrato. Las camas se deben tapar para protegerla de los ataques de aves, sapos, ratas, hormigas y ciempiés, que son los que causan más daño” (IPADE, 2009, p. 29).

“La humedad de la compostera tiene que permanecer entre 70 y 75%. La orientación de las camas debe permitir la salida del exceso de agua, deben construirse tomando en cuenta la dirección de los vientos y que no tenga gran exposición a los rayos solares” (Mosquera, 2010, p. 15).

“Es importante también recordar que en el caso de la lombriz, su alimento es también su hábitat, y debe ser manejado de tal forma que permita una buena aireación. Por eso la mezcla debe incluir una buena relación de materiales de fácil descomposición con altos contenidos de humedad, pero también fuentes fibrosas para proveer de carbono y aireación” (Soto, 2003, p. 22).

Recolección del lombricompost: “Para separar la lombriz y poder cosechar el abono se debe colocar alimento precompostado a los lados o sobre la cama, de manera que sirva de trampa a la lombriz. Este alimento se coloca directamente cuando son áreas pequeñas o bien sobre mallas plásticas cuando son áreas mayores. Posteriormente se mueve el abono y se ventila un poco para que pierda humedad y pueda cosecharse. Una vez cosechado el abono se aplica en el menor tiempo posible o bien se empaca y se almacena en un lugar fresco y ventilado. El abono debe empacarse con un 30% de humedad como máximo” (Martínez s.f., p. 5, 6).

5.4.2.4.1 Factores en la producción del lombricompost

Según Martínez (s.f., p. 5), los principales factores a considerar para trabajar con lombrices son:

Temperatura: La temperatura ideal para el buen desarrollo de la lombriz es de 25°C; en condiciones controladas, esta es fácil de mantener, sin embargo cuando se trabaja al aire libre se debe de tener un buen control, alcanzarla y mantenerla.

Acidez o pH: Al igual que la temperatura el pH es sumamente importante; lo ideal es que se encuentre entre 6.5 y 7.5, un pH básico o ácido puede ocasionar serios problemas a la lombriz y llegar a ocasionar su muerte. El método más eficiente para medir el pH es utilizando la misma lombriz, ella indicará si el material listo para poder vivir en él.

Humedad: Como se mencionó, la lombriz necesita de mucha humedad, ésta es requerida para que pueda moverse dentro de los desechos y facilitar la fragmentación de los mismos, así como para su respiración. La humedad recomendada es del orden de 75 a 80%.

Relación C/N: Esta relación es básica para obtener el proceso de transformación en un tiempo corto; depende del balance entre el carbono y el nitrógeno. Se recomienda que inicialmente sea de 25-30 para terminar entre 14 y 20.

Según Soto 2003, en la tabla 5 se muestran los rangos aceptables y las condiciones óptimas de algunos factores para la producción de lombricompost de buena calidad.

Tabla 5. Condiciones ideales para la producción de lombricompost.

Condición	Rango aceptable	Condición optima
Oxígeno		> 8%
Temperatura °C	20 – 33	25 – 28
pH	5.5 – 9.0	6.8 – 7.2
Humedad (%)	65 – 80	70 – 75

Fuente: Soto, 2003.

5.5 Cultivo de la Habichuela

5.5.1 Generalidades del cultivo

Nombre científico: Phaseolus vulgaris L.

Nombre común: Habichuela, frijol verde (Colombia), vainita (Centroamérica), Vainica (Costa Rica), ejote (México), poroto verde (Chile), judía, chucha (Pérez, 2000).

“La habichuela comprende un tipo de frijol común, producto de la selección por vainas y bajo contenido de fibra. Las vainas inmaduras conjuntamente con sus semillas se consumen como hortaliza verde”, Myers y Bagget, (1999) (citado por Vallejo y Estrada, 2004). “Se considera muy importante en la dieta de los colombianos por su aporte proteínico (2.54% en base fresca), de aminoácidos esenciales (lisina y metionina) y de carbohidratos (54%). En Colombia se cultiva, tradicionalmente, la variedad voluble Blue Lake (90% del área sembrada); a partir del año 2000 se siembra UNAPAL-Milenio, producida por la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, la cual presenta ventajas agronómicas y productivas sobre la variedad tradicional Blue Lake” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 259).

5.5.1.1 Origen

“Se ha señalado a América como el origen del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), principalmente los países como México y Centro América y Perú en el Sur América, aunque se encuentra otras especies distribuidas en Colombia. Se cree que la habichuela es originaria del oeste de México y Guatemala, pero parece que se ha adoptado en Centro América” (Pérez, 2000, p. 299).

5.5.1.2 Taxonomía

“Desde el punto de vista taxonómico, el fríjol es el prototipo del género *Phaseolus* y su nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L. asignado por Lineo en 1753. Pertenece a la tribu Phaseolae de la subfamilia papilionoidae dentro del orden Rosales y la familia Leguminosae. El género *Phaseolus* incluye aproximadamente 35 especies, de las cuales cuatro se cultivan. Son ellas: *P. vulgaris* L.; *P. lunatus* L.; *P. coccineus* L., y *P. acutifolius* A. Gray van *latifolius* Freeman” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 270).

5.5.1.3 Morfología

“Planta de tipo anual, con un periodo vegetativo entre 90 y 120 días de acuerdo con la altura donde se siembra. Tiene hábitos de crecimiento determinado o arbustivo, e indeterminado o voluble, o de enredadera” (Pérez, 2000, p. 300).

Raíz: Puede alcanzar profundidades, desde medianas a grandes. Está dotada de nódulos, útiles por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. En suelos arenosos las raíces puede alcanzar hasta 140 centímetros de profundidad. En general se consideran de mediana a profunda, ya sea que se trate de habichuelas arbustivas o de enredadera. La raíz tiende a ser fasciculada o fibrosa con una amplia variación dentro de las diferentes variedades.

Tallo: Puede ser de diferentes tipos, erectos, semivoluble o voluble, y en cada nudo aparecen las ramas o las hojas. El erecto corresponde a las variedades arbustivas y el voluble tiende a crecer alrededor de un soporte. Los tallos pueden ser glabras (sin pubescencia) o pubescentes.

Hojas: son trifloriales, de peciolo largos con estípulas pequeñas y agudas, con o sin pubescencia.

Flores: están colocadas en un racimo terminal o lateral. La flor es considerada completa y está formada por cinco elementos; alas (dos), quilla y el estambre (dos). El color de la flor puede ir de morado a blanco. La especie es considerada autógama en un 95%. Están formadas por cinco sépalos, cinco pétalos, diez estambres y un pistilo. Su color puede ser blanco o morado y a veces, de tonos intermedios.

Fruto: es una vaina con dos valvas, unidas por un hilo dorsal y ventral, el cual se ha reducido para mejorar la suavidad de la vaina, provienen del ovario comprimido, tiene dos suturas a lo largo de las valvas, una llamada dorsal y la otra ventral. Puede ser de diferentes colores según la variedad como son: verde amarilla o verde, de forma redonda, ovalada, y aplanada, según la variedad. La parte comestible la constituye la vaina en estado verde, cuando madura se desarrolla parte de la fibra que ella contiene perdiendo sus cualidades culinarias.

Semillas: Pueden variar desde arriñonada, hasta oblongas, de colores blancos, negros y tonos intermedios que pueden resultar de estas combinaciones. Los tamaños de las semillas son medianos o pequeños. Cada vaina puede tener entre 4 a 8 semillas.

5.5.1.3.1 Epatas de desarrollo del cultivo

“Se ha establecido una escala para diferenciar las etapas de desarrollo, basada en la morfología de la planta y en los cambios fisiológicos que se suceden durante el desarrollo. Esta escala permite referir las observaciones y prácticas de manejo, o etapas de desarrollo fisiológico. El ciclo biológico de la planta se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva. La fase vegetativa se inicia cuando se le brindan a la semilla las condiciones para iniciar la germinación, y termina cuando aparecen los primeros botones florales o los primeros racimos. En esta fase se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva de la planta. La fase reproductiva, por su parte, está comprendida entre la aparición de los primeros botones florales o racimos y la madurez de cosecha” (Arias, Rengifo y Jaramillo, 2007, p. 41).

Según Tofiño y López (2004), La fenología de la habichuela puede presentar variaciones debido a limitantes bióticos o abióticos como la sequía, las deficiencias nutricionales, los ataques severos de plagas y enfermedades.

En el desarrollo de la planta se han identificado 8 etapas, las cuales están delimitadas por eventos fisiológicos importantes. Cada etapa comienza en un evento del desarrollo, cuyo nombre la identifica, y termina donde se inicia el siguiente evento (tabla 6), y así sucesivamente:

Etapas V0 (germinación): se inicia esta etapa cuando la semilla ha adquirido la humedad necesaria para la germinación y termina cuando el hipocótilo crece, quedando los cotiledones a nivel del suelo.

Etapas V1 (emergencia): comprende desde que los cotiledones están a nivel del suelo, hasta cuando el 50% de las plántulas presentan hojas primarias desplegadas completamente.

Etapa V2 (hojas primarias): desde el despliegue completo de las hojas primarias y la formación del tallo y las ramas hasta cuando se empiezan a observar la primera hoja trifoliada en el 50% de las plántulas.

Etapa V3 (primera hoja trifoliada): se inicia con la presencia de la primera hoja trifoliada completamente abierta, hasta el inicio del despliegue de la tercera hoja trifoliada en el 50% de las plántulas.

Etapa V4 (tercera hoja trifoliada): la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada en un solo plano en más del 50% de las plántulas, continúa el desarrollo del tallo, ramas y otras hojas trifoliadas.

Etapa R5 (prefloración): se inicia al parecer el primer botón o primer racimo y concluye al abrirse la flor en el 50% de las plantas.

Etapa R6 (floración): desde la apertura de la primera flor hasta el desprendimiento de la corola marchita en el 50 % de las plantas.

Etapa R7 (formación de vainas): comprende la presencia de la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida hasta el inicio del llenado de vainas

Etapa R8 (Llenado de las vainas): En un cultivo, la etapa R8 se inicia cuando el 50% de las plantas empieza a llenar la primera vaina. Comienza entonces el crecimiento activo de las semillas.

Tabla 6. Etapas de desarrollo de la habichuela.

Germinación	Emergencia	Hojas primarias	Primera hoja trifoliada	Tercera hoja trifoliada	Prefloración	Floración	Formación de vainas	Llenado de vainas
V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8
Fase vegetativa					Formación de estructuras reproductivas			
					Fase productiva			
Siembra					Primer botón floral o primer racimo		Cosecha en vaina verde	

Fuente: Tofiño y López (2004).

5.5.1.4 Características de las Vainas

“La calidad de los cultivares de habichuela depende en gran parte de las características de las vainas: tamaño, forma, longitud, color, contenido de fibra, textura, tasa de desarrollo y color de la semilla, forma del pico de la vaina, presencia de cavidades interloculares y resistencia al daño. Para una buena aceptación del producto en el mercado, las vainas de la habichuela deben reunir los siguientes requisitos: color verde intenso, tamaño uniforme, rectas, corte transversal redondo, desprovistas de fibra, de buen sabor, pulpa transparente, sin protuberancias, frágiles y carnosas, con semilla poco desarrollada, y de color blanco, sanas y desprovistas de humedad exterior y olores extraños” (tabla 7) (Vallejo y Estrada, 2004, p. 273).

“Los cultivares tradicionalmente posicionados en el mercado presentan vainas largas o extralargas en la cosecha (13 - 17 cm), diámetro medio o grueso (10 - 20 mm), sutura ventral poco pronunciada, ápice corto, granos inmaduros y poco abultados y especialmente rotura pareja al quiebre transversal con baja fibrosidad” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 274).

Tabla 7. Criterios generales para evaluar las características de la vaina de la habichuela.

Criterio	Deseable	No deseable
Forma	Recta	Muy curva
Corte transversal	Redondo	Ovalado
Fibra	Ausencia	Presencia
Facilidad de ruptura	Fácil	Difícil
Color	Verde oscuro	Verde claro o amarillo
Textura	Lisa	Con constricciones

Fuente: Tofiño y López, (2004).

5.5.2 Agronomía del cultivo

5.5.2.1 Adaptación

“La habichuela tiene una amplia adaptación varietal, desde los pisos térmicos (800-1400 msnm temperatura de 22-26 °C), hasta zonas de clima medio y frío moderado (1500-2300 msnm, 19-21 °C). La planta se desarrolla muy bien en suelos de texturas francas y franco-arcillosas, bien drenados con pH entre 5.5-6.5 con muy buena fertilidad natural. En condiciones de precipitación moderada durante su ciclo de crecimiento y desarrollo (350-500 mm/año) y humedad relativa baja (60-70%), la incidencia de enfermedades es menos frecuente y severa” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 273).

“La variedad UNAPAL Milenio se adapta muy bien a las condiciones de la zona plana del Valle del Cauca, es decir a una altura de 1000 msnm, con una temperatura promedio de 24 °C y con una pluviosidad de 300-400 mm durante el cultivo. Se puede sembrar a alturas superiores pero se recomienda hacerlo en áreas pequeñas hasta que se tenga suficiente evidencia de su adaptación a estas condiciones. Se desarrolla mejor en suelos fértiles de textura franca pero se puede cultivar más pesados que no se encharquen o más livianos si hay suficiente suministro de agua y nutrientes” (Gutiérrez et al., 2004, p. 5).

5.5.2.2 Épocas de siembra

“La precipitación y la humedad ambiental son las dos variables climáticas que determinan la mejor época de siembra en razón de la interacciones genético-ambientales que se establecen entre los diferentes cultivares disponibles para el cultivo. Bajo condiciones de producción en campo abierto y con disponibilidad de riego, las siembras deben planificarse tratando de hacer coincidir los periodos de floración, llenado de vainas, con las épocas secas. Las lluvias excesivas o los vientos secos y fuertes en épocas de floración favorecen la caída de flores o falta de polinización, disminuyendo el cuajamiento de vainas y afectando la producción” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 274).

“Las mejores épocas de siembra son las que coinciden con la iniciación de lluvias en marzo y septiembre pero si se dispone de un adecuado suministro de agua se puede cultivar en cualquier época del año” (Gutiérrez et al., 2004)

5.5.2.3 Variedades

“Las diferentes variedades de habichuela se clasifican según el hábito de crecimiento, color de la vaina y la forma de esta sección transversal. Según el hábito de crecimiento se encuentran los tipos siguiente: enano o arbustivo, caracterizado por ser determinado y por no desarrollar guías; enredadera o trepadora, el cual exige soportes, estacas y cuerdas para su desarrollo y la planta produce guías o zarcillos para entrelazarse y trepar. Según el color de la vainas se conoce los tipos, verde y mantequilla, el primero es el más conocido y abundante. De acuerdo con la sección transversal de la vaina existen los tipos, el redondo, ovalado y el aplanado” (Pérez, 2000, p. 301).

“En Colombia predomina los cultivares volubles de vainas verdes y semillas blancas (tabla 8). Es importante resaltar que las regiones tradicionalmente productoras de habichuela, se establece un mercado “local” de semillas producidas por aumentos artesanales a partir de semilla comercial obtenida en las casas agrícolas especializadas” (Vallejo y Estrada, 2004).

Tabla 8. Características de la variedad UNAPAL Milenio.

Carácter o Descriptor	Valor
Emergencia	5 días
Inicio de floración	36 días
Color de flor	Blanca
Color de semilla	Blanca
Forma de semilla	Arriñonada
Longitud de vaina	14.5 cm
Forma de vaina	Redonda
Peso de vaina	11.1 g
Índice de semilla	26.0 g/100 semillas
Primera cosecha	50-52 días
Duración de la cosecha	2.5 semana
Habito de crecimiento	Voluble
Rendimiento	10000-12000 kg/ha

Fuente: Gutiérrez et al., (2004).

5.5.2.4 Sistema de producción

“Igual que otras hortalizas, la habichuela puede cultivarse en sistemas de monocultivos o como un componente asociado en policultivos. La asociación puede darse en sistemas múltiples como cultivo intercalado, de relevo o traslape. Esta asociación también favorece la rotación de cultivos en una misma área de producción. En sistemas de pequeños agricultores y economía campesina, la siembras se establecen en áreas menores de 0.5 ha. Y generalmente se cultiva a lo largo de todo el año. En sistemas comerciales extensivos, las siembras superan la hectárea y se establecen acorde a los ciclos productivos asociados al régimen de lluvia de la zona” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 276).

5.5.2.5 Preparación del suelo

“Las labores de preparación deben responder a las condiciones propias de cada campo en cuanto a características físicas, pendiente, presencia de aglomerados, contenido de materia orgánica y profundidad de capa arable. En suelos de ladera con pendientes mayores del 20%, la preparación puede hacerse con herramientas manuales, roturando solo las bandas o surcos de siembra. En algunos sistemas de producción, los agricultores practican el encalamiento y abonamiento orgánico y mineral, previo a la siembra, depositando e incorporando en bandas o en cada sitio de siembra, las respectivas enmiendas” (Vallejo y Estrada, 2004).

5.5.2.6 Siembra

“La semilla se siembra a mano depositando 2-3 semillas por sitio a una distancia de 25-30 cm entre sitios y a una profundidad de 3-5 cm de acuerdo con la humedad del suelo (tabla 9). Se recomienda sembrar la semilla cuando el suelo esté suficientemente húmedo pero escurrido para lograr una mejor germinación y emergencia” (Gutiérrez et al., 2004, p. 6).

Tabla 9. Distancias de siembra en el cultivo de la habichuela.

Indicador	Surcos Simples	Surcos Dobles
Distancia entre surcos	1.0 m	0.3 m
Calle entre surcos	-	1.0 m
Distancia entre sitios	0.25 m	0.25 m
Semillas por sitio	2-3	2-3
Sitios por hectárea	40.000	61.600
Cantidad de semillas/ha.	21-31 kg	32-48 kg

Fuente: Gutiérrez et al., (2004)

5.5.2.7 Tutorado

Según Vallejo y Estrada (2004), se puede usar diferentes tipos de tutores; de acuerdo con su disponibilidad y costo.

Estacas de caña menuda de aproximadamente 2.2 m: si la estaca es muy corta, se pierde los racimos florales más altos o se presenta una baja formación de vainas en esas inflorescencias superiores. Este sistema es uno de los más comunes. En surco simple coloca una estaca de caña menuda cada dos sitios. Se necesitan 22.000 estacas/ha.

