



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ABONOS VERDES EN LA CALIDAD DEL
SUELO, EN LA LOCALIDAD DE PERIBUELA (SECTOR EL RABANAL),
PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN COTACACHI”**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUSPICIANTE

INIAP – DMSA - EESC - SENE CYT

AUTORES:

Cristina Alexandra Chancosa Muenala

Edwin Andrés Viana Morales

DIRECTOR:

Ing. Franklin Valverde MSc.

Ibarra, 2015

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA INGENIERÍA AGROPECUARIA

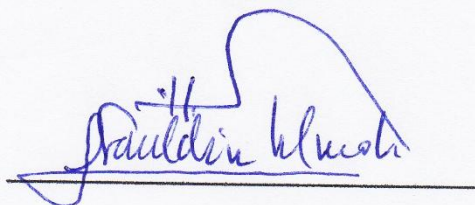
“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ABONOS VERDES EN LA CALIDAD DEL
SUELO, EN LA LOCALIDAD DE PERIBUELA (SECTOR EL RABANAL),
PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN COTACACHI”

Tesis presentada por la Srta. Cristina Alexandra Chancosa Muenala y el Sr. Edwin Andrés Viana Morales como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario. Luego de haber revisado minuciosamente, damos fe de que las observaciones y sugerencias emitidas con anterioridad han sido incorporadas satisfactoriamente al presente documento.

APROBADA:

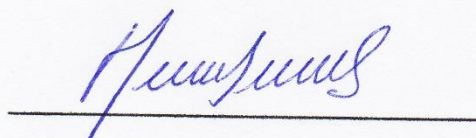
Ing. Franklin Valverde MSc.

DIRECTOR



Ing. Raúl Castro

BIOMETRISTA



Ibarra – Ecuador

2015

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA INGENIERÍA AGROPECUARIA
“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ABONOS VERDES EN LA
CALIDAD DEL SUELO, EN LA LOCALIDAD DE PERIBUELA
(SECTOR EL RABANAL), PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN
COTACACHI”


Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

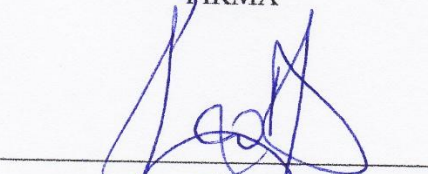
Ing. Franklin Marcelino Valverde MSc.

DIRECTOR


FIRMA

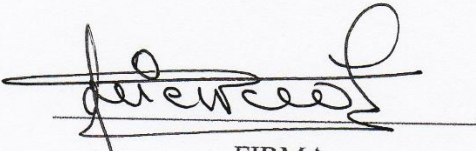
Ing. Carlos Cazco Logroño MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL


FIRMA

Ing. Miguel Vinicio Aragón Esparza

MIEMBRO TRIBUNAL


FIRMA

Ing. Mónica Eulalia León Espinoza MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL


FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100325217-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chancosa Muenala Cristina Alexandra		
DIRECCIÓN:	Juan Francisco Bonilla 12-22 y Rafael Sánchez		
EMAIL:	crisutn@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062607128	TELÉFONO MÓVIL	0989622818

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ABONOS VERDES EN LA CALIDAD DEL SUELO, EN LA LOCALIDAD DE PERIBUELA (SECTOR EL RABANAL), PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN COTACACHI”
AUTOR (ES):	Chancosa Muenala Cristina Alexandra Viana Morales Edwin Andrés
FECHA: AAAAMMDD	2015/05/14
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ing. Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Franklin Valverde

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Chancosa Muenala Cristina Alexandra , con cédula de identidad Nro. 100325217-6, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de mayo del 2015

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Chancosa Muenala Cristina Alexandra
C.C. 100325217-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Chancosa Muenala Cristina Alexandra , con cédula de identidad Nro. 100325217-6 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado titulado: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ABONOS VERDES EN LA CALIDAD DEL SUELO, EN LA LOCALIDAD DE PERIBUELA (SECTOR EL RABANAL), PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN COTACACHI” . Qué ha sido desarrollada para optar por el Título de Ingeniero Agropecuario en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 14 días del mes de Mayo del 2015

(Firma).....

Nombre: Chancosa Muenala Cristina Alexandra
Cédula: 100325217-6



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

4. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100259905-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Viana Morales Edwin Andrés		
DIRECCIÓN:	Rio Lita 973 y Princesa Pacha		
EMAIL:	andresviana25@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL	0991319197

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ABONOS VERDES EN LA CALIDAD DEL SUELO, EN LA LOCALIDAD DE PERIBUELA (SECTOR EL RABANAL), PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN COTACACHI”
AUTOR (ES):	Chancosa Muenala Cristina Alexandra Viana Morales Edwin Andrés
FECHA: AAAAMMDD	2015/05/14
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ing. Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Franklin Valverde

5. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

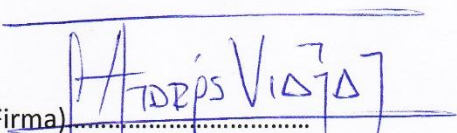
Yo, Viana Morales Edwin Andrés , con cédula de identidad Nro. 100259905-6, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

6. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de mayo del 2015

EL AUTOR:

(Firma) 
Nombre: Viana Morales Edwin Andrés
c.c. 100259905-6

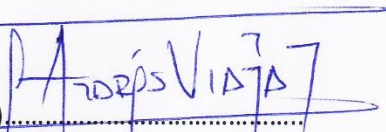


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Viana Morales Edwin Andrés , con cédula de identidad Nro. 100259905-6 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado titulado: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ABONOS VERDES EN LA CALIDAD DEL SUELO, EN LA LOCALIDAD DE PERIBUELA (SECTOR EL RABANAL), PARROQUIA IMANTAG, CANTÓN COTACACHI”** . Qué ha sido desarrollada para optar por el Título de Ingeniero Agropecuario en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 14 días del mes de Mayo del 2015

(Firma) 

Nombre: Viana Morales Edwin Andrés
Cédula: 100259905-6

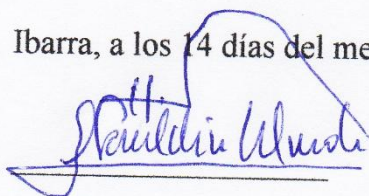
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el trabajo titulado “Evaluación del efecto de abonos verdes en la calidad del suelo, en la localidad de Peribuela (Sector El Rabanal), Parroquia Imantag, Cantón Cotacachi” realizado en su totalidad por la Sta. Cristina Alexandra Chancosa Muenala y el Sr. Edwin Andrés Viana Morales ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con las normas establecidas en el reglamento de estudiantes de la Universidad Técnica del Norte, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario.

Debido a que este estudio es parte de las investigaciones realizadas por el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias - INIAP y financiado por la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación - SENESCYT a través del Proyecto PIC-12-INIAP-009 “Manejo adecuado de abonos verdes y microorganismos fijadores de nitrógeno dentro de sistemas de producción agroecológicos”, se deja en libertad de los autores y del INIAP, para su publicación.

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores antes mencionados, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 14 días del mes de mayo de 2015



Ing. Franklin Marcelino Valverde MSc.

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN


Fecha: 14 de mayo de 2015

CHANCOSA MUENALA CRISTINA ALEXANDRA, VIANA MORALES EDWIN ANDRÉS. "Evaluación del efecto de abonos verdes en la calidad del suelo, en la localidad de Peribuela (Sector El Rabanal), Parroquia Imantag, Cantón Cotacachi" / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Agropecuario Universidad Técnica del Norte. Ibarra, marzo de 2015. 132 pp. 7 anexos.

DIRECTOR: Ing. Franklin Valverde MSc.


La evaluación del efecto de los abonos verdes sobre la calidad del suelo permitió identificar el mejor abono verde con las características agronómicas deseables para mejorar la calidad de los molisoles.

Fecha: 14 de mayo de 2015



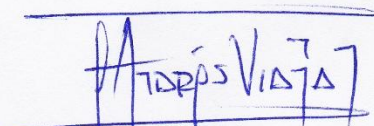
Ing. Franklin Valverde MSc.

Director de tesis



Cristina Chancosa

Autor



Andrés Viana

Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Hipótesis.....	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Degradación de los suelos	5
2.1.1 Erosión	5
2.1.1.1 Erosión hídrica	6
2.1.1.2 Erosión eólica.....	6
2.1.1.3 Erosión antrópica.....	7
2.1.1.4 Erosión geológica o natural.....	7
2.1.2 Deterioro químico	8
2.1.2.1 Degradación de la fertilidad	9
2.1.2.2 Contaminación	9
2.1.3 Degradación física.....	10
2.1.4 Deterioro biológico	10
2.2 Agricultura de conservación.....	11
2.2.1 Cultivos de cobertura y abonos verdes.....	11
2.2.1.1 Cultivos de cobertura	11
2.2.1.2 Abonos verdes	12
2.3 Mineralización e inmovilización.....	22
2.3.1 Mineralización.....	22
2.3.1.1 Procesos de mineralización	23
2.3.1.2 Factores que determinan la mineralización	26
2.3.1.3 Estimación de la mineralización	28
2.3.2 Inmovilización.....	31

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	33
3.1 Caracterización del área de estudio	33
3.1.1 Ubicación política y geográfica del área de estudio	33
3.1.2 Zona de vida	34
3.1.2.1 Características agroclimáticas	34
3.1.3 Características edáficas.....	34
3.1.3.1 Clasificación taxonómica	35
3.2 Métodos	37
3.2.1 Factores en estudio	37
3.2.1.1 Factor a: fuentes de abono verde (cultivos).....	37
3.2.1.2 Factor b: incorporación de residuos de la cosecha	37
3.2.1.3 Factor c: fertilización.....	37
3.2.2 Tratamientos	37
3.2.3 Características del experimento.....	38
3.2.3.1 Características de la unidad experimental	38
3.2.4 Diseño experimental	39
3.2.5 Análisis estadístico	39
3.2.6 Análisis funcional	40
3.3 Variables en estudio.....	40
3.3.1 Producción de biomasa fresca	40
3.3.2 Porcentaje de materia seca.....	41
3.3.3 Producción de materia seca	42
3.3.4 Contenido de nutrientes en tejido vegetal.....	42
3.3.5 Contenido de nutrientes en el suelo.....	43
3.3.6 Población microbiana del suelo	43
3.3.7 Determinación de nitrógeno potencialmente mineralizable (npm)	44
3.4 Manejo específico del experimento	45
3.4.1 Análisis químico del suelo.....	45
3.4.2 Preparación del terreno	45
3.4.3 Fertilización edáfica	45
3.4.4 Siembra.....	46

3.4.5 Labores culturales	47
3.4.5.1 Controles fitosanitarios	47
3.4.5.2 Control de malezas	48
3.4.5.3 Medio aporque y aporque.....	49
3.4.5.4 Riegos.....	49
3.4.6 Incorporación de los abonos verdes	49
3.4.7 Corte e incorporación de abonos verdes	49
3.4.8 Muestreo de suelos	50
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1 Producción de biomasa fresca	51
4.2 Porcentaje de materia seca	55
4.3 Producción de materia seca	58
4.4 Contenido de nutrientes en tejido vegetal	62
4.4.1 Aporte de macronutrientes	62
4.4.2 Aporte de micronutrientes.....	74
4.5 Contenido de nutrientes en el suelo.....	83
4.5.1 Análisis inicial de suelos	83
4.5.2 Análisis final de suelos.....	91
4.5.3 Relación análisis inicial y final de suelos.....	98
4.6 Biomasa microbiana del suelo.....	107
4.7 Determinación de nitrógeno potencialmente mineralizable (npm)	109
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
5.1 Conclusiones	117
5.2 Recomendaciones.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aporte de nutrientes por la incorporación de algunos abonos verdes.....	15
Tabla 2. Cantidad de nitrógeno fijado por leguminosas	17
Tabla 3. Relaciones C/N típicas de algunos materiales orgánicos.....	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción del perfil de suelo del área de estudio del ensayo de abonos verdes. Peribuela, 2013.....	35
Cuadro 2. Tratamiento de abonos verdes. Peribuela-Imbabura.....	38
Cuadro 3. Esquema del análisis de varianza (ADEVA).....	39
Cuadro 4. Recomendación de fertilización para los tratamientos F2.....	46
Cuadro 5. Fuentes de fertilizante y concentración.....	46
Cuadro 6. Cantidad de fuentes de fertilizante por cultivo.....	46
Cuadro 7. Distancias de siembra de los cultivos.....	47
Cuadro 8. Requerimientos de semilla por cultivo.....	47
Cuadro 9. Controles fitosanitarios del ensayo. Peribuela, 2013.....	48
Cuadro 10. Cronograma de muestreos de suelos para análisis de laboratorio.....	50
Cuadro 11. Análisis de varianza para producción de biomasa fresca. Peribuela, 2013.....	51
Cuadro 12. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos de la variable producción de biomasa fresca. Peribuela, 2013.....	52
Cuadro 13. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C). Variable producción de biomasa fresca. Peribuela, 2013.....	52
Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable porcentaje de materia seca. Peribuela, 2013.....	55
Cuadro 15. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos de la variable porcentaje de materia seca. Peribuela, 2013.....	56
Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable rendimiento de biomasa seca. Peribuela, 2013.....	58
Cuadro 17. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos de la variable rendimiento de biomasa seca. Peribuela, 2013.....	59
Cuadro 18. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C) de la variable rendimiento de biomasa seca. Peribuela, 2013.....	60
Cuadro 19. Análisis de varianza para aporte de macronutrientes por los tratamientos de abonos verdes en estudio. Peribuela, 2013.....	63

Cuadro 20. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, en la acumulación promedio de macronutrientes en la biomasa (kg/ha). Peribuela, 2013.	64
Cuadro 21. Prueba de Tukey al 5% para cultivos (C), en la acumulación promedio de macronutrientes. Peribuela, 2013.	67
Cuadro 22. Análisis de varianza para micronutrientes presentes en la biomasa de los abonos verdes. Peribuela, 2013.	75
Cuadro 23. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, en la acumulación de micronutrientes presentes en la biomasa (g/ha). Peribuela, 2013.	78
Cuadro 24. Prueba de Tukey al 5% para cultivos (C), en la acumulación promedio de micronutrientes. Peribuela, 2013.	78
Cuadro 25. Análisis de varianza para macroelementos presentes en el suelo. Análisis inicial. Peribuela, 2013.	84
Cuadro 26. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, en la concentración de azufre presente en el suelo. Peribuela, 2013.	85
Cuadro 27. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C), de P, S, K y Ca presentes en el suelo. Peribuela, 2013.	85
Cuadro 28. Análisis de varianza, de microelementos presentes en el suelo. Análisis inicial. Peribuela, 2013.	87
Cuadro 29. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la concentración de Zinc en el suelo. Análisis inicial. Peribuela, 2013.	88
Cuadro 30. Análisis de varianza para pH del suelo. Análisis inicial. Peribuela, 2013.	89
Cuadro 31. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, de pH del suelo. Análisis inicial. Peribuela, 2013.	90
Cuadro 32. Análisis de varianza de macroelementos presentes en el suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.	92
Cuadro 33. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, en la concentración de N-NH ₄ y K en el suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.	93
Cuadro 34. Prueba de Tukey al 5% para el factor residuos, en la concentración de N-NH ₄ , K y Mg en el suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.	95
Cuadro 35. Análisis de varianza para microelementos presentes en el suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.	96
Cuadro 36. Análisis de varianza para nivel de pH del suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.	97

Cuadro 37. Prueba de Tukey al 5% para el factor fertilización, en el nivel de pH del suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.....	97
Cuadro 38. Análisis de varianza combinado para macroelementos. Peribuela, 2013.	99
Cuadro 39. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la acumulación de N, P, K y Ca en el suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.....	100
Cuadro 40. Análisis de varianza combinado para microelementos presentes en el suelo. Peribuela, 2013.....	102
Cuadro 41. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, en la acumulación de zinc. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.....	103
Cuadro 42. Análisis de varianza combinado para MO del suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.....	104
Cuadro 43. Análisis de varianza combinado para nivel de pH en el suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.....	106
Cuadro 44. Análisis de varianza para biomasa microbiana del suelo. Peribuela, 2013.....	107
Cuadro 45. Análisis de varianza. Variable NPM. Peribuela, 2013.	111
Cuadro 46. Prueba de Tukey al 5% para NPM. Peribuela, 2013.....	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mineralización del nitrógeno	23
Ilustración 2. Mapa de ubicación del ensayo de abono verdes	33

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución del rendimiento de biomasa fresca en la mezcla avena – vicia, en t/ha y porcentaje (%).	53
Gráfico 2. Distribución del aporte de biomasa fresca de fréjol por órganos en t/ha y porcentaje.	54
Gráfico 3. Distribución del aporte de biomasa fresca de haba en t/ha y porcentaje.	54
Gráfico 4. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C) de la variable porcentaje de materia seca (%).	57
Gráfico 5. Distribución de biomasa seca en la mezcla avena – vicia en t/ha y porcentaje	60
Gráfico 6. Distribución del rendimiento de materia seca del cultivo de fréjol según órganos en t/ha y porcentaje (%).	61
Gráfico 7. Distribución de biomasa seca en el cultivo de haba en t/ha y porcentaje (%).	61
Gráfico 8. Aporte de N con los diferentes abonos verdes. Peribuela, 2013.	69
Gráfico 9. Aporte de P con los diferentes abonos verdes. Peribuela, 2013	70
Gráfico 10. Aporte de K con los diferentes abonos verdes. Peribuela, 2013.	71
Gráfico 11. Aporte de calcio con los distintos los abonos verdes. Peribuela, 2013.	72
Gráfico 12. Aporte de magnesio con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.	73
Gráfico 13. Aporte de azufre con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.	73
Gráfico 14. Aporte de boro efectuado por los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.	79
Gráfico 15. Aporte de zinc efectuado por los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.	79
Gráfico 16. Aporte de cobre para los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.	80
Gráfico 17. Aporte de hierro con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.	81
Gráfico 18. Aporte de manganeso en los distintos de abonos verdes. Peribuela, 2013.	82
Gráfico 19. Prueba de Tukey al 5% para cultivos (C), en el contenido de zinc en el suelo. Análisis inicial. Peribuela, 2013.	88
Gráfico 20. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos, en el pH del suelo. Análisis inicial Peribuela, 2013.	90
Gráfico 21. Prueba de Tukey al 5% para cultivos de la concentración de N-NH ₄ presente en el suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.	94
Gráfico 22. Prueba de Tukey al 5% para fertilización, en la concentración de N-NH ₄ y S, del suelo. Análisis final. Peribuela, 2013.	95

Gráfico 23. Prueba de Tukey al 5% para N, P y S presentes en el suelo. Relación análisis inicial y final de suelo. Peribuela, 2013.	101
Gráfico 24. Prueba de Tukey al 5% para K, Ca y Mg presentes en el suelo. Relación análisis inicial y final de suelo. Peribuela, 2013.	101
Gráfico 25. Prueba de Tukey al 5% para concentración de microelementos presentes en el suelo antes y después de la incorporación de los abonos verdes. Peribuela, 2013	103
Gráfico 26. Prueba de Tukey al 5% para MO en el suelo. Análisis comparativo de suelos Peribuela, 2013.	105
Gráfico 27. Prueba de Tukey al 5% para pH del suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.	106
Gráfico 28. Cambio en la actividad microbiana en función del tiempo. Peribuela, 2013.	108
Gráfico 29. Evolución de la actividad microbiana según los distintos abonos verdes.	108
Gráfico 30. Prueba de Tukey al 5% para cultivos. Variable NPM. Peribuela, 2013.	114
Gráfico 31. Prueba de Tukey al 5% para residuos. Variable NPM. Peribuela, 2013.	114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plano de distribución del experimento.	134
Anexo 2. Análisis de suelos inicial.	135
Anexo 3. Datos registrados para la producción de biomasa (t/ha).....	135
Anexo 4. Datos registrados para % materia seca (%MS).	136
Anexo 5. Datos registrados para materia seca (t/ha).....	136
Anexo 6. Datos para el análisis de población microbiana de suelo (C-CO ₂ /g ss).....	137
Anexo 7. Análisis de varianza de población microbiana para muestreos.	138

ÍNDICE DE FOTOS

Fotografía 1. Producción de biomasa de los distintos abonos verdes	139
Fotografía 2. Evaluación de los abonos verdes	139
Fotografía 3. Incorporación de los abonos verdes	140
Fotografía 4. Toma de muestras	140
Fotografía 5. Fase de laboratorio	141

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el sector “El Rabanal”, ubicada en el Cantón Cotacachi, Parroquia Imantag, localidad Peribuela, con la finalidad de evaluar el efecto de los abonos verdes, sobre la calidad del suelo (Molisol). Los factores evaluados fueron, cultivos (avena – vicia, fréjol arbustivo y haba), fertilización (con o sin fertilización) e incorporación de residuos (con o sin incorporación), analizados bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo factorial A x B x C, con un total de doce tratamientos con tres repeticiones. Las variables incluyeron producción de biomasa fresca, porcentaje de materia seca (MS), producción de MS, contenido de nutrientes en el tejido vegetal, contenido de nutrientes en el suelo, población microbiana del suelo y Nitrógeno Potencialmente Mineralizable (NPM). Los resultados indicaron a la mezcla avena - vicia como el abono verde con mayor aporte de material vegetal (52,68 t/ha), luego haba (44,51 t/ha) y en menor proporción fréjol (5,02 t/ha). Además avena – vicia y haba acumularon en su biomasa fresca cantidades considerables de N, P y K en relación a fréjol. La incorporación de los abonos verdes incrementó los contenidos de N-NH₄⁺, P, K, S, Ca y Mg en el suelo; asimismo la actividad microbiana en el suelo fue mayor en las leguminosas con respecto a la mezcla. En el caso de NPM, la incorporación de haba presentó mayor fracción de N orgánico inicialmente y fue disminuyendo al pasar el tiempo, la disponibilidad de nitrógeno, aumentó a partir de los siete días; mientras que, para avena - vicia se requiere al menos 42 días para la mineralización.

ABSTRACT

The current research was held at “El Rabanal” area, located in Cotacachi city, Imantag parish, location Peribuela, with the goal to evaluate the Green manure effects, over the quality of the soil (Mollisol). The evaluated factors were, crops (oats-vetch, bush beans and broad beans), fertilization (with or without fertilization), and incorporation of residues (with or without incorporation), analyzed under a design of complete blocks randomly with a factorial upgrade $A \times B \times C$, with a total result of twelve treatments with three repetitions. The variables included fresh biomass production, a percentage of dry material, dry material production, nutrients in plant tissue, nutrients content in the soil, microbial population in the soil and nitrogen mineralization potential. The results indicate a mixture of oats-vetch as the green manure with the most adding of vegetable material (52,68 t/ha), in minor quantity bush beans (44,51 t/ha) and broad bean (5,02 t/ha). Furthermore oats-vetch and broad bean accumulated in their fresh biomass considerable quantities of N, P and K unlike bush bean. The incorporation of the green manure increased the contents of $N-NH_4^+$, P, K, S, Ca and Mg in the soil; thus the microbial activity in the soil was the most legumes different from oats-vetch mixture. In the case of nitrogen mineralization potential, the incorporation of broad bean presented the major fraction from organic nitrogen and it has been decreasing as time went by, being available from the seventh day, while oats-vetch requires 42 days to get mineralized.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La mayoría de los suelos agrícolas, ganaderos y forestales en el mundo son susceptibles de sufrir procesos de degradación, relacionados con la pérdida de suelo y disminución del contenido de materia orgánica debido a varios factores que afectan la fertilidad, incrementando los riesgos de erosión y desertificación (Fernández *et al.*, 2009). Según un informe realizado por la FAO (2008), la erosión de los suelos va aumentando en severidad y extensión, de manera acelerada en muchas partes del mundo, afectando a más del 20% de las tierras agrícolas, el 30% de los bosques y el 10% de los pastizales. Aproximadamente 1500 millones de personas dependen de los suelos sometidos a degradación.

En el Ecuador, la producción agrícola es una actividad económica imprescindible, sin embargo, uno de los elementos más importantes “el suelo”, enfrenta un gran problema denominado erosión, que actúa directamente sobre la capa superficial, que es la más fértil. En suelos de ladera, el uso de maquinaria agrícola a favor de la pendiente, utilizando el arado y la rastra, provocan erosión por labranza y conlleva a que el suelo quede removido y expuesto a la erosión hídrica, acelerando la degradación de los suelos (Valverde *et al.*, 2004; Valverde, 2011).

El principal inconveniente de la erosión radica en que los agricultores buscan el medio para incrementar la producción, sin considerar que se debe mejorar la productividad y optimizar el uso de las tecnologías y demás consideraciones eco sistémicas (Jiménez, 2011).

El uso de abonos verdes es una alternativa tecnológica orientada a una producción sostenible, viable y económica, que consiste en la incorporación de material vegetal no descompuesto de las plantas cultivadas; con la finalidad de proveer cobertura y protección al suelo, mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas, incrementar la materia orgánica, reciclaje y movilización de nutrientes, combatir nemátodos, plagas y enfermedades, control de plantas invasoras y la disminución del lavado de los nutrientes (Monedero *et al.*, 2002).

Los abonos verdes, además de aportar gran cantidad de biomasa, incorporan cantidades considerables de nitrógeno (N) al suelo. Las leguminosas en simbiosis con la bacteria *Rhizobium*, en condiciones óptimas pueden fijar valores que varían entre el 80 - 90% de sus requerimientos de N, mientras el resto lo toma del suelo (Sánchez, 1997). Las cantidades que se incorporan se encuentran entre 50 - 800 kg/ha/año de N proveniente de la atmósfera, logrando sustituir grandes cantidades de fertilizante nitrogenado (Peña, 2000).

Este tipo de agricultura es más necesaria para los pequeños productores, en la que combinan producción agrícola rentable, con protección del ambiente y sostenibilidad. Se ha mostrado que es capaz de funcionar en un amplio rango de zonas agro-ecológicas y sistemas de producción, válida para al manejo sostenible de la tierra (FAO, 2012).

En la presente investigación, se evaluó distintas especies de plantas empleadas como abonos verdes y se identificó los efectos que producen en la calidad del suelo, aportando con información necesaria para la aplicación de esta alternativa en la conservación de suelos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de fuentes de abonos verdes, sobre la calidad de un Molisol de la localidad de Peribuela (Sector El Rabanal), Parroquia Imantag, Cantón Cotacachi.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Cuantificar la cantidad de nutrientes esenciales que se incorporan al suelo, con las fuentes de los abonos verdes (avena-vicia, fréjol y haba).
- Determinar el nivel de mineralización de las fuentes de abonos verdes, a través de la determinación de la fracción de nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM).
- Identificar los cambios químicos y microbianos en el suelo por efecto de la incorporación de los abonos verdes.

1.2 HIPÓTESIS

Ho: La incorporación de los abonos verdes no mejora la calidad del suelo (Molisol) en la localidad de Peribuela (Sector El Rabanal), en Imbabura.

Ha: La incorporación de los abonos verdes mejora la calidad del suelo (Molisol) en la localidad de Peribuela (Sector El Rabanal), en Imbabura.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

Según la FAO-UNESCO, citado por Brissio (2005), la degradación es el proceso que conduce al deterioro de la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente bienes y servicios.

Los suelos de todo el mundo presentan aumento en las tasas de degradación en forma de erosión, acidificación, salinidad, y compactación (Hernández *et al.*, 2006). Según un informe realizado por la FAO (2008), la erosión de los suelos va de manera acelerada en muchas partes del mundo, afectando con más del 20% de las tierras agrícolas, el 30% de los bosques y el 10% de los pastizales. Aproximadamente 1500 millones de personas, dependen directamente de suelos sometidos a degradación, estos procesos en gran medida se deben al manejo que se proporciona al suelo y al cambio climático.

La degradación del suelo ocasionada por actuación del hombre sobre la utilización del suelo, considera tanto a las acciones directas como las labores agrícola, forestal, ganadera, uso de agroquímicos, y riego; o por operaciones indirectas como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte (Brissio, 2005).

Se reconocen varios tipos de degradación, como las siguientes:

- Erosión.
- Deterioro químico.
- Deterioro físico.
- Deterioro biológico.

2.1.1 EROSIÓN

La erosión es el proceso de remoción, transporte y deposición del material removido en otro sitio (Almorox *et al.*, 2010), que ocurre por efecto de las lluvias, vientos, topografía del terreno, tipo de suelo, cobertura vegetal y la acción del hombre, ocasionando la pérdida

de la capa superficial del suelo (Alvarado *et al.*, 2011). Las características básicas que contribuyen a la aceleración de este proceso son: compactación, textura del suelo, estructura, densidad aparente, porosidad, topografía, cobertura vegetal, uso de la tierra, entre las principales (Núñez, 2001).

2.1.1.1 Erosión hídrica

Es aquella en la que los procesos de remoción y transporte son causados por el agua, (Almorox *et al.*, 2010), principalmente aquella proveniente de la lluvia, por el efecto que causan las gotas al impactarse con la superficie del suelo, rompen los agregados haciéndolos más finos (Pereyra *et al.*, 2005) y fácilmente desprendidos del suelo; produciendo el transporte por escurrimiento (Faustino, 1985).

Los factores que intervienen en la erosión hídrica, son el relieve, tipo de suelo y la vegetación, a estos factores puede sumarse la acción del hombre en el tiempo (Almorox *et al.*, 2010).

Algunas formas de erosión hídrica son:

- Erosión por salpicamiento, causado por el efecto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo.
- Erosión laminar, arrastre uniforme y gradual de delgadas capas de suelo por mantos de agua.
- Erosión de canales y canalillos, el agua de escorrentía va formando canales poco profundos.
- Erosión en cárcavas y zanjas, se produce por la gran concentración de agua de escurrimiento provocando la formación de canales de gran profundidad.
- Movimientos de masa de suelo, causado por fenómenos naturales que ocasionan desprendimientos de grandes masas de suelo.

2.1.1.2 Erosión eólica

Es aquella causada por efecto del viento, se restringe a suelos secos y sueltos, en regiones con altas variaciones de temperatura, poca precipitación, predominancia de vientos fuertes y falta de vegetación (Faustino, 1985 y Hudson, 1982). Los procesos de pérdida de suelo

por erosión eólica son: desprendimiento y transporte de las partículas, esto depende del tamaño de las partículas y la velocidad del viento (Gliessman, 2002).

Gómez (1998) menciona que, “la erosión eólica e hídrica favorecen la pérdida del suelo fértil, la cantidad permisible que marca la normatividad se ubica entre 1,8 y 6 toneladas de tierra perdida por hectárea cada año; sin embargo, en algunas zonas la pérdida del suelo oscila de 30 a 50 toneladas por hectárea”.

El control de la erosión eólica se realiza mediante actividades tales como: ordenación del territorio y de cultivos, laboreo adecuado del suelo (Hudson, 1982).

2.1.1.3 Erosión antrópica

Denominada también como erosión inducida o acelerada, es originada por acción del hombre al romperse el equilibrio entre los suelos, la vegetación y el agua o viento (Faustino, 1985).

El inadecuado manejo y laboreo del suelo (remoción del suelo), eliminación de la cobertura vegetal, producción de cultivos en áreas con pendientes pronunciadas (Tayupanta y Córdova, 1990), tala de bosques o quema de la vegetación, construcción de obras o vías de comunicación (Faustino, 1985), se constituyen en factores que facilitan que la erosión del suelo se efectúe con mayor velocidad e intensidad.

2.1.1.4 Erosión geológica o natural

Es el desgaste natural de la superficie de la tierra sin intervención de la mano del hombre y por tanto, no ejercen ninguna influencia sobre el mismo. Los factores que intervienen en este tipo de erosión son el agua de las lluvias, las corrientes fluviales, el mar, el viento, la temperatura y la gravedad (Faustino, 1985). Este tipo de erosión es de evolución muy lenta (Brissio, 2005).