5.5.2.8 Riego

“La habichuela se desarrolla bien en zonas con 300-400 mm de lluvia durante el ciclo del cultivo. En época seca es necesario regar una o dos veces por semana dependiendo del tipo de suelo, y de las condiciones de evapotranspiración. Los estados críticos del cultivo con relación a la humedad del suelo son la germinación y al emergencia, la época de floración y formación de las vainas” (Gutiérrez et al., 2004, p. 8)

“Las necesidades hídricas del cultivo pueden suplirse mediante riego (tabla 10), distribuyendo el agua en las diferentes etapas del cultivo y haciendo los ajustes necesarios de acuerdo al régimen de lluvia que se presente en la zona” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 279).

Tabla 10. Distribución de lámina de riego, para el cultivo de una hectárea de habichuela UNAPAL Milenio.

Etapas fonológicas	Días	Lamina requerida (mm)	Lamina semanal (mm)	No. Riegos semana	Cantidad agua riego (l)
Siembra-inicio floración	0-34 (5 semanas)	130	26	4	65.000
Floración-inicio llenado de vainas	35-47 (2 semanas)	80	40	4	100.000
Llenado de vainas	48-58 (2 semanas)	120	60	4	150.00
Llenado de vainas-inicio cosecha	58-78 (3 semanas)	60	20	3	66.00
totales	80 (12 semanas)	390		15	

Fuente: Vallejo y Estrada, (2004).

5.5.2.9 Fertilización

“El análisis de suelo previo a la siembra de la habichuela se constituye en una oportuna decisión para lograr buenos resultados al programar una adecuada fertilización. Es importante tener en cuenta los criterios que debemos considerar para ajustar en la mejor forma posible las recomendaciones de fertilización a las necesidades del cultivo” (Pérez, 2000, p. 309):

- Necesidades de requerimientos del cultivo nutricionales.
- Cantidad de nutrimentos que tiene el suelo.
- Eficiencia del fertilizante.
- Aspecto económico de la fertilización.

“En suelos de ladera, climas cálidos moderados y fríos, se debe esperar respuesta a Nitrógeno (N) y Fósforo (P), preferentemente a este último, debido a que estos suelos son de tendencia ácida. Es necesario pensar en el encalamiento antes de establecer el cultivo” (Agudelo, s.f., p. 256).

La extracción de nutrientes por el cultivo de habichuela varía con el tipo de cultivar, el ambiente edáfico y climático de producción y la expresión del potencial genético en términos de rendimientos unitarios y producción (tabla 11).

Nitrógeno (N)	→	110 kg/ha
Fosforo (P ₂ O ₅)	→	25 kg/ha
Potasio (K ₂ O)	→	84 kg/ha
Calcio (CaO)	→	130 kg/ha

Tabla 11. Extracción de nutrientes del cultivo de habichuela voluble con un rendimiento de 12 t/ha.

Fuente: Vallejo y Estrada, (2004).

En el centro experimental CEUNP, con el cultivar UNAPAL Milenio, se han logrado rendimientos de 21 t/ha de vainas frescas con la aplicación de 450 kg/ha de una mezcla de nutrientes en las siguientes proporciones (tabla 12):

Tabla 12. Cantidades y distribución de nutrientes de la habichuela.

Nutriente	Etapa DDS*				Total (kg/ha)
	1 (0-34)	2 (35-48)	3 (49-58)	4 (59-75)	
Nitrógeno (N)	60	50	40	-	150
Fosforo (P ₂ O ₅)	30	20	-	-	50
Potasio (K ₂ O)	30	80	30	10	150
Calcio (CaO)	20	20	10	-	50
Magnesio (MgO)	5	15	5	-	25
Menores	15	10	-	-	25
TOTALES					450

Fuente: Vallejo y Estrada, (2004) *DDS: días después de la siembra.

“La habichuela puede responder muy bien a una fertilización con materia orgánica pero es necesario evaluar esta técnica para asegurar un correcto suministro de nutrientes a la planta” (Gutiérrez et al., 2009, p. 9). “En las condiciones tropicales, la fertilización orgánica tiene gran importancia debido a las altas tasas de mineralización a temperaturas y humedades elevadas y constantes durante todo el año. En algunos el uso de aspersiones foliares con elementos menores produce buenos resultados. La habichuela responde muy bien a la aplicación de gallinaza, en cantidades de 3-7 t/ha” (Tofiño y López, 2004, p. 11).

La fertilización orgánica se realiza al momento de la siembra y en el fondo del surco. Se divide en varias aplicaciones, que se realizan cada 20 días 100 gr de un buen compostaje es la mejor opción. Los sistemas de aplicación de nutrientes son corona y la localizada (Fundación Hogares Juveniles Campesino, 2010).

5.5.2.10 Manejo de arvenses

“El cultivo de habichuela debe permanecer libre de malezas por lo menos la primera mitad de su ciclo vegetativo, ya que compite muy débilmente con estas. El número y tipo de limpieza depende del tipo de maleza y su presencia dentro del cultivo. Una o dos desyerbas son lo más aconsejable” (Pérez, 2000, p. 310).

“El control mecánico consiste en el uso de prácticas para la eliminación de arvenses por métodos físico-mecánicos, y entre ellos el control manual con implementos como el azadón y el machete, que es el método más recomendado para las condiciones de los suelos en la mayor parte de los cultivos” (Arias et al., 2007, p. 84).

5.5.2.11 Manejo de plagas y enfermedades

“Los cultivares de habichuela como los frijoles del género *Phaseolus*, presentan alta susceptibilidad a enfermedades de origen fungoso y bacterial que se acentúan en incidencia y severidad cuando las condiciones de humedad del suelo y del ambiente externo, así como la combinación de altas temperaturas en el día y bajas en la noche. En áreas de alta nubosidad en las mañanas con la conformación de gota y humedecimiento de follaje, se acentúan los problemas de enfermedades tales como antracnosis, (*Colletotrichum* sp.) moho o mildew de hojas (*Erysiphe* sp.) y Mustia hilachoza (*Thanateforus* sp.). Las plagas de follaje, especialmente chupadoras y minadoras, se acentúan en zonas cálidas o medias en épocas de alta temperatura y baja precipitación” (Vallejo y Estrada, 2004, p. 282).

El apropiado manejo de un cultivo, integrando todos los aspectos de su mantenimiento es la clave para el buen estado fitosanitario de este. Todas las labores en el cultivo deben estar dirigidas a disminuir la incidencia de los agentes causales eliminando las condiciones que favorecen su desarrollo y a aumentar la tolerancia de las plantas al ataque de las plagas y enfermedades (Pérez, 2000).

5.5.2.12 Cosecha

El momento óptimo de la cosecha lo determina la interacción entre el tipo de cultivar y las condiciones de clima y ambiente de producción. Los cultivares precoces en climas cálidos (23-26 °C) pueden alcanzar madures de las primeras vainas, dos o tres semanas después de haberse iniciado la floración (50-60 días después de la emergencia). Los cultivares tardíos pueden demorarse una semana o más. Una vez iniciada la cosecha, se realizan diferentes pases de cosecha, uno o dos por semana, durante 2-3 semanas. La cosecha se realiza manualmente con operarios expertos que seleccionan las vainas en el estado óptimo y no producen

daño durante el arranque, a los racimos y vainas inmaduras (Vallejo y Estrada, 2004, p. 285).

“La primera cosecha en la variedad UNAPAL Milenio, representa alrededor del 10% del rendimiento total que puede ser de 12 t/ha. En los ensayos realizados por el programa de hortalizas se han hecho hasta cinco recolecciones con intervalos de 3 a 4 días. Los diferentes mercados presentan exigencias específicas y no existe una normalización única. Algunas de estas características son: vainas frescas sanas y limpias con longitud mínima de 8 cm y máxima de 17 cm; color verde ligeramente brillante; péndulo cortado a medio centímetro; color de la pulpa debe ser transparente y no blanco; vainas rectas, redondas o semiredondas; vainas con poca o sin fibra” (Gutiérrez et al. 2004, p. 13).

5.5.3 Características agronómicas del cultivo

La guía de descriptores es un conjunto de datos que describen una planta. Son datos de características botánicas fácilmente determinables a simple vista y usualmente de herencia cualitativa. Cada descriptor debe representar tan solo una característica y debe definirse el estadio de desarrollo del cultivo en el cual se toma el dato. Los descriptores pueden clasificarse en dos grandes grupos: descriptores cualitativos por ejemplo, el color de la semilla de la habichuela puede tomar los valores blanco, amarillo, rojo moteado y sus combinaciones o la presencia o ausencia de un carácter. Descriptores cuantitativos, por ejemplo el rendimiento por hectárea, número de vainas por planta (Tofiño y López, 2004).

5.5.3.1 Variables cuantitativas

Según Tofiño y López, (2004) plantean los siguientes métodos de medición para algunas características cuantitativas en el cultivo de habichuela:

Longitud y diámetro de vainas: Se realiza a partir del momento en que las vainas están completamente formadas pero aún no se ha llevado a cabo el proceso de llenado de semilla, a partir de los 40 hasta los 60 dds.

Longitud de las vainas (cm): Se mide en 10 vainas correspondiente al 4° nudo, desde la inserción en el pedicelo hasta el extremo libre del ápice, 15 días después de la floración.

Diámetro de la vaina (mm): Se mide el diámetro entre las saturas y entre valvas en 5 vainas bien formadas a los 15 días después de la floración en cada tratamiento.

Numero de semillas por vaina: Se registra el número de semillas bien formadas en las mismas 5 vainas empleadas para determinar la longitud y diámetro en cada tratamiento.

Longitud del tallo principal (cm): Se mide al final de la floración. En las plantas con hábito de crecimiento indeterminado (trepadoras), se mide desde el punto de inserción de las raíces hasta el último meristemo apical del tallo.

Numero de flores por planta: A partir del momento en que al menos el 50% de las plantas de cada tratamiento presenta si quiera una flor abierta.

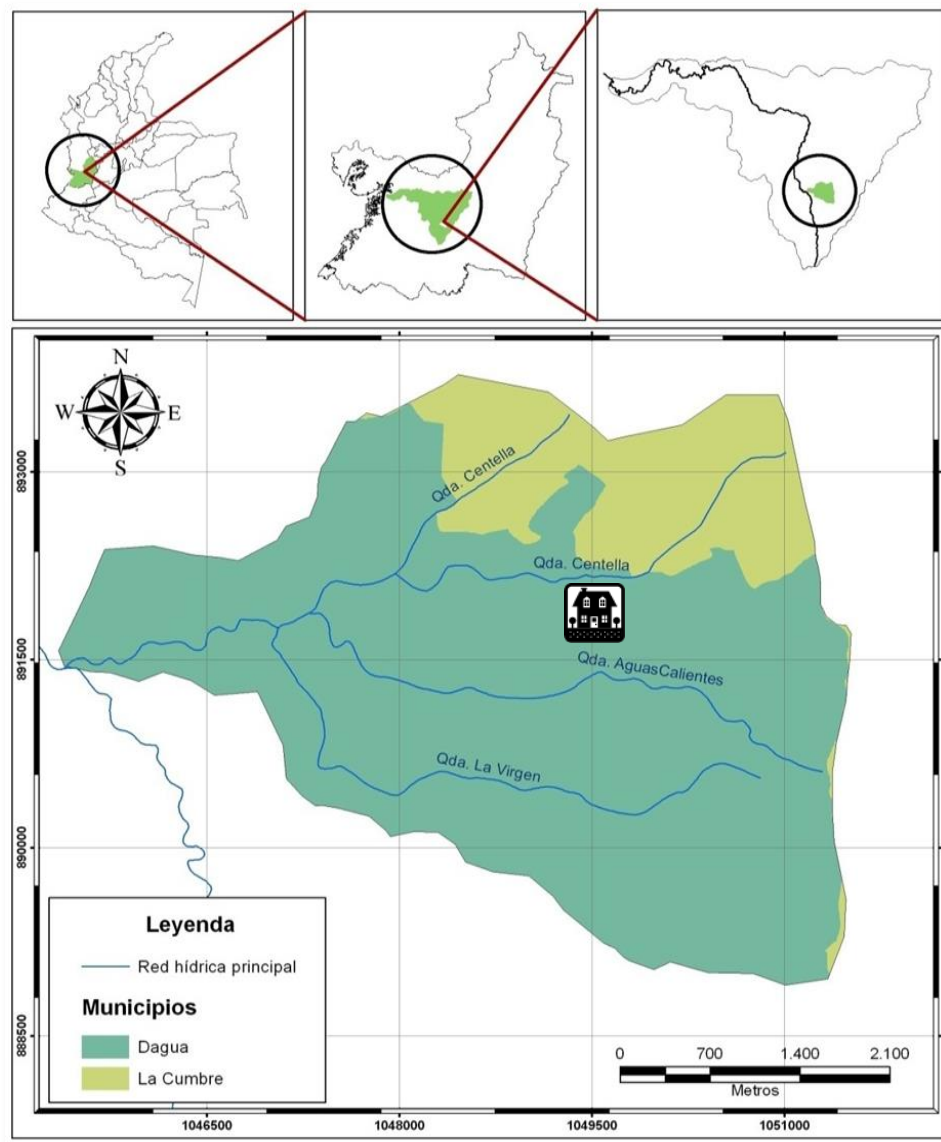
Numero de vainas por planta: Se evalúa semanalmente a partir del momento que el 50% de las plantas en cada tratamiento han formado siquiera una vaina.

6. METODOLOGÍA

6.1 Ubicación y localización del ensayo

El estudio se llevó a cabo en la finca El Brillante, vereda Centella Alta, corregimiento El Palmar, en la microcuenca La Centella del municipio de Dagua en el departamento del Valle del Cauca, localizada a $3^{\circ}39'37''$ de latitud, $76^{\circ}41'34''$ de longitud y 1800 msnm (figura 2).

Figura 2. Ubicación microcuenca La Centella.



Fuente: Universidad del Valle - IREHISA, Universidad San Buenaventura y BIOTEC (2010).

6.1.1 Descripción de la zona de estudio

Según el IGAC y la CVC (2004), esta zona presenta una clasificación taxonómica de suelos en Asociación Typic Dystrudepts (orden inceptisol) - Typic Hapludands (orden andisol), con las siguientes características:

Se ubican geomorfológicamente en las lomas en el paisaje de montaña fluvio gravitacional, en alturas entre 1.500 y 1.800 msnm, temperaturas de 18 a 22 °C y una precipitación promedio de 2.000 mm anuales, con distribución bimodal. El relieve es moderadamente quebrado a moderadamente escarpado, con pendientes desde 12%, irregulares, cortas y ligera disección.

Estos suelos se han originado de rocas ígneas volcánicas máficas afaníticas y porfíricas como diabasa y/o depósitos superficiales clásticos piroclásticos no consolidados de ceniza volcánica. Son bien drenados, moderadamente profundos a muy profundos, texturas finas, moderadamente finas y moderadamente gruesas y medias, baja y moderada fertilidad.

La vegetación natural ha sido destruida en su mayor parte, encontrándose algunas especies de helechos, arboloco, fique, cedrillo, yarumos, guamos y pastos naturales. Estas áreas se encuentran principalmente en pastos dedicados a ganadería extensiva y pequeñas áreas en cultivos de subsistencia como maíz, yuca, piña, café y algunas hortalizas.

Los suelos presentan erosión ligera y moderada, generalmente ocasionada por el manejo inadecuado en las explotaciones agrícola y pecuaria, al implementar cultivos sin cobertura adecuada o con prácticas inapropiadas de conservación del suelo.

Pertenece al clima medio y húmedo. Los suelos presentan relieves moderadamente escarpados con pendientes entre 50-75%, son muy profundos y profundos a moderadamente profundos y superficiales, texturas variadas desde finas hasta moderadamente gruesas, algunas gravillosas, cascajos, pedregosas, bien a excesivamente drenados, extremadamente ácidos a neutros, fertilidad baja a alta, variable capacidad catiónica de cambio, de saturación de bases y contenidos de calcio y magnesio, en algunos casos la relación Ca/Mg es invertida, medianos a muy bajos contenidos de potasio, bajos y muy bajos en fósforo, alta saturación de aluminio y variable contenido de carbono orgánico.

Presentan severas limitaciones para el uso agropecuario debido a las pendientes moderadamente escarpadas y a la erosión en grado moderado; en algunos suelos la alta saturación de aluminio, la presencia de afloramientos rocosos o de tierras de cárcavas, la relación Ca/Mg invertida y la poca profundidad efectiva. En algunos sectores de esta unidad se presentan deficiencias de agua con veranos prolongados e intensos.

La mayoría de las tierras se encuentran dedicadas a ganadería extensiva con pastos naturales, y algunas áreas a cultivos de café, yuca, plátano, caña de azúcar, maíz, frijol, hortalizas, frutales.

6.2 Diseño experimental

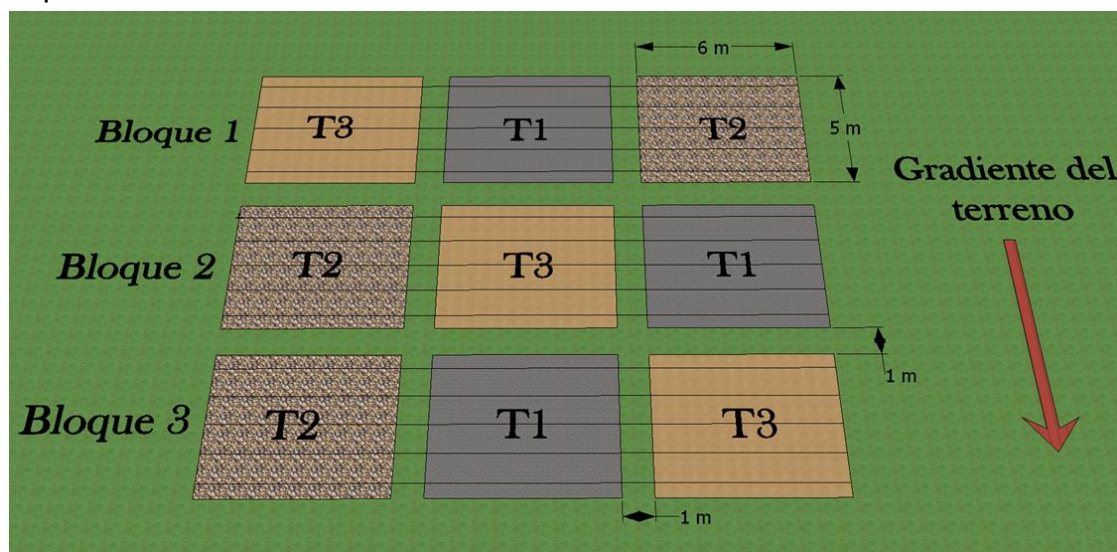
El estudio consistió en someter un cultivo de habichuela a un diseño de tratamientos que incluyó dos programas diferentes de fertilización con abonos orgánicos y un testigo al cual no se le aplicó ningún tipo de abono orgánico (tabla 13): compost (T1), lombricompost (T2) y testigo (T3).

Tabla 13. Diseño de los tratamientos.

Tratamiento	Abono orgánico
T1	Compost
T2	lombricompost
T3	Sin abonos orgánicos

El ensayo se llevó a cabo en un área de 340 m², con una pendiente constante del 20%. El diseño del experimento fue de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones, de manera que cada bloque tuviera el mismo gradiente del terreno, para controlar las variaciones y reducir los errores experimentales (figura 3). Cada bloque contó con tres parcelas experimentales a las que se le asignaron al azar los tratamientos, para un total de 9 unidades experimentales, cada unidad experimental tuvo un área de 30 m², con 5 surcos y 150 plantas. Se dejó una distancia de 1 m entre los bloques y las parcelas para eliminar el efecto de borde.

Figura 3. Distribución de las parcelas experimentales para el diseño de bloques completos al azar.



6.3 Caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

Se realizó una caracterización inicial y final del suelo con el fin de evaluar el cambio en sus propiedades (tabla 14). Para la toma de muestras alteradas, se realizó un corte en V en el perfil del suelo, a una profundidad de 0-20 cm, recomendada para la mayoría de cultivos agrícolas, ya que coincide con la mayor concentración de raíces en el suelo, luego se introdujeron en una bolsa y se rotularon. Para las muestras inalteradas, se utilizó el equipo de anillos de muestreo, por medio del barreno se extrajeron las submuestras en cilindros sin disturbar a una profundidad de 0-20 cm, se cubrieron con las tapas, se rotularon y se empacaron en su respectiva caja de transporte (figura 4).

Tabla 14. Propiedades del suelo y métodos de análisis.

Propiedades	Variables		Método
Físicas	Densidad aparente (Da)		Terrón parafinado*
	Porosidad	Espacio poroso total (EPT)	Caja de arena*
		Microporosidad (Micro)	
		Macroporosidad (Macro)	
	Textura		Bouyoucos*
	Estabilidad de agregados	Diámetro ponderado medio (DPM)	Yoder*
		Diámetro geométrico medio (DGM)	
Químicas	pH (1:1 en agua)		Potenciométrico*
	Acidez intercambiable (Ai)		Titulación volumétrica* Extracción con KCl 1N
	Conductividad eléctrica (CE)		Conductivímetro*
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)		Titulación volumétrica* Acetato Amonio 1N
	Carbono orgánico (CO)	Materia orgánica (MO)	Walkley – Black*
		Nitrógeno total (NT) medición indirecta	
Biológicas	Actividad microbiana (AM)		CAB** (Centro de Agrobiología de Brasil)

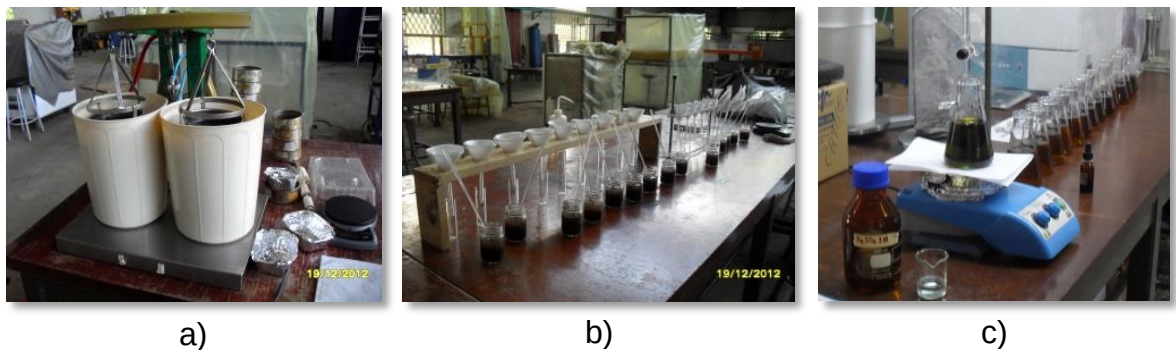
* IGAC, (2006); ** Servicio para la conservación de recursos naturales, (1996).

Figura 4. Extracción de muestras alteradas (a) e inalteradas (b).



El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de Suelos y Aguas Agrícolas (LASA) de la Universidad del Valle (figura 5).

Figura 5. Análisis de suelo físico y químico, laboratorio LASA: a) estabilidad de agregados, b) conductividad eléctrica, c) carbono orgánico.



6.3.1 Caracterización inicial del suelo.

Antes del montaje experimental, se realizó un muestreo inicial, con el fin de evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, para conocer en qué condiciones se encontraba el suelo y poder determinar el manejo más adecuado tanto para el suelo como para el cultivo. Lo más importante de este diagnóstico fue conocer las condiciones de acidez (pH) y los nutrientes disponibles del suelo.

Se delimitó el terreno en tres zonas, alta, media y baja, teniendo en cuenta el sentido de la pendiente (figura 6). Dentro de cada zona se recogieron tres submuestras aleatorias.



Figura 6. Distribución del lote de estudio para muestreo inicial.

6.3.2 Caracterización final del suelo.

Al finalizar el periodo vegetativo del cultivo (3 meses después de la siembra), se realizó la caracterización final del suelo, en donde se tomaron tres muestras aleatorias en cada unidad experimental, los resultados se les aplicó un análisis estadístico para observar el comportamiento de las propiedades del suelo después de la aplicación de los tratamientos.

6.4 Preparación de los materiales orgánicos

La primera actividad que se realizó para la preparación de los materiales orgánicos, fue hacer un inventario de los residuos orgánicos disponibles en la finca y en qué cantidades, tanto para la elaboración del compost, como para la alimentación de las lombrices para la producción del lombricompost.

6.4.1 Elaboración del Compost

Se escogió un sitio en la finca y se acondicionó para el montaje de la compostera. Luego con el listado de residuos orgánicos disponibles, se buscó en tablas la relación C/N (Carbono:Nitrógeno) a cada uno y las cantidades a utilizar, se totalizaron ambas y por último se dividió la relación C/N entre número de partes a utilizar para obtener una relación óptima inicial (30 a 40:1) para realizar la mezcla de los residuos orgánicos (tabla 15).

Tabla 15. Cálculos de relación C/N para elaboración del compost.

RESIDUOS ORGÁNICOS	RELACIÓN C/N	NO. PARTES A UTILIZAR
Pulpa de café	53	1
Hojarasca	54	1
Hojas de plátano	19	1
Residuos de poda	150	2
Porquinaza	14	2
Pollinaza	14	2
TOTAL	304	9
Relación C/N inicial del compost	33.7	

El número de partes o cantidades utilizadas en la tabla de relación C/N para la elaboración del compost fue volumétrica (balde de 20 litros).

La elaboración de la pila se inició triturando los residuos orgánicos más grandes (hojarasca, hojas de plátano y residuos de poda) para garantizar una descomposición más rápida, luego se fue colocando una capa de cada residuo y se iba agregando el biopreparado líquido agroplus, este proceso se repitió tres veces hasta alcanzar un montón de 70 cm de alto y 1.50 m de diámetro en la base, después con la ayuda de una pala se mezclaron todos los residuos, se comprobó la humedad optima inicial y finalmente se tapó con un plástico negro aplicando la técnica de compost solarizado (figura 7), para obtener buenas condiciones de humedad, aireación, temperatura y reducir al mínimo los efectos de contaminantes microbianos externos.

Figura 7. Proceso de preparación del compost: a) trituración de algunos residuos orgánicos, b) colocación de las capas e incorporación de humedad, c) montón totalmente mezclado, d) técnica de compost solarizado.



a)



b)



c)



d)

6.4.1.1 Seguimiento en el proceso de compostaje

En el proceso de compostaje se monitoreó constantemente los factores que son necesarios controlar para alcanzar las condiciones óptimas y obtener un compost de calidad. La humedad se manejó con agroplus (caldo microbiano) en relación 1:3 (agroplus:agua), para acelerar la descomposición y mineralización de los materiales orgánicos; se agregó en el momento de la preparación de la pila. Semanalmente se midió la humedad mediante la prueba de puño (IPADE, 2009), se realizaron volteos de la pila para controlar la aireación, la temperatura y la humedad. También se midió diariamente la temperatura y cada 8 días el pH con el fin de analizar el comportamiento de estos factores en todo el proceso de compostaje (figura 8 y 9). La temperatura se evaluó por medio un termómetro de carátula con punzón de 50 cm de longitud, las mediciones se realizaron en el centro de la pila; el pH se determinó mediante cintas indicadoras en relación compost:agua (1:1) (figura 10).

Figura 8. Comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje.

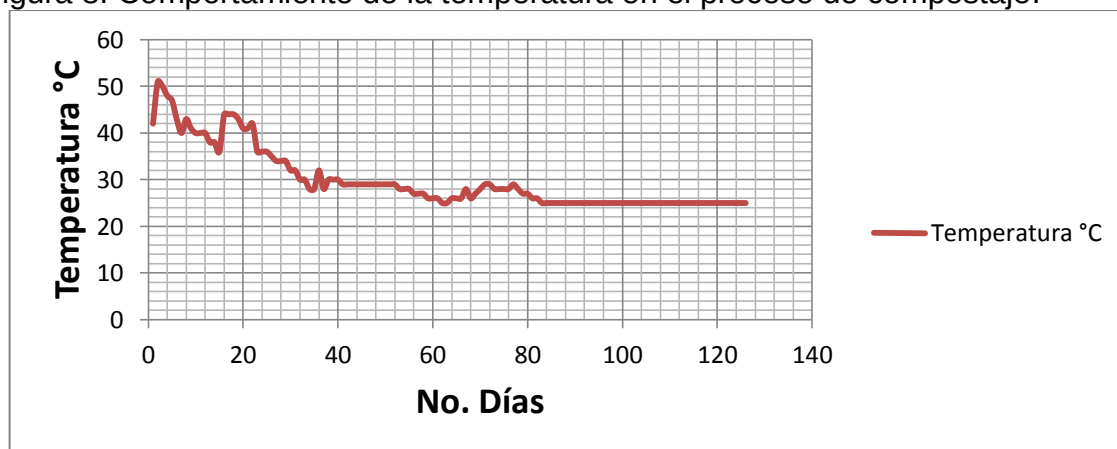


Figura 9. Comportamiento del pH en el proceso de compostaje.

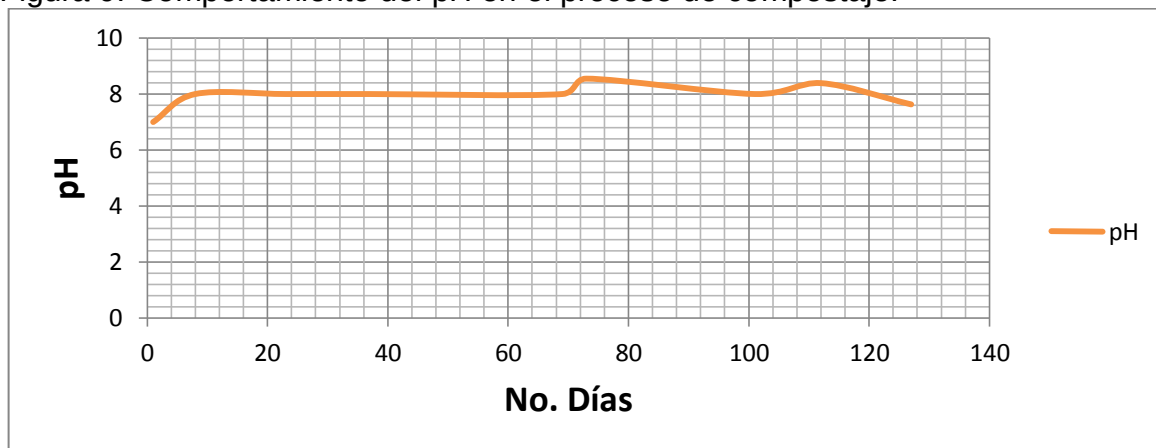


Figura 10. Seguimiento en el proceso de compostaje: a) medición de temperatura, b) determinación del pH.



a)

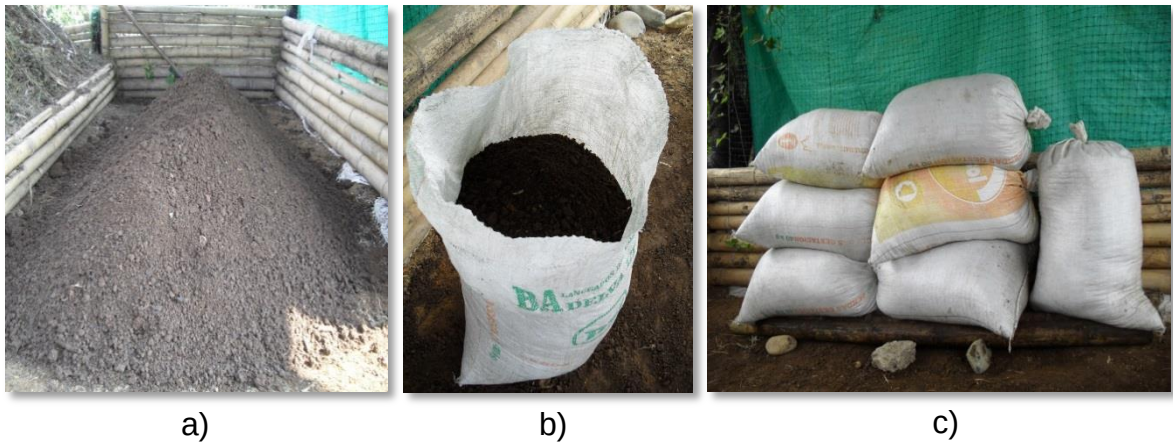


b)

6.4.1.2 Cosecha del compost

A los 3 meses bajo la temperatura a ambiente y se empezó a estabilizar el compost, en donde fue necesario realizar volteos constantes a la pila con el fin de bajar la humedad al 40 %. Luego se empacó en costales de polietileno y se almaceno (figura 11). Se prepararon tres montones uno por semana y se obtuvo al final de proceso 7 bultos de 50 kg cada uno, para un total de 350 kg de compost aproximadamente.

Figura 11. Fase final del compost: a) compost estabilizado, b) empaque, c) almacenamiento.



6.4.2 Elaboración del Lombricompost

El sustrato utilizado para la alimentación de las lombrices fue estiércol proveniente del ganado de la zona. El montaje de la lombricompostera se hizo en una finca vecina, en donde se acondicionó como cama para el establecimiento de las lombrices, un tanque en mampostería de un beneficiadero de café sin utilizar, con dimensiones de 3 m² y 60 cm de alto, en una pieza cerrada protegido de la lluvia y el sol. Se utilizó la lombriz roja californiana, con un pie de cría de 20 kg de lombriz por metro cuadrado para iniciar la reproducción (figura 12). Para el establecimiento se colocó 60 kg de lombriz en la cama, se distribuyeron uniformemente en el piso, luego se agregó encima 60 kg de estiércol como alimento, por último se tapó con costales, conservar la humedad, evitar la luz y el ataque de agentes externos.

Figura 12. Montaje de la lombricompostera: a) semilla de lombriz, b) establecimiento de la cama.



6.4.2.1 Manejo y cuidado de la lombricompostera

La preparación del alimento se realizó mensual, en donde se recolectaba el estiércol, se amontonaba tapándolo con un plástico para que se fermentara y poder así controlar la humedad y la temperatura del sustrato antes de aplicarlo a la cama (figura 13). Las lombrices se alimentaban semanalmente con 60 kg del sustrato maduro.

Figura 13. Manejo y cuidado de la lombricompostera: a) recolección del estiércol, b) fermentación del sustrato, c) aplicación y distribución del alimento.



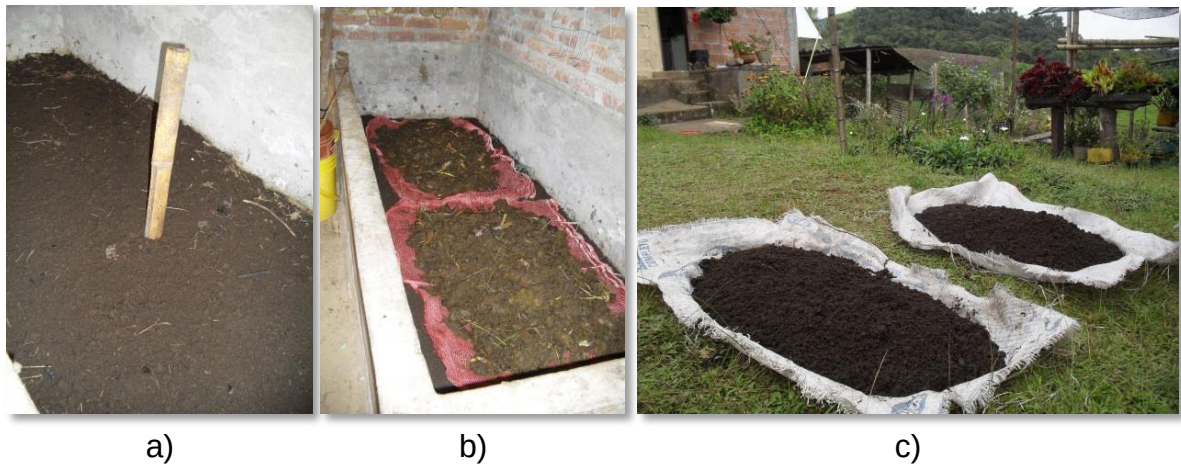
En el proceso lombricompostaje se hizo seguimiento a algunos factores básicos para brindar condiciones óptimas a las lombrices y obtener un buen lombricompost. La humedad se controló en la recolección del estiércol para no tener que agregar agua, semanalmente se midió la humedad al sustrato y a la cama mediante la prueba de puño. La temperatura se manejó en la fermentación del alimento, para poderlo aplicar a la cama frío, cuando el estiércol estaba fresco y se aplicaba a la cama se realizaba en capas delgadas para evitar elevar la temperatura y afectar a las lombrices. La aireación en la cama se manejó no dejando alcanzar al sustrato alturas mayores a 40 cm, ya que a esta altura se presenta compactación y pudrición por la humedad.