La erosión geológica ha contribuido al modelamiento de los continentes, meteorización de las rocas y la formación de los suelos a largo plazo. Además es un fenómeno beneficioso para la fertilidad de los suelos ya que, las propiedades de los suelos se van desarrollando por la interacción de factores como el clima sometidos a la actividad de algunos microorganismos durante algún tiempo (Dorronsoro y García, 2004).

Erosión en el Ecuador

En el Ecuador la agricultura es una de las actividades más significativas que ayudan en la economía del país; sin embargo, el recurso más importante para su producción “el suelo” enfrenta procesos de degradación (erosión) (Valverde, 2011).

En el Ecuador la degradación de los suelos está dada principalmente por el proceso de expansión de la frontera agrícola, acción realizada con la finalidad de incrementar la producción, sin considerar que lo fundamental es mejorar la productividad y optimizar el uso de tecnologías bajo consideraciones ecosistémicas, lo que ha llevado a cultivar en superficies no aptas, ocasionando que la erosión se incremente respecto al total del territorio nacional (Jiménez, 2011).

En el Ecuador, la erosión de los suelos es un problema que afecta aproximadamente al 50% de las tierras (12'355500 ha). Alrededor del 15% de las tierras degradadas, se encuentran en el callejón interandino y sobre las vertientes que lo bordean. Las pérdidas de suelo por erosión, en tierras netamente agrícolas llegan a 80 t/ha/año de la capa superficial del suelo (Vogel, 2000).

Valverde (2011) manifiesta que en el país la región Sierra contiene mayor cantidad de suelos erosionados debido a la topografía de sus terrenos (laderas) siendo las más afectadas las provincias de Chimborazo, Cotopaxi, Loja, Bolívar y Pichincha; mientras que, en la Costa y la Amazonía, la probabilidad de suelos erosionados son menores.

Las principales causas de la erosión en los suelos de ladera en el Ecuador, es esencialmente la aplicación de los sistemas de labranza, al no usar adecuadamente las técnicas de preparación del suelo para la siembra, en el sistema conocido como “labranza convencional”, que es el conjunto de actividades realizadas previas a la instalación de un cultivo, con el paso de la maquinaria a favor de la pendiente, el suelo es removido dejando la capa superficial expuesta a la erosión hídrica (Valverde *et al.*, 2004).

2.1.2 DETERIORO QUÍMICO

Existe deterioro químico cuando los nutrientes del suelo se agotan y la producción empieza a descender, las causas de la pérdida pueden ser el uso excesivo del suelo realizado en un intento por mantener la productividad agrícola, el uso insuficiente de fertilizantes químicos

y el sustraer a los suelos de su vegetación natural. El deterioro químico acontece en todo el mundo, pero es más comprometido en Sudamérica, donde es causante del 29% de la degradación total del suelo (Wicander y Monroe, 2000).

Entre otras causas de la degradación química están la acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos (Dorronsoro y García, 2004).

2.1.2.1 Degradación de la fertilidad

Es la disminución de la facultad del suelo para soportar la vida, conforme se va degradando pierde la capacidad de producción, por lo que es necesario la adición de fertilizantes minerales, para reponer los nutrientes perdidos. En este proceso se producen alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas que conllevan a su deterioro (Dorronsoro y García, 2004). Un suelo saludable responde con rapidez al añadirle fertilizantes, lo que conlleva a aumentar la producción; mientras que, un suelo degradado tiene una respuesta lenta e incompleta.

El desequilibrio nutricional es otro factor del deterioro de la fertilidad que resulta como consecuencia de la extracción de nutrientes en cada cosecha cuando mayores son los nutrientes minerales que salen del suelo con respecto a que aquellos que son agregados por medio de la fertilización (Alvarado *et al.*, 2011).

2.1.2.2 Contaminación

La FAO citado por Brissio (2005), define la contaminación como una forma de degradación química que provoca la pérdida total o parcial de la productividad del suelo, ésta contaminación suele producirse de una manera artificial, como consecuencia de las actividades humanas, o también puede ocurrir de manera natural; así el suelo va alterando sus propiedades disminuyendo su capacidad de producir y soportar la vida. La edaficación libera sustancias contenidas en las rocas (heredadas o neo formadas) que se encuentran en el suelo alcanzando niveles tóxicos (Dorronsoro y García, 2004).

2.1.3 DEGRADACIÓN FÍSICA

La degradación física del suelo se define como la disminución de la calidad en la estructura del suelo, se puede observar en la superficie con el surgimiento de costras finas debajo de la capa arada, consecuencia del uso exagerado del tractor se forman estas capas endurecidas; con esto las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan (Cabeda, 1984). El deterioro físico del suelo ocurre cuando las partículas de suelo se compactan bajo la carga de maquinaria pesada y ganado, en especial este último. Cuando los suelos se han compactado es más costoso ararlos y las plantas tienen más trabajo para brotar ((Wicander y Monroe, 2000). Además, la degradación física induce a la pérdida de materiales, incremento de la toxicidad, aumento de la densidad aparente y disminución de la permeabilidad provocando degradación química de los suelos (Dorrnsoro y García, 2004).

El uso incorrecto de maquinaria agrícola y la preparación excesiva de suelo provoca la ruptura de la estructura del suelo, la capacidad de infiltración y retención de humedad, ocasionando que se produzca compactación en las capas inferiores a la capa arable, volviendo impermeable al suelo y favoreciendo el escurrimiento superficial y consecuente erosión (Tayupanta y Córdova, 1990).

2.1.4 DETERIORO BIOLÓGICO

El deterioro biológico del suelo se produce por la pérdida de materia orgánica, a causa de prácticas agrícolas convencionales (Canali *et al.*, 2004) alterando la flora y fauna del suelo (Michelena, 2002) con impacto en la productividad; y como consecuencia la alteración del ecosistema y por ende la pérdida de las funciones del suelo (Brussaard *et al.*, 2007).

La degradación biológica conlleva a la disminución de la actividad biológica, eliminación de cepas nativas de microorganismos que participan en el reciclaje de nitrógeno (N) y Fósforo (P), y de aquellos que ayudan a regularizar las poblaciones de patógenos del suelo (Suquilanda, s.f).

Entre los factores que afectan a la comunidad microbiana y sus funciones figuran el tipo de materia orgánica, presencia de nutrientes, propiedades fisicoquímicas de los suelos, vegetación, prácticas de manejo y presencia de contaminantes (Renella *et al.*, 2004). Otro factor del deterioro biológico del suelo es el uso inapropiado de pesticidas, al tener estos un

efecto sobre la diversidad funcional de la microflora del suelo y en consecuencia sobre su fertilidad (Fang *et al.*, 2009).

2.2 AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

La agricultura de conservación se fundamenta en el manejo integrado del suelo, agua y de todos los recursos que intervienen en las actividades agrícolas. Su característica primordial es que, bajo un régimen específico y continuado de cultivo, la regeneración del suelo es más rápida que su degradación, de modo que la producción agrícola es sostenible y rentable (Vuelta, 2011).

La agricultura de conservación trata de resolver problemas agrícolas a pequeña y gran escala, trayendo consigo mejora en la calidad de los productos, los rendimientos y por ende la calidad de vida de los agricultores (CIMMYT, 2012).

Este tipo de tecnología agrícola de conservación se identifica con tres principios básicos como son (CIMMYT, 2012 y Vuelta, 2011) el trabajar el suelo con labranza mínima o sin labranza (perturbación mínima del suelo), cobertura permanente del suelo (con residuos o cultivos de cobertura) y la rotación de cultivos.

La agricultura de conservación atrae varios beneficios como son el incremento de la retención de humedad del suelo y mejora la infiltración del agua, el mejoramiento de las propiedades del suelo, aumento de los niveles de materia orgánica, disminución de la erosión y la inducción a una agricultura sustentable, optimizando y conservando recursos en beneficio de los agricultores, entre otros (CIMMYT, 2012).

2.2.1 CULTIVOS DE COBERTURA Y ABONOS VERDES

Los cultivos de cobertura y el uso de abonos verdes son dos opciones empleadas en la agricultura de conservación.

2.2.1.1 CULTIVOS DE COBERTURA

Los cultivos de cobertura son especies que se emplean en las rotaciones de los cultivos, proporcionan efectos positivos sobre el suelo, entre los cuales están: la protección del suelo

contra la erosión, la captura y la prevención de pérdidas de nutrientes del suelo, la fijación del N₂ por parte de las leguminosas, el incremento del carbono del suelo y el mejoramiento asociado a sus características físicas, químicas y biológicas la disminución de la temperatura del suelo, el incremento de la diversidad biológica incluyendo organismos benéficos y la supresión de las malezas (Clark, 2007).

Los cultivos de cobertura pueden ser agrupados en dos categorías: 1) anuales, sembrados en el período que no es favorable para la producción de cultivos comerciales y que son destruidos antes de la siembra y, 2) coberturas vivas que crecen al mismo tiempo que el cultivo comercial durante parte o toda su estación de crecimiento (Teasdale, 2003).

Existen varias ventajas al utilizar este tipo de cultivos, entre las cuales se encuentran la disminución de la erosión hídrica, incremento de la infiltración del agua, modificación del microclima, es albergue para insectos beneficiosos. Cuando se utiliza una leguminosa como cultivo de cobertura se ha demostrado que existe incorporación de N al suelo.

Las especies óptimas para ser utilizadas como cultivos de cobertura, son aquellas que tienen una buena producción de materia seca y una alta concentración de nutrientes (Altieri, 1999). Las leguminosas son la primera opción, tienen la tasa promedio de crecimiento más rápida y generalmente contienen una mayor cantidad de nutrientes en comparación con otras especies; además, estas se adaptan con facilidad a las condiciones climáticas y son de fácil manejo. Los cultivos de cobertura permiten mantener o mejorar las condiciones del suelo (Baligar *et al.*, 2007).

La actividad de control de malezas en los cultivos de cobertura, es considerada una desventaja al ser más difíciles de controlar por encontrarse dentro del cultivo, ciertas especies favorecen un hábitat para los insectos plaga y a roedores. Además, hay que considerar la competencia por nutrientes y el uso del agua del cultivo elegido; y los costos, la selección del cultivo de cobertura y el manejo del mismo (Miller *et al.*, 1996).

2.2.1.2 ABONOS VERDES

Los abonos verdes son plantas que se cultivan para incorporarlas posteriormente al suelo, con la finalidad de proporcionar nutrientes (Álvarez *et al.*, 2003), esta práctica en la agricultura es considerada una actividad tradicional y forma parte de los sistemas agrícolas sostenibles (García, 1997). La incorporación de los abonos verdes permite mejorar las

propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, logrando aumentar los rendimientos agrícolas; además de otros beneficios como el control de plagas, malezas, nematodos y el ahorro de fertilizantes químicos entre otros (MacKenzie, 2000 y Monedero *et al.*, 2002).

Ésta representa una alternativa que puede sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes minerales. La cantidad de nutrientes acumulados en el suelo depende de la cantidad de materia orgánica, tasa de descomposición, tipo de material empleado y manejo agronómico de los residuos (Beltrán *et al.*, 2006).

Los abonos verdes generalmente son leguminosas, debido a su capacidad de fijar N atmosférico (N₂), aunque también se utilizan gramíneas y crucíferas; se emplean cuando alcanzan su máximo crecimiento, regularmente al iniciar la floración, se entierran con labores superficiales, para evitar que los elementos solubles se percolen a capas profundas y así contribuir al mantenimiento del nivel de materia orgánica en el suelo, aunque las cosechas enterradas en verde mineralizan rápidamente dejando poco residuo húmico (García, 1997). Según la rapidez con la que se mineralicen los abonos verdes, incorporados al suelo se determinará la época de siembra del siguiente cultivo. Hay que tomar en cuenta que el cultivo a incorporar (en estado verde) no sea de la misma familia del cultivo siguiente, para evitar problemas de parásitos y extracción similar de nutrientes. La incorporación de abonos verdes en el suelo permite obtener una cantidad de elementos rápidamente asimilables, así como también actividad biológica aumentada: por lo que se deberá estimar que la liberación de nutrientes este de acuerdo con el cultivo siguiente (Martín y Rivera, 2004).

Las leguminosas estimulan la actividad microbiana más que las gramíneas, debido a la mayor disponibilidad de N. Cuando se incorporan los residuos al suelo, la población microbiana se concentra alrededor de los tejidos enterrados, aumentando la cantidad de bacterias en las primeras semanas debido a la mineralización, luego de la primera semana el número de bacterias comienza a disminuir, llegando a valores originales (Gilsanz, 2012); parte del carbono liberado en el proceso de descomposición es en forma de anhídrido carbónico (CO₂) y el resto es aprovechado por la biomasa microbiana (Gilmour, *et al.*, 2003).

Varios autores han demostrado la viabilidad que tienen los abonos verdes para sustituir parcial o totalmente las necesidades de fertilizantes nitrogenados e incrementar los

rendimientos de varios cultivos agrícolas, principalmente de los cereales, lográndose impactos en países como China, EUA y Colombia (Dobereiner, 1997).

Características de los abonos verdes

Según Flores (2009), las características más importantes que una planta debe tener para ser utilizado como abono verde es que sea de fácil siembra y manejo, ciclo de crecimiento rápido, producción de semilla en un periodo corto de tiempo, adaptabilidad a la zona de cultivo, germinación fácil, con una mínima preparación del suelo, gran producción de biomasa, que sea una especie fijadora de N₂, fácil de cosechar, que pueda ser aprovechado también como alimento humano y forraje, tolerante a la acidez y baja fertilidad de los suelos.

Cuanto más rápido sea el crecimiento de la especie, mayor será la aptitud para ser introducida en una rotación. Para ser un medio de mejoramiento del suelo, debe tener el follaje abundante, y un sistema radicular fuerte. Se requiere también que la humedad del suelo sea apropiada para acelerar la descomposición, obteniendo mayores beneficios en menor tiempo en especial para los suelos pobres de materia orgánica (Álvarez *et al.*, 2003). El empleo de los abonos verdes en la producción agrícola, mejora la fertilidad de los suelos, al estimular la actividad biológica necesaria para la degradación de la materia orgánica, y representan un reservorio de carbono, N y P, protege el suelo, evitando la erosión, la desecación e infiltración de agua, la mineralización se realiza en menor tiempo, al emplear leguminosas el suelo es enriquecido con N e impide la lixiviación de este y otros nutrientes, debido a la cubierta vegetal que presenta el desarrollo de malezas es limitado (Díaz *et al.*, 1993).

La cantidad de nutrientes que se agregan con la incorporan de los abonos verdes depende de la especie y el manejo del cultivo (Valverde *et al.*, 1998) y el total de nutrimentos en las diferentes partes de la planta está relacionado por las condiciones de crecimiento (especie, variedad, marco de plantación, radiación solar, temperatura, humedad, características del suelo, sistema de riego, sistema de protección térmica, estado sanitario), dosis, tipo y forma de fertilización (González y Pomares, 2008).

Ernest (2004), indica que la cantidad de N fijado está directamente relacionado con la producción de materia seca de la leguminosa, y que en promedio fija 30 kg/ha por cada tonelada de materia seca.

En la Tabla 1, se presenta el aporte de nutrientes que se incorporan con algunos abonos verdes y su época de incorporación. Para el cultivo de haba se considera los residuos una vez que se haya cosechado las vainas.

Tabla 1. Aporte de nutrientes por la incorporación de algunos abonos verdes.

Peso de materia seca (kg/ha)	Época de incorporación	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
		Kg/ha				
Avena-vicia						
3000	Floración	46	14	84	5	3
4500	Floración	100	20	120	30	10
12000	Floración	180	60	320	40	16
Haba	Cosecha en verde					
11000	Raíces, tallos y hojas	250	14	160	55	20
4800	Raíces, tallos y hojas	100	5	60	21	8
Arveja (lojanita)						
1150	Floración	46	6	40	14	3

Fuente: Informe DMSA, Santa Catalina, 1996 (citado por Valverde et al., 1998)

La incorporación de la biomasa en las leguminosas, generalmente se realiza en el estado fenológico de prefloración, etapa en la que se concentra la mayor cantidad de N fijado y acumulado en la biomasa; aunque Bunch (2003), sustenta que algunos campesinos en Latinoamérica, incorporan los abonos verdes después de la floración e inclusive cuando el material vegetal está maduro.

Los abonos verdes aportan entre 10 y 60 t/ha de materia orgánica fresca (Valverde *et al.*, 1998 y Bunch, 1994) en cada una de las aplicaciones; incrementando y mejorando las condiciones del suelo en general, como es el caso del pH, retención de agua, equilibrio de nutrientes, estructura, contenido de materia orgánica y la fertilidad con la incorporación de cantidades considerables de N (Bunch, 1994). Además, estudios realizados por Cordone y

Hansen (1985) reportan una producción de biomasa aérea de 4000 kg/ha para avena y 3000 kg/ha para vicia.

Baigorria *et al.* (s.f), menciona que la cantidad de materia seca está relacionada con la densidad de siembra de la especie, pero Danieli (2013) hace una referencia a la cantidad de materia seca que acumula el cultivo, que en caso de *Avena sativa* varía entre 3,5 a 4,5 t/ha y de *Vicia vellosa* es de 3 a 4 t/ha.

Especies manejadas como abonos verdes

Se puede emplear varias especies como productoras de abonos verdes, pero las familias de plantas más utilizadas para este fin son las leguminosas, gramíneas y crucíferas (Lloyd, 1997 y Flores, 2009).

El mayor aporte de materia orgánica se presenta cuando la planta se encuentra en un estado verde y tierno, facilitando la incorporación y descomposición para los macro y microorganismos; además, se obtiene una excelente fuente de nutrientes para mantener el suelo fértil (Sarmiento, 2011).

Leguminosas

En el sistema radicular de estas plantas se forman nódulos, en donde se establecen bacterias nitrificantes del suelo del género *Rhizobium*, las cuales atrapan el N₂ del aire y lo transforman e incorporan al suelo (fijación biológica del N atmosférico), además de incorporar materia orgánica al suelo, que después se podrá transformar en nutrientes (Muñoz, 2014).

Las leguminosas que se emplean principalmente como abonos verdes son: trébol blanco enano (*Trifolium repens*), trébol violeta (*T. pratense*), veza vellosa (*Vicia villosa*), habas (*Vicia faba*), altramuces (*Lupinus sp.*), meliloto amarillo (*Melilotus officinalis*), serradella (*Ornithopus sativus*); así como también los yeros (*Vicia ervilia*), las algarrobas (*Vicia monanthos*) y la almorta (*Lathyrus satirum*). Las mezclas de leguminosas con cereales u otras gramíneas son habituales entre las principales están: Veza + cebada; veza + avena; tréboles + raygrass; guisante forrajero + veza (Flores, 2009).

La cantidad de N que puede fijar la simbiosis *Rhizobium* – leguminosa varía entre 50 y 800 kg/ha/año, logrando sustituir grandes cantidades de fertilizante nitrogenado (Peña, 2000). El rango frecuente en la fijación de N con alfalfa está entre 120 – 800 kg/ha/año, en habas entre 100 y 300 kg/ha/año, en fréjol entre 25 y 100 kg/ha/año (Peña y Zapata, 1999). Otros datos presentan autores como Brady (1974) el cual menciona que el aporte de N por fijación simbiótica de leguminosas puede ser de 50 a 500 kg/ha/año, por fijación no simbiótica se puede acumular de 20 a 100 kg/ha/año; mientras que Sánchez (1997) estima que especies como haba y chícharo en condiciones favorables pueden fijar el 80 – 90% de sus requerimientos de N mediante la fijación simbiótica y la soya entre el 40 – 60% y el resto toma del suelo.

Los cultivos plurianuales fijan entre 110 y 225 kg/ha/año, estas cantidades pueden variar según las condiciones en las que se desarrollen; las leguminosas anuales de ciclo corto pueden fijar entre 50 y 100 kg/ha/año (Villalobos *et al.*, 2009). En la Tabla 2, se puede observar la fijación de N atmosférico realizado por algunas leguminosas.

Tabla 2. Cantidad de nitrógeno fijado por leguminosas.

Leguminosa	N fijado (kg/ha/año)
	Intervalo
Alfalfa	60 – 500
Tréboles	60 – 300
Garbanzos	0 – 120
Guisantes	30 – 200
Soja	65 – 180
Judías	0 – 80
Habas	60 – 300

Fuente: (Villalobos et al., 2009)

Se considera que, un factor influyente para la fijación simbiótica de N₂ que realizan los abonos verdes es la densidad de siembra, debido al consumo inicial de N del suelo que realizan estas plantas para estimular una mayor fijación de N atmosférico (Macedo *et al.*, 2003).

El periodo de descomposición de los residuos de las leguminosas es más rápido en la fase inicial, mientras que en las gramíneas esta velocidad es claramente menor (Bartz, 1998).

Gramíneas

En general las gramíneas aportan mayor cantidad de celulosa a la mezcla sembrada con la leguminosa (Flores, 2009). Son especies que producen una mayor cantidad de materia verde para enterrar, una vez que se encuentran enterrados su descomposición es lenta; éstas ablandan el terreno debido a que el sistema radicular profundiza en el suelo, ayudando a mejorar el sustrato (Bartz, 1998).

Las gramíneas pueden ser manejadas de mejor manera en el estado de grano lechoso. Las especies más utilizadas son el centeno (*Secale cereale*), asociado a algarroba o habas en la época de otoño; mientras que, la avena (*Avena sativa*) es adecuada para siembra en sociedad con algarroba y guisante para la época de primavera (Flores, 2009).

Crucíferas

Proporcionan un buen abono verde y se desarrollan muy rápido, por lo cual son utilizadas cuando se dispone de poco tiempo de siembra entre cultivos. Al tener un sistema radicular desarrollado utilizan de mejor manera las reservas minerales, que posteriormente se conducirán a las partes aéreas de la planta, las mismas que luego serán incorporadas al suelo (ECO Agricultor, 2013).

Pueden acompañar a las leguminosas, tienen un desarrollo muy rápido, movilizan fácilmente las reservas nutricionales del suelo y aportan mayor cantidad de hidratos de carbono. Las especies generalmente empleadas son el nabo forrajero (*Brassica napus var. Oleífera*), mostaza blanca (*Sinapis alba*), rábano forrajero (*Raphanus raphanistrum*). Además las plantas de esta familia, con la acción de sus raíces, hacen asimilable el fósforo (P) presente en el terreno en estado insoluble (Flores, 2009).

Mezclas de cultivos para abonos verdes

La asociación de especies de plantas de diferentes familias (gramíneas, leguminosas, crucíferas), para abonos verdes dan mejores resultados que establecer solamente un cultivo, porque permite obtener mayor diversidad de material vegetal y generar abundante biomasa en la parte aérea y dentro del suelo, al desarrollarse el sistema radicular en distintos niveles (Gomero y Velásquez, 1999).

La siembra asociada de gramíneas con leguminosas tienden a formar un humus más estable, enriqueciendo el suelo (Muñoz, 2014). Las raíces de las gramíneas mejoran el suelo ablandándolo en la superficie; mientras las leguminosas aportan N, las gramíneas mejoran el contenido de materia orgánica.

Desventajas de los abonos verdes

Los abonos verdes tienen la capacidad de mantener la cantidad de materia orgánica del suelo cuando estos son usados con efectividad y combinándolos con otras prácticas. Este tipo de abonos no son tan eficientes para añadir materia orgánica como lo son otro tipo de cultivos como es el caso de los céspedes en intervalos de tiempo más largos, ya que los céspedes tienen un crecimiento abundante de raíces y a menudo son reemplazadas por nuevos, y de esta manera las raíces viejas son una fuente de materia orgánica (Delorit y Ahlgren, 1986).

Los efectos en el mejoramiento de las condiciones del suelo por incorporación de abonos verdes son evidentes al pasar varios años, no es perceptible a corto plazo; por lo que los abonos verdes se deben adoptar como una práctica regular en los sistemas de producción.

Aplicaciones de los abonos verdes

Viteri *et al.* (2008), estudiaron varias asociaciones de abonos verdes aptos para suelos del municipio de Turmequé (Boyaca) que presentaban severos grados de erosión. Se estudiaron 13 asociaciones de abonos verdes, 10 triples y 3 cuádruples, conformadas con las especies: avena caldas (*Avena sativa* L.), girasol (híbrido Hi Doris) (*Helianthus annuus* L.), higuierilla (*Ricinus communis* L.), nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.), quinua (*Chenopodium quinua*) y la leguminosa vicia atropurpúrea (*Vicia sativa* L.), las asociaciones tuvieron en común la vicia. Los resultados indicaron que el abono verde que mejor se adaptó a las condiciones de ese tipo de suelo fueron nabo forrajero, avena y vicia al estar los tres en asociación con promedios de 28 t/ha, 6 t/ha y 7 t/ha de biomasa fresca para nabo, avena y vicia; respectivamente.

Hernández y Viteri (2006) emplearon los abonos verdes para el manejo y rehabilitación de suelos sulfatados ácidos (suelos con bajo contenido de materia orgánica) de Boyacá

(Colombia), utilizando especies como avena “Cajicá” y “Cayuse” (*Avena sativa* L.), centeno (*Cecale cereale*), girasol (*Helianthus annuus* L.), maíz forrajero (*Zea mays*), nabo forrajero (*Raphanus sativus* L. var. *Oleiferus* Metzg), quinua (*Chenopodium quinoa* Wild), remolacha forrajera (*Beta vulgaris* L.), rábano forrajero (*Raphanus raphanistrum*) y vicia (*Vicia sativa* L.). El nabo forrajero y el rábano forrajero fueron las más aptas aportando 7,9 t/ha y 8 t/ha de biomasa, seguido por las avenas y en tercer lugar el centeno, girasol y vicia. Estas especies fueron las de mayor importancia, en cuanto a producción de biomasa, aporte de materia orgánica y control de arvenses.

Ruiz y Loaeza (2003), evaluaron el efecto de abonos verdes como soya (*Glycine max.*), crotalaria y el fréjol de mata (*Phaseolus vulgaris*) en asociación con maíz sobre el rendimiento de forraje y materia seca. En la asociación maíz con fréjol o soya presentaron una disminución del 28.5% en el rendimiento de forraje a la observada cuando se siembra en monocultivo; mientras que, la asociación de maíz con crotalaria superó la producción de forraje con respecto al maíz solamente; aportando 4900 kg/ha de forraje (1959 kg/ha de crotalaria y 2941 kg/ha de maíz).

En Ecuador, en el Cantón Chambo de la provincia de Chimborazo, Romero (2010) realizó un estudio para rehabilitar suelos cangaguosos (duripan) mediante la incorporación de abonos verdes, empleando especies como avena y vicia solas y en asociación, y en diferentes porcentajes de floración para su incorporación. Con la incorporación del 100% de vicia (100 kg/ha) con el 50% de floración, se aportó 32,86 t/ha de biomasa, y nutrientes como N, P y potasio en cantidades de 141 kg/ha, 18,7 kg/ha y 48,99 kg/ha; respectivamente.

Chasi y Muso (2009), evaluaron en el Cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi, cinco especies de leguminosas empleadas como abonos verdes en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), las leguminosas evaluadas fueron chocho, lenteja putza, vicia/avena, arveja y trébol blanco. Se incorporan al suelo en la etapa de floración y después de 30 - 60 días se realizó la siembra, bajo estas condiciones la producción de biomasa fue mayor con el chocho con 33 t/ha de biomasa fresca y un rendimiento de 20,3 t/ha de tubérculo.

Singh *et al.* (2010), destacaron varios beneficios de usar abonos verdes, como, el control de la erosión, incremento del desarrollo vegetativo, uso eficiente de los recursos por las plantas; pero sin duda la principal ventaja es el aporte de N disponible en el suelo. Un

estudio realizado en Zimbabwe utilizando como abonos verdes plantas de varios géneros como *Crotalaria*, *Indigofera* y *Tephrosia*, determinaron que, la combinación de leguminosas aportó de 125 a 210 kg de N/ha dependiendo del nivel de fertilidad del suelo, siendo mayor en suelos con alta concentración de P, además la producción de maíz que se cultivó después de la producción de los abonos verdes indicó un incremento del 30% en donde se utilizó la combinación de leguminosas (Nezomba *et al.*, 2010).

Estudios realizados en suelos similares, han podido comparar entre las prácticas convencionales de fertilización y el uso de abonos verdes, teniendo un aumento de la concentración de materia orgánica desde el primer año, aunque la tasa de acumulación de materia orgánica es muy lenta (Herencia *et al.*, 2008). En zonas áridas de Baja California Sur se incrementó el porcentaje de materia orgánica de 0,54 a 0,76% el primer año que se incorporó frijol dolichus (*Lablab purpureus*) como abono verde, considerando que la cantidad de materia verde de una hectárea de frijol dolichus fue de 49,98 Mg y aportó de 15 a 40 kg de N por cada 1000 kg de materia seca, contribuyendo al suelo hasta con 240 kg de N mineral con la incorporación de este abono verde (Beltrán *et al.*, 2005).

Thorup (2006) realizó un estudio utilizando únicamente fertilización con abonos verdes en suelo franco para determinar las diferencias en el desarrollo de los cultivos, manejo seis tipos de abono verde (*Vicia villosa*, *Vicia sativa*, *Trifolium incarnatum*, *T. alexandrinum*, *Secale cereale* y *Lolium multiflorum*) en cuatro cultivos (cebolla, lechuga, zanahoria y repollo). Los resultados del estudio mostraron una acumulación entre 26 y 134 kg de N/ha, siendo *Vicia villosa* la que aportó al suelo mayor cantidad de N, seguido de las leguminosas *Vicia sativa*, *Trifolium incarnatum*, *T. alexandrinum* y menor contenido con *Secale cereale* y *Lolium multiflorum*.

García (1997), alude que el momento para incorporar el abono verde es una decisión muy importante, en la que se tiene en cuenta la formación de fitomasa de la planta y la etapa de mayor fijación de N, lo que generalmente coincide con las etapas de floración y la formación de vainas. Franzluebbbers *et al.* (1994), realizaron un estudio con residuos de capulí, y determinaron que el N mineralizado a la semana 10 fue 24% mayor que a la semana 7, poniendo a consideración que se debe dejar un tiempo prudencial entre la incorporación del abono verde y la siembra del siguiente cultivo, obteniendo una descomposición total de los residuos. Otros autores recomiendan sembrar el cultivo siguiente en el menor intervalo de tiempo a la incorporación del abono verde para obtener

mayores rendimientos, sobre todo en zonas tropicales, precipitaciones intensas y altas temperaturas (Martín y Rivera, 2004).

Kayser & Scholles (1998) concluyen que la asociación de gramíneas y leguminosas es una alternativa válida para mantener con cobertura la superficie del terreno por un tiempo prolongado, consiguiendo fijación simbiótica de N y disponibilidad inmediata de nutrientes.

2.3 MINERALIZACIÓN E INMOVILIZACIÓN

La mineralización e inmovilización son procesos de transformación del N en el suelo, desde la fase orgánica a la fase inorgánica o mineral (mineralización) o viceversa (inmovilización).

2.3.1 MINERALIZACIÓN

La mineralización consiste en una serie de procesos mediante los cuales los componentes orgánicos como residuos de plantas o animales son degradados al ser incorporados al suelo hasta ser transformados a formas minerales más simples (Martín y Rivera, 2001). En el caso del N este pasa de N orgánico a N inorgánico en sus formas tales como NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- (Stevenson, 1982).

Fassbender y Bornemisza (1987), señalan que en los procesos de mineralización y humificación las transformaciones son de naturaleza bioquímica, en la cual después de la destrucción mecánica y física de los restos vegetales y animales, los microorganismos por medio de sus jugos digestivos y enzimas destruyen los compuestos orgánicos y dan lugar a la liberación de minerales. Los grupos de microorganismos que participan en el proceso de mineralización son los siguientes:

Microflora

Bacterias: *Micrococcus sp.*; *Bacterium sp.*; *Bacillus sp.*; *Azotobacter sp.*; *Clostridium sp.*

Hongos:

Ascomicetes: *Aspergillus sp.*; *Penicillium sp.*

Hifomicetes: *Dematiacem sp.*; *Fusarium sp.*; *Basidiomicetes. Cladosporium sp.*;
Hormodendrum sp.