6.4.2.2 Recolección del lombricompost

El sustrato presentó buen proceso de descomposición a los 4 meses cuando la cama alcanzó una altura de 30 cm y mostraba condiciones ideales, como color oscuro, textura suelta y olor a suelo húmedo. En ese momento se tomó la decisión de cosechar el lombricompost aplicando el método de trampeo, en donde se dejó sin alimento a las lombrices durante 15 días, luego se colocaron dos costales de fibra encima de la cama, se agregó estiércol dejándolo en capas gruesas y se

cubrieron para que las lombrices subieran a comer el alimento de la trampa, permitiendo separarlas de la cama. El trampeo se repitió dos veces hasta cosechar todo el lombricompost. El abono aún se encontraba muy húmedo fue necesario extenderlo en capas delgadas con el fin de que perdiera humedad (figura 14). Una vez alcanzó la humedad óptima (40 %) se procedió a empacarlo en costales de polietileno obteniendo un total de 7 bultos de 50 Kg, para un total de 350 kg de lombricompost aproximadamente.

Figura 14. Cosecha de lombricompost: a) condiciones ideales del sustrato, b) instalación de trampas, c) pérdida de humedad del lombricompost.



6.4.3 Análisis de los materiales orgánicos

Al completarse el proceso de descomposición de los materiales orgánicos (compost y lombricompost), se evaluaron algunas propiedades de la composición química, para determinar la calidad del producto final y calcular las cantidades de abono orgánico a aplicar en cada unidad experimental.

6.5 Manejo agronómico del ensayo

Se realizaron las siguientes labores culturales antes de la implementación del cultivo y durante el periodo vegetativo de la habichuela.

6.5.1 Adecuación de la parcela experimental

Se seleccionó un área de 340 m², con pendiente constante, sin mucho sombrío y pocos cultivos intercalados; se limpió el terreno de arvenses por medio de desyerbas manuales con machete, se recogieron algunos residuos de cosechas anteriores como caña menuda y fibra (figura 15).

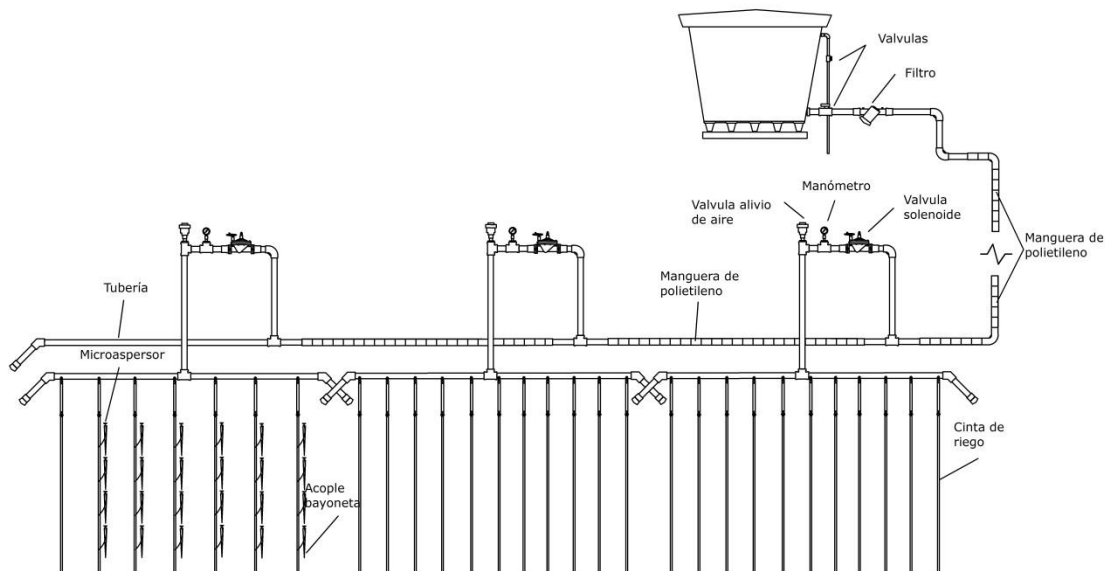


Figura 15. Adecuación de la parcela experimental.

6.5.2 Riego

Las necesidades hídricas del cultivo se suplieron mediante riego por goteo o sistema de riego localizado de alta frecuencia automatizado (SRLAF) con las siguientes especificaciones: cinta de goteo calibre 10000, con emisores cada 10 cm, caudal de operación de 0.75 l/h, presión de funcionamiento de 10 PSI, separación entre laterales de 1.0 m, longitud de lateral de 30 m. El sistema de riego ya se encontraba instalado en la finca (figura 16), por tanto se determinó la demanda hídrica y el diseño agronómico del cultivo, utilizando el siguiente procedimiento:

Figura 16. Sistema de riego localizado de alta frecuencia finca El Brillante.



Fuente: IREHISA, 2010

6.5.2.1 Demanda hídrica del cultivo

La demanda hídrica se calculó para los meses que comprendía el periodo vegetativo de la habichuela, en donde el coeficiente del cultivo (K_c) se distribuyó de acuerdo a sus respectivas etapas, y se estimó la evapotranspiración crítica del cultivo (ET_c) y el caudal de flujo continuo requerido (Q_{fc}).

Datos del cultivo:

Cultivo: Habichuela.

Distancia entre surcos (DES): 1.0 m.

Distancia entre plantas (DEP): 0.25 m.

Profundidad radicular: 0.2 m.

Primero se determinó el **porcentaje de área sombreada (%A)**, con la ecuación 6.1:

$$\%A = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{DES * DEP} \quad Ec. (6.1)$$

Dónde:

D = Diámetro de sombra (m), asumido de acuerdo a cada etapa del cultivo.

DES = Distancia entre surcos (m).

DEP = Distancia entre plantas (m).

Seguidamente se calculó el **coeficiente de localización (Kl)**, con la siguiente ecuación 6.2:

$$Kl = 1.34 * \%A \quad Ec. (6.2)$$

Luego se determinó las **necesidades netas de riego (Nn)**, utilizando la ecuación 6.3:

$$Nn = (ET_o * K_c) * Kl \quad Ec. (6.3)$$

Dónde:

Nn = Necesidades netas del cultivo (mm/década).

ET_o = Evapotranspiración potencial (mm/década); tomado de la CVC Y PROAGUA (2008) (ver anexo 1).

K_c = Coeficiente del cultivo; tomado de la FAO (2006) (ver anexo 2).

Después se calculó las **necesidades totales de riego (Nt)**, con la ecuación 6.4:

$$Nt = \frac{Nn}{(Ea * CU)} \quad Ec. (6.4)$$

Dónde:

Nt = Necesidades totales de riego (mm/década).

Ea = Eficiencia de aplicación; tomado de Pizarro (1990) (ver anexo 3).

Cu = Coeficiente de Uniformidad, tomado de Pizarro (1990) (ver anexo 4).

Posteriormente se calculó las **necesidades diarias del cultivo (Nd)**, con la siguiente ecuación 6.5:

$$Nd = \frac{(Nt * DES * DEP)}{d} \quad Ec. (6.5)$$

Dónde:

Nd = Necesidades diarias del cultivo (L/planta-día).

d = Duración de la década (días).

Por último se determinó el **caudal demandado en flujo continuo**, utilizando la ecuación 6.6:

$$Qfc = \frac{\frac{Nt}{d} * 1000 * A}{(24 * 3600)} \quad Ec. (6.6)$$

Dónde:

Qfc = Caudal de flujo continuo (L/seg-ha).

A = Área a cultivar (ha).

En el anexo 5 se muestra la tabla de cálculos y resultados de la demanda hídrica del cultivo de habichuela para cada una de las etapas de desarrollo y sus respectivos meses, en la cual se tomó el valor más alto de las necesidades diarias del cultivo para realizar el diseño agronómico.

6.5.2.2 Diseño agronómico

Para ajustar el sistema de riego al cultivo de habichuela, fue necesario realizar revisión y mantenimiento de todo el sistema, luego medir el caudal real de goteo, por ultimo calibrar las botellas plásticas y hacer la prueba de bulbo húmedo (ver resultados en anexo 6 y 7).

Primero se seleccionó el **porcentaje de área a regar (%P)**, según la clasificación de Pizarro (1990), para el tipo de cultivo (ver anexo 8):

- %P = 70% para herbáceos

Posteriormente con los datos de la prueba de bulbo húmedo (figura 17), se determinó la **Profundidad de bulbo húmedo (Pb)**, mediante la ecuación 6.7:

$$0.9Pr < Pb < 1.2 Pr \quad Ec. (6.7)$$

Dónde:

Pr = profundidad de radicular.

Figura 17. Prueba de bulbo húmedo.



Hallando la profundidad de bulbo húmedo, se escogió su respectivo radio bulbo húmedo y se calculó el **Área mojada por emisor (Ae)**, mediante la ecuación 6.8:

$$Ae = \pi r^2 \quad Ec. (6.8)$$

Dónde:

Ae = Área mojada por el emisor (m²).

r = Radio de bulbo húmedo (m).

Después se halló el **Número de emisores por planta (e)**, utilizando la ecuación 6.9:

$$e > \frac{Ap * P(\%)}{Ae * 100\%} \quad Ec. (6.9)$$

Dónde:

Ap = Área de influencia de la planta (DEP x DEP) (m²).

Luego se determinó La **Frecuencia de riego (FR)**, mediante la ecuación 6.10:

$$Fr = \frac{e * Va}{Nd} \quad Ec. (6.10)$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de riego (días).

Va = Volumen de agua aplicado correspondiente a la profundidad y radio de bulbo húmedo.

Nd = Necesidades de riego diarias del cultivo, tomando el máximo valor de la tabla de demanda hídrica.

Por último, se calculó el **Tiempo de riego (Tr)**, utilizando la ecuación 6.11:

$$Tr = \frac{Nd * Fr}{e * Qe} \quad Ec. (6.11)$$

Dónde:

Tr = Tiempo de riego (horas)

Qe = Caudal del emisor (L/h).

Tabla 16. Diseño agronómico del sistema de riego para el cultivo de habichuela.

Parámetros	Unidades	Resultados
Nd	L/planta-día	0,17
Qe	L/h	0.42
e	adimensional	2
Fr	días	1
Tr	minutos	12

6.5.3 Fertilización

La cantidad de abono orgánico que se aplicó a cada planta, se calculó mediante el nitrógeno que es el elemento más esencial para el crecimiento y desarrollo del cultivo, ya que no se pudo hacer un análisis completo de la composición química de todos los nutrientes del suelo y de los abonos orgánicos. Se cuantificó utilizando la siguiente metodología de fertilización de CORPOICA (2005):

6.5.3.1 Nitrógeno disponible del suelo

Primero se determinó el **peso de una hectárea de suelo**, mediante la ecuación 6.12:

$$P(ha) = 100.000 * Da * Pr \quad Ec. (6.12)$$

Dónde:

P(ha) = Peso del suelo de una hectárea en kg.

100.000 = Constante.

Pr = Profundidad de raíces efectivas de la habichuela en cm.

Da = Densidad aparente del suelo g/cm³.

El nitrógeno del suelo tiene dos componentes, N orgánico y N inorgánico. Los microorganismos del suelo hacen la conversión de la forma orgánica a inorgánica, que es la que absorben las plantas. Se estima que entre 1.5% y 3% del N total del suelo corresponde a N inorgánico; usualmente se trabaja con 1.5% ó (0.015).

Luego se calculó el **nitrógeno disponible del suelo**, utilizando las ecuaciones 6.13 y 6.14:

$$NDS (\%) = NT(\%) * 1.5(\%) \quad Ec. (6.13)$$

$$NDS (Kg N/ha) = \frac{NDS(\%) * P(ha)}{100} \quad Ec. (6.14)$$

Dónde:

NDS (%) = Nitrógeno disponible del suelo.

NT (%) = Nitrógeno total del suelo.

NDS (Kg N/ha) = Nitrógeno disponible del suelo en kg de nitrógeno por hectárea.

Tabla 17. Resultados del peso y nitrógeno disponible del suelo.

Da (g/cm³)	Pr (cm)	P (Kg/ha)	NT (%)	NDS (%)	NDS (Kg/ha)
0.65	20	1.300.000	0.24	0.0036	46.8

6.5.3.2 Nitrógeno disponible de los abonos orgánicos

El nitrógeno de los abonos orgánicos se mineraliza a una tasa del 25% (Burbano, 1989), por lo que la cantidad de nitrógeno disponible de los abonos orgánicos se calculó con la ecuación 6.15:

$$NDA (\%) = NT(\%) * 25(\%) \quad Ec. (6.15)$$

Dónde:

NDA (%) = Nitrógeno disponible de los abonos orgánicos.

NT (%) = Nitrógeno total de los abonos orgánicos.

6.5.3.3 Cantidad de abono orgánico requerido

La habichuela requiere 110 kg/ha de nitrógeno según Vallejo y Estrada (2004), y conociendo la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo, se determinó el nitrógeno aportado por los abonos, mediante la ecuación 6.16:

$$NA = NRC - NDS \quad Ec. (6.16)$$

Dónde:

NA (Kg/ha) = Nitrógeno a aplicar.

NRC (Kg/ha) = Nitrógeno requerido por el cultivo.

NDS (Kg/ha) = Nitrógeno disponible del suelo.

Tabla 18. Cantidad de nitrógeno a aplicar.

Cultivo	NRC (Kg/ha)	NDS (Kg/ha)	NA (Kg/ha)
Habichuela	110	46.8	63.2

Por tanto la dosis de abono requerido a aplicar por hectárea, se calculó mediante la ecuación 6.17:

$$AR (Kg \text{ abono}/ha) = \frac{100(Kg \text{ abono}) * NA(Kg N/ha)}{NDA(Kg N)} \quad Ec. (6.17)$$

Por último se determinó la cantidad de abono requerido para todos los tratamientos y para cada unidad experimental, utilizando la ecuación 6.18:

$$AR (Kg \text{ de abono}/Uexp.) = \frac{AR(Kg \text{ abono}) * AUexp. (m^2)}{ha(m^2)} \quad Ec. (6.18)$$

Dónde:

AR (Kg de abono/ha) = Abono requerido.

AUexp. = Área de la unidad Experimental.

Tabla 19. Cantidad de abono orgánico requerido.

Material orgánico	NT (%)	ND (%)	AR (Kg/ha)	AR (Kg/Trats.)	AR (Kg/Uexp.)
Compost	0.64	0.16	39500	355.5	118.5
Lombricompost	1.11	0.28	23407	210.6	70.2

6.5.3.4 Plan de fertilización

La cantidad de abono orgánico requerido se dosificó en tres etapas (tabla 20), de acuerdo a la exigencia del nitrógeno en el cultivo y a la distribución que propone Vallejo y Estrada (2004), para el nitrógeno con base a las etapas fonológicas del cultivo.

Tabla 20. Distribución del nitrógeno para la habichuela.

Nutriente	Etapas DDS			Total
	1 (0-34)	2 (35-48)	3 (49-58)	
Nitrógeno (%)	40	33	27	100

El plan de fertilización propuesto por vallejo y Estrada (2004), es realizado con fertilización química, en donde los nutrientes se encuentran disponibles para el cultivo de manera directa; en el caso de los abonos orgánicos según Burbano (1989), una mayor fracción de N orgánico se mineraliza durante las primeras

semanas y meses después de su aplicación, por lo tanto, fue necesario modificar el plan de fertilización, aplicando los abonos 15 días antes de cada etapa fenológica, para que el nitrógeno orgánico se mineralice y poder asegurar un correcto suministro de nutrientes al cultivo.

Los métodos de aplicación de los abonos utilizados fueron prácticas de fertilización culturales de la zona (figura 18); en la aplicación de los abonos orgánicos se utilizaron recipientes plásticos previamente calibrados según el tipo de abono y su respectiva etapa de aplicación. La primera aplicación se realizó 17 días antes de la siembra (DAS), a través del método de incorporación en banda o chorrillo, en donde se abrió una zanja con azadón de 15 centímetros de profundidad, se aplicó la cantidad de abono requerida por cada metro lineal, se distribuyó en el surco y se tapó. La segunda aplicación se realizó en el momento de la siembra por el método de sitio de siembra o ahoyado, donde se hizo un hoyo con barretón de 10 centímetros de profundidad, se aplicó el abono, se mezcló con el mismo suelo y se depositaron las semillas. La tercera aplicación se realizó 32 días después de la siembra (DDS), por el método de media corona, utilizado en zonas de ladera, para disminuir las pérdidas por escorrentía, en cuyo caso el abono se aplicó sobre la superficie en la parte superior de la pendiente, al lado del tallo de la planta y se cubrió con suelo de los alrededores (aporque).

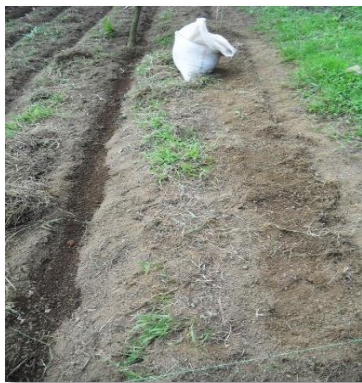
Tabla 21. Plan de fertilización orgánica para el cultivo de habichuela.

Aplicación /Días		Etapas	Método de aplicación	Cantidad de abono requerido	
				Compost	Lombricompost
1	17 DAS	Pre siembra (15 DAS)	Incorporación en banda (chorrillo)	1.58 Kg/m	940 gr/m
2	Siembra	Siembra-inicio floración (0-34 DDS) Floración- inicio llenado de vainas (35-48 DDS)	Sitio de siembra (ahoyado)	326 gr/ss	192 gr/ss
3	32 DDS	Llenado de vainas (49-58 DDS)	Media corona	267 gr/planta	158 gr/planta

Figura 18. Métodos de aplicación de los abonos orgánicos: a) recipientes calibrados para las aplicaciones, b) primera aplicación método de chorrillo, c) segunda aplicación método de ahoyado, d) tercera aplicación método media corona.



a)



b)



c)

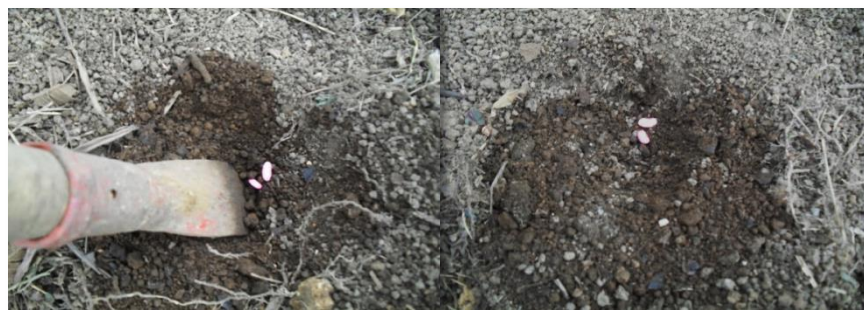


d)

6.5.4 Siembra

La siembra se distribuyó en surcos sencillos con una distancia de 1 m entre surcos y 25 cm entre plantas (figura 19). El método fue manual, en cada hoyo se depositaron 2 semillas de habichuela variedad UNAPAL-Milenio a una profundidad de 2 cm y se cubrieron con un poco de suelo.

Figura 19. Método de siembra manual.



6.5.5 Tutorado

El tutorado se realizó 20 DDS, el tipo de tutores que se utilizó fue estacas de caña menuda de 2.2 m de largo (figura 20). Se clavarón las estacas cada 7 sitios, luego se templó horizontalmente el hilo de polipropileno agarrando cada estaca en la parte superior de las cañas, por último con otro hilo se sujetó verticalmente a cada planta desde la parte baja del tallo al hilo superior.

Figura 20. Sistema de tutorado.



6.5.6 Manejo de arvenses

Se efectuaron dos desyerbas manuales, la primera se realizó con machete 15 DAS para la primera aplicación de abono y la segunda se hizo 31 DDS en donde se limpió con la mano entre las plantas y luego se limpió con azadón entre los surcos.

6.5.7 Control de plagas y enfermedades

El control de plagas se ejecutó mediante un manejo integrado, en donde se aplicó el controlador biológico AGROCID compuesto por extractos botánicos alelopáticos; para repeler, reducir y controlar la incidencia de insectos plaga que atacan el follaje. Su aplicación se realizó con aspersión fina a través de una bomba manual cubriendo todo el área foliar de la planta y el suelo (figura 21). Las aplicaciones preventivas se empezaron en el momento de la germinación con una dosificación de 3 cc/L agua y frecuencia de cada 15 días; en el momento que el cultivo alcanzo los 30 DDS se cambió a aplicación de control con una dosificación de 6 cc/L agua y frecuencias de cada 8 días, debido al aumento de plagas.

Figura 21. Fumigación manual para el Control de plagas y enfermedades.



6.5.8 Cosecha

La cosecha inicio a los 68 DDS, cuando se observó las primeras vainas con un estado ideal de desarrollo. Se realizaron 3 recolecciones manuales con intervalos de 8 días (ver anexo 9). Se cosecharon todas las vainas de cada unidad experimental y se pesaron en una balanza (figura 22).

Figura 22. Cosecha del cultivo: a) recolección de vainas, b) pesaje



a)



b)

6.5.9 Medición de variables agronómicas del cultivo

Se escogieron al azar 5 plantas de cada unidad experimental, se marcaron y se le midieron las siguientes variables agronómicas durante su etapa de desarrollo, utilizando la metodología de Tofiño y López (2004):

6.5.9.1 Longitud del tallo principal (cm)

Se realizó al finalizar la floración del cultivo (68 DDS). Se midió con la ayuda de un flexómetro (figura 23).

Figura 23. Medición tallo principal.



6.5.9.2 Numero de flores por planta

Se llevó a cabo a los 53 DDS y el conteo se hizo de forma manual.

Figura 24. Etapa de floración del cultivo.



6.5.9.3 Numero de vainas por planta

Se realizó durante las tres recolecciones de la cosecha, se recogieron todas las vainas de las plantas escogidas y se contaban (figura 25).

Figura 25. Número de vainas por planta: a) recolección, b) conteo.



6.5.9.4 Variables características de las vainas

Se desarrolló a los 68 DDS, en donde se recolecto una vaina del 4° nudo de cada planta, de las 5 escogidas y se midieron (figura 26).

Peso de vainas: Se pesaron por medio de una balanza digital.

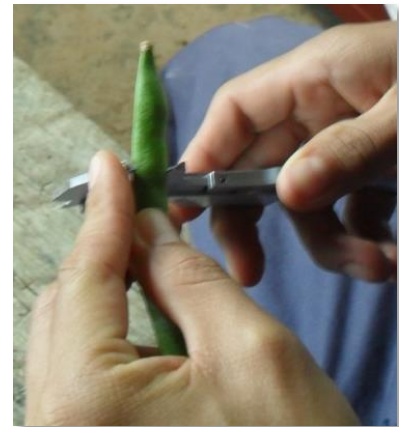
Longitud y diámetro de las vainas: se midió con el instrumento pie de rey o calibrador.

Figura 26. Medición de variables características de las vainas: a) recolección de vainas por cada unidad experimental, b) pesaje, c) longitud, d) diámetro.





c)



d)

6.6 Definición de variables

La mayoría de los estudios, ya sean observacionales o experimentales, se llevan a cabo para detectar relaciones entre dos o más variables. Variable es una característica de interés medida en cada unidad de la muestra. Una variable respuesta (Y) mide el resultado de un estudio. Es decir creemos que la variable respuesta depende de alguna manera de otra variable explicativa. Una variable explicativa (X) es una variable que creemos que explica o causa los resultados observados. Es la variable que explica los cambios en la variable respuesta (diseño de investigaciones s.f.). Se definieron las siguientes variables para el análisis estadístico:

Variables de respuesta:

- pH
- desarrollo agronómico del cultivo:
 - longitud del tallo
 - numero de flores por planta
 - numero de vainas por planta
 - peso de vaina
 - longitud de vaina
 - diámetro de vaina
- producción del cultivo

Variables explicatorias:

- Densidad
- Porosidad
- Estabilidad de agregados
- Conductividad eléctrica
- Capacidad de intercambio catiónico
- Carbono orgánico
- Actividad microbiana

6.7 Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico se realizó mediante el programa Minitab 15 de libre acceso. Se empezó con un análisis descriptivo y posteriormente se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), para verificar si hubo diferencias significativas en las variables de respuesta entre los tratamientos. Luego se realizó la validación de los supuestos del modelo usando las pruebas de normalidad de Anderson – Darling (AD) y Shapiro – Wilk (SW) y la prueba homogeneidad de Levene, teniendo en cuenta sus valores P, los cuales deben ser mayores a 0,05 para que se cumplan los supuestos. También se realizó la prueba de comparación múltiple entre medias (post Anova) de Tukey con un nivel de confianza del 95% para la diferenciación entre medias.

El diseño de bloques completos aleatorizados es el más sencillo de este tipo de diseños utilizados para controlar y reducir el error experimental, en él las unidades experimentales quedan estratificadas en bloques de unidades homogéneas, cada tratamiento se asigna al azar a un número igual (por lo general uno) de unidades experimentales en cada bloque y es posible hacer comparaciones más precisas entre los tratamientos dentro del conjunto homogéneo de unidades experimentales en un bloque (Kuehl 2001).

El modelo lineal para un experimento en un diseño de bloques completos aleatorizado requiere un término que represente la variación identificable en las observaciones como consecuencia de los bloques. La respuesta de la unidad con el i-ésimo tratamiento en la j-ésimo bloque se escribe como (Kuehl 2001):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, r =$$

Dónde:

Y_{ij} : La variable respuesta, obtenida en el i-ésimo tratamiento del j-ésimo bloque

μ : Es la media general sin tener en cuenta ningún tratamiento

τ_i : Es el efecto debido al i-ésimo tratamiento.

α_j : Es el efecto debido al j-ésimo bloque

ϵ_{ij} : Es el error aleatorio, debido a factores no controlados o no controlables

Se supone que los efectos del tratamiento y del bloque son aditivos, Aditividad significa que no existe interacción entre tratamientos y bloque; también se supone que los errores experimentales son independientes, con media cero y varianza común. La suposición de independencia se justifica a través de la asignación aleatoria de los tratamientos a las unidades experimentales.

6.7.1 Prueba de hipótesis

Según Gordillo (2006), una prueba de hipótesis supone verdadera una afirmación inicial y luego prueba esta afirmación mediante datos de muestra. Las pruebas de hipótesis incluyen dos hipótesis: la hipótesis nula (señalada como H_0) y la hipótesis alternativa (señalada como H_1).

H_0 : No hay diferencias entre efectos de los tratamientos. La cual también se puede expresar así:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_t = \mu$ (La media de los tratamientos son iguales)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_i$ (por lo menos dos de las medias son diferentes)

El proceso de toma de decisiones para una prueba de hipótesis se puede basar en el valor de probabilidad (valor P) para la prueba específica. Si el valor p es menor o igual que un nivel predeterminado de significancia (nivel $\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula y da crédito a la alternativa. Si el valor P es mayor que el nivel α , no rechaza la hipótesis nula y no puede dar crédito a la alternativa.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Caracterización inicial del suelo

En las tablas 22 y 23 se ilustran los resultados de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo antes de la aplicación de los tratamientos para la profundidad de 0 – 20 cm.

Tabla 22. Caracterización inicial de las propiedades físicas.

Textura	Da (g/cm ³)	Porosidad			Estabilidad agregados	
		EPT (%)	Micro (%)	Macro (%)	DPM (mm)	DGM (mm)
FA	0.65	70.95	50.21	20.70	3.85	3.02

Tabla 23. Caracterización inicial de las propiedades químicas y biológicas.

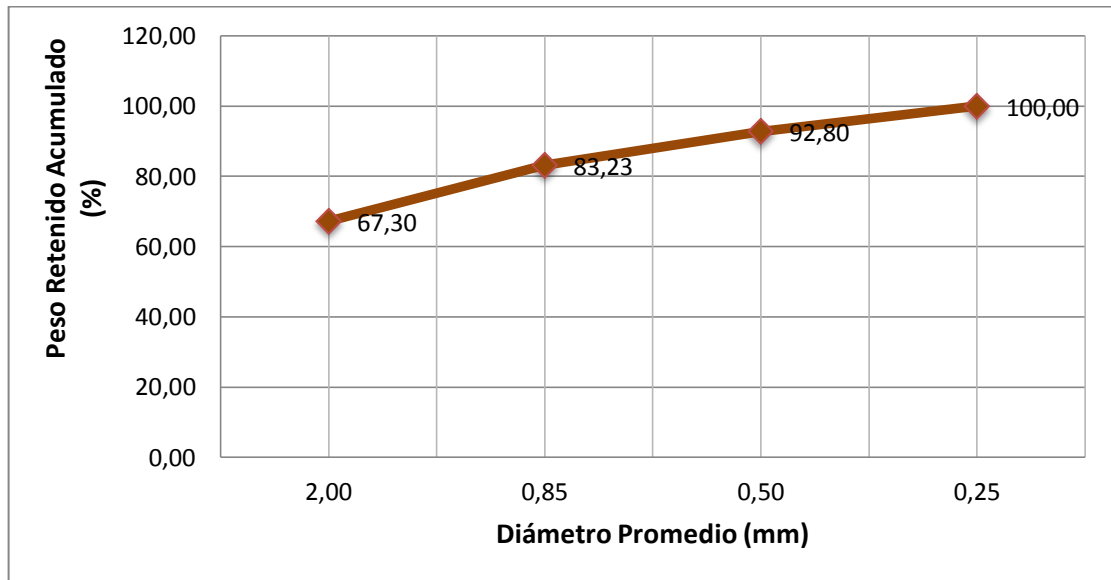
pH (1:1)	Al (meq/100 gs)	CE (dS/m)	CIC (meq/100 g)	CO (%)	MO (%)	NT (%)	AM (kg CO ₂ - C/ha/día)
5.79	0.19	0.13	38.15	2.83	4.89	0.24	34.80

Los análisis físicos de laboratorio indicaron que este suelo presenta una textura franco arenosa (FA), es decir que los separados (Arenas, limos y arcillas) se encuentran en una proporción balanceada, calificación moderadamente liviano, de textura gruesa. Según Montenegro (1990), estos suelos con propiedades andicas, una de las características se relaciona con la dificultad para dispersarse y en consecuencia, la imposibilidad de cuantificar sus fracciones texturales y otra con el “significado” o interpretación de ellas, por lo cual el resultado del análisis puede ser no válido.

Se presentó un valor bajo de densidad aparente (0.65 g/cm³) como es el caso para este tipo de suelos afectado por materiales volcánicos (Unigarro, Insuasty y Chaves, 2009). La porosidad total obtuvo una calificación de excesiva, pero con una buena relación a la distribución de poros, con macroporos > 10% y predominio de microporos, permitiendo una buena aireación, proliferación de raíces y buena capacidad de almacenamiento de agua (Jaramillo, 2001).

En la figura 27 se observa que el porcentaje de agregados de diámetros mayores a 0.5 mm es mayor al 90%, según el IGAC (1990) citado en Montenegro (1990), este suelo presenta un valor de agregación muy alto.

Figura 27. Distribución acumulativa de los tamaños de los agregados del suelo.



De acuerdo con el diámetro ponderado medio (DPM), el suelo tiene una estabilidad estructural estable. Es decir que los agregados del suelo tienen buena resistencia a la energía desintegradora del agua y a la manipulación mecánica (Valenzuela y Torrente, 2010). El contenido de agregados mayores a 1 mm es del 83.23 %. Desde el punto de vista práctico, cuando los elementos estructurales tienen un tamaño entre 1 y 3 mm se presentan las mejores condiciones de aireación, infiltración, retención de humedad y penetración radical (Montenegro, 2003).

El análisis químico de los suelos, presentó un pH con calificación moderadamente ácido (5.79), no muestra acidez intercambiable, ya que este tipo de acidez se presenta en suelos que tienen $\text{pH} < 5.5$, porque a partir de este valor empieza a aumentar la solubilidad del aluminio, en forma exponencial (Zapata, 2004). Según su conductividad eléctrica (CE) es un suelo normal sin problemas de salinidad, con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta, mostrando buena fertilidad y buena retención de cationes evitando la pérdida por lixiviación (Lora, 2003). El contenido de materia orgánica para clima templado muestra un nivel medio, al igual que el nitrógeno total del suelo, puesto que existe una estrecha relación entre el clima, la materia orgánica y el nitrógeno total (León, 1990); la actividad microbiana es moderada, indicando que el suelo se encuentra en condiciones recuperación o pérdida de materia orgánica.

Según las propiedades descritas anteriormente y su localización se puede deducir que este suelo tiene características de Andisol, originado a partir de cenizas volcánicas; a nivel general el suelo presenta buenas condiciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento del cultivo de habichuela.

7.2 Caracterización de los abonos orgánicos

En la Tabla 24 se muestran los resultados de algunos análisis químicos realizados a los abonos orgánicos.

Tabla 24. Composición química de los materiales orgánicos.

Propiedades químicas	Material orgánico	
	Compost	Lombricompost
pH (1:1)	7.83	8.38
CIC (meq/100 g)	50.97	63.93
CO (%)	7.45	12.93
MO (%)	12.84	22.30
NT (%)	0.64	1.11

Se puede observar que en el pH, los dos materiales orgánicos se encontraron dentro de los rangos ideales, el compost mostro una calificación ligeramente alcalino, mientras que para el lombricompost fue modernamente alcalino; la CIC fue baja para ambos abonos (< 167 meq/100 g), aunque el lombricompost presentó una CIC un poco más alta que el compost, esto se debe a que su mayor porcentaje de MO.

El porcentaje de materia orgánica y de nitrógeno total fue bajo para ambos materiales, ya que no se encuentran dentro de los rangos de condiciones ideales, sin embargo el lombricompost presentó mejores condiciones que el compost, esto probablemente se produjo por un mal manejo de algunos factores en la elaboración y seguimiento de los abonos, en el caso del compost se pudo dar por la falta de aireación en la pila, que retrasó la fermentación aerobia, originando procesos de fermentación anaerobia, con sensibles pérdidas de nitrógeno (López, 2003); en el lombricompost se produjo porque las lombrices fueron solamente alimentadas con estiércol vacuno y los residuos de origen animal presentan por lo general una baja relación de carbono-nitrógeno (C/N) y pueden resultar pérdidas de amoniaco (NH₃) por volatilización (Burbano, 1998).

7.3 Análisis estadístico descriptivo de las variables explicatorias y de respuesta

7.3.1 Análisis de las propiedades físicas del suelo

- **Densidad aparente (Da)**

Figura 28. Efecto de la fertilización orgánica en la Da del suelo.

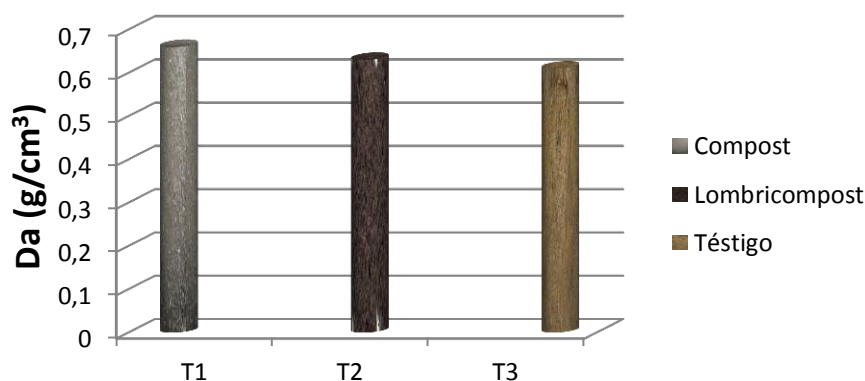


Tabla 25. Estadísticas descriptivas Da.

Densidad aparente (g/cm ³)			
Tratamiento	Media	σ^*	CV (%)
T1	0,655	0,0395	6,0
T2	0,625	0,043	6,9
T3	0,607	0,0657	10,8

*Desviación estándar

Los valores obtenidos para los tres tratamientos en la Da (tabla 25) muestra que este suelo se encuentra dentro del rango (0.6 - 0.9 g/cm³) que lo clasifica de origen y formación volcánica (Pinzón, 2003), esto se debe a que estos suelos tienen propiedades andicas, en donde sus densidades aparentes son bajas y por ser afectados por materiales volcánicos no permiten cambios significativos en su densidad aparente.

Según Figueroa y Cueto, 2003, cuando se aplican abonos orgánicos reduce la Da y minimiza la compactación del suelo. En un estudio realizado sobre el efecto final de la aplicación de estiércol, sobre la densidad aparente no fue muy claro, ya que se encontró un efecto negativo muy bajo. Este resultado aunque no puede ser concluyente, indica una leve tendencia a la disminución de la densidad aparente con el incremento de la dosis de estiércol como consecuencia del menor peso de

los materiales orgánicos incorporados al suelo. En este caso, la posible explicación para que la densidad aparente haya sido afectada tan poco por la incorporación de materia orgánica se atribuye al escaso tiempo de contacto entre el material y el suelo (6 meses), ya que la literatura indica que, para su efecto sea significativo, deben transcurrir periodos mucho más amplios (Burbano, 1989).

- **Porosidad**

Figura 29. Efecto de la fertilización orgánica en la porosidad del suelo.