Basidiomicetes: *Mucor*, *Fusarium*

Actinomicetos: *Streptomicetes*; *Nocardia sp.*

Microfauna protozoaria

Rizópodos, Flagelados, ciliados.

Microfauna de animales superiores

Nematodos, lombrices, hormigas, termitas, colemboles.



Ilustración 1. Mineralización del nitrógeno

Fuente: (Fassbender, 1984)

2.3.1.1 Procesos de mineralización

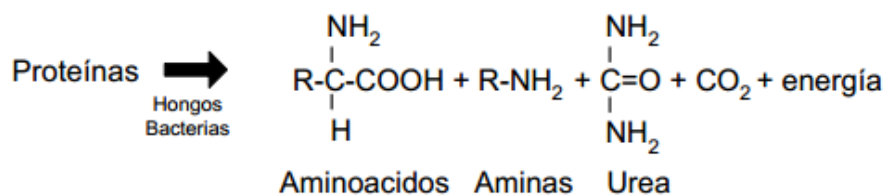
El proceso de mineralización en el caso de N involucra algunas reacciones. El N orgánico se transforma en N inorgánico (NH_4^+ o NO_3^-). La transformación a NH_4^+ requiere de dos reacciones: aminización y amonificación, que son llevadas a cabo por una gran variedad de microorganismos no especializados, incluyendo bacterias aeróbicas y anaeróbicas, hongos y actinomicetos. Este proceso es lento en comparación con la transformación que tiene el NH_4^+ hasta llegar a NO_3^- , se denomina nitrificación y en el que intervienen algunas bacterias (Fassbender, 1984).

Aminización

Es la degradación de las proteínas y otros compuestos complejos nitrogenados en aminoácidos y amidas (Navarro y Navarro, 2013). Primero las enzimas proteolíticas actúan sobre las macromoléculas de las proteínas, los ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados hasta descomponerlas en aminoácidos (Arana, 2003).

Esta degradación es el resultado de la digestión enzimática realizada por organismos del suelo, transformando en componentes más simples principalmente aminas, aminoácidos y ureas (Tisdale *et al.*, 1993). A través de esta digestión los microorganismos del suelo obtienen la energía necesaria para su desarrollo y al mismo tiempo liberan dióxido de carbono (Navarro y Navarro, 2003).

En este proceso se puede esquematizar de la siguiente manera:

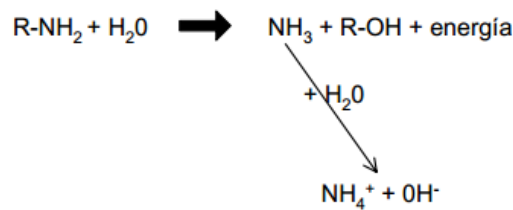


El proceso de disolución y dislocación molecular lo realizan las bacterias aeróbicas como el *Bacillus pyocyaneus*, *B. fluorescens*, *Proteus vulgaris* y *Pseudomonas*; así como muchas especies anaerobias, en especial el *B. putrificus*, *B. proteobacter* y *Clostridium*. De menor importancia es la intervención de algunos hongos cuyas especies pertenecen a *Mucor*, *Fusarium*, los cuales junto con los Actinomices, predominan en las fases avanzadas de la descomposición (Stevenson, 1982). Las bacterias actúan en pH neutro o alcalino, mientras que en condiciones de pH ácidos los primeros en atacar las proteínas son los hongos (Tisdale *et al.*, 1993).

Amonificación

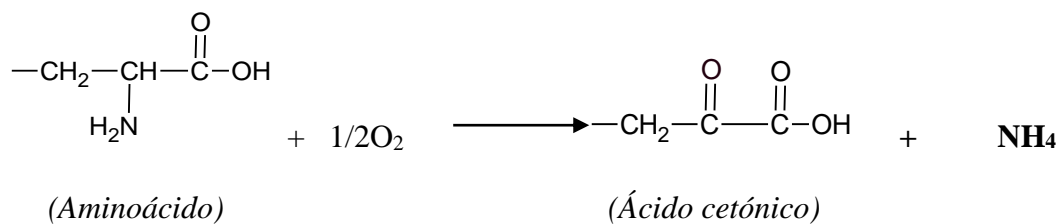
La amonificación es el proceso de transformación bioquímica de los aminoácidos y aminas en amonio (Navarro y Navarro, 2013). El N orgánico (proteínas y macromoléculas nitrogenadas de los restos vegetales, animales y de microorganismos) es degradado por la población microbiana transformándolo en amonio (NH₄⁺). Este proceso consiste en una proteólisis seguida de una desaminación; los aminoácidos provenientes de la proteólisis

son una fuente alternativa al N mineral para los microorganismos normalmente se produce una incorporación directa de los aminoácidos liberados a la síntesis de proteínas, pero algunos microorganismos utilizan como fuente de carbono, dándose procesos de desaminación que liberan iones amonio al medio (Reigosa *et al.*, 2004). Esta acción es realizada por microorganismos como *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Clostridium sp.*, *Esclerichia*, *Streptococcus* (Fassbender, 1984). Este proceso se esquematiza en la siguiente reacción:

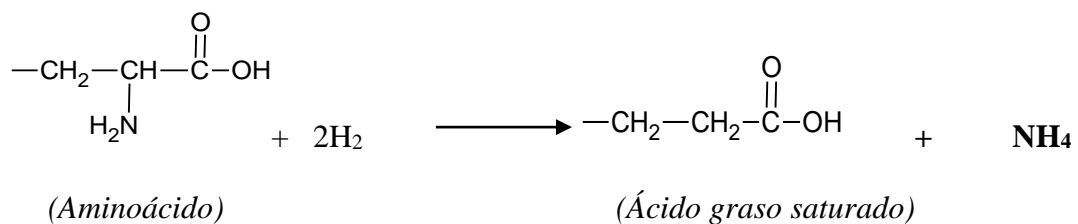


La amonificación se produce a través de los procesos de desaminación y descarboxilación; representados de la siguiente manera (Fassbender, 1984):

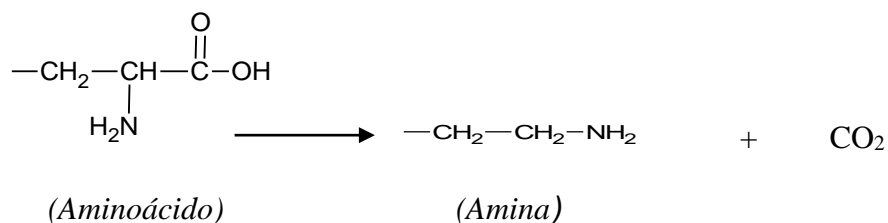
Desaminación oxidativa



Desaminación reductiva



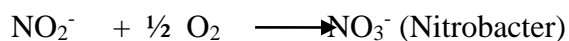
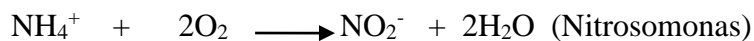
Descarboxilación



El amonio resultante de ésta etapa tiene algunos destinos, entre los cuales están la absorción por parte de las plantas, absorción por parte de minerales arcillosos o por la materia orgánica, fijación por los minerales, inmovilización por microorganismos, lixiviación a través de suelo u oxidación hasta el nivel de nitratos (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Nitrificación

La nitrificación es el proceso de transformación del catión poco móvil de N, como el amonio, en un anión extremadamente móvil (nitrato). Es una oxidación biológica del N-NH₄⁺ hasta N-NO₃⁻, efectuada por dos grupos de bacterias quimioautótrofas. El primero lo conforman bacterias del género *Nitrosomonas*, *Nitrosolobus* y *Nitrospira*, las que oxidan N-NH₄⁺ sólo hasta N-NO₂⁻ (nitrito). El segundo grupo son bacterias del género *Nitrobacter*, las que completan la oxidación hasta N-NO₃⁻ (Tisdale *et al.*, 1999). El proceso ocurre en dos fases:



La nitrificación depende entre otros factores del pH, disponibilidad de N-NH₄⁺, humedad, temperatura, relación carbono/nitrógeno (C/N) del material, oxígeno y población microbiana en el suelo (Tisdale *et al.*, 1999) y en condiciones adecuadas de estas, la nitrificación convierte 10 - 70 kg de N/día, pudiendo transformar la fertilización amoniacal en nitratos en menos tiempo (pocos días). Ocasionalmente la nitrificación sucede de manera más rápida que la mineralización, y se emplea “mineralización” para explicar el proceso de transformación de N orgánico en N mineral (fundamentalmente nitrato y amonio) (Ramírez, 2004).

2.3.1.2 Factores que determinan la mineralización

Los factores que determinan las tasas de mineralización del N de los residuos orgánicos están la cantidad y calidad de materiales de restos animales o vegetales, relación de C/N,

ácidos/bases, lignina/celulosa, contenido de minerales, presencia de taninos, mineralogía de las arcillas, pH, temperatura, aireación, humedad y manejo (Fassbender, 1984).

La calidad y el volumen del material incorporado al suelo, y el nivel de manejo regulan el grado y la extensión de la inmovilización o liberación de N (Martin y Rivera, 2001).

Los abonos verdes, en general, se deben incorporar cuando han desarrollado la mayor cantidad de fitomasa; si la relación C/N es alta se deberá esperar al menos 60 días para establecer el siguiente cultivo. Si se desea acelerar el proceso de descomposición se puede utilizar fertilizante químico nitrogenado que disminuye la relación C/N relativa, proporcionando el N necesario para la mineralización (Coullet *et al.*, 2001).

La humedad es un factor determinante sobre los procesos de mineralización e inmovilización, y la mineralización neta aumenta con una mejor aireación (Khalil *et al.*, 2001). La mineralización de los abonos verdes es más lenta en suelos inundados que en los aireados (Rekhi & Bajwa, 1994).

La mineralización se incrementa con el aumento de temperatura y se reduce a bajas temperaturas (Rivera *et al.*, 1999), el rango óptimo para la mineralización se produce entre los 35 - 55 °C, debido a que la mayoría de los microorganismos que realizan este proceso son termófilos.

Los límites de pH para que el proceso de mineralización se realice varía entre 5,5 a 10, siendo el óptimo cercano a 8,5; a medida que aumenta el pH del suelo aumenta los rangos de mineralización pudiendo alcanzar 16.8 mol/g/hora con un pH igual a 8,0 (Stevens *et al.*, 1998). Los niveles de pH en el suelo bajan, por efecto de descomposición de los abonos verdes, debido a que en el proceso se libera dióxido de carbono (Colacelli, 2002).

Relación carbono/nitrógeno

Es la relación que existe entre el carbono presente en la materia orgánica y el contenido de N, las variaciones de esta relación están influenciadas por las condiciones climáticas, temperatura, cantidad y calidad del material vegetal. El conocer la relación C/N permitirá predecir la descomposición y mineralización después de incorporado el abono verde (Jensen *et al.*, 1997).

La relación C/N y la cantidad de lignina y celulosa que se encuentran en los abonos verdes tienen una influencia inversa con la velocidad de descomposición. A mayor relación C/N y por ende mayor cantidad de lignina y celulosa, más lenta será la descomposición de los residuos, quedando acumulados en el suelo en forma parcialmente descompuesta (España *et al.*, 2002). En la Tabla 3, se presenta la relación C/N de algunos materiales.

Tabla 3. Relaciones C/N típicas de algunos materiales orgánicos.

Material	Relación C/N
Biomasa microbiana	8/1
Residuos de trébol	23/1
Paja de cereal	80/1
Tallos de maíz	60 - 150/1
Hojas frescas	40 - 80/1
Humus del suelo	10 - 12/1
Estiércol bovino descompuesto	20/1
Residuos de leguminosas	12/1
Desechos (leñosos) forestales	150-500/1

Fuente: Adaptado de McLaurin and Wade (2009); y Villalobos et al. (2009)

2.3.1.3 Estimación de la mineralización

La estimación del N mineralizable es una herramienta de diagnóstico para determinar la fertilización nitrogenada.

Nitrógeno Potencialmente Mineralizable (NPM)

El N potencialmente mineralizable se refiere a la fracción del N orgánico edáfico que puede ser convertido por la actividad de la biomasa microbiana aerobia heterótrofa a formas inorgánicas solubles (fundamentalmente NH_4^+ y NO_3^-), lo cual es una alternativa eficaz para cuantificar el aporte de N del suelo para los cultivos (Stanford & Smith, 1972).

La cantidad total del N mineral en el suelo resulta de la diferencia entre la tasa que es producido de las reservas de MO del suelo y la tasa que es removido por lixiviación, por el crecimiento de los cultivos y por otras vías de pérdida en que intervienen los microorganismos del suelo; y la proporción de nitrato y amonio depende de la tasa de

oxidación del NH_4^+ a NO_3^- , la extracción de NO_3^- por la planta y las pérdidas por lixiviación (Russell, 1976).

La mineralización depende directamente de la relación C/N, puesto que, mientras más elevada (ejemplo paja) esta sea, los microorganismos necesitan mayor cantidad de N y por tanto forman sus propias proteínas; además este proceso ocasiona un descenso en la concentración de NO_3^- (inmovilización), verificando la importancia de la relación C/N e con el N orgánico potencialmente asimilable (Appel & Mengel, 1990).

La determinación del N potencialmente asimilable por el cultivo considera la fracción de N mineral y la de N orgánico fácilmente mineralizable; para esta última se considera dos condiciones: (1) identificación de los compuestos nitrogenados de bajo peso molecular que son fácilmente mineralizables (aminoácidos, aminos), como un indicador; y (2) condiciones en las que se desarrollará la mineralización. Las características tales como pH del suelo y la relación C/N, las condiciones climáticas, sistema de labranza del suelo, periodo del año en que se cultivará, se pueden establecer antes del comienzo del cultivo (Díez, 1999).

a) Incubación aeróbica

Entre las técnicas capaces de facilitar información sobre el N potencialmente asimilable, se cita el método de incubación, propuesto por Stanford & Smith (1972), que permite obtener información acerca de la velocidad de mineralización del N en el suelo; y el modelo de Anderson & Ingram (1993), que indica que bajo condiciones *in vitro* el proceso de mineralización del N se puede realizar bajo incubación en el laboratorio, siendo un método que puede utilizarse para cuantificar la mineralización neta y el modelo para estimar las tasas netas de transformación del N (Hart *et al.*, 1994).

Las tasas de mineralización, nitrificación e inmovilización del N en el suelo constituyen parámetros de importancia en la caracterización de la disponibilidad del nutriente para los cultivos. El conocimiento de las tasas de mineralización es necesario para determinar las cantidades adecuadas para reponer el nutriente.

Para el proceso de mineralización del N en incubación, la humedad de la muestra de suelo que proveniente del campo deberá estar a capacidad de campo, con lo cual se estima la

mineralización bajo condiciones óptimas y refleja el efecto de la calidad del sustrato sobre la mineralización (Vitousek *et al.*, 1997).

Anderson & Ingram (1993), indican que la mineralización y nitrificación neta es el resultado de la diferencia entre el N mineral entre dos períodos de tiempo ($t_1 - t_0$), y los resultados son expresados, preferentemente, como $\mu\text{g N/g}$ de suelo seco/14 días, mientras que Hart *et al.* (1994), calcula la mineralización y nitrificación neta, luego de una incubación aeróbica en 28 días.

b) Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT)

Es un método utilizado para pronosticar la cantidad de N que estará disponible para la absorción del cultivo (Khan *et al.*, 2001), es utilizado para determinar la cantidad de N mineralizable estimando la cantidad de N en forma de amino azúcares.

Los amino azúcares son compuestos nitrogenados que provienen de las paredes celulares de microorganismos del suelo como hongos, bacterias y exoesqueletos de insectos, que representan entre el 3 - 11% del N orgánico del suelo. Normalmente, el 95 - 98% del N total que tiene el suelo es de origen orgánico, en tanto que solo el 2 - 5% restante, se presenta en la forma inorgánica como amonio y nitratos (Daverede, 2005). Estos compuestos son más fácilmente mineralizables que los aminoácidos (Mulvaney *et al.*, 2001).

El procedimiento se basa en la medición directa de amonio, liberado cuando las muestras de suelo se calientan durante cinco horas, convirtiendo el NPM en amoníaco gaseoso, liberado durante la digestión. La cantidad de amoníaco se determina por valoración, que estima el suministro de N hidrolizado al suelo (Khan *et al.*, 2001).

El ISNT permite estimar el N que se podrá mineralizar durante el crecimiento del cultivo, pero no predice la cantidad de N inorgánico inmediatamente disponible en un momento puntual, ya que la tasa de mineralización depende de factores como la humedad y la temperatura. Cuando estas condiciones ambientales son favorables para que ocurra la mineralización, el N orgánico potencialmente disponible se transformará en N inorgánico y el nivel de ISNT se verá reflejado en el rendimiento del cultivo. Bajo condiciones de déficit hídrico, la tasa de mineralización del N orgánico se reducirá respecto a las condiciones de humedad óptima (Daverede, 2005).

Mineralización de los abonos verdes

Meelu *et al.* (1994), demostraron que la edad de los residuos vegetales influye directamente sobre el proceso de mineralización, como en el contenido de N y C. Se realizó la incubación aeróbica de la especie *Sesbania rostrata*, encontrando que el N mineralizado disminuye cuando la edad de la planta aumenta; es decir, cuando los abonos verdes son incorporados al pasar más días desde su germinación. En Brasil se opta tener una relación intermedia entre C y N con la utilización de la mezcla de leguminosas y gramíneas, obteniendo una mineralización paulatina del N, evitando que se inmovilice o en su caso sea lavado (Calegari, 1999).

2.3.2 INMOVILIZACIÓN

La inmovilización es el proceso de transformación del N inorgánico (NH_4^+ , NO_2^- o NO_3^-) a N orgánico. Si la materia orgánica en descomposición contiene poco N en relación a C, los microorganismos utilizarán el N mineral del suelo (Villalobos *et al.*, 2009).

Los microorganismos descomponen la nueva fuente de energía presente en los residuos orgánicos, pero al mismo tiempo necesitan N para formar las proteínas de sus cuerpos, de esta forma el N inorgánico del suelo es transformado en N orgánico que se encuentra presente en las proteínas de los microorganismos del suelo. Esta forma de N no es inmediatamente disponible para el crecimiento de las plantas, pero mucho de este N regresa gradualmente a forma disponible a medida que los microorganismos mueren y sus cuerpos se descomponen. En este proceso el N inorgánico es incorporado e inmovilizado temporalmente en los microorganismos (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La mineralización y la inmovilización ocurren simultáneamente en el suelo, estos procesos están influenciados principalmente por la relación C/N de la Materia Orgánica que se va a descomponer. Los materiales con relación C/N mayor que 30:1 favorecen la inmovilización (Bertsch, 1995).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en la provincia de Imbabura en la localidad de Peribuela (Sector El Rabanal).

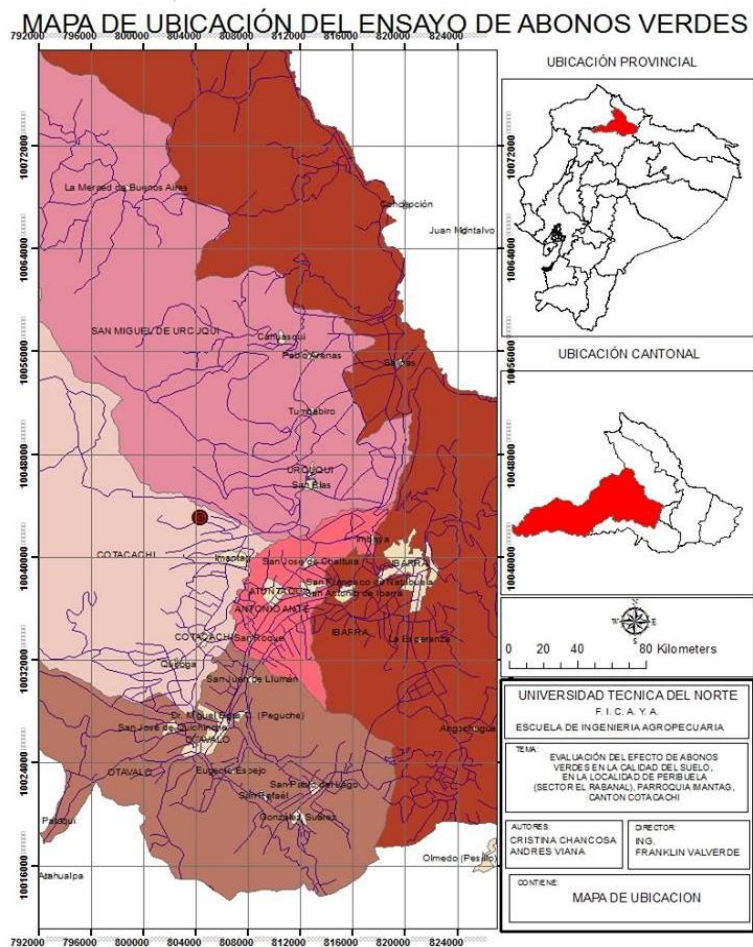


Ilustración 2. Mapa de ubicación del ensayo de abonos verdes.

3.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Provincia: Imbabura

Cantón: Cotacachi

Parroquia: Imantag

Localidad: Peribuela
Sector: El Rabanal

Fuente: (Gobierno Provincial de Imbabura, Oficina de turismo, 2012)

Latitud: 0° 23' 21" N
Longitud: 78° 15' 57" O
Altitud: 2574 msnm
Pendiente: 5 - 12% (suave)

Fuente: (INIAP, 2012)

3.1.2 ZONA DE VIDA

Según Cañadas (1983), Peribuela corresponde a la zona de vida Bosque seco Montano-Bajo (bs-MB) (de acuerdo al mapa de zonas de vida, basado en la clasificación de Holdridge), con una temperatura media anual de 12 °C con una precipitación media anual de 1026 mm.

3.1.2.1 CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Temperatura promedio: 12 °C
Precipitación anual: 813 - 1358 mm/año

Fuente: Worldclim de 90 mts.

3.1.3 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS

Morfología: Formación volcánica
Profundidad efectiva: 60 cm
Drenaje: Bueno
Temperatura: Isomésico
Humedad: Ústico

Color en húmedo:	10YR3/3
Color en seco:	10YR5/2
Clase textural:	Franco
Arena (%):	36
Limo (%):	46
Arcilla (%):	18

Fuente: (INIAP, 2012)

3.1.3.1 Clasificación taxonómica

Los suelos de la provincia de Imbabura, pertenecen al orden de los Molisoles (Mejía, 1986). En el Cuadro 1, se describe el perfil de suelo correspondiente al área de estudio, ubicada en el sector “El Rabanal”, Localidad Peribuela, Parroquia Imantag, Cantón Cotacachi.

Cuadro 1. Descripción del perfil de suelo del área de estudio del Ensayo de Abonos verdes. Peribuela, 2013.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 – 30	Color: Seco 10YR 5/2; Húmedo 10YR 3/3. Estructura: Granular, tamaño fino; Grado débil. Textura: Franco-Limoso (Arena 39%; Limo 40% y Arcilla 21%). Consistencia: Adherencia Ligeramente; Plasticidad: Plástico; Humedad del suelo: 16.62%; Densidad aparente: 1.48 g/cm ³ . Porosidad: Muy pocos; Muy finos; Tubular. CC: 32.7% y PMP: 18.3% Fragmentos: grava fina. Límites entre horizontes: Gradual; Topografía ondulada. Raíces: Pocas, muy finas y finas, sin orientación, fibrosas y suelo removido. Temperatura a 50 cm: 17.7 °C, (México). pH H₂O: 6.91; pH KCl: 6.22; pH NaF: 9.49; pH CaCl₂: 6.35. C.E.: 0,17 dS/m. Saturación de Bases: Saturado; CIC: 16.4 meq/100ml de suelo. Reacción al NaF: (-); Reacción al H₂O₂: (-). MO: 4.8% Actividad Biológica: Lombrices – pocas
Ah	30 – 60	Color: Seco 10YR 5/2; Húmedo 10YR 2/2. Estructura: Tipo: Angular; Tamaño: Medio; Grado: débil. Textura: Franco-Arcilloso

		(Arena 37%; Limo 34% y Arcilla 29%). Consistencia: Adherente; Plasticidad: Plástico; Humedad del suelo: 26.54%; Densidad Aparente: 1.89 g/cm ³ . Porosidad: Pocos; Muy finos; Tubular. CC: 28.5% y PMP: 25.1%. Límites entre horizontes: Distinción: Gradual; Topografía suave; Fragmentos: Grava Fina. Raíces: Muy pocas. pH H₂O: 6.91 ; pH KCl: 5.83; pH NaF: 9.61; pH CaCl₂: 6.13; C.E.: 0,18 dS/m. Saturación de bases: Saturado; CIC: 16.0 meq/100ml de suelo. Reacción al NaF:(-); Reacción al H₂O₂: (-). MO: 2.0% Actividad biológica: Lombrices – pocas
Bgth	60 – 85	Color: Seco 7.5YR 6/1; Húmedo 10YR 3/4. Estructura: Subangular y angular; Tamaño: Medio; Grado: Muy fuerte. Textura: Franco-Arcilloso (Arena 37%; Limo 30% y Arcilla 33%). Consistencia: Adherente; Plasticidad: Plástico; Humedad del suelo: 35.52%; Densidad aparente: 2.00 g/cm ³ . Porosidad: Pocos; Muy finos; Tubular. CC: 42.2% y PMP: 35.3%. Raíces: Muy pocas. Límites entre horizontes: Claro; Topografía suave; Fragmentos: Grava fina-media. pH H₂O: 7.00 neutro; pH KCl: 5.84; pH NaF: 9.99; pH CaCl₂: 6.45; C.E.: 0.25 dS/m. Saturación de bases: Saturado; CIC: 16.0 meq/100ml suelo. Reacción al NaF: (-); Reacción al H₂O₂: (-). MO: 1.0% Actividad Biológica: Lombrices – pocas
Bh	85 – 150	Color: Seco 2.5YR 6/4; Húmedo 10YR 4/3. Estructura: Tipo: Subangular y angular; Tamaño: Medio; Grado: Moderado. Textura: Franco (Arena 41%; Limo 40% y Arcilla 19%). Consistencia: Ligeramente adherente; Plasticidad: Ligeramente plástico; Humedad del suelo: 22.78%; Densidad aparente: 1.73 g/cm ³ . Porosidad: Comunes; Finos a medios; tubulares. CC: 33.3% y PMP: 21.4%. Límites entre horizontes: Difuso; Topografía suave; Fragmentos: Grava Fina. Raíces: Ninguna. pH H₂O: 7.33 ; pH KCl: 5.88; pH NaF: 9.70; pH CaCl₂: 6.48; C.E.: 0.19 dS/m. Saturación de Bases: 96.2; CIC: 11.1 meq/100ml de suelo. Reacción al NaF: (-); Reacción al H₂O₂: (-). MO: 0.6% Actividad biológica: Lombrices – pocas

Fuente: (INIAP-DMSA, 2012)

3.2 MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en dos fases, la primera a nivel de campo y la segunda en el laboratorio.

El estudio se inició con el establecimiento de los abonos verdes en un lote después del cultivo de maíz, del cual se aprovecharon los residuos de la cosecha como aporte de materia orgánica para el ciclo de abonos verdes. En unas parcelas se incorporaron los residuos de las cosechas de maíz y en otras se procedió a retirar.

3.2.1 FACTORES EN ESTUDIO

3.2.1.1 Factor A: Fuentes de abono verde (cultivos)

- C1: Avena (*Avena sativa*) - Vicia (*Vicia sativa*) (mezcla forrajera)
- C2: Fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris*)
- C3: Haba (*Vicia faba*)

3.2.1.2 Factor B: Incorporación de residuos de la cosecha

- R1: Sin residuos.
- R2: Con residuos.

3.2.1.3 Factor C: Fertilización

- F1: Sin fertilización.
- F2: Con fertilización.

3.2.2 TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados sobre el efecto de los abonos verdes en la calidad del suelo fueron en total doce (Cuadro 2 y Anexo 1), provenientes de la combinación de los tres factores en estudio (fuentes de abono verde, incorporación de residuos y fertilización).

Cuadro 2. Tratamientos de abonos verdes. Peribuela-Imbabura.

N° Tratamientos	Código.	Cultivos	Residuos	Fertilización
T1	c1r1f1	Avena – Vicia	Sin	Sin
T2	c1r1f2	Avena – Vicia	Sin	Con
T3	c1r2f1	Avena – Vicia	Con	Sin
T4	c1r2f2	Avena – Vicia	Con	Con
T5	c2r1f1	Fréjol	Sin	Sin
T6	c2r1f2	Fréjol	Sin	Con
T7	c2r2f1	Fréjol	Con	Sin
T8	c2r2f2	Fréjol	Con	Con
T9	c3r1f1	Haba	Sin	Sin
T10	c3r1f2	Haba	Sin	Con
T11	c3r2f1	Haba	Con	Sin
T12	c3r2f2	Haba	Con	Con

3.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

Número de unidades experimentales:	36
Número de repeticiones:	3
Número de tratamientos:	12
Área total del experimento:	2108m ² (62m x 34m)
Área neta del experimento:	1800m ² (36 x 50m ²)
Área de caminos:	308m ²

3.2.3.1 Características de la unidad experimental

Forma:	Rectangular
Área parcela total:	50m ² (10m x 5m)
Área parcela neta:	5,6m ² (8m x 0,7m)
Distancia entre surcos:	0,7m (avena - vicia, fréjol y haba)
Distancia entre plantas:	Fréjol y haba: 0,30m Avena-vicia: chorro continuo
Número de plantas por sitio:	Fréjol y haba: 2

Número de surcos por parcela:	6 (avena - vicia, fréjol y haba)
Número de surcos por parcela neta:	2 (avena - vicia, fréjol y haba)
Número de plantas por surco:	Fréjol y haba: 66
Número de plantas por parcela total:	Fréjol y haba: 396
Número de plantas por parcela neta:	Fréjol y haba: 124 (Dos surcos centrales eliminando un sitio en cada extremo de los surcos de la parcela neta).

3.2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con un arreglo Factorial A x B x C (3 x 2 x 2), con un total de doce tratamientos con tres repeticiones.

3.2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 3 se muestra el esquema del análisis de varianza (ADEVA) utilizado.

Cuadro 3. Esquema del análisis de varianza (ADEVA).

Fuentes de Variación (F V)	Grados de Libertad (gl)
Total	35
Repeticiones	2
Tratamientos	11
Cultivos (C)	2
Residuos (R)	1
Fertilización (F)	1
Cultivos x residuos (C x R)	2
Cultivos x fertilización (C x F)	2
Residuos x fertilización (R x F)	1
Cultivos x residuos x fertilización (C x R x F)	2
Error Experimental	22
CV (%):	
X (Promedio):	

Las variables que se analizaron bajo el esquema del Cuadro 3 fueron:

- Producción de biomasa fresca
- Porcentaje de materia seca
- Producción de materia seca
- Contenido de nutrientes en el tejido vegetal
- Contenido de nutrientes en el suelo
- Población microbiana del suelo
- Nitrógeno Potencialmente Mineralizable (NPM)

3.2.6 ANÁLISIS FUNCIONAL

En los tratamientos que se encontraron significancia en el análisis estadístico se realizó la prueba de significancia de Tukey al 5%.

3.3 VARIABLES EN ESTUDIO

3.3.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA FRESCA

Se cortó (avena-vicia y haba a nivel del suelo y fréjol removi6 la planta) y pes6 todo el material vegetativo que correspondía al área de la parcela neta. La cosecha se realiz6 considerando la época de mayor producción de biomasa, el fréjol en su etapa de producción en tierno, el haba y avena - vicia en floración.

Con el peso calculado de la biomasa de la parcela neta y con el dato del área de la parcela neta se calcul6 el rendimiento de biomasa fresca por hectárea expresado en kg/ha.

$$RB_{ha} = \frac{PPN \times 10000}{APN}$$

D6nde:

RB_{ha}= Rendimiento de biomasa fresca por hectárea (kg/ha)

PPN = Peso en kilogramos (kg) de la producción de biomasa en la parcela neta.