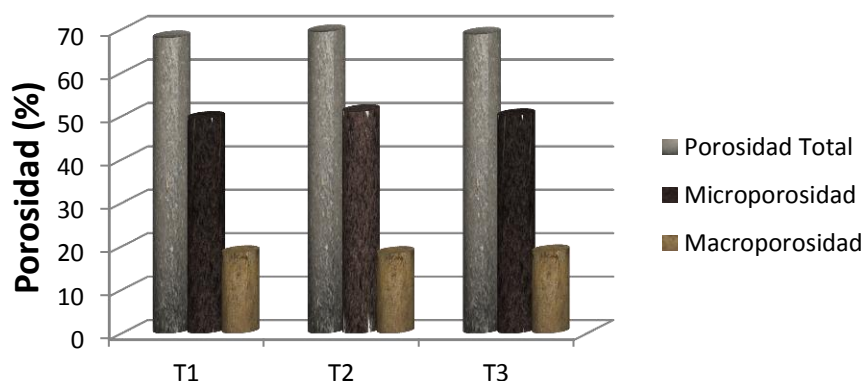


Tabla 26. Estadísticas descriptivas porosidad total y distribución de poros.

Distribución de Poros (%)				
	Tratamiento	Media	σ	CV (%)
Porosidad total	T1	68,079	1,419	2,08
	T2	69,47	3,29	4,74
	T3	68,91	3,47	5,03
Macroporos	T1	18,573	1,615	8,69
	T2	18,392	2,090	11,36
	T3	18,788	1,932	10,28
Microporos	T1	49,506	1,187	2,40
	T2	51,08	4,09	8,01
	T3	50,117	2,598	5,18

Los tres tratamientos obtuvieron una excelente calificación para la porosidad total, en cuanto a la distribución de poros se considera como ideal cuando los macro y microporos se encuentran en igual proporción (Jaramillo, 2001), aunque no se cumple con esta relación se considera que tiene buena distribución de poros, ya que presentan macroporos > 10% y predominio de microporos (Tabla 26), que favorece en ciertas condiciones, la buena capacidad de aireación y formación del sistema radical de las plantas que facilita la absorción de nutrientes y agua, buena retención de humedad y conductividad capilar. También por sus bajas densidades

aparentes para cada tratamiento sus porosidades totales fueron excelentes, debido a que existe una relación entre estas dos propiedades, ya que a menor densidad mayor será la porosidad total del suelo (Montenegro, 2003).

- **Estabilidad estructural**

Figura 30. Efecto de la fertilización orgánica en estabilidad estructural del suelo.

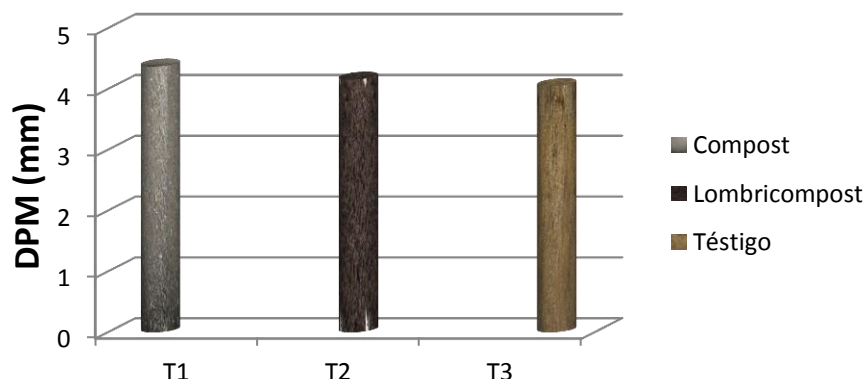


Tabla 27. Estadísticas descriptivas diámetro ponderado medio (DPM).

Diámetro Ponderado Medio (mm)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	4,373	0,370	8,46
T2	4,1558	0,2446	5,89
T3	4,0479	0,1992	4,92

Los valores obtenidos del DPM la estabilidad estructural del suelo se interpreta como estable para los tres tratamientos (tabla 27). Esto se debe a que los suelos de derivados de cenizas volcánicas presentan mayor desarrollo y buena estabilidad estructural (Montenegro, 1990).

También las buenas condiciones de porosidad del suelo hace que tenga buena estabilidad estructural, según (Montenegro, 2003), los agregados del suelo tienen un tamaños apropiados cuando existe un buen equilibrio entre macro y microporos, está comprendido entre 1 y 3 mm de diámetro; en estas condiciones existirá un adecuado suministro de aire y de agua, propicio para el desarrollo vegetativo.

7.3.2 Análisis de las propiedades químicas y biológicas del suelo

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Figura 31. Efecto de la fertilización orgánica en CE del suelo.

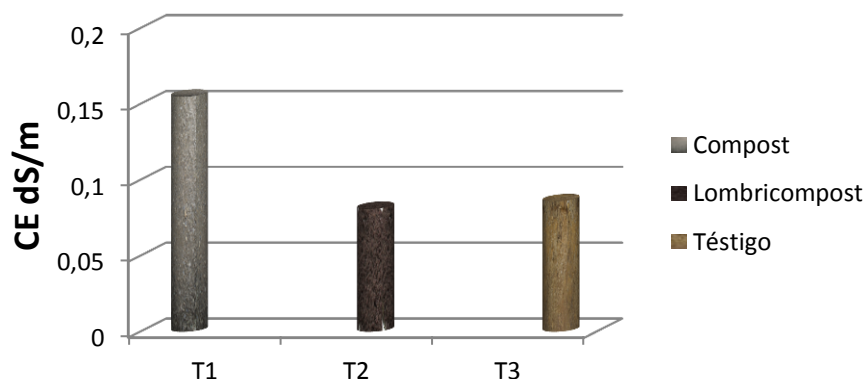


Tabla 28. Estadísticas descriptivas CE.

Conductividad Eléctrica (dS/cm)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	0,155	67,1	43,2
T2	0,081	15,14	18,6
T3	0,086	28,14	32,6

La aplicación del compost al suelo incremento levemente la CE, mientras que la aplicación de lombricompost no mostro ninguna variación respecto al testigo (tabla 28). El incremento leve que presentó el tratamiento con compost en la CE pudo ser porque alcanzó niveles de salinidad considerables, debido a la presencia de sales en los materiales originales y a su concentración relativa durante la mineralización parcial de los mismos, ya que se utilizó en la preparación pollinaza, residuo orgánico que presenta niveles altos de pH y salinidad considerable.

Desde el punto de vista práctico, la CE no presenta diferencias entre los tres tratamientos, ya que según su interpretación de los resultados, todos se encuentran dentro del rango (0-2 dS/m) que se clasifica como un suelo no salino (CORPOICA, 2005).

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Figura 32. Efecto de la fertilización orgánica en CIC del suelo.

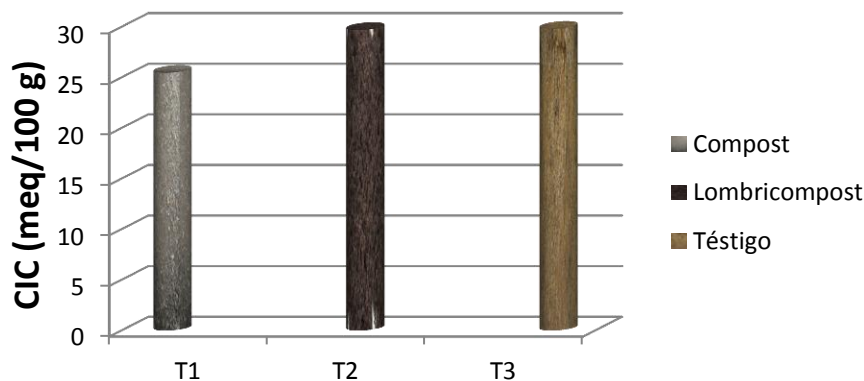


Tabla 29. Estadísticas descriptivas CIC.

Capacidad Intercambio Catiónico (meq/100 g)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	25,47	7,50	29,45
T2	29,70	5,28	17,76
T3	29,81	8,90	29,89

La aplicación de compost en el suelo disminuyó la CIC relacionado con testigo, mientras que la aplicación de lombricompost la conserva (tabla 29). Según la interpretación para los valores obtenidos para los tres tratamientos muestran un estimativo conceptual con CIC en el suelo alta (> 20 meq/100), característico para este tipo de suelos que abunda los materiales volcánicos. La aplicación de materiales orgánicos aumenta el porcentaje de materia orgánica en el suelo y elevan la CIC (Burbano, 1989), en este caso los abonos orgánicos no lograron incrementar significativamente la CIC debido al bajo porcentaje de MO y CIC que presentaron en la elaboración.

En las tablas 28 y 29 se puede observar que existe una relación inversa entre la CE y la CIC, ya que a medida que aumenta la CE disminuye la CIC, como es el caso para el tratamiento con compost, que mostró mayor CE, pero obtuvo menor CIC.

- **Materia orgánica (MO)**

Figura 33. Efecto de la fertilización orgánica en la MO del suelo.

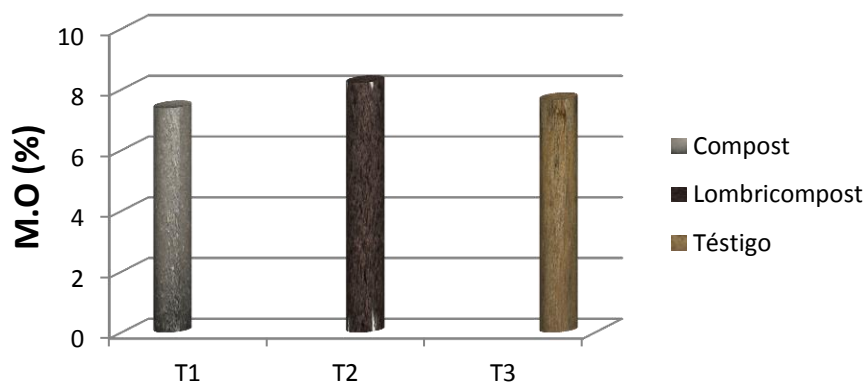


Tabla 30. Estadísticas descriptivas MO.

Materia Orgánica (%)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	7,391	1,244	16,83
T2	8,220	1,139	13,86
T3	7,657	1,074	14,03

El tratamiento con lombricompost incremento un poco la MO, mientras que el compost conservo la MO del suelo en relación con el testigo (tabla 30), este incremento se dio por las características del lombricompost que presento mayor MO en la elaboración. Según la interpretación del contenido MO en el suelo los tres tratamientos mostraron nivel alto ($> 5\%$), valores característicos de un suelo andisol que registran los más alto contenidos de MO dentro de los suelos minerales.

Los altos contenidos de MO para los tres tratamientos son los que influyeron en las buenas condiciones físicas, ya que existe una relación entre la MO y las propiedades físicas del suelo; según Burbano (1989), en un estudio en suelos derivados de cenizas volcánicas, indicaron que la MO influye notablemente sobre la mayoría de propiedades físicas; en suelos en su mayoría volcánicos del sur-occidente colombiano se encontró que al incrementar la MO se incrementa la porosidad, como consecuencia de la disminución de la densidad aparente; con relación a la estructura del suelo, la materia orgánica favorece la formación de la agregados individuales, reduce la agregación total del suelo, disminuye la plasticidad del mismo.

Las buenas condiciones químicas que presentaron los tres tratamientos también están relacionadas con el alto contenido de MO, ya que la MO humificada presenta buenos efectos sobre las características químicas del suelo que se manifiestan de forma directa o indirecta al aumentar la CIC y regular la salinidad en el suelo (Burbano 1998).

- **Actividad microbiana (AM)**

Figura 34. Efecto de la fertilización orgánica en la AM del suelo.

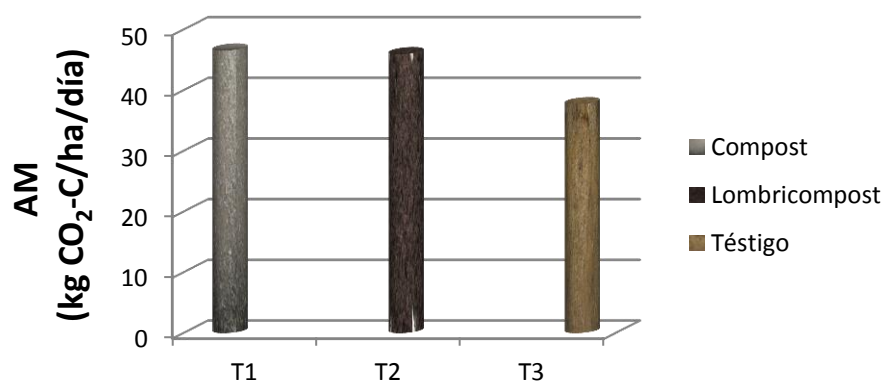


Tabla 31. Estadísticas descriptivas AM.

Actividad Microbiana (kg CO ₂ -C/ha/día)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	46,58	20,42	43,83
T2	45,98	11,12	24,18
T3	37,73	10,88	30,44

Los tratamientos con compost y lombricompost muestran un leve aumento en la AM del suelo con en relación al testigo (tabla 31); el aumento de la AM en los tratamientos con los abonos orgánicos, se debe al contenido de MO y sus importantes beneficios en el suelo, como es el incremento en la actividad biológica, aportando nutrientes, energía y hábitat para los microorganismos del suelo. Según los resultados obtenidos, los tres tratamientos presentan una AM ideal, con condición del suelo con materia orgánica suficiente y población microbiana activa.

La buenas condiciones físicas y químicas que presentaron los tres tratamientos se deben a que los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y también ejercen efectos directos en el crecimiento de las plantas, en la mayoría de casos el incremento de la actividad biológica repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo, las condiciones de fertilidad aumentan, se logra tener medio

biológicamente activo donde existe una correlación positiva entre el número de microorganismos y el contenido de materia orgánica. En relación con la disponibilidad de nutrientes, la actividad biológica del suelo juega un papel muy importante en la oxidación y reducción de elementos esenciales, convirtiéndolos de formas no aprovechables a formas aprovechables para las plantas (Trinidad, s.f.).

- pH

Figura 35. Efecto de la fertilización orgánica en el pH del suelo.

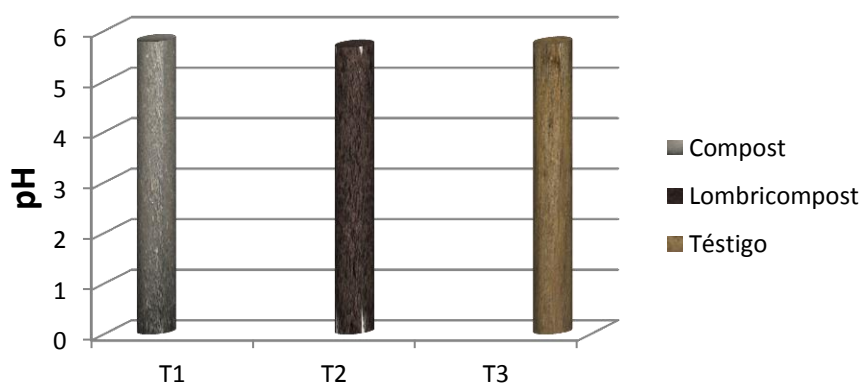


Tabla 32. Estadísticas descriptivas pH.

Tratamiento	pH		
	Media	σ	CV (%)
T1	5,791	0,468	8,1
T2	5,680	0,348	6,1
T3	5,742	0,458	8,0

En la figura 35 se observan las estadísticas descriptivas para el pH en el suelo, en donde no hay diferencias entre los valores; en el anexo 10 se muestra el análisis de varianza (Anova) realizado a esta variable de respuesta en donde se verificó que tampoco se presentaban diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$), es decir que la aplicación de los abonos orgánicos no generaron cambios en el pH del suelo.

Los tres tratamientos obtuvieron una calificación para el pH de moderadamente ácido; en términos generales puede considerarse este suelo dentro de la categoría de suelos ácidos ($\text{pH} < 6.5$), valores característicos de un suelo andisol, ya que la mayoría de ellos en el país son ácidos; también se puede clasificar dentro el grupo de suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5, este grupo de suelos no hay ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad de

toxicidad con Al^{3+} , H_3O^+ o Mn^{2+} . Hay una mejora en la actividad biológica bacteriana con respecto a la de los suelos con los valores de pH anteriores; el suministro de bases, de molibdeno y de fósforo se mejora llegando a ser óptimo para muchas plantas en el límite superior del rango de pH que define este grupo. En términos generales, puede decirse que los suelos minerales ácidos, poseen buenas propiedades físicas (Jaramillo, 2002).

El comportamiento del suelo de no presentar variación de su pH al aplicarle abonos orgánicos, se pudo presentar por las siguientes razones: los suelos andicos, derivados de cenizas volcánicas tienen alta capacidad tampón, es decir resistencia al cambio de pH (Lora, 2010); La aplicación de materiales orgánicos aumenta el poder de amortiguación o poder “buffer”, o sea, la resistencia que opone el suelo a las variaciones bruscas del pH (Burbano, 1998); con el uso de abonos orgánicos se ha observado que el pH tiende a aumentar, según estudios al aplicar cantidades de abonos orgánicos entre 4-10 ton/ha en tiempos de 1-4 años, se ha logrado aumentar el pH de muy fuertemente ácido a ligeramente ácido (Trinidad, s.f.), debido a la baja cantidad de abono orgánico que se aplicó (< 4 ton/ha) y el corto tiempo del cultivo (tres meses) no presentaron cambio significativos en el pH.

7.3.2 Análisis de las variables agronómicas y producción del cultivo

- Longitud del tallo principal

Figura 36. Efecto de la fertilización orgánica en la longitud del tallo.

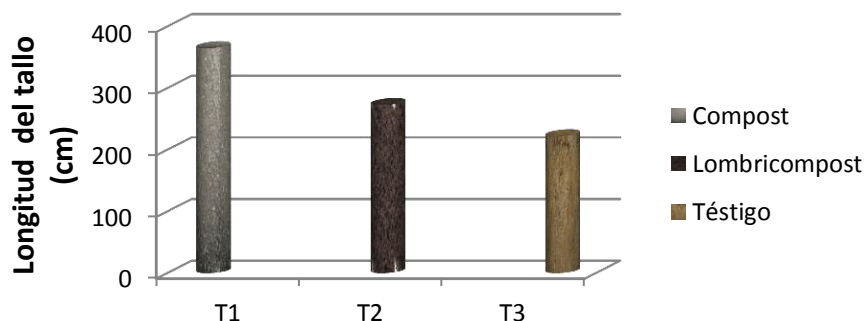


Tabla 33. Estadísticas descriptivas longitud del tallo.

Longitud del tallo (cm)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	364,9	71,5	19,61
T2	272,8	43,2	15,54
T3	222,0	71,7	32,31

La longitud del tallo muestra en las estadísticas descriptivas (figura 36) y el Anova (anexo 11) que estadísticamente existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), en donde el tratamiento con compost presentó la mayor longitud, luego sigue el tratamiento con lombricompost y por último el testigo con la longitud más baja; es decir que la aplicación de abonos orgánicos si influyó en la longitud del tallo (crecimiento); según Arias y Jaramillo (2007), los tres tratamientos alcanzaron alturas adecuadas (> 2 m).

Los resultados obtenidos para la longitud del tallo, se deben al aporte de nitrógeno mineral que hicieron los abonos orgánicos, ya que este elemento es esencial para el crecimiento de las plantas; aunque el compost mostró menor porcentaje de MO y nitrógeno total en comparación con el lombricompost (tabla 24), obtuvo la longitud más alta, este resultado se pudo dar, ya que hubo un manejo adecuado de la relación C/N con los residuos orgánicos para su elaboración; esto asegura una mejor mineralización de la materia orgánica y eficiente aprovechamiento del nitrógeno (IREHISA, 2010), mientras que el lombricompost solo se trabajó con estiércol de vaca; que tiene relación de C/N alta y en consecuencia se pudo inmovilizar temporalmente el nitrógeno.

- **Numero de flores por planta**

Figura 37. Efecto de la fertilización orgánica en el número de flores.

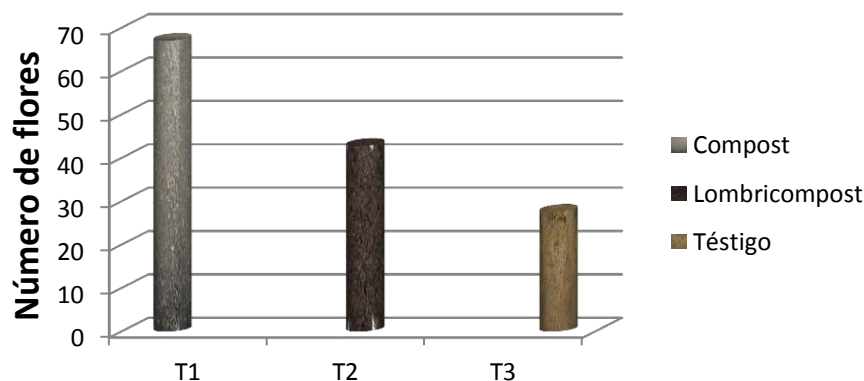


Tabla 34. Estadísticas descriptivas número de flores.

Numero de flores			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	67.07	27.67	41.26
T2	42.80	16.31	18.00
T3	27.60	18.28	8.00

Los resultados del Anova (anexo 11) para la variable número de flores por planta, muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), en donde el mayor número de flores lo obtuvo el tratamiento con compost, seguido del lombricompost y por último el testigo con el valor más bajo (figura 37 y tabla 34); demostrando que la aplicación de materiales orgánicos genera diferencias en el número de flores por planta.

El fósforo (P) es de vital importancia en la formación de los órganos de reproducción de la planta; la deficiencia de este elemento en la plantas reduce el crecimiento de las raíces, al igual que la floración, se retarda la apertura de las yemas, hojas y botones florales (León, 1990). Según los resultados obtenidos se manifiestan deficiencias de este elemento en el tratamiento con lombricompost y el testigo, debido a que los suelos de esta zona presentan propiedades andicas con bajos contenidos de fósforo, además el lombricompost presentar menor concentración de fosforo que el compost; pues estudios realizados por Trinidad (s.f.) sobre la composición de química de algunos abonos orgánicos muestra que el compost presenta mayor porcentaje de fósforo que el lombricompost.

- **Numero de vainas por planta**

Figura 38. Efecto de la fertilización orgánica en el número de vainas por planta.

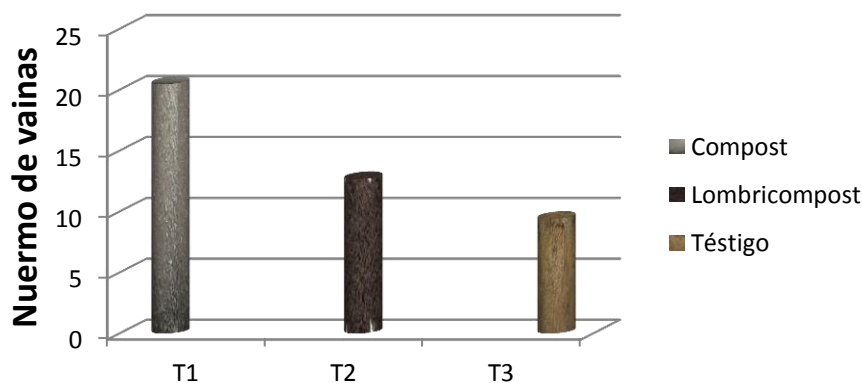


Tabla 35. Estadísticas descriptivas número de vainas.

Numero de vainas			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	20.47	7.09	34.64
T2	12.67	6.53	51.67
T3	9.40	6.37	67.74

El número de vainas por planta según el Anova muestra diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), en donde el tratamiento con compost presenta la mayor cantidad de vainas, luego el lombricompost y en menor número le corresponde al testigo (figura 38 y tabla 35). Estos resultados tienen relación con los datos obtenidos de la variable anterior (número de flores), ya que se podía presentar el mismo comportamiento, debido a que la vaina es el fruto de la flor; no se obtuvieron las mismas cantidades puesto que las flores son afectadas por diferentes factores (condiciones climáticas, polinizadores, plagas, enfermedades y deficiencias de nutrientes).

Los valores obtenidos muestran que el compost y lombricompost fueron los que más número de vainas obtuvieron, aunque a nivel general ambos valores son bajos, según Rojas, (2012) en un experimento en donde se aplicó lombricompost a un cultivo de habichuela se obtuvo un promedio de 29 vainas por planta.

- **Peso de la vaina**

Figura 39. Efecto de la fertilización orgánica en el peso de la vaina.

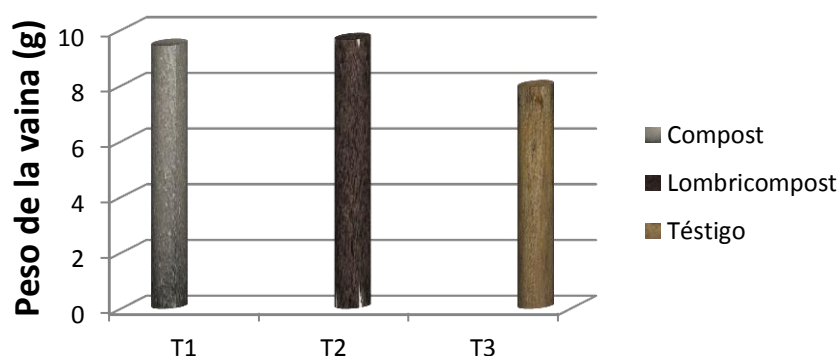


Tabla 36. Estadísticas descriptivas peso de la vaina.

Peso de la vaina (g)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	9.440	2.294	24.30
T2	9.647	2.650	27.47
T3	7.953	2.611	32.83

En la característica del peso de vaina, no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$), es decir que la aplicación de abonos orgánicos no presentó variaciones importantes en el peso de la vaina del cultivo; sin embargo se puede observar un leve aumento de los tratamientos con compost y lombricompost comparados con el testigo (figura 39 y tabla 36); esta pequeña variación demuestra la influencia que tienen los abonos orgánicos en el aporte de

nutrientes. Según Gutiérrez et al. (2004), la habichuela variedad UNAPAL Milenio utilizada en el estudio, presenta un valor característico del peso de la vaina de 11.1 g, es decir los tres tratamiento estuvieron por debajo de este valor.

- **Longitud de la vaina**

Figura 40. Efecto de la fertilización orgánica en la longitud de la vaina.

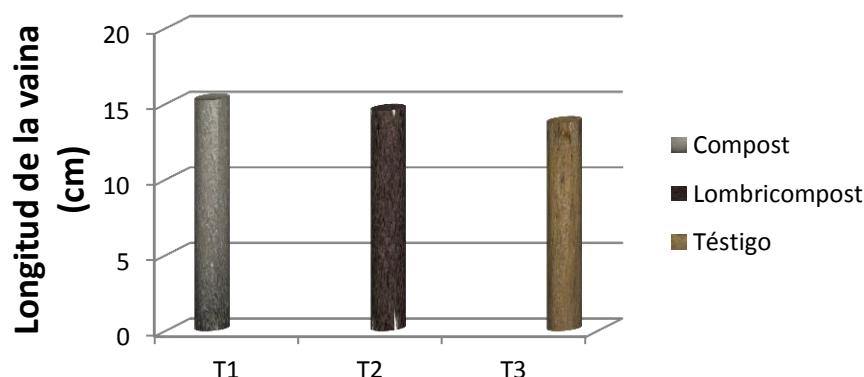


Tabla 37. Estadísticas descriptivas longitud de la vaina.

Longitud de la vaina (cm)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	15.261	1.218	7.98
T2	14.570	1.526	10.47
T3	13.753	1.971	14.33

En la longitud de la vainas se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), la más altas diferencias se muestran entre el tratamiento con compost y el testigo, mientras que entre el tratamiento con lombricompost no tiene diferencias significativas con el testigo y el compost (figura 40 y tabla 37), indicando que la aplicación del compost generó mayor longitud en la vaina. Según Gutiérrez et al. (2000) el valor característico para la longitud de las vainas de habichuela variedad UNAPAL-Milenio es de 14,5 cm. Sin embargo en la tabla 37 vemos que el tratamiento con compost tuvo una mayor longitud que el valor característico, seguido del tratamiento con lombricompost que lo igualo; el único tratamiento que no alcanzó este valor fue el tratamiento testigo.

- **Diámetro de la vaina**

Figura 41. Efecto de la fertilización orgánica en el diámetro de la vaina.

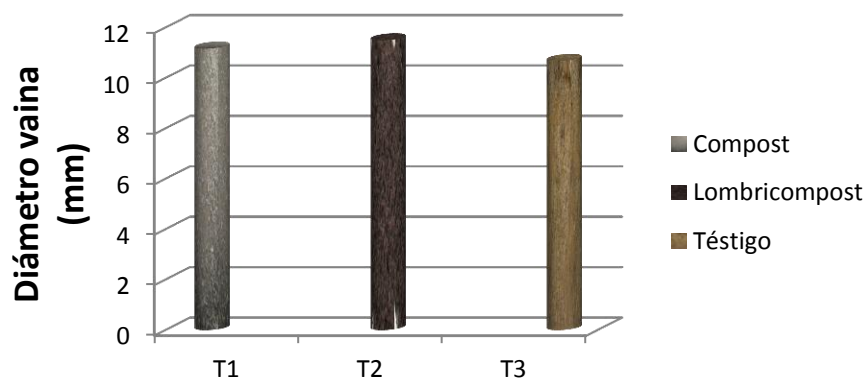


Tabla 38. Estadísticas descriptivas diámetro de la vaina.

Diámetro de la vaina (mm)			
Tratamiento	Media	σ	CV (%)
T1	11.17	0.865	7.74
T2	11.50	1.124	9.77
T3	10.68	1.339	12.54

El diámetro de la vaina, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$); la aplicación de abonos orgánicos no produce incrementos importantes en el diámetro de las vainas. Los valores obtenidos en la tabla 38, nos muestran que los tres tratamientos muestran diámetros mayores al valor descriptor citado por Gutiérrez et al. (2000) de 0.98 mm.

- **Producción del cultivo**

Figura 42. Efecto de la fertilización orgánica en la producción del cultivo.

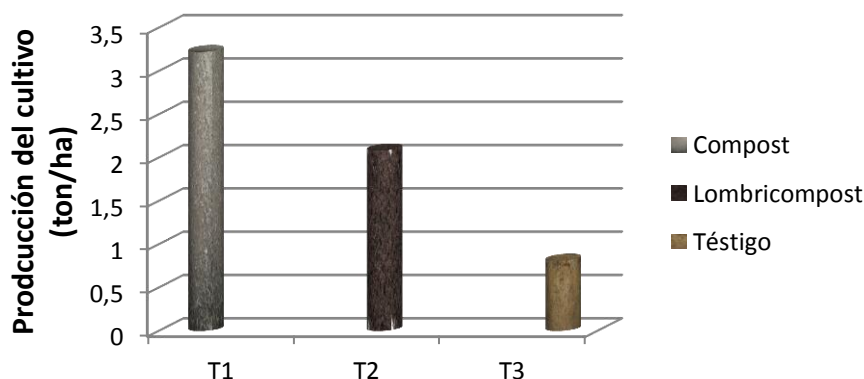


Tabla 39. Estadísticas descriptivas producción del cultivo.

Producción del cultivo (ton/ha)			
Tratamiento	Media	DE	CV (%)
T1	3.221	0.577	17.91
T2	2.082	0.356	17.11
T3	0.811	0.307	37.92

La figura 42 muestran que en la producción del cultivo existen diferencia significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), el mayor rendimiento lo obtuvo el tratamiento con compost, seguido del lombricompost y el valor más bajo lo presenta el testigo; es decir que la aplicación de abonos orgánicos en el suelo si influyen en la producción del cultivo de habichuela.

Dentro de los resultados encontrados en este trabajo, se tienen que el sistema de fertilización con compost, es el tratamiento que presentó mejor producción en el cultivo, esto se relaciona con los buenos resultados que se obtuvieron para este tratamiento en las variables agronómicas del cultivo evaluadas anteriormente como lo son: la longitud del tallo, número de flores, numero de vainas y longitud de la vaina.

Según Gutiérrez et al. (2004), el valor característico para la producción de habichuela variedad UNAPAL-Milenio con fertilización química es de 10-12 ton/ha; en cuanto a la fertilización con abonos orgánicos para este cultivo Rojas, (2012), cita valores de producción con lombricompost de 5.7 ton/ha; por lo anterior, se infiere que la producción del cultivo en los tratamientos con abonos orgánicos realizados en la investigación fueron muy bajos, estos resultados pueden estar influenciado por el mal manejo de plagas y enfermedades en el cultivo, ya que el controlador biológico (AGROCID) aplicado no ejerció un buen control, por ende hubo incidencia de chupadores, mosca blanca, roya, mancha angular y antracnosis; causando daño a las plantas y a los vainas, afectando la producción. Otra fuente de la baja producción se pudo dar por la baja cantidad de abono aplicado y la deficiencia de nutrientes; los resultados de las variables agronómicas muestran que la longitud del tallo indicó buena altura, mientras que el número de vainas y el peso, no alcanzo lo valores característicos del cultivo, estos resultado nos muestra que la composición química de los abonos aplicados, pudo presentan buen porcentaje de nitrógeno, pero bajos en fósforo y potasio, que son elementos encargados de la producción de los frutos; esto se evidencia con los experimentos realizados por Trinidad (s.f.), en la composición química de algunos abonos orgánicos.

Los suelos andicos presentan deficiencias en fósforo y potasio, elementos que no se tuvieron en cuenta en los cálculos para las cantidad de abono orgánico aplicar, ya que se hicieron solo con base al nitrógeno, esto puedo producir que no

suplieran totalmente las necesidades de los otros nutrientes (P y K; además también se pudo presentar que los nutrientes de los abonos no se alcanzaron a mineralizar debido al corto tiempo del cultivo; causando deficiencias en la producción del cultivo.

8. CONCLUSIONES

El pH es una característica muy importante, ya que se encuentra muy relacionado con las demás propiedades del suelo y con sus nutrientes; la aplicación de los abonos orgánicos no generó variación del pH, sino que se conservó, debido a la acción amortiguadora que tienen los abonos orgánicos y este tipo de suelos.

La incorporación de abonos orgánicos presenta efectos favorables sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, los buenos resultados dependen de la cantidad de los abonos, la calidad de estos y la permanencia en la aplicación.

La incorporación de los abonos orgánicos mostraron un aumento en la actividad microbiana del suelo, esto confirma que los abonos orgánicos si influyen en la actividad microbiana del suelo, por su gran aporte de materia orgánica que es el hábitat y la fuente energética para los microorganismos, mejorando muchas de las propiedades del suelo y ejerciendo efectos directos sobre las plantas.

En las variables agronómicas número de vainas por planta, peso de la vaina y la producción, no se alcanzaron los valores característicos del cultivo, esto demuestra que los abonos orgánicos en su composición química presentan bajos porcentajes de nutrientes, con más deficiencias de fósforo y potasio, que de nitrógeno.

La mayoría de variables agronómicas del cultivo lograron un buen comportamiento con el tratamiento con compost; se puede decir que este abono almacenaba nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta.

El compost presentó menor porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total, sin embargo tuvo un buen manejo en la elaboración, sobre todo en la relación C/N, que es la encargada de regular los nutrientes disponibles para este tipo de abonos.

La mejor producción del cultivo, se obtuvo con el tratamiento con compost, además, cumplió con la mayoría de criterios generales deseables tanto para el consumo, como para la comercialización del producto, demostrando que estas prácticas agroecológicas en las fincas son muy viables y autosostenibles, con bajos recursos económicos ya que la mayoría de materiales son propios de la finca, sin necesidad productos externo como los agroquímicos, protegiendo los recursos naturales, el medio ambiente y la salud humana.

Las fertilizaciones con abonos orgánicos no lograron alcanzar altas producciones en el cultivo, debido a que los nutrientes disponibles están en menor porcentaje y su mineralización es lenta.

El tipo de suelos de la zona de estudio presentó características andicas, con buenas propiedades físicas, químicas y biológicas, la aplicación de abonos orgánicos a este tipo de suelo no generaron cambios significativos debido a su condición taxonómica y al corto tiempo de estudio, se puede asegurar que los abonos no generaron impactos negativos sobre el suelo y por el contrario conservaron sus buenas propiedades.

9. RECOMENDACIONES

Cuando se vaya a implementar programas de fertilización con abonos orgánicos en los cultivos, se debe realizar análisis completos de los nutrientes disponibles en el suelo, en los abonos orgánicos y la tasa de mineralización, para suplir completamente las necesidades de la planta y no se presentes deficiencias de nutrientes.

En próximas investigaciones escoger un suelo con un pH más bajo (fuertemente ácido) y evaluar su comportamiento, con el uso continuo de abonos orgánicos a mediano y largo plazo.

Las plagas y enfermedades generan grandes pérdidas en la producción de los cultivo, por lo que es muy importante tener un buen control de ellas, a través de la implementación de un manejo integrado de plagas para los cultivos o para la finca en general.

En la producción del lombricompost, mezclarle diferentes sustratos en la alimentación de las lombrices para mejorar la relación C/N y obtener un producto final de buena calidad con mayores nutrientes disponibles.