A_{PN} = Área de la parcela neta (m^2)

10000 = Área de la hectárea en m^2

3.3.2 PORCENTAJE DE MATERIA SECA

Antes de la incorporación de los abonos verdes, en cada parcela neta se procedió a muestrear, cuatro plantas al azar (dos sitios de siembra), las que estuvieron en competencia por luz, agua y nutrientes. Las muestras se tomaron dependiendo del cultivo, de la siguiente forma:

- Avena – vicia: se tomó una submuestra representativa que correspondió a un kilogramo, en la que se realizó la clasificación botánica de plantas separando las plantas de avena (planta completa) y vicia (planta completa).

- Fréjol: Vaina
Residuos parte aérea (hojas, tallos)
Raíz

- Haba: Parte aérea (flores, hojas y tallos)
Raíz

Se tomó el peso fresco y posteriormente se secó la muestra utilizando una estufa de ventilación forzada por un tiempo de 48 a 72 horas a una temperatura de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, para obtener el porcentaje de materia seca de las partes de las plantas o plantas completas según la fuente de abono verde. El cálculo de porcentaje (%) de materia seca se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\%MS = \frac{Ps}{Pf} \times 100$$

Dónde:

$\%MS$ = Porcentaje de materia seca.

Ps = Peso seco (g)

Pf = Peso fresco (g)

100 = Constante para expresar en porcentaje (%)

3.3.3 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

Con los datos obtenidos de porcentaje de materia seca se calculó la producción de materia seca de los órganos de la planta o plantas completas en t/ha, mediante la siguiente fórmula:

$$P_{MS} = P_{f/ha} \times (\%MS/100)$$

Dónde:

P_{MS}= Producción de materia seca expresado en t/ha

P_{f/ha}= Peso fresco en t/ha (producción de biomasa)

%MS= Porcentaje de materia seca

100= Constante para transformar el % (porcentaje) a factor.

3.3.4 CONTENIDO DE NUTRIENTES EN TEJIDO VEGETAL

Para determinar estas variables se molieron las muestras utilizadas para calcular el porcentaje de materia seca y se determinaron los contenidos de macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); y micronutrientes: zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y boro (B). Para el efecto se utilizó el método de digestión húmeda con ácido nítrico-perclórico y absorción atómica; excepto para N que se utilizó el método micro Kjeldahl. Estos métodos son utilizados en el laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del INIAP. Con los datos obtenidos de concentración de nutrientes y rendimiento de materia seca de cada uno de los órganos y restos de la planta se calculó la extracción de nutrientes los cuales se expresaron en kg/ha para macronutrientes y g/ha para micronutrientes. Para la extracción total se sumó la extracción de los órganos o partes en las que se dividió la planta. Para el cálculo se consideró la siguiente fórmula:

- Macronutrientes:

$$A_n = P_{MS} \times (\%n/100)$$

Dónde:

A_n = Aporte de nutrientes (kg/ha)

P_{MS} = Peso de materia seca (kg/ha)

$\%n$ = Concentración del nutriente expresado en % (análisis de laboratorio)

100= Coeficiente para transformar el %

- Micronutrientes:

$$A_n = (P_{MS} \times n_{ppm}) / 1000$$

Dónde:

A_n = Aporte de nutrientes (g/ha)

P_{MS} = Peso de materia seca (kg/ha)

n_{ppm} = Concentración del nutriente expresado en ppm (análisis de laboratorio)

1000= Coeficiente para transformar a g.

3.3.5 CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO

Se colectaron muestras de suelo al momento de la evaluación de los abonos verdes y a las cinco semanas de la incorporación, a una profundidad de 0 a 20cm, con la finalidad de conocer los cambios químicos ocurridos durante este proceso, en las que se analizaron macronutrientes, micronutrientes, materia orgánica y pH. Los análisis se realizaron en el laboratorio del DMSA de la EESC del INIAP.

3.3.6 POBLACIÓN MICROBIANA DEL SUELO

Se realizaron cinco muestreos el primero antes del corte e incorporación de los abonos verdes (día de cosecha); el segundo, tercero y cuarto con un intervalo de ocho días entre muestreos a partir del cuarto muestreo se realizó cada quince días. Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0 a 20 cm en cada parcela neta; en el laboratorio cada

muestra se dividió en dos, para el análisis de biomasa microbiana y nitrógeno potencialmente mineralizable.

La determinación de biomasa microbiana se realizó siguiendo el método de fumigación e incubación con cloroformo propuesta por Horwath y Paúl (1994). Este método, es uno de los más efectivos para la determinación de la actividad microbiana resultante de la incorporación o deposición superficial de los residuos de abonos verdes en un suelo; cuantifica la respiración de los microorganismos presentes, a través de la liberación de anhídrido carbónico (Benegas *et al.*, s.f). Los cálculos se realizaron utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{BMS} = \frac{\text{mg de C del CO}_2}{\text{g SS}}$$

Dónde:

BMS = Biomasa microbiana del suelo

mg de C = miligramos de carbono

gr de SS = gramos de suelo seco

3.3.7 DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POTENCIALMENTE MINERALIZABLE (NPM)

El principio del método se basa en que bajo condiciones óptimas de crecimiento los microorganismos atacan a la MO, mineralizando el N. La cantidad de N mineralizado determinado con este método es la diferencia entre la cantidad encontrada a los 28 días de incubación y la cantidad de N mineral inicial.

Para el efecto el suelo fresco es pasado a través de un tamiz de 2mm, pesado e incubado a una temperatura de 25 °C durante 28 días, controlando y corrigiendo la pérdida de humedad. Al inicio y al final del proceso de incubación se realiza la extracción para determinar la cantidad de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺. El NPM es calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{N mineralizado} = [\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^- \text{ en 28 días}] - [\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^- \text{ inicial}]$$

El amonio se determinó utilizando el método del azul de indofenol; en el que el compuesto de azul de indofenol se obtiene de la reacción a pH alto de amonio e hipoclorito. El calcio y el magnesio se acomplejan con el citrato para evitar interferencias.

El nitrato se determinó utilizando el método del ácido salicílico, el mismo que en presencia del ion NO_3^- forma un complejo de color amarillo apreciable en un medio altamente alcalino.

3.4 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

3.4.1 ANALISIS QUIMICO DEL SUELO

Un mes antes de realizar la siembra, se tomó 20 submuestras de suelo del área total de ensayo, utilizando el barreno de fertilidad, a una profundidad de 0 a 20cm. Las muestras se recolectaron en fundas de plástico y se trasladaron al laboratorio para su respectivo análisis. En los análisis se determinó macro y micronutrientes, porcentaje de materia orgánica, pH, con estos datos se formuló la recomendación de fertilización química para el ciclo de abonos verdes para aquellos tratamientos que recibieron fertilización (Anexo 2).

3.4.2 PREPARACIÓN DEL TERRENO

La preparación del terreno se realizó con un tractor, con dos pases de rastra y el surcado a una distancia de 0,70m entre surcos. El surcado se realizó un día antes de la siembra. Además, se realizó la delimitación de las parcelas de acuerdo al plano de distribución.

3.4.3 FERTILIZACIÓN EDÁFICA

La fertilización se realizó de acuerdo al cultivo y análisis de suelo, en aquellas parcelas correspondientes a los tratamientos con fertilización (F2). Se realizó los cálculos del requerimiento de fertilizantes presentados en el Cuadro 4, 5 y 6 considerando su forma de aplicación y el área de la parcela. La aplicación del fertilizante para el cultivo de la mezcla forrajera (avena - vicia) fue a chorro continuo al fondo del surco, utilizando todo el P, K y S a la siembra y la mitad de N.

Para los cultivos de fréjol arbustivo y haba se realizó la fertilización por sitio de siembra todo el N, P, K y S a la siembra.

Cuadro 4. Recomendación de fertilización para los tratamientos F2.

Cultivo	Nutrientes (kg/ha)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Avena – Vicia	60	40	30	30
Fréjol	10	30	20	20
Haba	10	30	20	20

Cuadro 5. Fuentes de fertilizante y concentración.

Fuentes de fertilizante	Concentración (%)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg
10-30-10	10	30	10	-	-
Sulpomag	-	-	22	22	11
Urea	46	-	-	-	-

Cuadro 6. Cantidad de fuentes de fertilizante por cultivo.

Avena – Vicia					
Fuente de fertilizante	kg/ha	kg/ensayo	kg/parcela	g/surco	g/línea
10-30-10	100,00	6,00	2,00	70,00	35,00
Sulpomag	136,50	8,19	2,73	95,55	47,77
Urea	105,00	6,30	2,10	73,50	36,75
Fréjol y Haba					
Fuente de fertilizante	kg/ha	kg/ensayo	kg/parcela	g/surco	g/sitio
10-30-10	100,00	6,00	2,00	70,00	2,12
Sulpomag	136,50	8,19	2,73	95,55	2,84

3.4.4 SIEMBRA

Una vez realizada la fertilización de acuerdo a los tratamientos, se cubrió el fertilizante con una capa delgada de suelo y luego se sembró.

Para el cultivo de fréjol y haba, con una piola guía marcada a 0,30m entre sitios se procedió a colocar dos semillas por sitio, a una profundidad de 2 a 3 veces el tamaño de la misma, para luego cubrir con una capa de tierra.

Para la mezcla forrajera (avena - vicia) utilizando una estaca, se abrió pequeñas líneas de siembra a cada lado del surco; luego se procedió a sembrar a chorro continuo de acuerdo a la cantidad de semilla recomendada para cada cultivo.

En los Cuadros 7 y 8 se muestra las distancias de siembra y los requerimientos de semilla; respectivamente.

Cuadro 7. Distancias de siembra de los cultivos.

Cultivos	Distancia		Líneas de siembra/ surco
	Surco	Sitios	
Avena	0,70m	Chorro continuo	2
Vicia	0,70m	Chorro continuo	2
Fréjol	0,70m	0,30m	1
Haba	0,70m	0,30m	1

Cuadro 8. Requerimientos de semilla por cultivo.

Cultivo	Variedad	Densidad de siembra kg/ha	Semilla por:				
			Ensayo	Parcela	Surco	Sitio	Línea
			Kg	Kg	g.	N°	g.
Avena	Común	100	6.00	2.00	70.00	-	35.00
Vicia	Común	50	3.00	1.00	35.00	-	17.50
Fréjol	INIAP 484 Centenario	110	6.60	2.20	77.00	2	-
Haba	INIAP 430 Quitumbe	90	5.40	1.80	63.00	2	-

3.4.5 LABORES CULTURALES

3.4.5.1 Controles fitosanitarios

Se realizaron controles fitosanitarios preventivos para gusanos trozadores (*Agrotis sp.*) y pudriciones a nivel radicular. Adicionalmente, durante el período de desarrollo de los

cultivos se realizaron aplicaciones para controlar mosca blanca (*Bemisia tabaci*), pudrición de raíz (*Rhizoctonia solani*) y bacteria (*Erwinia spp.*). Las aplicaciones que se realizaron se describen en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Controles fitosanitarios del ensayo. Peribuela, 2013.

Aplicación DDS	Producto	Dosis	Control	Cultivo
12	(Thiametoxam 25% SC)	1,5 cc/ l	Trozador	Fréjol y Haba
	(Carbendazim 50% WP)	3 g/ l	Pudrición radicular	
35	(Thiametoxam 25% SC)	1,5 cc/ l	Trozador	Fréjol y Haba
	(Carbendazim 50% WP)	3 g/ l	Pudrición radicular	
	(Ácido oxolínico 20 WP)	1,5 g/ l	Erwinia	
41	(Acefato 75% WP)	1 g/ l	Mosca blanca	Fréjol y Haba
	(Carbendazim 50% WP)	3 g/ l	Pudrición radicular	
56	(Carbendazim 50% WP)	2,5 cc/ l	Pudrición radicular	Fréjol y Haba
	(Cartap 50% PS)	1,5 g/ l	Mosca blanca	
70	(Carbendazim 50% SC)	1 cc/ l	Pudrición de raíz, mancha chocolate y alternaria	Fréjol y Haba
	(Propineb 76% WP)	1 g/ l		
	(Cartap 50% PS)	1,5 g/ l	Mosca blanca	
82	(Acefato 75% PS)	1 g/ l	Mosca blanca	Fréjol y Haba
	(Carbendazim 50% WP)	3 g/ l	Pudrición radicular	
	(Iprodione 50% SC)	1cc/ l	Alternaria	
91	Acefato 75% PS	1 g/ l	Mosca blanca	Fréjol
	(Clorotalonil 72% SC)	1,5 cc/ l	Roya	

DDS: Días después de la siembra.

Dosis: cc o g/ litro de agua.

3.4.5.2 Control de malezas

Se realizó un control de malezas a los 12 dds, en las parcelas de fréjol y haba se aplicó un herbicida selectivo post-emergente Imazetapir a dosis 1,5 cc/l de agua, en las parcelas avena - vicia se realizó un control manual (rascadillo). A los 35 días se efectuó un segundo control químico con el producto Paraquat en dosis de 1,5 cc/litro de agua.

Los controles posteriores se realizaron manualmente a los 56 y 91 después de la siembra de acuerdo a la necesidad de los cultivos.

3.4.5.3 Medio aporque y aporque

El medio aporque se realizó a los 45 días posteriores a la siembra, haciendo uso de la reja halada por el caballo. El aporque se realizó a los 70 días para dar mayor soporte a las plantas, eliminar malezas, mejorar la aireación del suelo, facilitar el riego y drenaje.

3.4.5.4 Riegos

El ciclo de cultivo de los abonos verdes (marzo a julio) coincidió con la época lluviosa de la zona y no fue necesario la aplicación de riegos. El suelo tuvo la humedad necesaria para el desarrollo de las plantas.

3.4.6 COSECHA DE LOS ABONOS VERDES

La cosecha se realizó de forma manual, a los 110 días después de la siembra. El fréjol se cosechó en la etapa de mayor producción de biomasa, los cultivos de haba y vicia - avena se evaluaron en floración. Se realizaron las siguientes actividades:

Se delimitó el área de parcela neta (área de cosecha) y se contabilizó el número de plantas por parcela neta (fréjol y haba), posteriormente se cosechó y pesó la biomasa de la parcela neta. Después se realizó la selección de las muestras para análisis de porcentaje de materia seca y extracción de nutrientes, para lo cual se colectaron plantas de dos sitios de siembra para el caso de fréjol y haba, para los cultivo de avena - vicia se tomó una muestra de un kilogramo y se pesaron las muestras.

3.4.7 CORTE E INCORPORACIÓN DE ABONOS VERDES

Después de la cosecha se procedió a remover el material vegetal de las parcelas que corresponden a los tratamientos sin residuos, mientras que en aquellas parcelas con cobertura, se cortó y se picó el material vegetal dentro de ellas. Al día siguiente se incorporó el material verde con el uso de la rastra a una profundidad de 20 cm aproximadamente. Se realizó un riego al tercer día posterior de la incorporación del material vegetal en todo el ensayo, para acelerar el proceso de mineralización.

3.4.8 MUESTREO DE SUELOS

El día que se realizó la cosecha de los abonos verdes se tomaron las muestras de suelos, correspondientes para el primer muestreo de mineralización; según como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Cronograma de muestreos de suelo para análisis de laboratorio.

Ciclo de cultivo		Análisis de suelos				
		Número de muestreos				
	Cosecha	I	II	III	IV	V
Siembra	Avena-vicia y haba: floración Fréjol: producción en grano	8 días Análisis químico de suelos (muestreo inicial)	8 días 	15 días 	15 días 	Análisis químico de suelos (muestreo fina)

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA FRESCA

Se evaluó el rendimiento de biomasa, considerando la etapa de mayor producción de material vegetal de los cultivos y los datos obtenidos se observan en el Anexo 3.

Cuadro 11. Análisis de varianza para producción de biomasa fresca. Peribuela, 2013.

F de V	gl	SC	CM	FC	FT	
					5%	1%
Total	35	19287,06				
Repeticiones	2	916,98	458,49	4,32 *	3,49	5,85
Tratamientos	11	16035,21	1457,75	13,74 **	2,30	3,29
Cultivo (C)	2	15593,34	7796,67	73,46 **	3,49	5,85
Residuos (R)	1	27,13	27,13	0,26 ns	4,35	8,10
Fertilización (F)	1	60,35	60,35	0,57 ns	4,35	8,10
C x R	2	196,51	98,26	0,93 ns	3,49	5,85
C x F	2	37,24	18,62	0,18 ns	3,49	5,85
R x F	1	37,80	37,80	0,36 ns	4,35	8,10
C x R x F	2	82,84	41,42	0,39 ns	3,49	5,85
Error Experimental	22	2334,87	106,13			
CV (%):	30,24					
Promedio (t/ha):	34,07					

*= Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

ns= No significativo

Según el análisis de varianza realizado para producción de biomasa (Cuadro 11), se observó que existe diferencias significativas (5%) para bloques, y altamente significativas (1%) para tratamientos y para cultivos (C); siendo este el factor que está determinando la producción de biomasa. El coeficiente de variación fue de 30,24% y una media de 34,07 t/ha.

Cuadro 12. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos de la variable producción de biomasa fresca. Peribuela, 2013.

Tratamientos	Medias (t/ha)	Rangos
T1	55,00	A
T11	54,18	A
T3	53,63	A
T2	51,66	A
T4	50,45	A
T12	43,17	A
T10	41,17	A
T9	39,51	A
T6	5,97	B
T5	5,91	B
T8	4,24	B
T7	3,96	B

La prueba de Tukey al 5% realizada para producción de biomasa fresca (Cuadro 12), presento la formación de dos rangos. En el primer rango se ubican los tratamientos T1, T11, T3, T2, T4, T12, T10 y T9, que corresponden a avena – vicia y haba, sin importar los factores de incorporación de residuos de maíz y fertilización; y los tratamientos que se ubican en el rango “B” fueron T6, T5, T8 y T7 pertenecientes al cultivo de fréjol.

Cuadro 13. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C). Variable producción de biomasa fresca. Peribuela, 2013.

Cultivo (C)	Descripción	Medias (t/ha)	Rangos
C1	Avena – vicia	52,68	A
C3	Haba	44,51	A
C2	Fréjol	5,02	B

Al elaborar la prueba de Tukey al 5% para los cultivos (C), Cuadro 13, se observó la formación de dos rangos, los cultivos de avena – vicia (C1) y haba (C3) presentaron mayor rendimiento de biomasa con promedios de 52,68 t/ha y 44,51 t/ha; respectivamente, ubicándose en el rango “A” y el cultivo de fréjol (C2) presentó un rendimiento menor con 5,02 t/ha, este se ubicó en el rango “B”.

Los mayores rendimientos de biomasa están determinados por las características fisiológicas propias de cada cultivo empleado, esto se confirma con la información señalada por autores como Bunch (1994), quien indica que los abonos verdes son capaces de aportar al suelo cantidades de biomasa (peso fresco) de hasta 50 t/ha, siendo una gran fuente de materia orgánica que se incorpora y que además ayuda a mejorar la calidad de los suelos; adicionalmente Valverde *et al.* (1998) indican que la cantidad de biomasa aportada por los abonos verdes varía entre 10 y 60 t/ha.

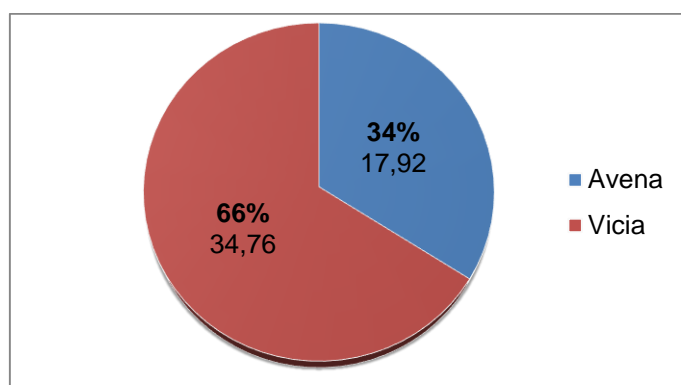


Gráfico 1. Distribución del rendimiento de biomasa fresca en la mezcla avena – vicia, en t/ha y porcentaje (%).

El abono verde conformado por la mezcla gramínea – leguminosa proporcionó mayor cantidad de biomasa; el 34% corresponde al cultivo de avena (17,92 t/ha) y el 66% perteneció al cultivo de vicia (34,76 t/ha) (Gráfico 1).

La producción de biomasa de avena-vicia y haba, se debe a que estos cultivos presentaron mayor desarrollo de follaje y altura de planta que alcanzó entre 1,00 – 1,20 m al momento de la cosecha, mientras que fréjol presentó aproximadamente 0,60 m. Vicia es una planta robusta, con alta tasa de crecimiento, que se aprecia en la etapa de floración, al producir mayor cantidad de biomasa, aproximadamente el 60% del material vegetal se encuentra en las hojas y el resto en los tallos (Rebolé *et al.*, 2004).

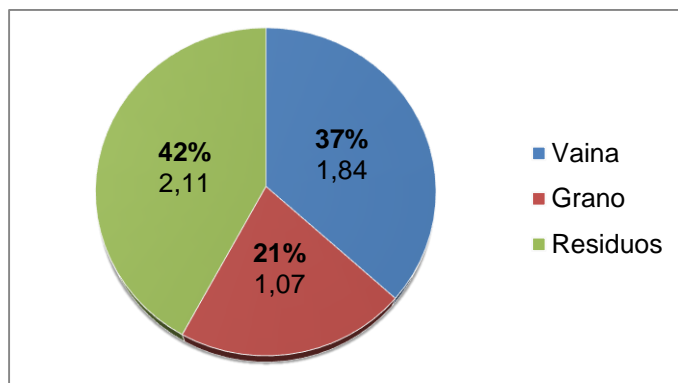


Gráfico 2. Distribución del aporte de biomasa fresca de fréjol por órganos en t/ha y porcentaje.

La distribución de biomasa de fréjol se estableció según la proporción que aportan las distintas partes de la planta sobre la producción total, los residuos (raíz, tallos y follaje) aportaron mayor cantidad de material vegetal, representando el 42% del total del rendimiento equivalente a 2,11 t/ha, seguido por las aportaciones que realizaron vainas y grano con una contribución de 37% (1,84 t/ha) y 21% (1,07 t/ha); respectivamente (Gráfico 2). Por lo mencionado, si cosechamos el grano en tierno y el resto de la planta (vainas, tallos, hojas y raíz) incorporamos al suelo, estaremos proporcionando 3,95 t/ha, equivalente al 79% de la biomasa total.

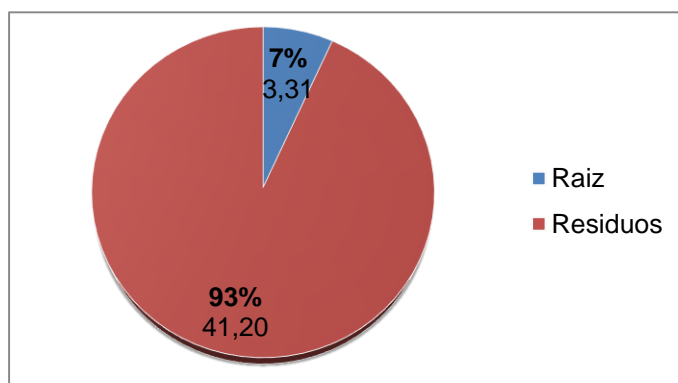


Gráfico 3. Distribución del aporte de biomasa fresca de haba en t/ha y porcentaje.

Como se observa en el Gráfico 3, la producción de biomasa del cultivo de haba, al cosecharse en el estado de floración muestra que, los residuos (tallos, follaje) aportaron el 93% de la biomasa total correspondiente a 41,2 t/ha, cantidad que fue mucho mayor a la aportada por las raíces que representó el 7% (3,31 t/ha); cantidad que generalmente se queda en el suelo. Con la mezcla avena – vicia se obtuvo gran cantidad de biomasa en

relación a los cultivos de fréjol y haba. Respaldo con lo mencionado por Gomero y Velásquez (1999), que indican, que los mejores resultados presentan la mezcla o asociación de dos cultivos generalmente gramínea y leguminosa porque aportan gran cantidad de biomasa aérea y subterránea, mejorando la fertilidad del suelo, en comparación al monocultivo (Zaragoza *et al.*, 2009). La mezcla de vicia con una gramínea, ejerció un efecto beneficioso sobre la cantidad y calidad de forraje.

4.2 PORCENTAJE DE MATERIA SECA

El análisis de varianza para el porcentaje de materia seca (Cuadro 14) mostró alta significancia (1%) para tratamientos y cultivos (C); análisis que indica a los cultivos como el factor determinante en la concentración de materia seca. La incorporación de residuos, fertilización e interacciones no presentaron influencia alguna. El promedio fue de 27,12% y el coeficiente de variación de 6,99%.

Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable porcentaje de materia seca. Peribuela, 2013.

FV	gl	SC	CM	FC	FT	
					5%	1%
Total	35	457,16				
Repeticiones	2	37,14	18,57	5,17 *	3,49	5,85
Tratamientos	11	341,01	31,00	8,63 **	2,30	3,29
Cultivo (C)	2	294,71	147,36	41,03 **	3,49	5,85
Residuos (R)	1	0,07	0,07	0,02 ns	4,35	8,10
Fertilización (F)	1	0,64	0,64	0,18 ns	4,35	8,10
C x R	2	11,49	5,75	1,60 ns	3,49	5,85
C x F	2	23,75	11,88	3,31 ns	3,49	5,85
R x F	1	6,42	6,42	1,79 ns	4,35	8,10
C x R x F	2	3,93	1,97	0,55 ns	3,49	5,85
Error Experimental	22	79,01	3,59			
CV (%):		6,99				
Promedio (%):		27,12				

*= Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

ns= No significativo

La prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de materia seca (Cuadro 15), mostró la presencia de cuatro rangos. Los tratamientos T2, T7, T4, T3, T1, T5, T8 y T6 son estadísticamente similares y se ubican en el rango “A”, siendo T2 (avena – vicia, sin residuos y fertilización) con 32,07% de materia seca, seguido de T7 (frejol, con residuos y sin fertilización) con 30,10% y T4 (avena-ricia, con residuos, con fertilización) con 29,63% los que presentan el mayor porcentaje; mientras que, los demás también forman parte del rango “B”. Los tratamientos T1 al T10 corresponden al tercer rango y en el rango “D” se ubican los tratamientos T6, T11, T9, T10 y T12 con menor porcentaje de materia seca, siendo T12 (haba, con residuos y con fertilización) el tratamiento con el promedio más bajo presentando 21,97%. Además se observó que el T6 se encuentra formando parte de los cuatro rangos. El porcentaje de materia seca está influenciado por el tipo de cultivo empleado, con la avena – vicia y fréjol con el mayor porcentaje y haba con el menor valor. También influye el estado fenológico del cultivo.

Cuadro 15. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos de la variable porcentaje de materia seca. Peribuela, 2013.

Tratamientos	Medias (%)	Rangos			
T2	32,07	A			
T7	30,10	A			
T4	29,63	A			
T3	29,30	A	B		
T1	28,47	A	B	C	
T5	28,40	A	B	C	
T8	28,23	A	B	C	
T6	26,57	A	B	C	D
T11	23,77		B	C	D
T9	23,50			C	D
T10	23,47			C	D
T12	21,97				D

La prueba de Tukey al 5% para cultivos (C), mostró la presencia dos rangos; en el primero se ubicó la mezcla, avena – vicia (C1) y el fréjol (C2) presentaron el mayor porcentaje de materia seca con promedios de 29,87% y 28,33%; respectivamente, y en el segundo el haba (C3) con 23,18% de materia seca se ubicó en el rango “B” (Gráfico 4).

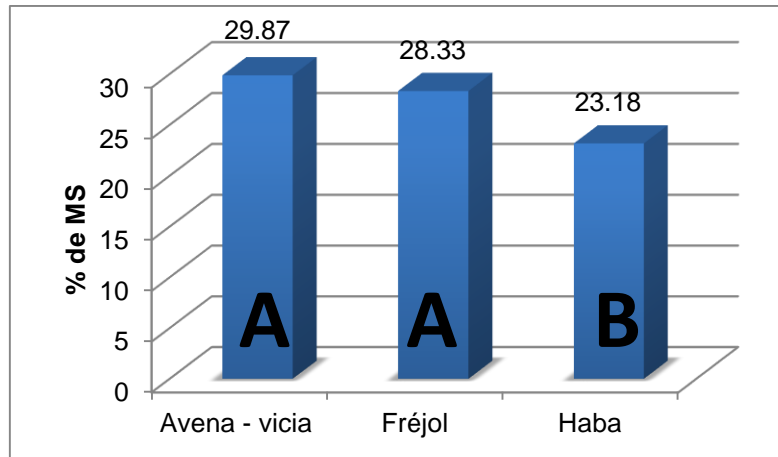


Gráfico 4. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C) de la variable porcentaje de materia seca (%).

Las especies empleadas como abonos verdes, difieren una de otra en esta variable, por la estructura y fisiología de las plantas; así como el sistema de cultivo, como monocultivo o en asociación. Es así que haba presentó mayor porcentaje de contenido de agua en sus tejidos a diferencia de fréjol cuyo ciclo vegetativo fue más rápido lo que permitió concentrar mayor cantidad de sólidos en la planta; en tanto que la mezcla avena – vicia presentó mayor porcentaje de materia seca debido que fueron dos cultivos, cereal y leguminosa y además por encontrarse en asociación.

La mezcla avena – vicia presentó un 29,87%, los datos obtenidos son mayores a los presentados por Popov *et al.* citado por Hycka (1980), quien indica que en la mezcla de avena – vicia se encuentra el 21,4% MS (78,6% de agua). Según Gonzáles *et al.* (2011) y Fayet (citado por Hycka, 1980), este porcentaje en vicia varía entre 23,3% - 25%.

En lo referente a la materia seca del fréjol esta planta concentró en los residuos (tallos, hojas y raíz) de fréjol (24,17%), en el grano (46,79%) y vaina (22,24%), generalmente los dos últimos son los que salen del terreno cuando se comercializa el fréjol. Esta especie concentra menor cantidad de materia seca en la raíz, tallos, ramas, así como en las hojas (García *et al.*, 2003) en la etapa de fructificación. Por otra parte Delgado *et al.* (2009), encontraron que, fréjol (cultivado en un Mollisol) en un período de 43 a 58 días después de la germinación tuvo un incremento evidente de la materia seca total, observaron también que el 50% se debe a la producción del grano, entre 30 - 36% a producción de tallos y de 20 - 21% al de hojas. Fageria (1991), encontró que la materia seca aérea total se

incrementó levemente hasta los 30 días después de la germinación (ddg), de manera drástica hasta los 56 ddg, después se incrementó ligeramente hasta los 76 ddg.

El porcentaje de materia seca que acumuló hasta fue 23,18% (etapa de floración) de los cuales en el follaje (tallos y hojas) se encontró el 92% y en la raíz el 8% restante, que es una cantidad reducida en relación a la totalidad de la planta.

4.3 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

El análisis de varianza para rendimiento de biomasa seca, expresado en t/ha (Cuadro 16), indicó alta diferencia estadística (1%) para tratamientos y cultivos; mientras que para residuos, fertilización y las interacciones no existió diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 24,81% y la media general de 9,06 t/ha de materia seca.

Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable rendimiento de biomasa seca. Peribuela, 2013.

F de V	gl	SC	CM	FC	FT	
					5%	1%
Total	35	1442,08				
Repeticiones	2	46,77	23,39	4,63 *	3,49	5,85
Tratamientos	11	1284,18	116,74	23,11 **	2,30	3,29
Cultivo (C)	2	1251,39	625,70	123,87 **	3,49	5,85
Residuos (R)	1	0,19	0,19	0,04 ns	4,35	8,10
Fertilización (F)	1	3,03	3,03	0,60 ns	4,35	8,10
C x R	2	10,1	5,05	1,00 ns	3,49	5,85
C x F	2	6,69	3,35	0,66 ns	3,49	5,85
R x F	1	7,1	7,10	1,41 ns	4,35	8,10
C x R x F	2	5,68	2,84	0,56 ns	3,49	5,85
Error Experimental	22	111,13	5,05			
CV (%):	24,81					
Promedio (t/ha):	9,06					

*= Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

ns= No significativo

En el Cuadro 17, la prueba de Tukey al 5%, estableció cuatro rangos. El tratamiento T2 (avena – vicia, sin residuos y fertilización) se ubicó en el primero con 16,57 t/ha, siendo el

promedio más alto, seguido por T3, T1, T4 y T11 que comparten el primero y segundo rango, los tratamientos T10 y T9 forman parte del segundo y tercer rango, T12 corresponde al tercero; mientras que los tratamientos T5, T6, T8 y T7 constituyen el cuarto rango y corresponden al cultivo de fréjol; además presentaron rendimientos menores. Se puede notar que las diferencias están marcadas por los cultivos, más que por el efecto de los residuos y la fertilización.

Cuadro 17. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable rendimiento de biomasa seca. Peribuela, 2013.

Tratamientos	Medias (t/ha)	Rangos		
T2	16,57	A		
T3	15,76	A	B	
T1	15,64	A	B	C
T4	14,99	A	B	C
T11	12,69	A	B	C
T10	9,26		B	C
T9	9,18		B	C
T12	9,02			C
T5	1,68			D
T6	1,58			D
T8	1,18			D
T7	1,14			D

La prueba Tukey al 5% para cultivos (C) de la variable rendimiento de biomasa seca, estableció tres rangos, el cultivo de avena – vicia (C1) obtuvo el mayor rendimiento con 15,74 t/ha, situándose en el rango “A”, haba (C3) en el rango “B” con 10,04 t/ha y fréjol (C2) tiene menor rendimiento con 1,4 t/ha ubicado en el rango “C” (Cuadro 18). Resultados que concuerdan con lo observado en la variable de biomasa fresca y con lo descrito por Baigorria *et al.* (s.f), que indican, que el contenido de materia seca está íntimamente relacionado con la densidad de siembra del cultivo y la especie cultivada.

Cuadro 18. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C) de la Variable rendimiento de biomasa seca. Peribuela, 2013.

Cultivo	Descripción	Medias (t/ha)	Rangos
C1	Avena – vicia	15,74	A
C3	Haba	10,04	B
C2	Fréjol	1,40	C

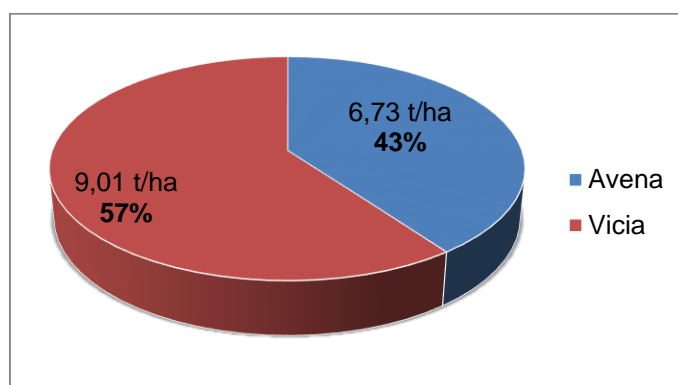


Gráfico 5. Distribución de biomasa seca en la mezcla avena – vicia en t/ha y porcentaje (%).

El aporte de vicia seca en la mezcla avena – vicia fue de 9,01 t/ha que correspondió al 57% del total y el cultivo de avena contribuye con el 43% equivalente a 6,73 t/ha (Gráfico 5 y Anexo 5). Danieli (2013) menciona que la cantidad de materia seca que acumula el cultivo de avena varía entre 3,5 a 4,5 t/ha y de vicia entre 3 a 4 t/ha, mientras que Valverde *et al.* (1998), mencionan que un abono verde conformado por la mezcla de avena – vicia (*Avena sativa* – *Vicia sativa*) puede llegar a aportar 12 t/ha. Otro aspecto en la producción de materia seca es la densidad de siembra, Renzi y Cantamutto (2007), encontraron la mayor producción de materia seca en densidades de 30V: 90A y 50V: 90A plantas/m² (*Vicia Sativa* L.: *Avena sativa* L.) obteniendo 30 kg/ha *V. sativa*: 50 kg/ha *A. sativa* y 43 kg/ha *V. sativa*: 50 kg/ha *A. sativa*; respectivamente.

La producción de vicia varía según la región y las condiciones del cultivo, en España por ejemplo, los rendimientos en secano de materia seca varía entre 5,1 y 40 t/ha y los de regadío entre 8,9 y 50 t/ha de forraje verde (Hycka citado por Romero, 2010).

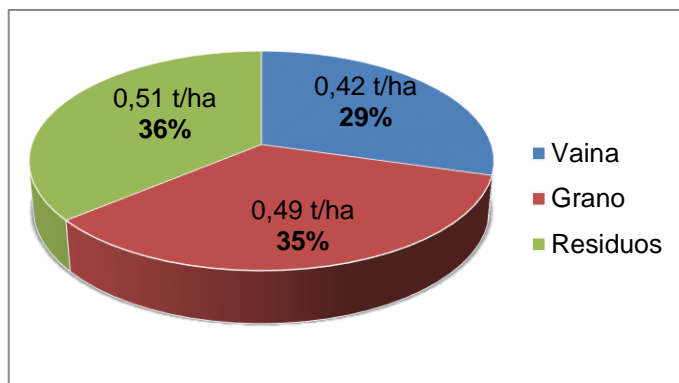


Gráfico 6. Distribución del rendimiento de materia seca del cultivo de fréjol según órganos en t/ha y porcentaje (%).

El rendimiento de materia seca de fréjol en la etapa de madurez fisiológica, se encontró distribuida con 36% en los residuos (tallos, hojas y raíces), y 64% en grano y vaina (Gráfico 6), que corresponde a 0,49 t/ha y 0,42 t/ha; respectivamente. La materia seca encontrada en la presente investigación fue menor a la indicada por Rodríguez *et al.* (2014), con un promedio de materia seca a nivel de campo en Veracruz de 2,88 t/ha, en la que se evaluó diferentes fechas de siembra. Ruiz y Loeza (2003), también, señalan que aproximadamente 1,2 t/ha de materia seca producen hojas y tallos de fréjol (en los valles centrales de Oaxaca-México), que es mucho mayor a la obtenida en este estudio.

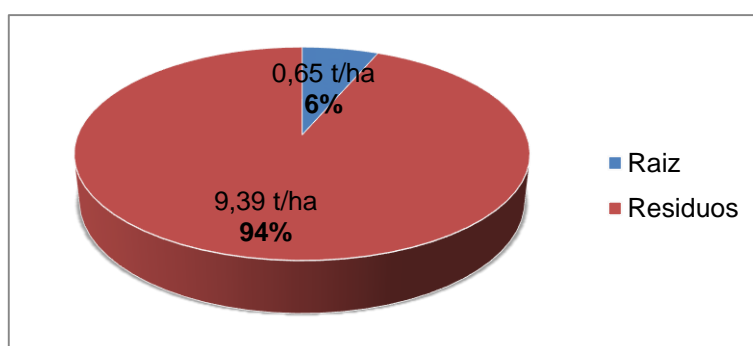


Gráfico 7. Distribución de biomasa seca en el cultivo de haba en t/ha y porcentaje (%).

El Gráfico 7, muestra una gran diferencia para biomasa seca entre los órganos de la planta de haba (C3), el 94% corresponde a los residuos conformados por tallos y follaje (9,39 t/ha); y el 6% a raíces (0,65 t/ha). Estos datos son consistentes con lo descrito por Valverde *et al.* (1998), donde haba (*Vicia faba*) consiguió aportar una cantidad de 11 t/ha de biomasa seca y por lo tanto se incorporan grandes cantidades de nutrientes; mientras que en

condiciones similares en el manejo de cultivo en el municipio de Morochata (Bolivia), se obtuvo en promedio de dos localidades 3,9 t/ha de materia seca (Lora y Azero, 2005).

4.4 CONTENIDO DE NUTRIENTES EN TEJIDO VEGETAL

Se realizó la determinación del contenido de macronutrientes y micronutrientes en el tejido vegetal; necesarios para establecer el aporte de nutrientes de los abonos una vez que estos se incorporan al suelo.

4.4.1 APOORTE DE MACRONUTRIENTES

Los análisis de varianzas realizados para el aporte de macronutrientes con la biomasa de los abonos verdes se presentan en el Cuadro 19. Para N, P, K, Ca, Mg y S se encontraron diferencias altamente significativas (1%) para tratamientos y cultivos. Los coeficientes de variación fueron 38,28%, 30,17%, 29,35%, 36,78%, 39,09% y 38,47% para N, P, K, Ca, Mg y S; respectivamente, y un aporte medio de 247,78 kg N/ha, 35,63 kg P/ha, 248,25 kg K/ha, 76,32 kg Ca/ha, 24,15 kg Mg/ha y 18,93 kg S/ha. En el análisis para residuos, fertilización e interacciones, no presentó diferencias significativas.

Cuadro 19. Análisis de varianza para aporte de macronutrientes por los tratamientos de abonos verdes en estudio. Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados Medios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Total	35						
Repeticiones	2	35701,13 *	689,09 **	26055,65 *	2124,96 ns	253,45 ns	123,93 ns
Tratamientos	11	76106,73 **	2082,36 **	102688,75 **	7126,45 **	709,43 **	617,00 **
Cultivos (C)	2	400049,13 **	11192,02 **	533938,27 **	37608,60 **	3778,81 **	3311,48 **
Residuos (R)	1	1417,52 ns	12,02 ns	460,10 ns	668,22 ns	7,93 ns	5,14 ns
Fertilización (F)	1	627,50 ns	66,15 ns	6291,13 ns	297,56 ns	13,32 ns	25,67 ns
C x R	2	2456,87 ns	21,08 ns	5615,86 ns	56,64 ns	1,54 ns	0,23 ns
C x F	2	12991,17 ns	146,50 ns	8627,14 ns	500,96 ns	56,19 ns	64,32 ns
R x F	1	1887,90 ns	9,82 ns	14896,20 ns	15,87 ns	0,17 ns	1,60 ns
C x R x F	2	1123,41 ns	49,42 ns	5783,15 ns	538,43 ns	54,62 ns	1,27 ns
Error Experimental	22	8994,50	115,59	5309,99	787,94	89,08	53,05
CV (%):		38,28	30,17	29,35	36,78	39,09	38,47
Promedio (kg/ha):		247,78	35,63	248,25	76,32	24,15	18,93

** = Significativo al 1%

* = Significativo al 5%

ns= No significativo

Cuadro 20. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, en la acumulación promedio de macronutrientes en la biomasa (kg/ha). Peribuela, 2013.

N			P			K			Ca			Mg			S		
Trat.	Media (kg/ha)	Rangos	Trat.	Media (kg/ha)	Rangos	Trat.	Media (kg/ha)	Rangos	Trat.	Media (kg/ha)	Rangos	Trat.	Media (kg/ha)	Rangos	Trat.	Media (kg/ha)	Rangos
T11	402,83	A	T4	68,33	A	T2	476,87	A	T1	140,40	A	T4	40,20	A	T4	39,23	A
T9	392,47	A	T1	64,97	A	T3	443,83	A B	T4	129,27	A	T1	39,07	A	T2	39,10	A
T2	376,10	A	T2	64,87	A	T1	434,37	A B C	T2	129,17	A	T2	37,00	A	T1	33,40	A B
T4	371,50	A	T3	63,70	A B	T4	414,37	A B C	T3	115,27	A	T11	36,00	A	T3	31,23	A B
T1	361,33	A	T11	47,03	A B C	T11	394,13	A B C	T11	98,63	A B	T3	33,97	A	T9	19,77	A B C
T12	329,57	A	T9	37,67	A B C	T9	251,43	B C	T9	88,47	A B C	T9	31,83	A B	T11	19,40	A B C
T10	308,03	A B	T10	32,50	B C D	T10	249,87	B C	T10	81,90	A B C	T10	30,10	A B C	T10	17,77	A B C
T3	283,37	A B	T12	30,80	C D	T12	219,07	C D	T12	63,87	A B C	T12	25,50	A B C	T12	17,20	B C
T6	43,77	B	T6	5,30	D	T6	28,67	D	T6	24,17	B C	T6	5,13	B C	T6	2,97	C
T5	42,60	B	T5	5,03	D	T5	26,87	D	T5	19,63	B C	T5	4,57	B C	T5	2,87	C
T8	32,63	B	T8	3,87	D	T8	21,37	D	T7	12,73	C	T8	3,30	C	T8	2,40	C
T7	29,10	B	T7	3,53	D	T7	18,20	D	T8	12,27	C	T7	3,10	C	T7	1,87	C

Al realizar la prueba de Tukey al 5% para los tratamientos del aporte de macronutrientes de biomasa (Cuadro 20), se encontró que los tratamientos T11, T9, T2, T4, T1 y T12 pertenecen al primer rango; siendo el T11 (haba, con residuos de la cosecha y sin fertilización) quien presentó el mayor aporte de N que alcanzó un promedio de 402,83 kg/ha, T10 y T3 comparten el rango “A” y “B”; mientras que los tratamientos T6, T5, T8 y T7 constituyen el segundo rango y lo conforman las parcelas con fréjol. Avena – vicia y haba presentaron las concentraciones más altas de N; mientras que en fréjol fue menor.

Para P se observó la formación de cuatro rangos (A, B, C y D), los tratamientos T4, T1 y T2 forman parte de “A”, el primero con 68,33 kg/ha presenta la concentración más alta; T3 forma parte de “A y B”, T11 y T9 comparten “A, B y C”, T10 corresponde a “B, C y D”, el T12 pertenece al rango “C y D”, mientras que los tratamientos T6, T5, T8 y T7 correspondientes al cultivo de fréjol con promedios de 5,30 kg/ha, 5,03 kg/ha, 3,87 kg/ha y 3,53 kg/ha; respectivamente, se ubican en el último rango.

Para K se presentó cuatro rangos, el tratamiento T2 (avena – vicia, sin residuos y fertilización) con 476,87 kg/ha mostró un promedio superior, se ubicó en el primer rango, T3 comparte el primer y segundo rango, T1, T4 y T11 conforman el primero, segundo y tercer rango, los tratamientos T9 y T10 pertenecen al segundo y tercero, T12 corresponde al tercer y cuarto rango; mientras que, T6, T5, T8 y T7 se ubican en el cuarto rango. La influencia de los cultivos determinó la acumulación de K, aún más que los residuos y fertilización; siendo avena – vicia y haba los tratamientos que presentaron mayor acumulación de K en relación a fréjol.

La acumulación mayoritaria de Ca se observó con avena – vicia, correspondientes a los tratamientos T1, T4, T2 y T3 con una media de 140,40 kg/ha, 129,27 kg/ha, 129,17 kg/ha y 115,27 kg/ha; respectivamente, los tratamientos T11, T9, T10 y T12 comparten el rango “A y B”, además pertenecen al cultivo de haba; mientras que T6, T5, T7 y T8 forman el rango “C” y obtuvieron valores inferiores.

Para Mg los tratamientos T4, T1, T2, T11, T3, T9, T10 y T12 presentaron acumulaciones superiores y pertenecen al rango “A”, de T9 a T5 corresponden a “B” presentando concentraciones medias; mientras que, en el rango “C” los tratamientos T10 al T7. Se pudo evidenciar que con avena – vicia y haba, presentaron valores de acumulación altos que varían de 40 – 25 kg/ha; mientras que, los tratamientos correspondientes al cultivo de fréjol alcanzaron cantidades inferiores (3 – 5 kg/ha).

El aporte de S realizado por los tratamientos T4 y T2 fue mayor, conjuntamente con T1 y T3 que pertenecen al primero y segundo, estos corresponden a avena – vicia; T9, T11 y T10 comparten el primero, segundo y tercer rango, juntamente con T12 (comparten segundo y tercer rango) pertenecen a haba; mientras que, T6, T5, T8 y T7 pertenecen al tercer rango y están relacionados con fréjol. El mayor aporte de S mayoritariamente se observó en los tratamientos de avena – vicia, presentando acumulaciones de 31 – 39 kg/ha, con haba aproximadamente 17 – 19 kg/ha y con el cultivo de fréjol entre 1,5 – 3 kg/ha; evidenciando que las distinciones se dieron por el empleo de los cultivos, más no por los residuos y fertilización.

Cuadro 21. Prueba de Tukey al 5% para cultivos (C), en la acumulación promedio de macronutrientes. Peribuela, 2013.

N			P			K			Ca			Mg			S		
Media			Media			Media			Media			Media			Media		
Factor	(kg/ha)	Rango	Factor	(kg/ha)	Rango	Factor	(kg/ha)	Rango	Factor	(kg/ha)	Rango	Factor	(kg/ha)	Rango	Factor	(kg/ha)	Rango
C3	358,23	A	C1	65,47	A	C1	442,36	A	C1	129,00	A	C1	37,56	A	C1	35,74	A
C1	348,08	A	C3	37,00	B	C3	278,63	B	C3	83,20	B	C3	30,86	A	C3	18,53	B
C2	37,03	B	C2	4,43	C	C2	23,78	C	C2	17,20	C	C2	4,03	B	C2	2,53	C

C1= Avena - vicia

C2= Fréjol

C3= Haba

Al aplicar la prueba de Tukey al 5% para analizar los cultivos (C) (Cuadro 21). Se identificó que el mayor aporte de N estuvo asociada a los cultivos de haba (C3) con 358,23 kg/ha y avena – vicia (C1) con 348,08 kg/ha estos son estadísticamente iguales; mientras que fréjol es el cultivo que aporta la menor cantidad de N (37,03 kg/ha).

En el análisis de cultivos, avena – vicia (C1) presentó acumulaciones mayores de P, K, Ca, Mg y S con promedios de 65,47 kg/ha, 442,36 kg/ha, 129 kg/ha, 37,56 kg/ha y 35,47 kg/ha, respectivamente; mientras fréjol registró cantidades menores, 4,43 kg P/ha, 23,78 kg K/ha, 17,20 kg Ca/ha, 4,03 kg Mg/ha y 2,53 kg S/ha; respectivamente. Haba es el cultivo que presentó cantidades medias en relación a fréjol y avena – vicia.

Para Mg avena – vicia y haba son los cultivos que presentan acumulaciones estadísticamente similares con 37,56 kg/ha y 30,86 kg/ha; respectivamente, mientras el cultivo de fréjol posee una concentración inferior al presentar 4,03 kg/ha.

Los resultados obtenidos ratifican lo mencionado por Valverde *et al.* (1998), que indican que al agregar 11 t/ha de materia seca de haba (raíz, tallo y hojas, una vez cosechado las vainas) se incorporan 250 kg/ha de N, 14 kg/ha P₂O₅, 160 kg/ha de K₂O, 55 kg/ha de Ca y 20 kg/ha de Mg al suelo, y por cada 12 t/ha de materia seca de avena – vicia se incorpora 180 kg/ha de N, 60 kg/ha de P₂O₅, 320 kg/ha de K₂O, 40 kg/ha de Ca y 16 kg/ha de Mg. Ernest (2004) indica que la cantidad de N fijado está directamente relacionado con la producción de materia seca de la leguminosa, y que en promedio fija 30 kg/ha por cada tonelada de materia seca.

La mayor concentración de N, se encuentra en el follaje cuando el cultivo está en la etapa vegetativa, luego al finalizar el ciclo este nutriente se orienta hacia los frutos (Jacquinot, 1967).

Las acumulaciones de N, P, K y S, es mayor en las leguminosas, dado que para obtener N a través de la fijación biológica de N, estas especies presentan mayores requerimientos de P, K y S, con respecto a aquellos cultivos que absorben N solamente de la solución del suelo (Sulieman *et al.*, 2013).

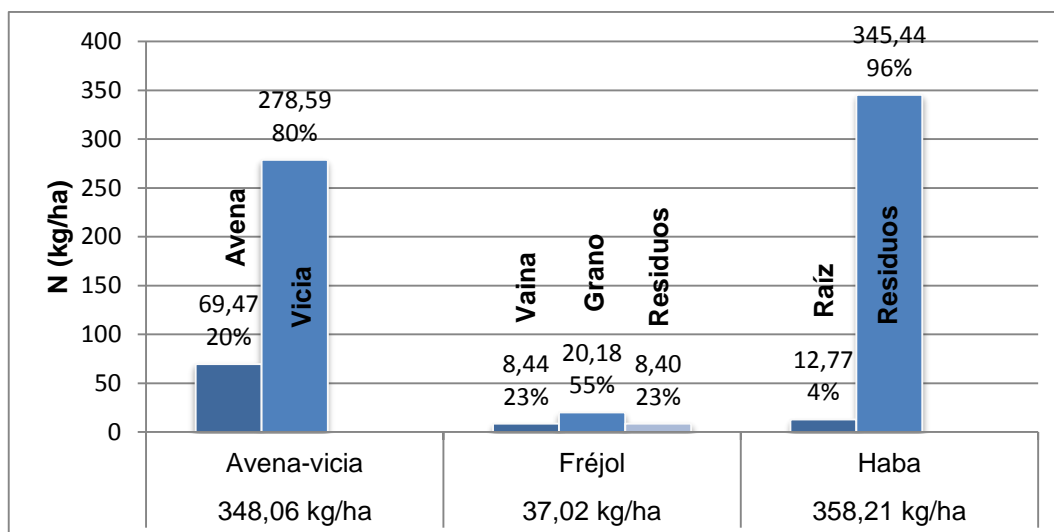


Gráfico 8. Aporte de N con los diferentes abonos verdes. Peribuela, 2013.

La distribución de N en los abonos verdes se presenta en el Gráfico 8, en el cual se observó el aporte que realizaron las distintas partes de la planta sobre el total. En la mezcla gramínea – leguminosa, vicia es el cultivo que aportó el 80% de N equivalente a 278, 59 kg/ha y avena el 20% (69,47 kg/ha). Se ha reportado que vicia puede acumular hasta 80 kg de N/ha, equivalente a 400 kg de abonos minerales en forma de sulfato de amonio o de 500 kg en forma de nitratos (Hycka, 1980).

En el caso del fréjol, el grano proporcionó mayor cantidad de N con un 55% (20,18 kg/ha), en menor proporción las vainas con 23% (8,44 kg/ha) y los residuos corresponden al 23% (8,40 kg/ha). La mayor parte del N en la etapa de fructificación se encuentra en el fruto. Delgado *et al.* (2009), después de los 73 días después de la germinación (ddg) encontraron mayor contenido de N situado en el fruto (grano y vaina), necesario para su formación; mientras la proporción en hojas y tallos disminuyó. En nuestro medio una vez cosechado el grano conjuntamente con las vainas, el resto de la planta se remueve y lleva fuera del terreno, esto representa expulsar el 23% de N (acumulado por la planta) del suelo; que puede ser aprovechado para el siguiente cultivo.

Haba, es el cultivo que aportó 358,21 kg/ha de N, dividida entre residuos (hojas y tallos) y raíz, los primeros concentran el 96% (345,44 kg/ha) de N de la planta y el 4% (12,77 kg/ha) restante se concentró en las raíces. Con densidades similares (80 – 200 kg/ha), se ha reportado que fija aproximadamente 50 a 200 kg N/ha (Gilsanz, 2012).

De las especies empleadas como abonos verdes, las leguminosas son más efectivas por la gran capacidad de fijar N atmosférico, acción que es realizada gracias a la simbiosis con los microorganismos, estas plantas forman nódulos en donde se establecen las bacterias nitrificantes como el *Rhizobium*, para transformar el N₂ e incorporarlo al suelo (Muñoz, 2014). Por otro lado, la gramínea (avena) empleada en esta investigación, tuvo menor aporte de N, esto se debe a que estas especies aunque no tienen la capacidad de fijar N atmosférico, son eficientes al momento de recobrar el N mineral de fertilizaciones realizadas anteriormente (Gilsanz, 2012). Sánchez (1997), indica que bajo condiciones favorables, la tasa de fijación de N de leguminosas como haba y chícharo pueden llegar al 80 - 90% de sus requerimientos de N a través de la fijación simbiótica, mientras que la soya obtiene del 40 al 60%; el resto toma del N presente en el suelo.

El aporte de N por fijación simbiótica, puede ser de 50 a 500 kg/ha/año, por fijación no simbiótica se puede acumular de 20 a 100 kg/ha/año (Brady, 1974).

Un factor influyente en la fijación biológica de N, se considera a la densidad de siembra de los abonos verdes, por lo que existe el consumo inicial de N del suelo, siendo esto un estímulo para la fijación de N (Macedo *et al.*, 2003). La densidad de siembra en la mezcla avena – vicia (1,7:1 kg de semilla) permitió tener una alta producción de biomasa de vicia superior a la de avena, lo cual se reflejó en la fijación eficiente de N atmosférico (N₂) por la leguminosa.

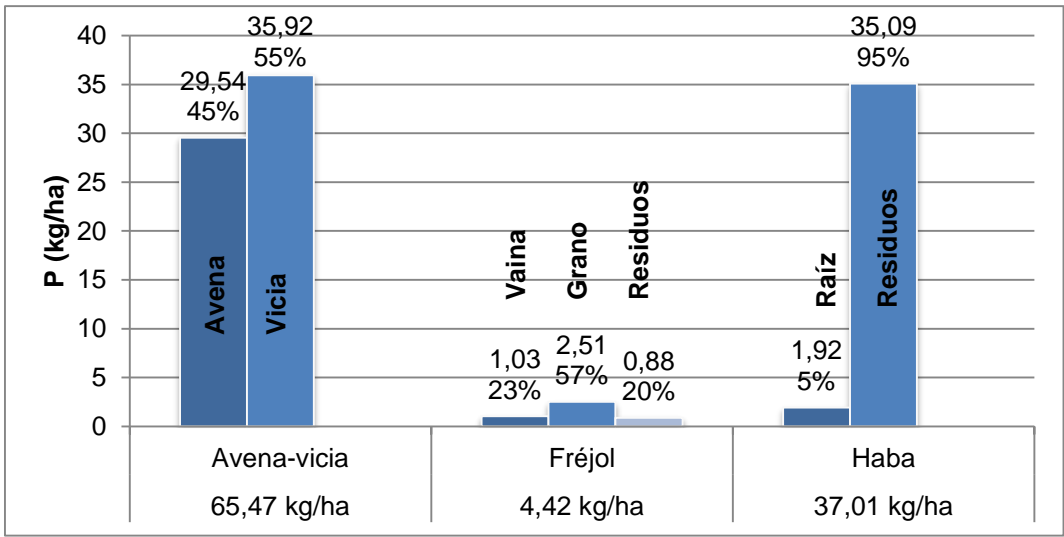


Gráfico 9. Aporte de P con los diferentes abonos verdes. Peribuela, 2013.

Los resultados que se muestran en el Gráfico 9, corresponden al aporte de P de las distintas partes de la planta de los abonos verdes. La mezcla avena – vicia aportó 65,47 kg/ha de P, repartidos en 29,54 kg/ha de avena y 35,92 kg/ha de vicia que corresponde a 45% y 55% respectivamente. El cultivo de fréjol presentó menor aportación entre los cultivos estudiados con un 57% del total proveniente del grano con un aporte de 2,51 kg/ha, las vainas con el 23% (1,03 kg/ha) y los residuos con el 20% restante (0,88 kg/ha). En la etapa de producción de grano, el P se distribuye en mayor proporción en el grano y vaina, y menor proporción en tallos y hojas (Delgado *et al.*, 2009).

Los residuos de haba conformados por follaje y tallos representaron el 95% (35,09 kg/ha) del total del aporte de P que realizaría el abono verde y el 5% (1,92 kg/ha) sobrante las raíces.

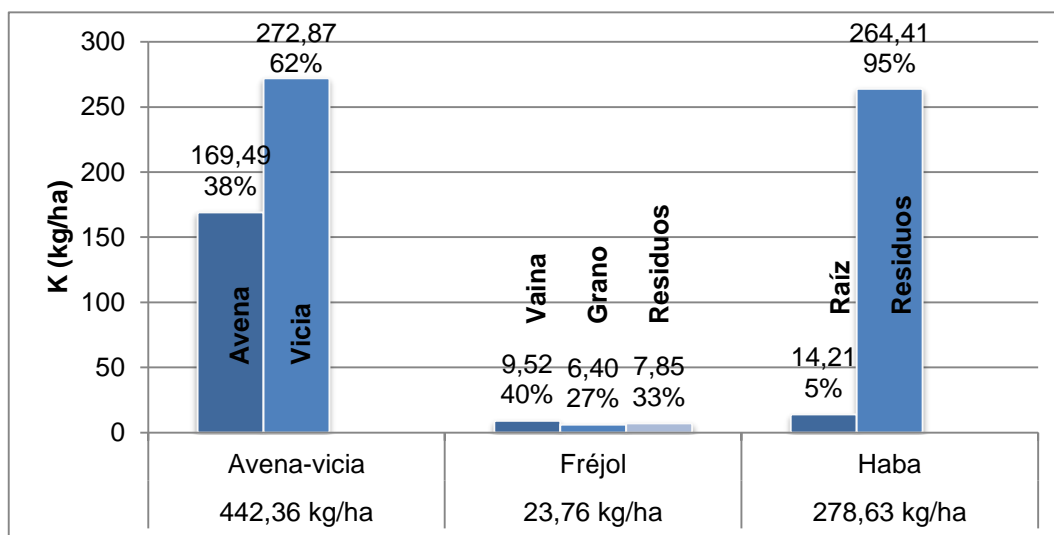


Gráfico 10. Aporte de K con los diferentes abonos verdes. Peribuela, 2013.

El Gráfico 10, muestra el aporte de K con la incorporación del material vegetal al suelo. Con la mezcla avena – vicia se adicionaron 442,36 kg/ha de K, repartida en 62% (272,87 kg/ha) que aporta la vicia y 38% (169,49 kg/ha) la avena. Las vainas en el cultivo de fréjol es la parte de la cual procede la mayor aportación de este elemento con un 40% (9,52 kg/ha) del total, los residuos (follaje, tallos y raíces) con un 33% (7,85 kg/ha) y con el 27% restante el grano (6,4 kg/ha). El aporte de este macronutriente desde los residuos de haba (follaje y tallos) fue del 95% (264,42 kg/ha) y de las raíces un 5% (14,21 kg/ha) del total que se incorporó al suelo. Las leguminosas presentan mayor extracción de K, las

diferencias en la acumulación se debe a la producción de biomasa, este elemento tiene efecto sobre la fijación biológica de N atmosférico (FBNA), ya que promueve el crecimiento de los nódulos, la actividad enzimática, el suministro de C y la transducción energética (Duke *et al.*, 1980).

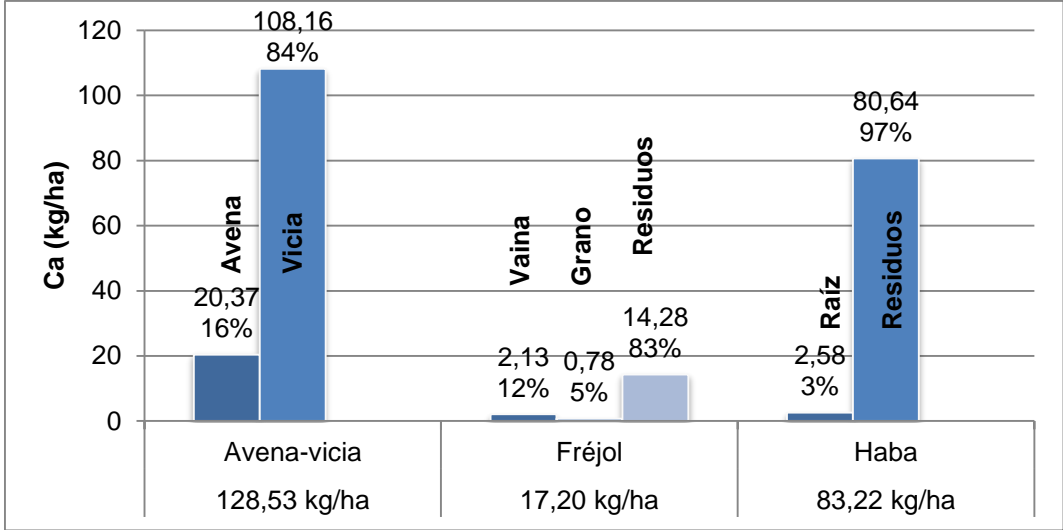


Gráfico 11. Aporte de calcio con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

El potencial aporte de Ca con los distintos abonos verdes estudiados se muestra en el Gráfico 11. En la mezcla avena – vicia el 84% de Ca (108,16 kg/ha), está presente en la vicia y el 16% (20,37 kg/ha) en la avena, lo cual demuestra que la vicia es exigente en Ca. El aporte de este elemento en fréjol está distribuido entre grano, vaina y residuos (tallo y follaje) con el 5% (0,78 kg/ha), 12% (2,13 kg/ha) y 83% (14,28 kg/ha); respectivamente, siendo en los residuos donde se concentra mayor parte de este nutriente. El aporte de Ca por haba indicó un 97% (80,64 kg/ha) para residuos y 3% (2,58 kg/ha) para raíces.