Cuando se vayan a preparar abonos orgánicos tener en cuenta todas las recomendaciones y hacer un buen seguimiento a los factores que intervienen en el proceso, para lograr obtener productos de buena calidad.

10. BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, O. (s.f.). Manual de hortalizas. Recuperado el 5 de febrero de 2014, del sitio web: <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/1494/00001494.pdf>.

Arias, J.H., Rengifo, T. y Jaramillo, M. (2007). *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Fríjol Voluble* (1ra Ed.). Medellín, Antioquia, Colombia.

Bioagro. (2010). *Composición físico-química media de abonos orgánicos*. Recuperado el 28 de mayo de 2011, del sitio web: http://www.bioagro.com.uy/composicion_quimica.htm#2.

Blanco, J.O. (s.f.). *Acondicionadores y mejoradores de suelos*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del sitio web: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/2006718153746_Acondicionadores%20y%20mejoradores%20de%20suelo.pdf.

Burbano, H. (1989). Las enmiendas orgánicas. En H. Burbano. *El suelo una visión sobre sus componentes biorgánicos*. Pasto, Colombia.

Burbano, H. (1998). Enmiendas orgánicas. *Fertilización de cultivos de clima frío* (2da Ed.), Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (E.M.A.). Santafé de Bogotá, Colombia.

Castro, H.E. y Gómez, M.I. (2008). Actualidad y tendencias del uso de enmiendas calcáreas en Colombia. *Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes* (1ra Ed.), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá, D.C., Colombia.: Editora Guadalupe Ltda.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA-CVC & FUNDACIÓN PROFESIONAL PARA EL MANEJO INTEGRAL DEL AGUA-PROAGUA. (2008). *Evaluación de la disponibilidad y la demanda de agua con fines de obtener el proyecto de reglamentación de las aguas del río La Paila (DAR Centro Norte) y Dagua (DAR Pacífico Este)*. Memoria Técnica-Cuenca del río Dagua.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. (2005). El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. En P.A. Cuesta, y E. Villaneda (1ra Ed.). *Manual técnico: producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos* (pp. 1-11). Bogotá, D.C., Colombia.

Corporación Educativa para el desarrollo Costarricense-CEDECO. (2005). *Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del sitio web: http://cedeco.or.cr/files/Abonos_organicos.pdf. p

Diseño de investigaciones. (s.f.). Recuperado el día 1 diciembre de 2014, de <http://dta.ugal.cl/estadistica/ejercicios/recoger/Diseno/apuntes.pdf>.

Dorronsoro, C. (2013). *Introducción a la edafología*. Recuperado el 24 de julio de 2013, del sitio: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema05/ph.htm>.

Escobar, C.J., Ule, J.D. y Colorado, G. (2001). *Módulo de capacitación lombricultura*. CORPOICA, Regional Diez. Florencia, Caquetá.

ESPINOSA, J. 1994. Acidez y encalado de los suelos. En: Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Bogotá. pp 113-128.

Espinosa, J. y Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos* (1ra Ed.). Canadá: instituto de potasa y fosforo.

Figuerola, U. y Cueto, J.A. (2003). Uso sustentable del suelo y abonos orgánicos. *Abonos orgánicos y pasticultura*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Palacio, México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED.

Fundación Hogares Juveniles Campesinos. (2010). *Cultivos ecológicos de hortalizas*. Bogotá, D.C., Colombia.: Editores Lexus.

García, A. (2005). *Área de edafología y química agrícola*. Recuperado el 24 de julio de 2013, del sitio: <http://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL5PFQReaccion.htm>.

González, A. (2002, 25 y 26 de abril). Caracterización y manejo de suelos ácidos. *Estrategias para la productividad de suelos agrícolas, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, (Capítulo Tolima)*.

Gordillo M. 2006. Diseño de experimentos. Notas de Clase. Programa Académico de Estadística. Universidad del Valle. Cali

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS-IREHISA. (2010). Cartilla divulgativa: Estrategias de sostenibilidad y competitividad de sistemas productivos agrícolas en la Microcuenca La Centella, Dagua, Valle del Cauca. Santiago de Cali, Colombia.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS - IREHISA, GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA DE AGROECOSISTEMAS Y HÁBITATS NATURALES – GEAHNA & GRUPO DE INVESTIGACIONES ENTOMOLÓGICAS - GIE (2012). Índice de Sostenibilidad de Sistemas Productivos Agrícolas – ISSPA. Caso modelo: Microcuenca La Centella. Cali: Universidad del Valle, Loaiza, W & Ávila, A. (editor).

Guerrero, R. (1990). La acidez del suelo – su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego* (3ra Ed.), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, D.C., Colombia.

Gutiérrez, A., Estrada, E.I., Cardozo, C.I., García. M.A., Sánchez, M.S., Baena, D., y Vallejo, F.A. (2004). *Cultivo de Habichuela: Variedad UNAPAL Milenio* (2da Ed.). Universidad nacional de Colombia, sede Palmira.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos. 5ª. Aproximación. Manual de asistencia técnica No. 25. ICA. Bogotá.

Instituto Colombiano de Normas y certificaciones-ICONTEC e Instituto Colombiano Agropecuario-ICA. (2003). Compendio ICONTE-ICA, sobre fertilizantes en Colombia. Bogotá, D.C. Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC] y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca [CVC]. (2004). *Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento de Valle del Cauca*. (Tomo 1). Bogotá D. C.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC]. (2006). *Métodos analíticos de laboratorio de suelo* (6ta Ed.). Bogotá: Imprenta nacional de Colombia.

Instituto Para el Desarrollo y la Democracia-IPADE. (2009). *Guía técnica abonos orgánicos: un paso para ir avanzando hacia una agricultura orgánica rentable y sostenible*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del sitio web: http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19_Abonos_organicos.pdf.

Jácome, A.R. (2011). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un inceptisol con propiedades andicas en la microcuenca centella Dagua – Valle. Tesis de grado no publicada. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Jaramillo, D.F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Facultad de ciencias. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Jordán, A. (2005). *Manual de edafología*. Recuperado el 24 de julio de 2013, del sitio: <http://biblioteca.utsem-morelos.edu.mx/files/asp/topografia/manual%20De%20Edafologia-Jordan.pdf>.

Kuehl R.O. 2001. Diseño de experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación (2da Ed.). The University of Arizona. México.

León, L.A. (1990). Los elementos mayores N, P y K en el suelo. *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y agua para riego* (3ra Ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, D.C., Colombia.

López, J.D. (2003). Producción de compost. *Producción de abonos orgánicos y pasticultura*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C., Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez Estado de Durango.

López, R. (2002). *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación* (2da Ed.). Mérida, Venezuela.: centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial, Universidad de los andes.

Lora, R. (2003). Las propiedades químicas del suelo y su fertilidad. *Manejo integral de la fertilidad del suelo* (1ra Ed.), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, D.C., Colombia.: Editora Guadalupe Ltda.

Lora, R. (2010). Propiedades químicas del suelo. *Ciencias del suelo: principios básicos* (1ra Ed.), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, D.C., Colombia.: Editora Guadalupe S.A.

Martínez, C. (s.f.). 6 *Lombricultura*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del sitio web: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf>.

Molina, N.C., Andina, D. y Fernández, J. (s.f.). *Físico-química del suelo*. Recuperado el 24 de julio de 2013, del sitio: <http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Fisico-Quimica.pdf>. pp. 29, 33.

Montenegro, H. (1990). Interpretación de las propiedades físicas del suelo. *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y agua para riego* (3ra Ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, D.C., Colombia. pp. 109.

Montenegro, H. (2003). Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad. *Manejo integral de la fertilidad del suelo* (1ra Ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, D.C., Colombia: Editora Guadalupe Ltda.

Mosquera, B. (2010). *Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana: manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del sitio web: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf.

Muñoz, R. (1994). Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. En: Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control. Editor F. Silva. SCCS. Santafé de Bogotá.

Narváez, C.E., Gómez, C.R. y Roja, L.A. (2000). Efecto de los materiales orgánicos caupí, gallinaza y compost sobre el aluminio intercambiable del suelo y su desarrollo en un cultivo de maíz. *Revista suelos ecuatoriales* (volumen 30-2).

Navarro, S. y Navarro, G. (2003). *Química agrícola* (2da Ed.). Madrid, España.: Mundi-Prensa.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN-FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.

Osorio, N.W. (2003). Cambios en la fertilización del suelo con la aplicación de materiales orgánicos, 15 p. En: Memorias del seminario de materiales orgánicos en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Medellín.

Pérez, J.J. (2000). *Cultivos I: cereales-leguminosas y oleaginosas* (1ra Ed.). Bogotá D.C, Colombia.: Editorial UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia).

Pinzón, A., (2003). Análisis e interpretación de propiedades físicas determinadas en el laboratorio. *Manejo integral de la fertilidad del suelo* (1ra Ed.), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, D.C., Colombia.: Editora Guadalupe Ltda.

Pizarro, F. (1990). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación (2da Ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.

Prat, L. (1981). *Importancia de la reacción del suelo*. Recuperado el 24 de julio de 2013, del sitio: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/23538/1/TEMASMONOGRAFICOS5.pdf>.

Porta, J., López, M. y Roquero, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (1ra Ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Rojas, A., (2012). *Efecto de dos tipos de fertilización (orgánica y química) en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en la producción del cultivo de habichuela (phaseolus vulgaris l)*. Tesis de grado no publicada. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Sánchez, P.A. y Salinas, J.G. (2008). *Suelos ácidos: estrategia para su manejo con bajos insumos en América tropical*. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá D. C.: Editora Guadalupe Ltda.

SERVICIO PARA LA CONSERVACION DE RECURSOS NATURALES. (1996). *Guía para la interpretación de pruebas individuales*. Centro de Agrobiología del Brasil.

Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. *Taller de abonos orgánicos*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del sitio web: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos>.

Soto, G. y Meléndez, G. (2003). Compost: abono o enmienda? Cómo medir la calidad de un compost? *Taller de abonos orgánicos*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del sitio web: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>.

Suquilanda, M.B. (1996). *Serie de agricultura orgánica*. Fundación para el Desarrollo Agropecuario (FUNDAGRO). Quito, Ecuador.

Tofiño, A.P. y López, Y. (2004). *Guía teórico-práctica para el estudio de los efectos de los nutrientes sobre el desarrollo de la habichuela*. Universidad nacional de Colombia, sede Palmira.

Trinidad, A. (s.f.). *6 abonos orgánicos*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013, del [sitio web: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf).

Unigarro, A.E., Insuasty, R.L. y Chaves, G.E. (2009). Manual de prácticas de laboratorio: suelos generales (1ra Ed.). Nariño, Colombia: Editorial Universitaria – universidad de Nariño.

UNIVERSIDAD DEL VALLE - GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS - IREHISA, UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA - PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL y CORPORACIÓN BIOTEC (2010). *Informe Técnico Final Proyecto “Estrategias de competitividad y sostenibilidad de sistemas productivos agrícolas en la Microcuenca La Centella (Dagua-Valle del Cauca)*. Loaiza, W. & Fajardo, M.P. (editores).

Valenzuela, I.G. y Torrente, A. (2010). Física de suelos. *Ciencias del suelo: principios básicos* (1ra Ed.), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, D.C., Colombia.: Editora Guadalupe S.A.
Vallejo, F.A. y Estrada, E.I. (2004). *Producción de hortalizas de clima cálido*. Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira.

Vázquez, C., Salazar, E., Trejo, H.I., Rodríguez, J.C. y Gallegos, A. (2003). Introducción a la lombricultura. *Producción de abonos orgánicos y pasticultura*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C., Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez Estado de Durango.

Zapata, R.D. (2004). *La química de la acidez del suelo*. Medellín, Colombia.

11. ANEXOS

Anexo 1. Evapotranspiración potencial en milímetros (mm).

Cuenca/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca Centella	48	43	45	40	43	39	52	53	50	39	38	38

Fuente: CVC y PROAGUA, 2008.

Anexo 2. Coeficiente del cultivo y diámetro de sombra de la habichuela.

Cultivo	etapas			
	Inicial	Desarrollo	Media	Final
Duración (días)	34	12	10	17
Kc*	0.4	0.8	1.15	0.55
Diámetro sombra** (m)	0.2	0.2	0.25	0.25

* Fuente: FAO, 2006; **asumido para el cultivo.

Anexo 3. Valores de eficiencia de aplicación (Ea) en climas húmedos.

Profundidad de raíces (m)	Textura del suelo			
	Grava	Arenosa	Media	Fina
< 0.75	0.65	0.75	0.85	0.90
0.75-1.5	0.75	0.80	0.90	0.95
> 1.5	0.80	0.90	0.95	1.00

Fuente: Pizarro, 1990.

Anexo 4. Valores para coeficiente de uniformidad (CU).

Emisores	Pendiente	CU	
		clima árido	clima húmedo
Emisores espaciados más de 4 m en cultivos permanentes	Uniforme (<2%)	0,90 - 0,95	0,80 - 0,85
	Uniforme ondulada (>2%) u	0,85 - 0,90	0,75 - 0,80
Emisores espaciados menos de 2,5 m en cultivos permanentes o semipermanentes	Uniforme (<2%)	0,85 - 0,90	0,75 - 0,80
	Uniforme ondulada (>2%) u	0,80 - 0,90	0,70 - 0,80
Mangueras o cintas de exudación en cultivos anuales	Uniforme (<2%)	0,80 - 0,90	0,70 - 0,80
	Uniforme ondulada (>2%) u	0,70 - 0,85	0,65 - 0,75

Fuente: Pizarro, 1990.

Anexo 5. Cálculos y resultados de la demanda hídrica para el cultivo de habichuela.

mes	unidad	septiembre		octubre			noviembre	
década		2	3	1	2	3	1	2
d	días	10	10	10	10	11	10	10
etapa		siembra- inicio floración			floración- inicio llenado vainas	llenado de vainas	llenado vainas- inicio cosecha	
Kc		0,4			0,8	1,15	0,7	
ETo	mm/década	16,67	16,67	12,58	12,58	13,84	12,67	12,67
D	m	0,2			0,2	0,25	0,25	
%A	%	12,56			12,56	19,63	19,63	
Kl		0,17			0,17	0,26	0,26	
ETc	mm/década	6,67	6,67	5,03	10,06	15,91	8,87	8,87
Nn	mm/década	1,12	1,12	0,85	1,69	4,19	2,33	2,33
Ea		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CU		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Nt	mm/década	1,99	1,99	1,51	3,01	7,44	4,15	4,15
Nd	L/planta-día	0,05	0,05	0,04	0,08	0,17	0,10	0,10
A	ha	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
Qfc	L/seg	0,0010	0,0010	0,0008	0,0016	0,0035	0,0022	0,0022

Anexo 6. Medición de caudal real de goteo (L/h).

Zona/Lateral	inicio		medio		final		promedio
alta	0,30	0,28	0,24	0,34	0,26	0,28	0,28
media	0,42	0,42	0,48	0,48	0,45	0,45	0,45
baja	0,48	0,51	0,54	0,57	0,57	0,57	0,54
					promedio total		0,42

Anexo 7. Prueba de bulbo húmedo

T (min)	T (h)	Va (L)	Rb (m)	Pb (m)
15	0,25	0,105	0,10	0,15
30	0,5	0,21	0,14	0,17
45	0,75	0,315	0,16	0,18
60	1	0,42	0,17	0,21
75	1,25	0,525	0,20	0,23

Anexo 8 Rangos de porcentaje de área a humedecer según Pizarro, 1990.

- Arbóreos: 30 - 50%
- Arbustos: 40 - 60%
- Herbáceos: 50 - 70%
- Densos: 70 - 100%

Anexo 9. Cosechas del cultivo de habichuela en Kg.

Bloque	Tratamiento	1 Cosecha	2 Cosecha	3 cosecha	Subtotal
B1	T1	5,385	1,2	0,665	7,97
	T2	3,875	0,7	0,5	5,41
	T3	0,875	0,2	0,125	1,37
B2	T1	6,79	1,33	0,95	9,59
	T2	4,185	0,735	0,585	5,88
	T3	1,975	0,465	0,25	2,97
B3	T1	7,735	1,525	1,325	11,42
	T2	5,225	1,14	0,66	7,45
	T3	1,285	0,825	0,525	2,96
				Total	55,02

Anexo 10. Resultados estadísticos pH del suelo.

Tabla análisis de varianza pH								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	0,7422	0,7422	0,3711	2,23	0,131	0,517	0,721
TRATAMIENTO	2	0,0558	0,0558	0,0279	0,17	0,846		
Error	22	3,6551	3,6551	0,1661				
Total	26	4,4531						

PN: prueba de normalidad

PIN: prueba de igualdad de varianza

Anexo 11. Resultados estadísticos variables agronómicas del cultivo.

Tabla análisis de varianza longitud del tallo								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	1398	1398	699	0,17	0,848	0,473	0,087
TRATAMIENTO	2	157339	157339	78669	18,68	0		
Error	40	168418	168418	4210				
Total	44	327155						

Tabla análisis de varianza número de flores								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	2419	2419	1209,5	3,42	0,042	0,095	0,446
TRATAMIENTO	2	11887,6	11887,6	5943,8	16,82	0		
Error	40	14136	14136	353,4				
Total	44	28442,6						

Tabla análisis de varianza Numero de vainas								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	54,04	54,04	27,02	0,6	0,556	0,887	0,926
TRATAMIENTO	2	969,91	969,91	484,96	10,69	0		
Error	40	1814,62	1814,62	45,37				
Total	44	2838,58						

Tabla análisis de varianza Peso de vainas								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	24,917	24,917	12,459	2,05	0,141	0,607	0,978
TRATAMIENTO	2	25,601	25,601	12,801	2,11	0,134		
Error	40	242,533	242,533	6,063				
Total	44	293,052						

Tabla análisis de varianza Longitud de vaina								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	12,083	12,083	6,041	2,53	0,093	0,23	0,812
TRATAMIENTO	2	17,096	17,096	8,548	3,57	0,037		
Error	40	95,661	95,661	2,392				
Total	44	124,84						

Tabla análisis de varianza Diámetro de vaina								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	3,4	3,4	1,7	1,36	0,267	0,418	0,716
TRATAMIENTO	2	5,112	5,112	2,556	2,05	0,142		
Error	40	49,853	49,853	1,246				
Total	44	58,366						

Tabla análisis de varianza Producción								
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P	PN	PIV
BLOQUE	2	0,9325	0,9325	0,4663	10,62	0,025	0,791	0,878
TRATAMIENTO	2	8,721	8,721	4,3605	99,27	0		
Error	4	0,1757	0,1757	0,0439				
Total	8	9,8293						