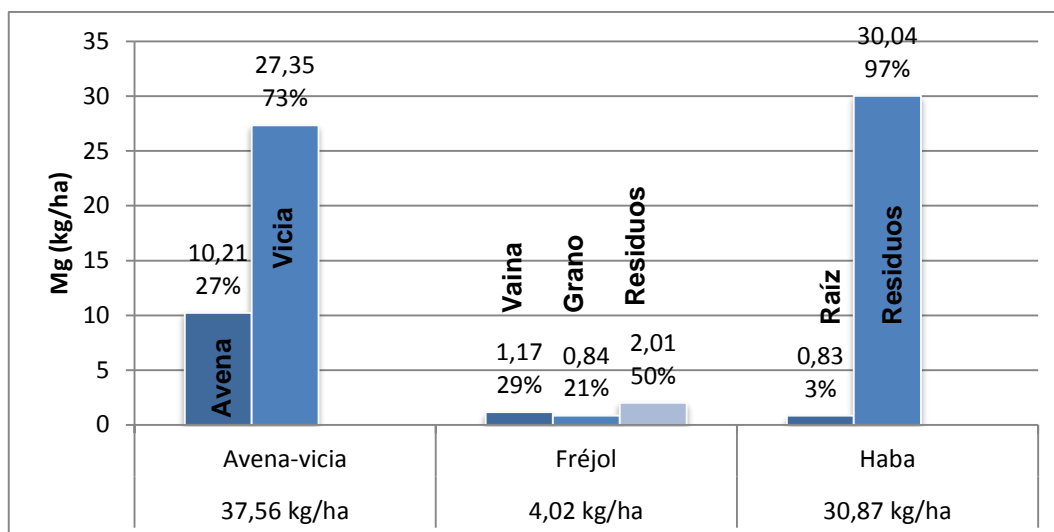


Gráfico 12. Aporte de magnesio con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

En el Gráfico 12 se indican las cantidades de Mg que proporcionaron los distintos cultivos y la distribución en cada uno de estos. En la mezcla avena – vicia, avena suministra el 27% equivalente a 10,21 kg/ha del total aportado (37,56 kg/ha) y el restante 73% vicia con 27,35 kg/ha. El aporte de Mg en fréjol está relacionado con la parte de la planta, así, el 50% (2,01 kg/ha) de este elemento se agrupó solamente en los residuos (hojas, tallos y raíz), el 29% (1,17 kg/ha) en las vainas y el 21% (0,84 kg/ha) estuvo contenido en los granos. Haba representó mayor aporte de este nutriente especialmente con los residuos conformados por la parte aérea de la planta, equivalente al 97% (30,04 kg/ha) y el 3% (0,83 kg/ha) está asociado con las raíces.

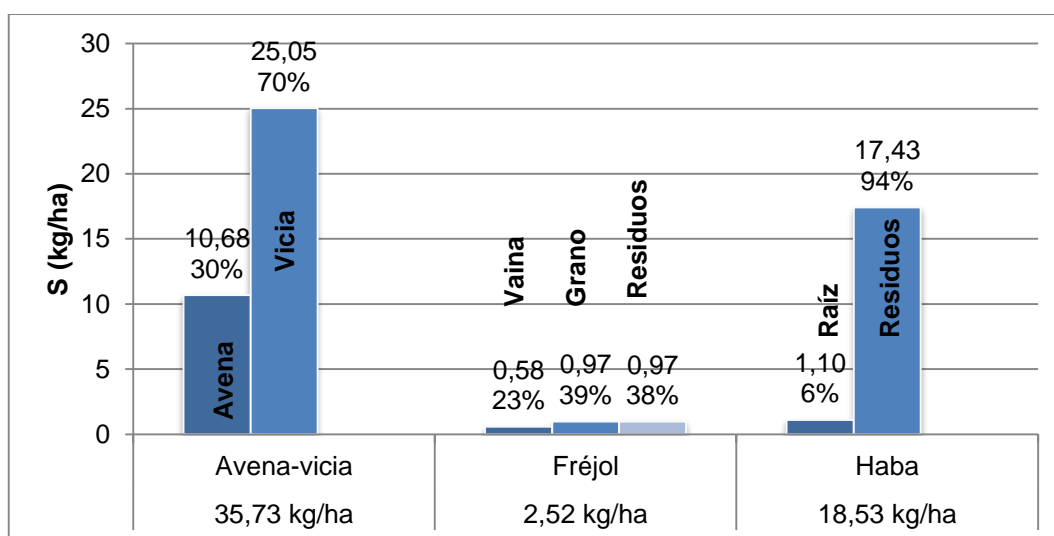


Gráfico 13. Aporte de azufre con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

El Gráfico 13, presenta el aporte de S con los distintos abonos verdes, tomando en cuenta la distribución por partes de la planta. En la asociación avena – vicia el 70% (25,05 kg/ha) de este nutriente aportó vicia y el 30% (10,68 kg/ha) restante la avena; por lo que juntos estos dos cultivos presentaron gran aporte de S, en relación a fréjol y haba. En fréjol el 39% (0,97 kg/ha) del S estuvo contenido en el grano, 38% (0,97 kg/ha) en los residuos y el 23% (0,58 kg/ha) en las vainas. El mayor aporte de este elemento en el cultivo de haba se encontró en los residuos (parte aérea) este representa el 94% (17,43 kg/ha) y el 6% (1,10 kg/ha) se halla en las raíces.

Las leguminosas son exigentes en S, debido que presentan una relación directa entre el aporte de este elemento y el contenido de las proteínas en los nódulos, principalmente de nitrogenasa y leghemoglobina, fundamentales en el proceso de fijación biológica de N (Varin *et al.*, 2010), como lo determinaron Scherer *et al.* (2008), investigación que mostró que la deficiencia de S redujo las tasas FBN en arveja (*Pisum sativum* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.), como consecuencia de una disminución en la concentración de ferredoxina y leghemoglobina en nódulos.

Los requerimientos de S son mayores en las leguminosas con relación a las gramíneas; las primeras demandan S para la FBNA y las gramíneas tienen mayor tasa de absorción por lo que emplean de mejor manera este elemento (Cerveñansky, 2011).

4.4.2 APORTE DE MICRONUTRIENTES

Los análisis de varianzas realizados para micronutrientes presentes en la biomasa (Cuadro 22), determinaron que B, Zn, Cu, Fe y Mn son altamente significativos (1%) para tratamientos. Los coeficientes de variación fueron 37,64%, 45,94%, 39,99%, 93,95% y 41,25% para B, Zn, Cu, Fe y Mn; respectivamente, y los promedios fueron 279,52 g B/ha, 363,4 g Zn/ha, 102,25 g Cu/ha, 4414,72 g Fe/ha y 329,81 g Mn/ha. En orden descendente las acumulaciones de Fe fueron en mayores seguido por Zn, Mn, B y Cu.

El análisis de factores (Cuadro 22), mostró diferencias altamente significativa (1%) para cultivos; mientras que, para residuos, fertilización e interacciones fue no significativo.

Cuadro 22. Análisis de varianza para micronutrientes presentes en la biomasa de los abonos verdes. Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados Medios				
		B	Zn	Cu	Fe	Mn
Total	35					
Repeticiones	2	26787,83 ns	58390,12 ns	8050,05 *	15479511,70 ns	57971,19 ns
Tratamientos	11	123890,66 **	172441,14 **	14066,75 **	60965835,21 **	168019,56 **
Cultivo (C)	2	652448,99 **	884970,66 **	75326,60 **	297034545,82 **	837558,94 **
Residuos (R)	1	630,85 ns	1003,83 ns	576,80 ns	21111421,25 ns	21029,83 ns
Fertilización (F)	1	9123,43 ns	19048,60 ns	1132,32 ns	938153,67 ns	22037,40 ns
C x R	2	1498,69 ns	8475,53 ns	454,13 ns	10539944,81 ns	7418,30 ns
C x F	2	4989,62 ns	43402,71 ns	628,59 ns	293129,24 ns	29982,88 ns
R x F	1	3254,70 ns	46,92 ns	150,88 ns	7076398,02 ns	604,34 ns
C x R x F	2	15956,83 ns	1527,71 ns	27,84 ns	12881487,33 ns	27311,67 ns
Error Experimental	22	11066,48	27870,43	1671,83	17201216,16	18513,49
CV (%):		37,64	45,94	39,99	93,95	41,25
Promedio (g/ha):		279,52	363,40	102,25	4414,72	329,81

**= Significativo al 1%

*= Significativo al 5%

ns= No significativo

La prueba de Tukey al 5%, realizada al aporte de micronutrientes presentes en la biomasa vegetal de los abonos verdes (Cuadro 23), detectó para B tres rangos, los tratamientos T1, T4, T11, T3, T2, T10 pertenecen al primero de los cuales el T1 (avena – vicia, con residuos y sin fertilización) acumuló 493,67 g/ha y representa el mejor tratamiento, T9 comparten el primero y segundo, T12 forma el primero, segundo y tercero, T6 y T5 se ubican en el segundo y tercero y T7 y T8 en el tercero. Al rango “A” corresponden las parcelas de avena – vicia y haba y concentraron cantidades superiores (285,10 a 493,67 g/ha) en relación al fréjol que acumularon entre 11,80 y 22,20 g/ha.

Para Zn, presentó cuatro rangos, “A” conformaron los tratamientos T11 (haba, con residuos y sin fertilización) y T9 (haba, sin residuos y sin fertilización) almacenaron 641,30 g/ha y 578,17 g/ha; respectivamente, T2 formó parte de “A y B”, T1 se ubicó en “A, B y C”, los tratamientos T4, T3, T12 y T10 comparten los cuatro rangos, T6 perteneció a “B, C y D”, T5 a “C y D”; mientras que T8 y T7 en “D”.

La acumulación de Cu, se presentó en mayor proporción en los tratamientos que pertenecen a la mezcla avena – vicia, correspondiente a T11, T9, T12 y T10 cuyo aporte fue 191,9 g/ha, 171,3 g/ha, 159,07 g/ha y 151,2 g/ha; respectivamente, ubicándose en el primer rango, T3 formó parte “A y B”, T4, T1, T2 conformaron “A, B y C”; T6 se ubicó en “B y C”; en tanto que, T5, T8 y T7 pertenecientes al cultivo de fréjol acumularon 16,03 g/ha, 16,03 g/ha, 12,2 g/ha y 10,5 g/ha, respectivamente y corresponden a “C”.

La acumulación de Fe mostró dos rangos, donde el tratamiento T11 (haba, con residuos y sin fertilización) con 13077,5 g/ha presento mayor concentración y se ubicó en “A”, T12, T10, T9, T4, T3, T1 y T2 formaron parte de “A y B” y los tratamientos T5, T6, T8 y T7 pertenecientes al cultivo de fréjol se ubicaron en “B” obteniendo cantidades inferiores.

Para el caso de Mn se observó que las acumulaciones más altas correspondieron a los cultivos de avena – vicia y haba con los tratamientos T11, T4, T9, T1 y T3 que conforman el rango “A”, los tratamientos T10 compartieron “A y B”, T12 y T2 “A, B y C”, T6 “B y C” y T5, T8 y T7 en “C” que correspondió a fréjol, que es el cultivo que concentra menor cantidad de Mn en la biomasa.

De manera general las acumulaciones de B, Zn, Cu, Fe y Mn están determinadas por la influencia de los cultivos, y no por los residuos y fertilización. Avena – vicia y haba

presentan mayor concentración de micronutrientes en la biomasa, comparada frente al cultivo de fréjol.

La prueba de Tukey al 5% para el análisis del factor cultivos (C), de la variable aporte de micronutrientes por la biomasa de los abonos verdes (Cuadro 24) B, Zn, Cu, y Mn presentaron la formación de dos rangos, avena – vicia y haba son estadísticamente iguales entre sí (Rango A), pero diferentes a fréjol (Rango B). Para Fe, haba es el cultivo que acumuló mayor cantidad de este elemento, mientras tanto, avena – vicia y fréjol se ubican en el rango “B”.

Cuadro 23. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos, en la acumulación de micronutrientes presentes en la biomasa (g/ha). Peribuela, 2013.

B			Zn				Cu			Fe			Mn		
Trat.	Prom. (g/ha)	Rango	Trat.	Prom. (g/ha)	Rango		Trat.	Prom. (g/ha)	Rango	Trat.	Prom. (g/ha)	Rango	Trat.	Prom. (g/ha)	Rango
T1	493,67	A	T11	641,30	A		T11	191,90	A	T11	13077,50	A	T11	685,20	A
T4	477,93	A	T9	578,17	A		T9	171,30	A	T12	10448,00	A B	T4	538,80	A
T11	462,37	A	T2	556,00	A	B	T12	159,07	A	T10	10152,70	A B	T9	490,73	A
T3	451,07	A	T1	546,47	A	B C	T10	151,20	A	T9	6271,00	A B	T1	458,90	A
T2	433,80	A	T4	526,27	A	B C D	T3	139,33	A B	T4	3901,20	A B	T3	443,50	A
T10	350,77	A	T3	461,63	A	B C D	T4	124,53	A B C	T3	2970,93	A B	T10	434,07	A B
T9	329,63	A B	T12	441,50	A	B C D	T1	118,10	A B C	T1	2363,93	A B	T12	412,33	A B C
T12	285,10	A B C	T10	410,10	A	B C D	T2	113,87	A B C	T2	2115,23	A B	T2	390,23	A B C
T6	22,20	B C	T6	67,50	B	C D	T6	19,00	B C	T5	497,50	B	T6	30,70	B C
T5	21,93	B C	T5	53,83	C	D	T5	16,03	C	T6	493,23	B	T5	29,23	C
T7	13,97	C	T8	41,00	D		T8	12,20	C	T8	346,53	B	T8	24,30	C
T8	11,80	C	T7	37,00	D		T7	10,50	C	T7	338,87	B	T7	19,77	C

Cuadro 24. Prueba de Tukey al 5% para cultivos (C), en la acumulación promedio de micronutrientes. Peribuela, 2013.

B			Zn			Cu			Fe			Mn		
Cultivo	Media (g/ha)	Rango	Cultivo	Media (g/ha)	Rango	Cultivo	Media (g/ha)	Rango	Cultivo	Media (g/ha)	Rango	Cultivo	Media (g/ha)	Rango
Avena-vicia	464,12	A	Avena-vicia	522,59	A	Haba	168,37	A	Haba	9987,3	A	Haba	505,58	A
Haba	356,97	A	Haba	517,77	A	Avena-vicia	123,96	A	Avena-vicia	2837,83	B	Avena-vicia	457,86	A
Fréjol	17,48	B	Fréjol	49,83	B	Fréjol	14,43	B	Fréjol	419,03	B	Fréjol	26,00	B

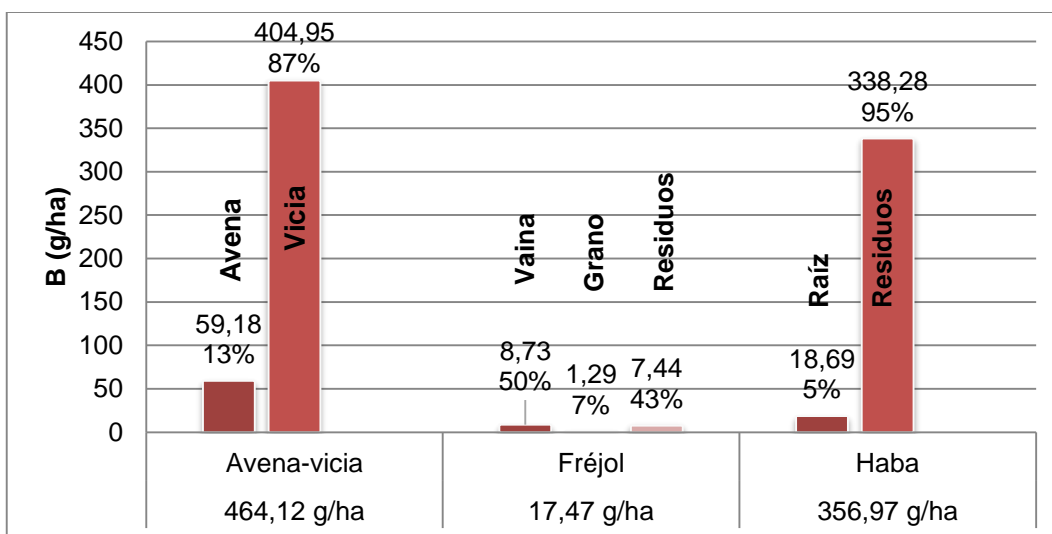


Gráfico 14. Aporte de boro efectuado por los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

El Gráfico 14, corresponde al aporte total de B que realizaron los abonos verdes. La mezcla avena - vicia aportó 464,12 g/ha de B, de los cuales el 13% (59,18 g/ha) pertenece al cultivo de avena y el 87% (404,95 g/ha) a vicia. Fréjol acumuló un total de 17,47 g/ha, las vainas y los residuos corresponde a la mayor aportación con 50% (8,73 g/ha) y 43% (7,44 g/h) respectivamente; entretanto al grano corresponde el 7% (1,29 g/ha). El 95% del aporte de B por el cultivo de haba sería realizado por la parte aérea y el 5% restante por las raíces. Las leguminosas son las especies que concentran mayor cantidad de B, la diferencia significativa con respecto a fréjol se debe a la cantidad de biomasa producida.

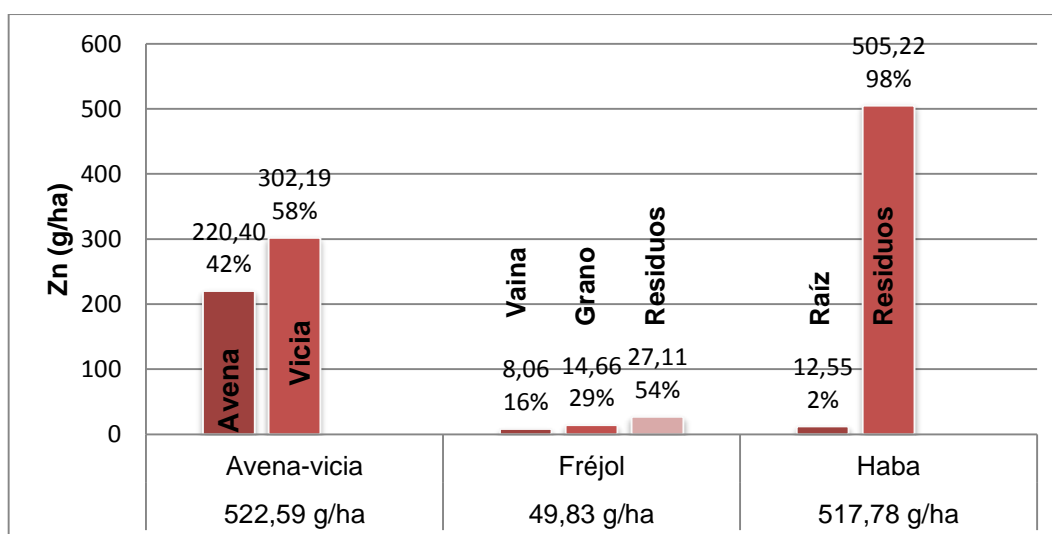


Gráfico 15. Aporte de zinc efectuado por los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

En el Gráfico 15, se observa el aporte de Zn efectuado por cada uno de los abonos verdes al incorporarlos al suelo. La mezcla avena y vicia aportó 522,59 g/ha de Zn, este valor es superior al que aportan los otros cultivos estudiados en esta investigación; dicha cantidad se encuentran distribuida, el 42% (220,40 g/ha) en la avena y 58% (302,19 g/ha) en vicia, siendo este último el que contribuye significativamente. Para el cultivo de fréjol se observó un total de 49,83 g/ha, de los cuales los residuos originan el 54% (27,11 g/ha), seguido del grano con 29% (14,66 g/ha) y finalmente el 16% (8,06 g/ha) a la vaina (una vez cosechado el grano). El cultivo de haba presenta una diferencia entre las raíces y sus residuos muy pronunciada con 2% (12,55 g/ha) y 98% (505,22 g/ha); respectivamente, llegando a los 517,78 g/ha de aporte total con este cultivo.

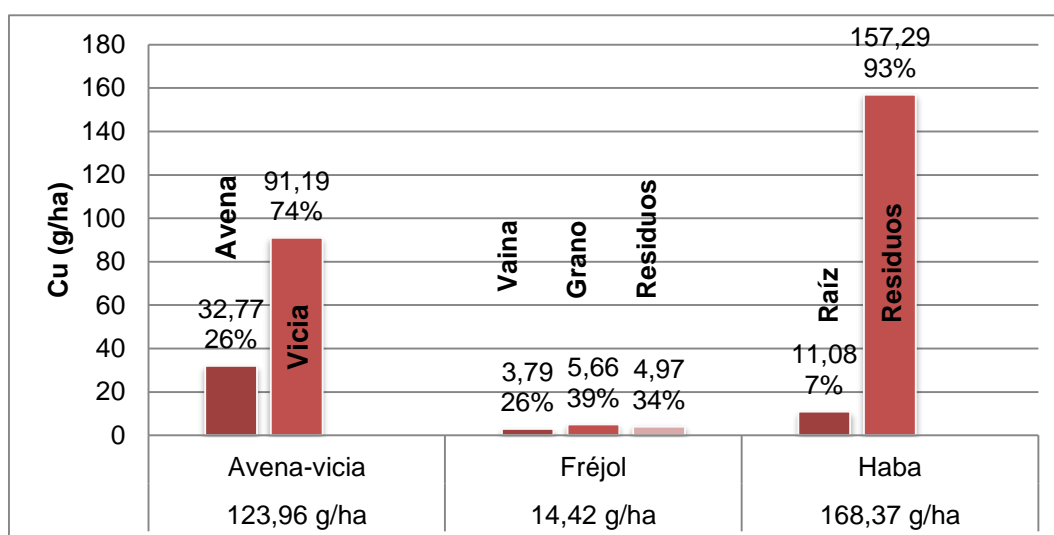


Gráfico 16. Aporte de cobre con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

El aporte de Cu por los distintos abonos verdes se presenta en el Gráfico 16. Con el cultivo de haba se añadió 168,37 g de Cu/ha, las raíces aportan un 7% (11,08 g/ha) y la parte aérea (residuos) el 93% (157,29 g/ha); con la mezcla avena – vicia, el 74% (91,19 g/ha) del total corresponde a vicia y el 26% (32,77 g/ha) a la avena. La cantidad de Cu en haba es mayor a la observada en la mezcla avena – vicia.

Para el cultivo de fréjol se muestra pequeñas diferencias entre el aporte realizado por vaina, grano y residuos con 26% (3,79 g/ha), 39% (5,66 g/ha) y 34% (4,97 g/ha); respectivamente. En tanto que Delgado *et al.* (2009) indican que la acumulación de Zn

(46%) es mayor en los granos, que en otras partes de la planta. Los abonos verdes estudiados acumulan mayor cantidad de Zn en relación al Cu.

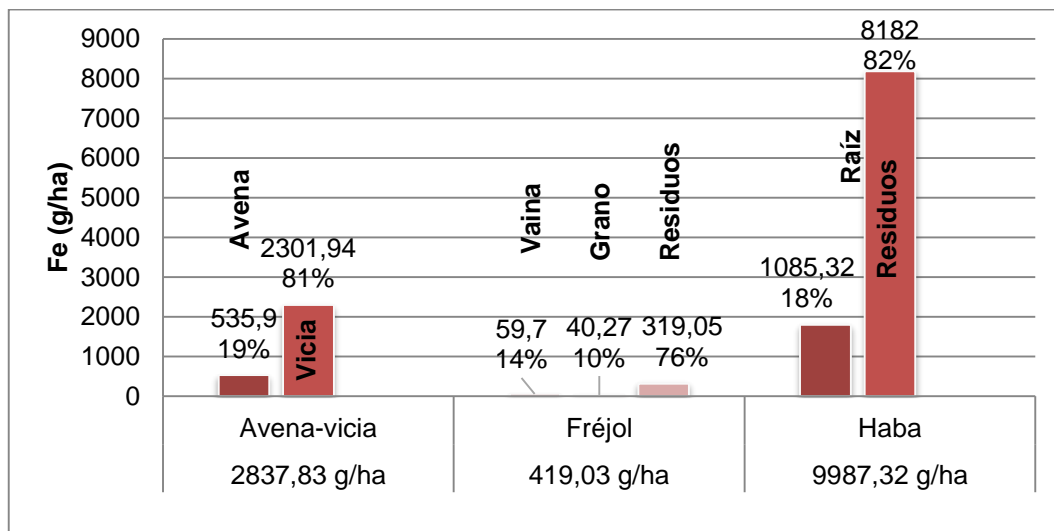


Gráfico 17. Aporte de hierro con los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

De acuerdo al Gráfico 17, la mezcla avena-vicia aportó un total de 2837,83 g/ha de Fe, de los cuales el cultivo de avena contribuye con el 19% equivalente a 535,90 g/ha y el cultivo de vicia con el 81% que corresponde a 2301,94 g/ha. En el cultivo de fréjol el Fe estuvo presente en mayor cantidad en los residuos con 76% que es igual a aportar 319,05 g/ha, seguido de la contribución de las vainas con el 14% igual a 59,70 g/ha y los granos con el 10% aportando 40,27 g/ha, sumando un total de 419,03 g/ha si la incorporación es de toda la planta. Finalmente, tenemos el cultivo de haba que es la especie que mayor aportación hace de este elemento, al suministrar 9987,32 g/ha con la biomasa; ésta cantidad está distribuida en la raíz con el aporte del 18% (1805,32 g/ha) y los residuos que están formados por la parte aérea de la planta con el 82% (8182,00 g/ha).

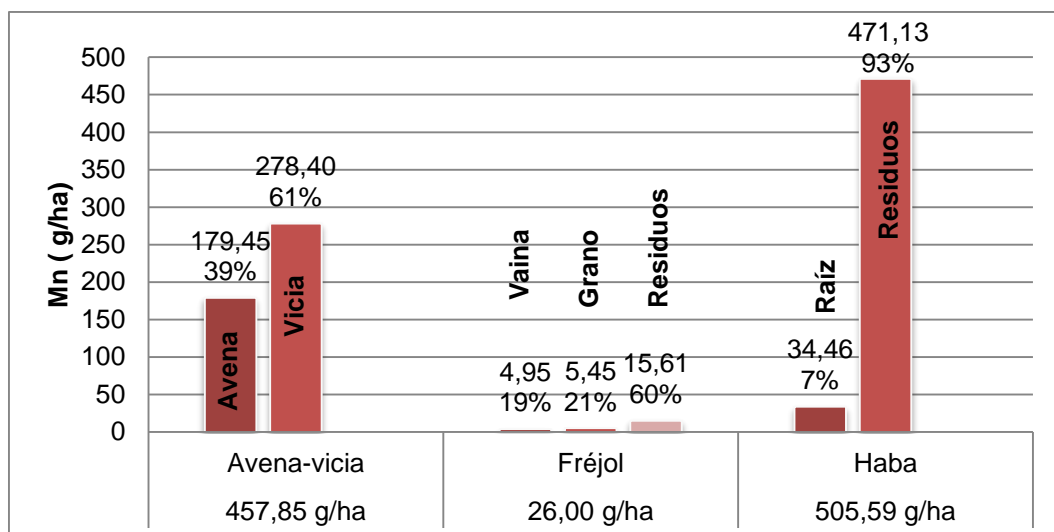


Gráfico 18. Aporte de manganeso en los distintos abonos verdes. Peribuela, 2013.

El Gráfico 18, muestra el aporte de Mn realizado por los abonos verdes, en donde la mezcla avena-vicia acumula 457,85 g/ha, de los cuales vicia es el que más contribuye con 61% (278,40 g/ha), y avena con 39% (179,45 g/ha). El aporte total de Mn realizado por parte de fréjol fue de 26,00 g/ha, de los cuales los residuos tienen una contribución mayor equivalente al 60% (15,61 g/ha), seguido por las vainas y el grano con el 19% (4,95 g/ha) y 21% (5,45 g/ha); respectivamente. Finalmente, para el caso de haba tenemos 417,13 g/ha pertenecientes a residuos con 93%, seguido del 7% (34,46 g/ha) de raíces; en donde sumados muestran un aporte de 505,59 g Mn/ha.

La cantidad de nutrientes que se incorporan al suelo con los abonos verdes depende de la especie y el manejo del cultivo (Valverde *et al.*, 1998). El contenido de nutrimentos en las distintas partes de la planta está influenciado por las condiciones de crecimiento (especie, variedad, marco de plantación, radiación solar, temperatura, humedad, tipo de suelo, sistema de riego, sistema de protección térmica, estado sanitario, etc.), dosis, tipo y forma de fertilización (Gonzálvez y Pomares, 2008).

4.5 CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO

Se analizan los resultados de análisis de las muestras tomadas antes de incorporar la biomasa fresca de los abonos verdes y de las muestras tomadas 42 días posteriores.

4.5.1 MUESTREO INICIAL

Macroelementos presentes en el suelo

El Cuadro 25, muestra el análisis de varianza realizado para la variable contenido de macroelementos presentes en el suelo. El contenido de N-NH₄ no presentó diferencias estadísticas significativas tanto para tratamientos, factores e interacciones. El coeficiente de variación fue 33,51% y un promedio 25,52 ppm.

Para P, se identificó significancias estadísticas del 5% para cultivos (C) e interacción cultivos por fertilización (C x F). El coeficiente de variación fue de 20,87% y promedio de 50,19 ppm.

Para S, se detectó significancia estadística del 1% para tratamientos, cultivos y fertilización. El coeficiente de variación y media fueron 15,98% y 11,14 ppm respectivamente.

En el caso de K, el análisis permitió establecer que la concentración de este elemento difiere entre avena – vicia, fréjol y haba. El coeficiente de variación fue 17,95% y el promedio general 0,37 meq/100ml de suelo.

Para Ca se detectó diferencias significativas al 1% para cultivos (C). El coeficiente de variación fue 10,18% y una media de 8,86 meq/100ml de suelo.

Para Mg, no se presentó diferencia estadística para tratamientos, factores e interacciones. El coeficiente de variación fue 7,53% y la media general 2,85 meq/100ml de suelo.

Cuadro 25. Análisis de varianza para macroelementos presentes en el suelo. Muestreo inicial. Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados medios						
		ppm			meq/100ml			
		N-NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	
Total	35							
Repeticiones	2	71,83 **	3235,36 **	3,32 ns	0,07 **	1,67 ns	0,07 ns	
Tratamientos	11	664,31 ns	181,30 ns	10,89 **	0,01 ns	1,83 ns	0,02 ns	
Cultivos (C)	2	28,83 ns	414,36 *	20,76 **	0,03 **	6,61 **	0,01 ns	
Residuos (R)	1	148,84 ns	61,36 ns	4,62 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	
Fertilización (F)	1	32,87 ns	78,03 ns	58,01 **	0,00 ns	1,69 ns	0,05 ns	
C x R	2	55,72 ns	7,20 ns	1,65 ns	0,01 ns	0,24 ns	0,06 ns	
C x F	2	126,81 ns	400,53 *	1,36 ns	0,00 ns	0,52 ns	0,01 ns	
R x F	1	64,00 ns	6,25 ns	0,90 ns	0,01 ns	1,21 ns	0,02 ns	
C x R x F	2	60,84 ns	102,25 ns	4,38 ns	0,01 ns	1,28 ns	0,02 ns	
Error Experimental	22	85,04	109,76	3,17	0,00	0,81	0,05	
CV (%):		33,51	20,87	15,98	17,95	10,18	7,53	
Promedio:		27,52	50,19	11,14	0,37	8,86	2,85	

**= Significativo al 1%

*= Significativo al 5%

ns= No significativo

Cuadro 26. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la concentración de azufre presente en el suelo. Peribuela, 2013.

Tratamientos	Medias (ppm)	Rangos		
T6	15,00	A		
T12	13,33	A	B	
T10	13,00	A	B	C
T8	12,00	A	B	C
T7	11,00	A	B	C
T2	10,77	A	B	C
T5	10,60	A	B	C
T4	10,33	A	B	C
T9	10,10	A	B	C
T11	10,00	A	B	C
T1	9,50		B	C
T3	8,00			C

La prueba de Tukey al 5% (Cuadro 26) para concentración de S en el suelo, señala la presencia de tres rangos, determinando que el tratamiento T6 (fréjol, sin incorporación y fertilización) presenta concentraciones superiores de S con 15,00 ppm, se ubicó en “A”; T12 conformó “A y B”, los tratamientos T10, T8, T7, T2, T5, T4, T9 y T11 formaron “A, B y C” acumulando valores entre 10 y 13 ppm de S, T1 compartió “B y C” y T3 (avenavicia, incorporación y sin fertilización) revelan bajo contenido con 8,00 ppm, se ubicó en el rango “C”.

Cuadro 27. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos (C) en la concentración de P, S, K y Ca presentes en el suelo. Peribuela, 2013.

ppm						meq/100ml de suelo					
P			S			K			Ca		
Cultivo	Med.	Rango	Cultivo	Med.	Rangos	Cultivo	Med.	Rango	Cultivo	Med.	Rango
C3	54,50	A	C2	12,15	A	C2	0,41	A	C1	9,48	A
C2	52,58	A	C3	11,61	A	C3	0,39	A B	C2	9,06	A
C1	43,50	A	C1	9,65	B	C1	0,31	B	C3	8,03	B

C1= Avena - vicia
 C2= Fréjol
 C3= Haba

Al realizar la prueba de Tukey al 5% (Cuadro 27), para cultivos de la variable concentración de nutrientes en el suelo, muestra para P la existencia de un solo rango, lo que significa que estadísticamente no hay diferencia entre los cultivos; dado que los contenidos de P en el suelo fueron altos, al culminar la etapa de cultivo de los abonos verdes.

En el caso de S, se observa que el rango “A” está conformado por las parcelas que pertenecieron a fréjol y haba con 12,15 ppm y 11,61 ppm respectivamente, considerando que estos cultivos concentraron cantidades superiores de S, y en el rango “B” se ubicó la mezcla avena-vicia con 9,65 ppm; posiblemente por la extracción por parte del cultivo, especialmente avena, dado que tiene una mayor tasa de absorción que las leguminosas.

Para K, se evidenció que las parcelas en las cuales se cultivó fréjol, presentaron mayor concentración, con 0,41 meq/100ml de suelo; haba comparte los rangos “A y B” con 0,39 meq/100ml de suelo y los promedios más bajos presenta la mezcla avena-vicia con 0,31 meq/100ml de suelo correspondiente al rango “B”.

Para Ca, avena – vicia y fréjol son estadísticamente similares presentando 9,48 meq/100ml y 9,06 meq/100ml; respectivamente, ubicados en el rango “A”, y con 8,03 meq/100ml se sitúa en el rango “B” el cultivo de haba.

Los análisis iniciales muestran que los contenidos de P, S y K presentes en el suelo, son menores en las parcelas que se cultivó avena – vicia; concordante con el nivel de extracción de estos elementos, en especial la avena. Antes de la incorporación de la biomasa, el suelo bajo el cual estuvo el fréjol tuvo mayores cantidades de S y K, que los pertenecientes al haba y mezcla avena – vicia. Mientras que, por efecto del cultivo de haba se acumuló menor cantidad de Ca (Cuadro 27).

Los análisis antes de la incorporación, mostraron que al finalizar el ciclo de abonos verdes, el suelo en general acumuló cantidades altas P, K, Ca y Mg.

Microelementos presentes en el suelo

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 28, mostró para Zn diferencias estadísticas del 5% para tratamientos y significancia estadística del 1% para cultivos. El coeficiente de variación fue de 23,73% y el promedio de 4,88 ppm.

Para Cu se observó que no existe significancia para tratamientos, de igual manera para los factores cultivos, residuos y fertilización; sin embargo, se observó significancia del 5% para la interacción cultivos por residuos (C x R). El coeficiente de variación y promedio fue de 5,8% y 9,41 ppm; respectivamente.

En el caso de Fe se determinó que no existe significancia alguna para tratamientos, factores e interacciones. Presentó un coeficiente de variación de 14,61% y la media de 213,17 ppm.

Para el Mn, no se presentó diferencias estadísticas para tratamientos, cultivos, residuos y fertilización. Para la interacción residuos por fertilizante (R x F) se observó diferencia estadística al 5%. El coeficiente de variación fue de 9,6% y una media general de 11,57 ppm.

Para B se observó que no hay significancia para tratamientos, tampoco muestra significancia los demás factores en estudio. El coeficiente de variación fue 11,59% y la media 1,17 ppm en el suelo.

Cuadro 28. Análisis de varianza para microelementos presentes en el suelo. Muestreo inicial. Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Fe	Mn	B
Total	35					
Repeticiones	2	27,06 **	0,75 ns	1145,09 ns	5,49 *	0,02 ns
Tratamientos	11	3,41 *	0,64 ns	229,36 ns	1,96 ns	0,02 ns
Cultivos (C)	2	8,45 **	0,94 ns	86,59 ns	1,27 ns	0,04 ns
Residuos (R)	1	2,45 ns	0,67 ns	128,44 ns	1,91 ns	0,00 ns
Fertilización (F)	1	3,87 ns	0,38 ns	5,44 ns	2,40 ns	0,01 ns
C x R	2	3,16 ns	1,26 *	112,70 ns	0,76 ns	0,02 ns
C x F	2	3,24 ns	0,53 ns	772,20 ns	0,05 ns	0,02 ns
R x F	1	0,13 ns	0,02 ns	144,00 ns	9,10 *	0,00 ns
C x R x F	2	0,65 ns	0,24 ns	151,09 ns	2,02 ns	0,01 ns
Error Experimental	22	1,34	0,30	969,72	1,23	0,02
CV (%):		23,73	5,8	14,61	9,57	11,59
Promedio (ppm):		4,88	9,41	213,17	11,57	1,17

** =Significativo al 1%
 * =Significativo al 5%
 ns =No significativo

Cuadro 29. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la concentración de Zinc en el suelo. Muestreo inicial. Peribuela, 2013.

Tratamientos	Medias (ppm)	Rangos
T11	6,13	A
T9	6,03	A
T8	5,90	A
T5	5,60	A
T6	5,43	A
T3	5,33	A
T7	4,77	A
T12	4,53	A
T10	4,53	A
T4	4,20	A
T1	3,40	A
T2	2,73	A

La prueba de Tukey al 5% realizada para determinar la diferencia entre los tratamientos en la concentración de Zn en el suelo (Cuadro 29) marcó la formación de un solo rango lo que representa que no hay diferencias estadísticas entre los tratamientos; sin embargo, las parcelas con el tratamiento T11 (incorporación de haba y sin fertilizante) con 6,13 ppm indicó la mayor concentración y T2 (incorporación de avena-vicia y sin fertilizante) con 2,73 ppm, presentó el contenido de Zn más bajo.

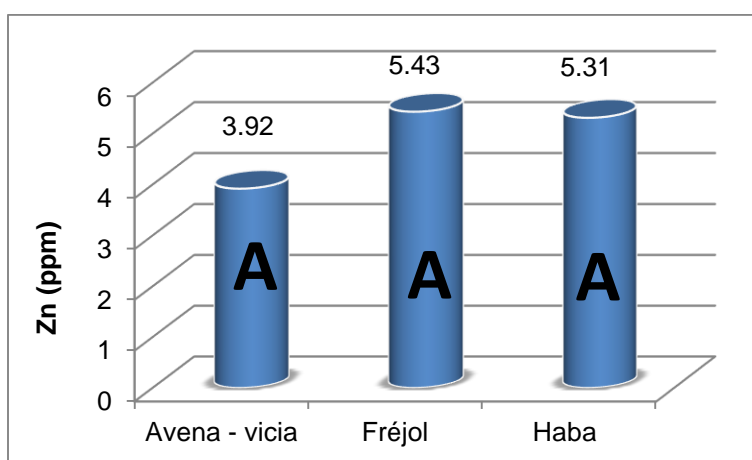


Gráfico 19. Prueba de Tukey al 5% para cultivos (C), para el contenido de zinc en el suelo. Muestreo inicial. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% realizada con la concentración de Zn en el suelo (Gráfico 19) para cultivos, indicó que estadísticamente son similares, al formarse un solo rango, los contenidos varían entre 3,92 – 5,43 ppm.

Nivel de pH del suelo

En el análisis de varianza realizado para pH, presentó diferencias estadísticas al 5% para tratamientos, altamente significativos (1%) para cultivos (C) y no es significativo para residuos, fertilización y las interacciones. El coeficiente de variación fue de 1,06% y promedio de 6,72 (Cuadro 30).

Cuadro 30. Análisis de varianza para pH del suelo. Muestreo inicial. Peribuela, 2013.

F de V	gl	SC	CM	FC	FT	
					5%	1%
Total	35	0,32				
Repeticiones	2	0,06	0,03	6,00 **	3,49	5,85
Tratamientos	11	0,15	0,01	2,73 *	2,30	3,29
Cultivos (C)	2	0,09	0,05	9,00 **	3,49	5,85
Residuos (R)	1	0,002	0,00	0,40 ns	4,35	8,10
Fertilización (F)	1	0,000003	0,00	0,00 ns	4,35	8,10
C x R	2	0,03	0,02	3,00 ns	3,49	5,85
C x F	2	0,02	0,01	2,00 ns	3,49	5,85
R x F	1	0,003	0,00	0,60 ns	4,35	8,10
C x R x F	2	0,004	0,00	0,35 ns	3,49	5,85
Error Experimental	22	0,11	0,01			
CV (%):	1,06					
Promedio:	6,72					

** =Significativo al 1%

* =Significativo al 5%

ns =No significativo

La prueba de Tukey al 5% (Cuadro 31), determinó diferencias de pH entre los tratamientos estableciendo dos rangos, donde el tratamiento T2 (avena-vicia sin incorporación y fertilización), con pH de 6,87 se ubicó en “A”, los tratamientos T4, T1, T7, T3, T11, T12, T9, T10 y T8 pertenecen a “A y B” y el tratamiento T5 y T6 con 6,64 y 6,61;

respectivamente ocupan el rango “B”. Los niveles de pH obtenidos, corresponden a suelos prácticamente neutros.

Cuadro 31. Prueba de Tukey al 5% para valores de pH del suelo según tratamientos. Muestreo inicial. Peribuela, 2013.

Tratamientos	Medias	Rangos	
T2	6,87	A	
T4	6,77	A	B
T1	6,76	A	B
T7	6,74	A	B
T3	6,74	A	B
T11	6,74	A	B
T12	6,73	A	B
T9	6,71	A	B
T10	6,69	A	B
T8	6,67	A	B
T5	6,64		B
T6	6,61		B

Según la prueba de Tukey al 5% para valores de pH en el suelo, se observó que las parcelas de avena – vicia presentaron un pH de 6,79 (prácticamente neutro), se establece en el rango “A” y las que estaban con el cultivo de fréjol con 6,67 se ubican en el rango “B” (Gráfico 20).

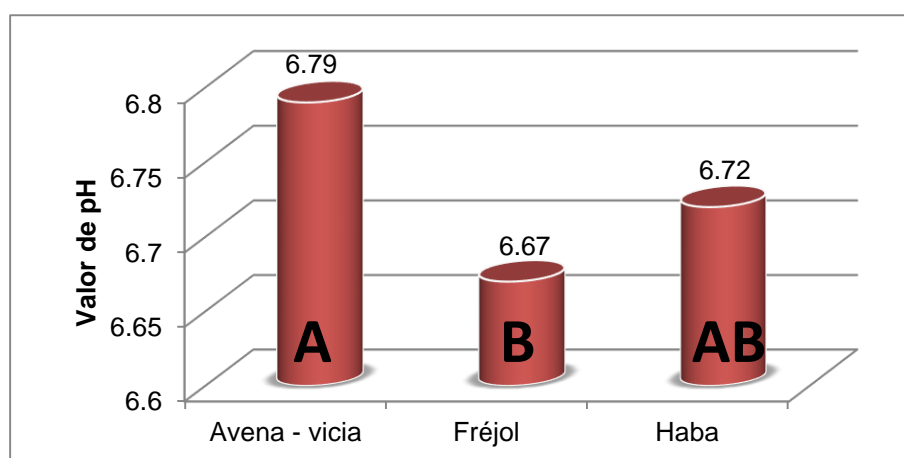


Gráfico 20. Prueba de Tukey al 5% para el factor cultivos, en el pH del suelo. Muestreo inicial. Peribuela, 2013.

4.5.2 MUESTREO FINAL DE SUELOS

Macronutrientes presentes en el suelo

El análisis de varianza realizado para el elemento N-NH₄, presente en el suelo (Cuadro 32), estableció diferencias altamente significativas (1%) para tratamientos, cultivos, residuos y fertilización; además se observó significancia al 5% para la interacción de cultivos por incorporación. El coeficiente de variación fue 14,4% y la media 51,08 ppm.

Para P, se observó que no existen diferencias significativas para tratamientos, factores e interacciones. El coeficiente de variación fue 20,89% y la concentración media 67,39 ppm de P.

En el caso de S se observó, diferencias estadísticas del 1% para fertilización, lo cual era esperado considerando que la concentración de este elemento dependió de la utilización o no de fertilizante. El coeficiente de variación presentado fue 32,26% y la media de 16,89 ppm.

Para K, se detectó diferencias significativas del 1% para tratamientos e incorporación de residuos; mientras que la interacción C x R x F, presentó diferencias estadísticas del 5%. El coeficiente de variación fue 18,58% y la media 0,48 meq/100ml de suelo.

Para Ca, se observó que no existen diferencias estadísticas para tratamientos, factores e interacciones. El coeficiente de variación fue 3,93 % y el promedio 11,49 meq/100ml de suelo.

En cuanto a Mg, se manifestó diferencias del 5% para incorporación de residuos. El coeficiente de variación que presentó fue 5,1% y concentración media de 3,03 meq/100ml de suelo.

Cuadro 32. Análisis de varianza de macroelementos presentes en el suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados Medios						
		N-NH ₄ (ppm)	P (ppm)	S (ppm)	K (meq/100ml de suelo)	Ca (meq/100ml de suelo)	Mg (meq/100ml de suelo)	
Total	35							
Repeticiones	2	558,34 **	4091,03 **	62,20 ns	0,08 **	0,27 ns	0,09 *	
Tratamientos	11	522,31 **	229,81 ns	34,75 ns	0,03 **	0,29 ns	0,04 ns	
Cultivos (C)	2	1797,25 **	131,45 ns	5,78 ns	0,03 ns	0,31 ns	0,06 ns	
Residuos (R)	1	650,25 **	36,00 ns	4,00 ns	0,11 **	0,54 ns	0,12 *	
Fertilización (F)	1	448,03 **	75,11 ns	256,00 **	0,00 ns	0,28 ns	0,01 ns	
C x R	2	280,75 *	144,34 ns	24,34 ns	0,03 ns	0,23 ns	0,04 ns	
C x F	2	71,36 ns	434,78 ns	0,34 ns	0,02 ns	0,21 ns	0,01 ns	
R x F	1	132,25 ns	25,00 ns	7,11 ns	0,00 ns	0,44 ns	0,05 ns	
C x R x F	2	108,09 ns	485,34 ns	27,11 ns	0,04 *	0,21 ns	0,03 ns	
Error Experimental	22	54,12	198,12	29,68	0,01	0,20	0,02	
CV (%):		14,4	20,89	32,26	18,58	3,93	5,1	
Media:		51,08	67,39	16,89	0,48	11,49	3,03	

** =Significativo al 1%

* =Significativo al 5%

ns =No significativo

Cuadro 33. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la concentración de N-NH₄ y K en el suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

N-NH ₄			K		
Tratamientos	Medias (ppm)	Rangos	Tratamientos	Medias (meq/100 ml de suelo)	Rangos
T8	67,67	A	T11	0,66	A
T11	62,00	A B	T8	0,59	A B
T10	61,00	A B	T3	0,55	A B C
T12	61,00	A B	T4	0,53	A B C
T9	56,67	A B	T12	0,50	A B C
T6	55,33	A B	T5	0,50	A B C
T4	53,67	A B	T9	0,48	A B C
T5	53,33	A B	T10	0,45	A B C
T7	47,33	A B C	T6	0,45	A B C
T3	40,33	B C	T7	0,39	B C
T2	29,00	C	T2	0,38	B C
T1	25,67	C	T1	0,30	C

El Cuadro 33, indica la prueba de Tukey al 5% para tratamientos de los elementos N y K. Para N se identificó tres rangos (A, B, C), siendo el tratamiento T8 (incorporación de fréjol y fertilización) el que presentó el contenido más alto de N con 67,67 ppm, ubicándose en el rango “A”, T11, T10, T12, T9, T6, T4 y T5 conformaron “A y B” en el cual se ubicaron la mayoría de tratamientos, T7 conformó “A, B y C”, T3 perteneció a “B y C” y T2 y T1 (avena-vicia, sin incorporación y sin fertilización) con 25,67 ppm (concentración baja), se ubicaron en el rango “C”. La mayoría de los tratamientos presentaron concentraciones medias y altas de N-NH₄, mientras que, T2 y T1 presentaron contenidos bajos; que corresponden a la mezcla avena – vicia sin la incorporación de residuos, existiendo una diferencia de 42 ppm entre T8 (67,67 ppm) y T1 (25,67 ppm).

Para K, se presentaron tres rangos, el tratamiento T11 (haba, con residuos y sin fertilización) con 0,66 meq/100ml de suelo mostró el contenido superior, T8 se ubicó en “A y B”, los tratamientos T3, T4, T12, T5, T9, T10 y T6 compartieron “A, B y C”, T7 y T2 pertenecieron a “B y C”; y T1 (avena – vicia, sin residuos y sin fertilización) presentó el contenido más bajo con 0,30 meq/100ml de suelo se ubicó en “C”. Las concentraciones superiores en los tratamientos con incorporación de residuos (siendo T11, T8, T3 y T4 con

contenidos que varían desde 0,53 – 0,66 meq/100ml de suelo); comparados con los tratamientos sin incorporación de residuos (T2 y T1 con 0,30 meq/100ml de suelo y 0,38 meq/100ml de suelo). Todos los tratamientos en general mostraron concentraciones altas y medias de K en el suelo.

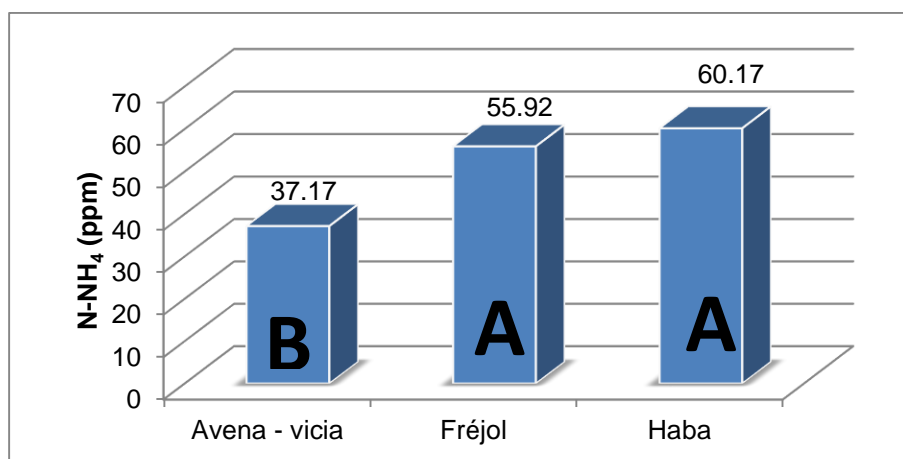


Gráfico 21. Prueba de Tukey al 5% para cultivos en la concentración de N-NH₄ presente en el suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% (Gráfico 21) para el contenido de N-NH₄⁺, presentó dos rangos para el factor cultivos, el cultivo de haba tuvo la mayor concentración de N con 60,17 ppm, seguido del cultivo de fréjol con 55,92 ppm, los dos cultivos se encontraron en el rango “A” y en el rango “B” se ubicó la mezcla avena – vicia con 37,17 ppm.

El contenido de N en las parcelas de avena – vicia fue menor a las que presentaron las leguminosas, dado que el proceso de mineralización es más lento en las gramíneas, debido a la relación C/N mayor a las leguminosas. La cantidad de N que acumuló avena – vicia en su biomasa fresca fue superior a la que presentó fréjol, sin embargo este N se encuentra parcialmente inmovilizado, para disponer de este elemento en su totalidad se necesitará un mayor periodo de tiempo.

La prueba de Tukey al 5% (Cuadro 34), estableció diferencias significativas para el factor residuos, la incorporación provocó mayor concentración de los elementos N y K presentando cantidades de 55,33 ppm de N y 0,54 meq/100ml de suelo de K, superiores a cuando se retiró el material vegetal del suelo, para N fue de 46,83 ppm y para K 0,43 meq/100ml de suelo.

Para Mg, se identificó que, cuando se incorpora o se retiran los residuos del suelo, el contenido de este elemento estadísticamente es similar. La acumulación de Mg en el suelo fue interpretada como alta.

Cuadro 34. Prueba de Tukey al 5% para el factor residuos en la concentración de N-NH₄, K y Mg en el suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

N-NH ₄			K			Mg		
Residuos	Medias (ppm)	Rango	Residuos	Medias (meq/100ml)	Rango	Residuos	Medias (meq/100ml)	Rango
R2	55,33	A	R2	0,54	A	R2	3,09	A
R1	46,83	B	R1	0,43	B	R1	2,97	A

R1 = Sin residuos
R2 = Con residuos.

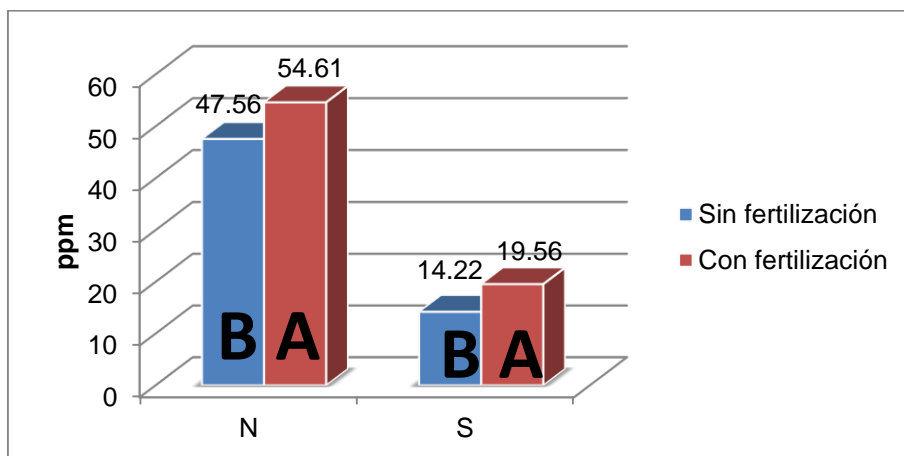


Gráfico 22. Prueba de Tukey al 5% para fertilización, en la concentración de N-NH₄ y S en el suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% (Gráfico 22), presentada para fertilización, indicó que el mayor contenido de N y S se encuentra en las parcelas que se aplicó fertilizantes, presentando 54,61 ppm de N (medio) y 19,56 ppm de S (medio), y se ubicaron en el rango “A”; mientras que en el rango “B” se situaron los tratamientos que no se fertilizaron. La fertilización de los abonos verdes, influyó en la acumulación de N y S en el suelo.

Microelementos presentes en el suelo

El análisis de varianza realizado para micronutrientes presentes en el suelo (Cuadro 35), no detectó diferencias significativas para tratamientos, cultivos, incorporación de residuos, fertilización e interacciones. Los coeficientes de variación fueron 30,62% para Zn, 5,98% para Cu, 20,79% para Fe, 11,99% para Mn y 14,31% para B; y los promedios fueron 4,00 ppm de Zn, 9,03 ppm de Cu, 281,97 ppm de Fe, 7,25 ppm de Mn y 0,80 ppm de B.

Cuadro 35. Análisis de varianza para microelementos presentes en el suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Fe	Mn	B
Total	35					
Repeticiones	2	18,81 **	0,16 ns	3858,78 ns	1,78 ns	0,03 ns
Tratamientos	11	1,54 ns	0,29 ns	2486,45 ns	0,90 ns	0,02 ns
Cultivos (C)	2	1,01 ns	0,30 ns	5692,53 ns	1,04 ns	0,02 ns
Residuos (R)	1	0,05 ns	0,34 ns	90,25 ns	0,47 ns	0,04 ns
Fertilización (F)	1	1,07 ns	0,03 ns	124,69 ns	0,23 ns	0,00 ns
C x R	2	1,59 ns	0,02 ns	2018,09 ns	2,18 ns	0,01 ns
C x F	2	1,87 ns	0,92 ns	1445,03 ns	0,42 ns	0,02 ns
R x F	1	0,04 ns	0,10 ns	3823,36 ns	1,48 ns	0,03 ns
C x R x F	2	3,44 ns	0,12 ns	2500,70 ns	0,23 ns	0,03 ns
Error Experimental.	22	1,50	0,29	3436,84	0,76	0,01
CV (%):		30,62	5,98	20,79	11,99	14,31
Media (ppm):		4,00	9,03	281,97	7,25	0,80

**= Significativo al 1%

*= Significativo al 5%

ns= No significativo

Materia orgánica del suelo

El análisis de varianza realizado para el porcentaje de materia orgánica, no se detectó diferencias significativas para tratamientos, cultivos, residuos, fertilización e interacciones; infiriendo que la materia orgánica en el análisis de suelos realizado a los 42 días no presentó diferencias importantes entre incorporar y no incorporar residuos vegetales de los abonos verdes y los demás tratamientos. El coeficiente de variación fue 8,46% y media 3,85% de MO.

Nivel de pH del suelo

El análisis para pH del suelo (Cuadro 36), mostró que no existen diferencias estadísticas para tratamientos, cultivos, residuos e interacciones; sólo en el caso de fertilización, se observó diferencia estadística del 5%. El coeficiente de variación fue 2,02% y la media fue 6,38 (ligeramente ácido).

Cuadro 36. Análisis de varianza para valores de pH del suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

F de V	GI	SC	CM	FC	FT	
					5%	1%
Total	35	0,73				
Repeticiones	2	0,11	0,06	3,27 ns	3,49	5,85
Tratamientos	11	0,25	0,02	1,35 ns	2,30	3,29
Cultivos (C)	2	0,03	0,02	0,89 ns	3,49	5,85
Residuos (R)	1	0,03	0,03	1,78 ns	4,35	8,10
Fertilización (F)	1	0,09	0,09	5,35 *	4,35	8,10
C x R	2	0,07	0,04	2,08 ns	3,49	5,85
C x F	2	0,01	0,01	0,30 ns	3,49	5,85
R x F	1	0,03	0,03	1,78 ns	4,35	8,10
C x R x F	2	0,0044	0,00	0,13 ns	3,49	5,85
Error Experimental	22	0,37	0,02			
CV (%):		2,02				
Media:		6,38				

**= Significativo al 1%
 *= Significativo al 5%
 ns= No significativo

Cuadro 37. Prueba de Tukey al 5% para el efecto de la fertilización sobre el nivel de pH del suelo. Muestreo final. Peribuela, 2013.

Fertilización	Descripción	Medias	Rangos
F1	Sin fertilización	6,43	A
F2	Con fertilización	6,33	B

La prueba de Tukey al 5% para pH del suelo en el Cuadro 37, indica que los tratamientos que no fueron fertilizados (F1) presentaron un pH ligeramente más alto con una media de 6,43, con respecto a los tratamientos que fueron fertilizados (F2).

La utilización de fertilizantes en la producción agrícola incide sobre las propiedades químicas del suelo, la aplicación continua de estos productos disminuye el nivel de pH del suelo (Liebig *et al.*, 2002). Fabrizzi *et al.* (1998), reportaron que el uso de fertilizantes con N y P durante siete años, provocaron descensos en los niveles de pH.

4.5.3 CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO

En el Cuadro 38, se muestra el análisis de varianza combinado, realizado para macroelementos presentes en el suelo. Para N-NH₄ se observó alta significancia (1%) para tratamientos, muestreos e interacción tratamientos por muestreos; estableciendo claramente la existencia de diferencias entre tratamientos, y que estos difieren según el muestreo (inicial o final). El coeficiente de variación fue 21,17 % y la media 39,3 ppm.

Para P presentó, diferencias estadísticas al 5% para tratamientos y al 1% para muestreos, indicando que la variación entre los tratamientos está dada por los muestreos, sean estos inicial y final. El coeficiente de variación fue 20,81% y promedio de 58,79 ppm.

Para S, se detectó diferencias estadísticas al 1% para los muestreos, distinguiendo diferencias considerables entre el muestreo inicial y final. El coeficiente de variación fue 29,02% y media de 14,01 ppm.

Para K, se observó significancias del 1% para tratamientos y muestreos, reconociendo la diferencia entre tratamientos dependiendo del muestreo realizado. El coeficiente de variación fue 18,39% y la media de 0,43 meq/100ml de suelo.

Para Ca, se manifestó diferencias estadísticas del 5% para tratamientos, ésta variación se atribuye al muestreo sea este inicial o final, presentando una significancia del 1%. El coeficiente de variación fue 7% y el promedio 10,17 meq/100ml de suelo.

El análisis para Mg detectó diferencias altamente significativas (1%) para muestreos. El coeficiente de variación fue 6,29% y concentración media 2,94 meq/100ml en el suelo.

Cuadro 38. Análisis de varianza combinado para macroelementos. Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados medios					
		ppm			meq/100ml de suelo		
		N	P	S	K	Ca	Mg
Total	71						
Repeticiones	2	1161,07 **	7271,79 **	46,45 ns	0,14 **	1,47 ns	0,14 *
Tratamientos	11	360,96 **	354,64 *	35,03 ns	0,03 **	1,10 *	0,04 ns
Muestreo	1	9992,27 **	5321,68 **	595,70 **	0,23 **	124,82 **	0,57 **
Trat. x Muest.	11	233,18 **	56,47 ns	10,61 ns	0,01 ns	1,03 ns	0,02 ns
Error Experimental.	46	69,23	149,62	16,54	0,01	0,51	0,03
CV (%):		21,17	20,81	29,02	18,39	7	6,29
Promedio:		39,30	58,79	14,01	0,43	10,17	2,94

**= Significativo al 1%
 *= Significativo al 5%
 ns= No significativo

Cuadro 39. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la acumulación de N, P, K y Ca en el suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.

N-NH ₄			P			K			Ca		
Trat.	Prom. (ppm)	Rango	Trat.	Prom. (ppm)	Rango	Trat.	Prom. meq/100ml de suelo	Rango	Trat.	Prom. meq/100ml de suelo	Rango
T8	52,50	A	T11	70,83	A	T8	0,53	A	T7	10,68	A
T11	48,17	A B	T8	70,67	A	T11	0,53	A	T4	10,65	A
T9	43,33	A B C	T9	65,67	A B	T5	0,46	A B	T1	10,65	A
T12	43,07	A B C	T6	61,33	A B	T12	0,46	A B	T5	10,47	A
T5	41,00	A B C D	T5	60,50	A B	T3	0,43	A B	T3	10,30	A
T10	40,83	A B C D	T3	60,00	A B	T9	0,43	A B	T2	10,23	A
T4	40,50	A B C D	T10	58,00	A B	T4	0,41	A B	T8	10,17	A
T6	38,30	A B C D	T12	54,50	A B	T10	0,41	A B	T6	10,13	A
T7	38,17	A B C D	T2	54,17	A B	T6	0,40	A B	T11	10,08	A
T3	32,27	B C D	T4	54,00	A B	T7	0,39	A B	T9	9,77	A
T2	28,33	C D	T7	49,67	A B	T2	0,34	B	T12	9,55	A
T1	25,17	D	T1	46,17	B	T1	0,32	B	T10	9,38	A

La prueba de Tukey al 5% efectuada para tratamientos representada en el Cuadro 39, indicó la formación de varios rangos. Para N se presentaron cuatro rangos, el mejor tratamiento fue T8 (incorporación de fréjol y fertilización) con 52,50 ppm, perteneciente al rango “A”, T11 formó parte de “A y B”, T9 y T12 conformaron “A, B y C”, T5, T10, T4, T6 y T7 formaron los rangos “A, B, C y D”, T3 formó parte de “B, C y D”, el T2 integró “C y D” y T1 (avena-vicia, sin incorporación y sin fertilización) presentó 25,17 ppm ocupando el rango “D”.

Para P, se registró dos rangos, la mayoría de tratamientos (T9, T6, T5, T3, T10, T12, T2, T4 y T7) compartieron “A y B” y los tratamientos T11 y T8 obtuvieron mayores contenidos con 70,83 ppm y 70,67 ppm; respectivamente, y se ubicaron en “A”; mientras que, T1 por el contrario obtuvo 46,17 ppm correspondió a “B”.

Se presentó la formación de dos rangos para K, los tratamientos T8 y T11 formaron el primer rango; además corresponden a los tratamientos con residuos, los tratamientos T5, T12, T3, T9, T4, T10, T6 y T7 compartieron el primero y segundo; mientras que, T2 y T1 se ubicaron en “B” y pertenecen a concentraciones inferiores.

Para Ca, se presentó la formación de un solo rango, los tratamientos estadísticamente no presentaron diferencias la variación fue de 9,38 – 10,68 meq/100 ml de suelo.

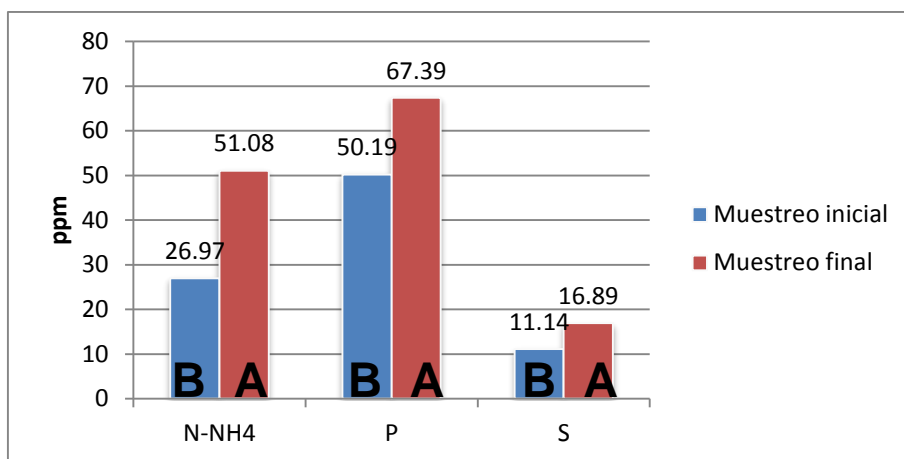


Gráfico 23. Prueba de Tukey al 5% para N, P y S presentes en el suelo. Relación muestreo inicial y final de suelo. Peribuela, 2013.

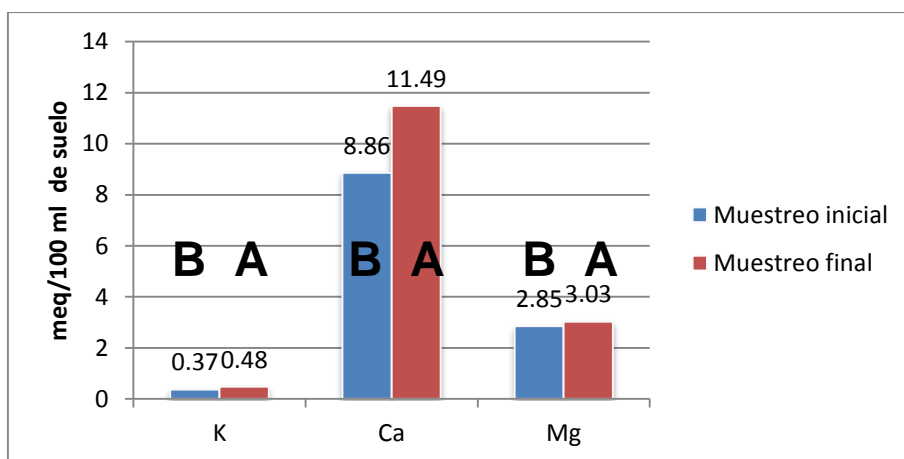


Gráfico 24. Prueba de Tukey al 5% para K, Ca y Mg presentes en el suelo. Relación muestreo inicial y final de suelo. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% para el contenido de macroelementos presentes en el suelo, representado en los Gráficos 23 y 24, identificó que las concentraciones de N, P, S, K, Ca y Mg varían entre el muestreo inicial y final. Se observó una acumulación de nutrientes en el suelo luego de la incorporación de los abonos verdes, siendo más evidentes para N, P, S y Ca.

Con estos resultados se evidenció el efecto de la incorporación de los abonos verdes sobre el contenido de macroelementos en el suelo y se confirmó lo mencionado por Martín y Rivera (2004), que la incorporación de abonos verdes en el suelo permite obtener una

cantidad de elementos rápidamente asimilables, así como también se obtendrá actividad biológica muy alta.

Cuadro 40. Análisis de varianza combinado para microelementos presentes en el suelo.
Peribuela, 2013.

F de V	gl	Cuadrados Medios				
		Zn	Cu	Fe	Mn	B
Total	71					
Repeticiones	2	45,49 **	0,77 ns	3416,93 ns	6,72 **	0,04 ns
Tratamientos	11	3,95 *	0,58 ns	1388,26 ns	1,39 ns	0,02 ns
Muestreos	1	14,05 **	2,65 **	85215,68 **	336,27 **	2,53 **
Trat. X Muest.	11	1,00 ns	0,34 ns	1327,56 ns	1,47 ns	0,02 ns
Error Experimental.	46	1,38	0,29	2176,48	0,97	0,02
CV (%):		26,41	5,82	18,84	10,47	12,51
Promedio (ppm):		4,44	9,22	247,57	9,41	0,99

**= Significativo al 1%
*= Significativo al 5%
ns= No significativo

El Cuadro 40, muestra el análisis de varianza combinado para micronutrientes, el cual detectó para Cu, Fe, Mn y B diferencias significativas del 1% para muestreos; mientras tanto para la interacción tratamientos por muestreos no presentó diferencias significativas. Los coeficientes de variación fueron 5,82%, 18,84%, 10,47% y 12,51% para Cu, Fe, Mn y B; respectivamente. Las medias fueron 9,22 ppm de Cu, 247,57 ppm de Fe, 9,41 ppm de Mn y 0,99 ppm de B.

Para Zn, se observó diferencias significativas al 5% para tratamientos, significancia del 1% para muestreos, mientras que, para la interacción muestreos por tratamientos fue no significativo. El coeficiente de variación fue 26,41% y la media fue 4,44 ppm.

Cuadro 41. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la acumulación de zinc. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.

Tratamientos	Medias (ppm)	Rangos	
T11	5,70	A	
T5	5,38	A	B
T8	5,18	A	B
T9	5,10	A	B
T6	4,82	A	B
T3	4,73	A	B
T10	4,03	A	B
T12	3,97	A	B
T7	3,93	A	B
T4	3,80	A	B
T2	3,35	B	
T1	3,3	B	

En el Cuadro 41, se presenta los resultados de la prueba de Tukey al 5% para zinc, observando dos rangos; en el cual el tratamiento T11 (incorporación de haba y sin fertilización) presentó la concentración más alta en relación a los demás tratamientos, con 5,70 ppm y correspondió al rango “A”, los tratamientos T5, T8, T9, T6, T3, T10, T12, T7 y T4 coincidieron en “A y B”; y T2 y T1 mostraron concentraciones de 3,35 ppm y 3,30 ppm; respectivamente, se ubicaron en “B”. Todos los tratamientos presentaron una concentración media de Zn (rango 3 – 7 ppm).

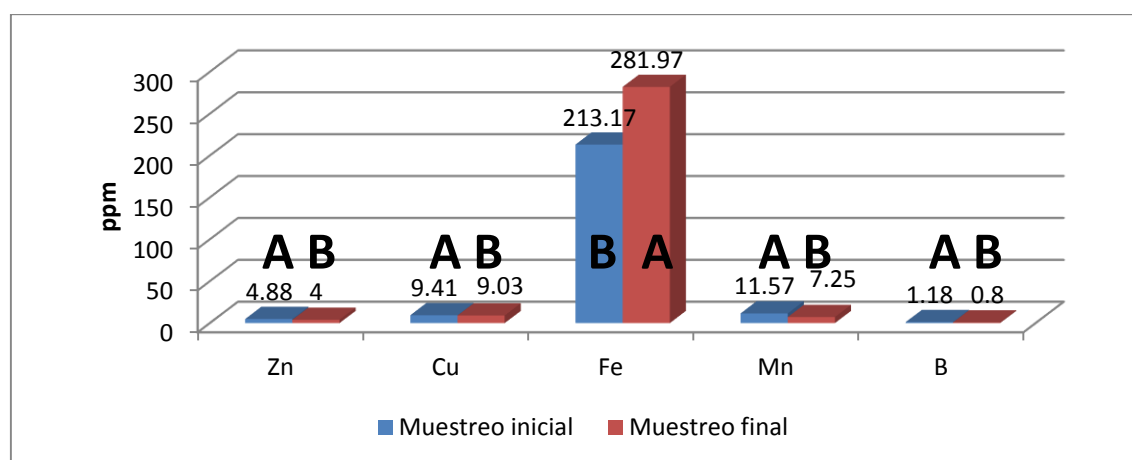


Gráfico 25. Prueba de Tukey al 5% para concentración de microelementos presentes en el suelo antes y después de la incorporación de los abonos verdes. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% (Gráfico 25) para muestreos detectó la formación de dos rangos para Zn, Cu, Mn y B. La concentración fue mayor en el primer muestreo a excepción de Fe, que presentó incremento a los 42 días posteriores a la cosecha de abonos verdes (segundo muestreo). Estos resultados contrastan con lo observado con los macroelementos, que obtuvieron un aumento en sus concentraciones luego de la incorporación de los abonos verdes.

Esta investigación confirmó que la cantidad de nutrientes acumulados en el suelo depende de la cantidad de materia orgánica, la tasa de descomposición, el tipo de material empleado y el manejo agronómico (Beltrán *et al.*, 2006). La cosecha de leguminosas en etapas de pre-floración y floración permite que la biomasa producida por estas sea rápidamente ciclada por microorganismos del suelo ya que tienen un aporte de materia orgánica con relaciones bajas o medias de C/N, asegurando que los nutrientes se encuentren rápidamente disponibles para el o los cultivos establecidos; así, también se añaden efectos que promueven el crecimiento mediante el efecto de biomoléculas que se aportan al suelo (Prager *et al.*, 2012).

Cuadro 42. Análisis de varianza combinado para %MO del suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.

F de V	gl	SC	CM	FC		FT	
						5%	1%
Total	71	15,16					
Repeticiones	2	3,77	1,89	18,06	**	3,32	5,39
Tratamientos	11	1,01	0,09	0,88	ns	2,12	2,90
Muestreos	1	4,6	4,60	44,08	**	4,17	7,56
Tratamientos x muestreos	11	0,97	0,09	0,85	ns	2,12	2,90
Error experimental	46	4,8	0,10				
CV (%):	7,87						
Promedio (%):	4,10						

**= Significativo al 1%

*= Significativo al 5%

ns= No significativo

En el análisis de varianza presentado en el Cuadro 42, para MO, no se encontró significancia para los tratamientos e interacción, pero se detectó alta significancia (1%) para muestreos. El coeficiente de variación fue 7,87% y el promedio 4,10% de MO.

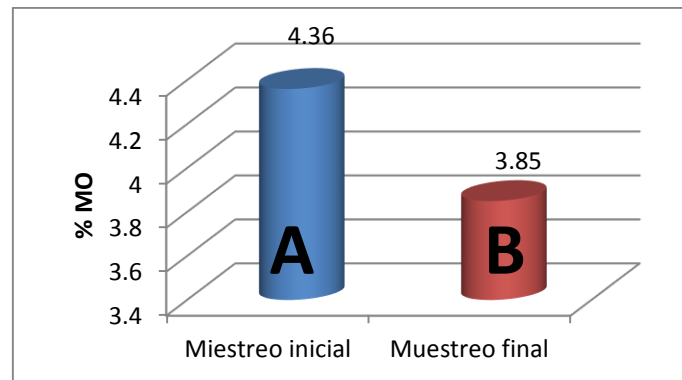


Gráfico 26. Prueba de Tukey al 5% para MO en el suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% (Gráfico 26), indicó que el contenido de materia orgánica fue mayor (4,36%) al culminar el ciclo de los abonos verdes; mientras que 42 días posteriores el contenido decreció (3,85%). Este resultado se explica con el proceso de mineralización neta que ocurrió luego de haber incorporado residuos con baja relación C/N.

Se considera que este tipo de abonos no son tan eficientes para añadir materia orgánica en el corto plazo como lo son otro tipo de cultivos como es el caso de los céspedes ya que tienen un crecimiento abundante de raíces y a menudo son reemplazadas por nuevas; se debe tener en cuenta que para incrementar los niveles de materia orgánica se debe a un proceso lento con el cultivo adecuado (Delorit y Ahlgren, 1986).

Cuadro 43. Análisis de varianza combinado para nivel de pH en el suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.

F de V	gl	SC	CM	FC	FT	
					5%	1%
Total	71	3,19				
Repeticiones	2	0,16	0,08	7,51 **	3,32	5,39
Tratamientos	11	0,24	0,02	2,05 ns	2,12	2,90
Muestreos	1	2,14	2,14	200,90 **	4,17	7,56
Tratamientos x Muestreos	11	0,16	0,01	1,37 ns	2,12	2,90
Error Experimental	46	0,49	0,01			
CV (%):	1,58					
Promedio:	6,55					

**= Significativo al 1%
 *= Significativo al 5%
 ns= No significativo

En el análisis efectuado para el pH del suelo (Cuadro 43), no se observó diferencias estadísticas tanto para tratamientos e interacción; pero se encontró significancia estadística del 1% para muestreo. El coeficiente de variación fue 1,58 % y la media de 6,55 (prácticamente neutro).

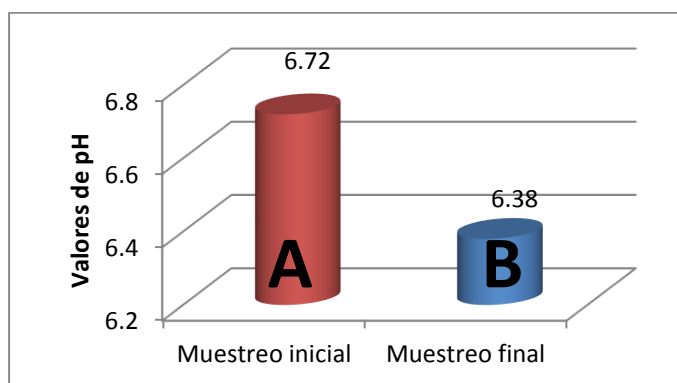


Gráfico 27. Prueba de Tukey al 5% para pH del suelo. Análisis comparativo de suelos. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% (Gráfico 27), detectó que el pH en el muestreo final es menor al registrado en el muestreo inicial, al decrecer de 6,72 (prácticamente neutro) a 6,38 (ligeramente ácido). Estos resultados son explicados con la liberación de dióxido de

carbono en el proceso de descomposición de los abonos verdes como lo menciona Colacelli (2002).

4.6 BIOMASA MICROBIANA DEL SUELO

La actividad microbiana es importante para mantener la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas; los microorganismos conducen a la biodegradación de la materia orgánica y constituyen un importante reservorio de C, N y P (Díaz *et al.*, 1993). De ahí la importancia de ser evaluada ésta variable.

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 44, determinó que existen diferencias estadísticas del 1% para muestreos, en cuanto a los tratamientos no presentó significancia. El coeficiente de variación fue 25,67% y el promedio general 1,92 C – CO₂/g SS.

Cuadro 44. Análisis de varianza para biomasa microbiana del suelo. Peribuela, 2013.

F de V	gl	SC	CM	FC	FT	
					5%	1%
Total	179	74,32				
Repeticiones	2	0,27	0,14	0,56	ns	3,07 4,79
Tratamientos	11	2,81	0,26	1,05	ns	1,86 2,39
Muestreos	4	29,93	7,48	30,81	**	2,45 3,48
Tratamientos x Muestreos	44	12,65	0,29	1,18	ns	1,55 1,86
Error Experimental	118	28,66	0,24			
CV (%):	25,67					
Promedio (C – CO₂/g SS):	1,92					

**= Significativo al 1%

*= Significativo al 5%

ns= No significativo

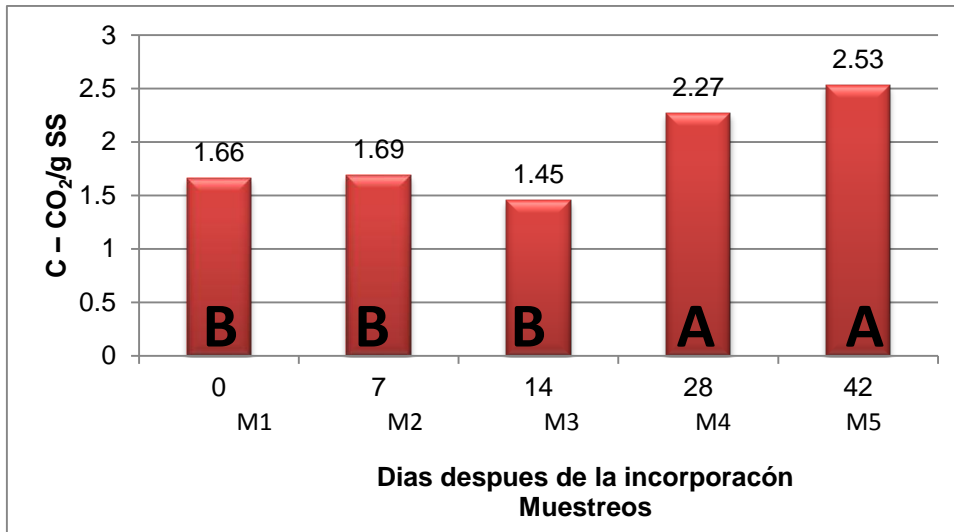


Gráfico 28. Cambio en la actividad microbiana en función del tiempo. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% realizada para determinar las diferencias entre los muestreos, indicó la formación de dos rangos “A y B”; los muestreos cinco (M5) y cuatro (M4) con los valores más altos, y el M1, M2 y M3 con los más bajos (Gráfico 28). Estos resultados ratificaron lo mencionado por Gilsanz (2012), que al incorporar al suelo el material fresco, existe un incremento de la población alrededor de los tejidos que se encuentran enterrados, aumentando la cantidad de bacterias en las primeras semanas debido a la mineralización, acelerando la descomposición.

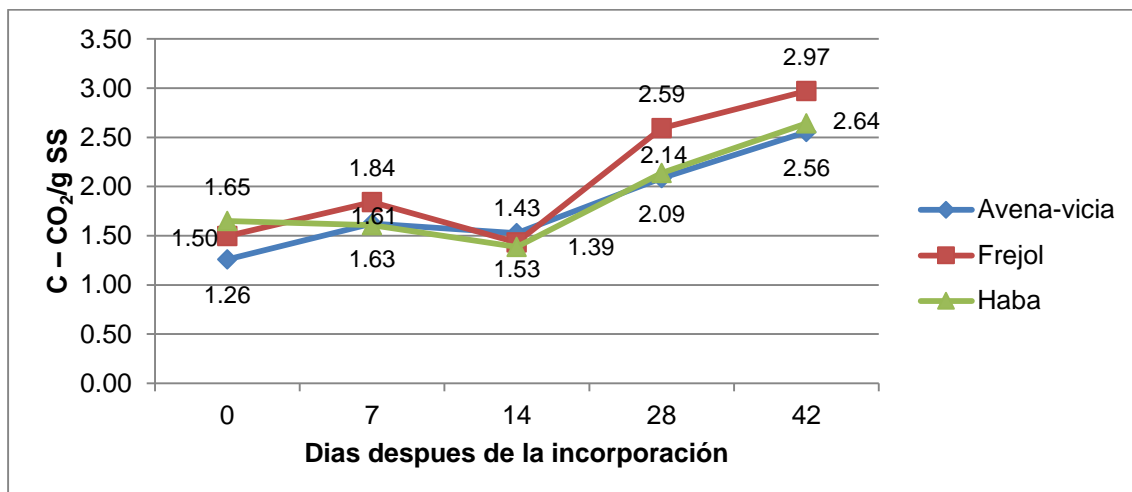


Gráfico 29. Evolución de la actividad microbiana según los distintos abonos verdes.

Si bien se observó significancia estadística entre los tratamientos, se evidenció diferente magnitud de la actividad microbiana en función de los cultivos (Gráfico 29); mayor cantidad estuvo asociada con fréjol y haba respecto a la avena – vicia, especialmente para los dos últimos muestreos. De estos resultados se pudo concluir que el tipo de abono verde que se utilice influye en la actividad microbiana; las leguminosas estimulan la actividad microbiana en mayor proporción que las gramíneas, como consecuencia de la mayor disponibilidad de N (Gilsanz, 2012). Por lo que, la velocidad de descomposición entre gramíneas y leguminosas es diferente, en las leguminosas este proceso es más rápido especialmente en la fase inicial, mientras en las gramíneas esta velocidad es representativamente menor (Bartz, 1998). La vicia aporta N al sistema favoreciendo la descomposición de la avena por lo cual no existe diferencias marcadas entre la actividad microbiana de haba y avena – vicia.

4.7 DETERMINACION DE NITRÓGENO POTENCIALMENTE MINERALIZABLE (NPM)

El análisis de varianza realizado para NPM (Cuadro 45) indicó en el muestro inicial diferencias estadísticas del 1% para tratamientos, cultivos e incorporación de residuos, así también la interacción C x R x F; y para la interacción C x F presentó diferencias estadística del 5%. El coeficiente de variación fue 26,15% y la media fue 45,12 ppm. El segundo muestreo presentó diferencias altamente significativas (1%) para tratamientos y cultivos; además presentó diferencias estadísticas al 5% para la interacción C x R x F. El coeficiente de variación fue 25,97% y el promedio fue de 40,24 ppm.

El tercer muestreo indicó diferencias estadísticas del 5% para tratamientos, incorporación de residuos e interacción C x F. Presentó un coeficiente de variación de 19,15% y una media de 58,48 ppm.

Para el cuarto muestreo, el análisis de varianza determinó alta significancia (1%) para tratamientos, incorporación de residuos e interacción R x F, y diferencias del 5% para las interacciones C x R y C x F. El coeficiente de variación que presentó fue de 31,59% y una media de 60,21 ppm.

En el quinto muestreo determinó la existencia de diferencias estadísticas al 5% para tratamientos; mientras que para los factores en estudio e interacción no mostró diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 31,63% y la media de 58,47 ppm.

Cuadro 45. Análisis de varianza. Variable NPM. Peribuela, 2013.

FV	gl	Cuadrados medios				
		M1	M2	M3	M4	M5
Total	35					
Repeticiones	2	309,14 ns	330,88 ns	141,31 ns	1608,30 *	160,32 ns
Tratamientos	11	1176,14 **	590,91 **	509,27 **	1572,80 **	759,55 ns
Cultivos (C)	2	1855,49 **	2432,45 **	222,57 ns	1039,18 ns	1782,24 *
Residuos (R)	1	2863,14 **	298,89 ns	571,61 *	3496,75 **	672,36 ns
Fertilización (F)	1	140,94 ns	54,54 ns	8,23 ns	24,77 ns	143,04 ns
C x R	2	709,65 *	115,39 ns	724,01 *	1846,85 *	1181,63 ns
C x F	2	493,32 *	34,27 ns	443,20 *	1296,27 *	121,30 ns
R x F	1	0,53 ns	22,01 ns	62,91 ns	3110,29 **	1234,12 ns
C x R x F	2	1908,03 **	480,20 *	1089,84 **	1152,21 ns	67,58 ns
Error Experimental	22	139,18	109,22	125,41	361,72	341,95
CV (%):		26,15	25,97	19,15	31,59	31,63
Media (ppm):		45,12	40,24	58,48	60,21	58,47

**= Significativo al 1%

*= Significativo al 5%

ns= No significativo

Cuadro 46. Prueba de Tukey al 5% para NPM. Peribuela, 2013.

Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3			Muestreo 4		
Trat.	Medias (ppm)	Rangos	Trat.	Medias (ppm)	Rangos	Trat.	Medias (ppm)	Rangos	Trat.	Medias (ppm)	Rangos
T11	91,35	A	T6	66,98	A	T11	87,18	A	T5	119,64	A
T4	64,31	A B	T7	54,50	A B	T4	69,36	A B	T9	74,02	A B
T12	58,77	A B C	T5	52,61	A B	T1	68,17	A B	T2	70,57	A B
T10	53,92	B C D	T2	48,28	A B C	T8	62,19	A B	T6	70,18	A B
T5	45,32	B C D	T4	41,62	A B C	T6	61,51	A B	T12	69,43	A B
T8	45,32	B C D	T8	40,50	A B C	T3	60,13	A B	T4	57,17	B
T7	40,34	B C D	T1	40,31	A B C	T2	55,01	A B	T8	49,87	B
T6	36,74	B C D	T3	36,90	A B C	T12	53,33	B	T1	46,92	B
T9	31,29	B C D	T12	31,30	B C	T5	52,47	B	T7	43,95	B
T1	26,40	C D	T9	30,40	B C	T10	52,37	B	T3	41,33	B
T3	24,11	C D	T10	20,14	C	T7	42,62	B	T11	40,39	B
T2	23,51	D	T11	19,33	C	T9	37,46	B	T10	39,08	B

La prueba de Tukey al 5%, estableció varios rangos entre los tratamientos en el valor de NPM (Cuadro 46). Para el muestreo 1 (0 días de incorporación de abonos verdes) se presentaron cuatro rangos, en “A” se encontró T11 (haba, con residuos, sin fertilización) con 93,35 ppm de N mineralizado, siendo este el valor más alto, T4 integro “A y B”, T12 formó parte de “A, B y C”, T10, T5, T8, T7, T6 y T9 conformaron “B, C y D”, los promedios inferiores correspondieron a T3 y T1 (26,40 ppm y 24,11 ppm; respectivamente) dispuestos en “C y D”, conjuntamente con T2 al presentar 23,51 ppm se ubicó en “D”.

En el segundo muestreo (ocho días después de la incorporación de abonos verdes), los tratamientos dispusieron en tres rangos. El tratamiento T6 encabezó el rango “A” al presentar 66,98 ppm de N asimilable, T7 y T5 compartieron “A y B” y “T2, T4, T8, T1 y T3 integraron “A, B, y C” y los tratamientos que correspondieron a haba integraron T12 y T9 “B y C”, y T10 y T11 el rango “C”, presentando 20,14 ppm y 19,33 ppm; respectivamente.

Para el tercer muestreo (quince días posteriores a la incorporación) los tratamientos se concentraron en tres grupos, en “A”, “A y B” y “C”, en el primero se ubicó T11 con 87,18 ppm siendo el mejor, en el segundo T4, T1, T8, T6, T3 y T2; mientras que en el tercero se situaron T12, T5, T10, T7 y T9, en este último los valores oscilan entre 53,33 ppm y 37,46 ppm.

En el cuarto muestreo (28 días luego de la incorporación) el tratamiento T5 obtuvo el valor más alto (119,64 ppm), ubicándose en el rango “A”; mientras que, los tratamientos T9, T2, T6 y T12 se compartieron “A y B” y en “B” se situaron la mayoría de tratamientos, siendo estos T4, T8, T1, T7, T3, T11 y T10.

Los tratamientos con incorporación de residuos de haba y sin incorporación de residuos de fréjol obtuvieron valores más altos; sin embargo, también se observó que no existió consistencia de diferencias para tratamientos entre muestreos. Estos resultados indicaron que la calidad de residuos asociados con cada cultivo y el tiempo de mineralización son elementos críticos para la liberación de N y el cambio en la composición de la fracción de N orgánico.

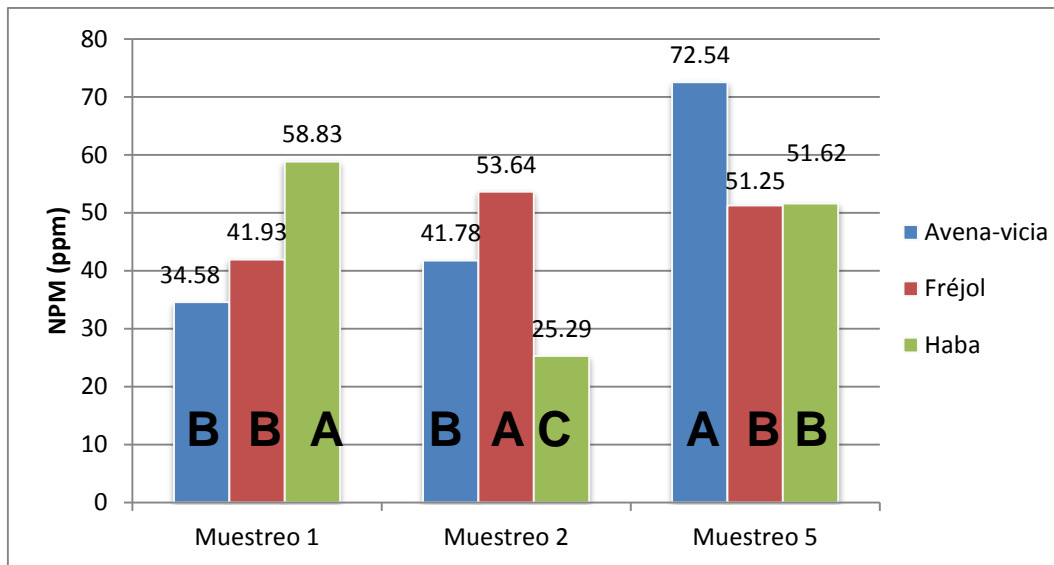


Gráfico 30. Prueba de Tukey al 5% para cultivos. Variable NPM. Peribuela, 2013.

Los muestreos con diferencias significativas para el factor cultivos (Gráfico 30) indicaron que inicialmente luego de la incorporación de los residuos, los tratamientos del cultivo de haba fueron los que contenían una mayor fracción de N orgánico que con el tiempo fue disminuyendo especialmente hasta el segundo muestreo. Al contrario la fracción de N orgánico asociada con la incorporación de residuos de avena-vicia y fréjol fue aumentando con el tiempo con el máximo observado para la avena-vicia en el quinto muestreo.

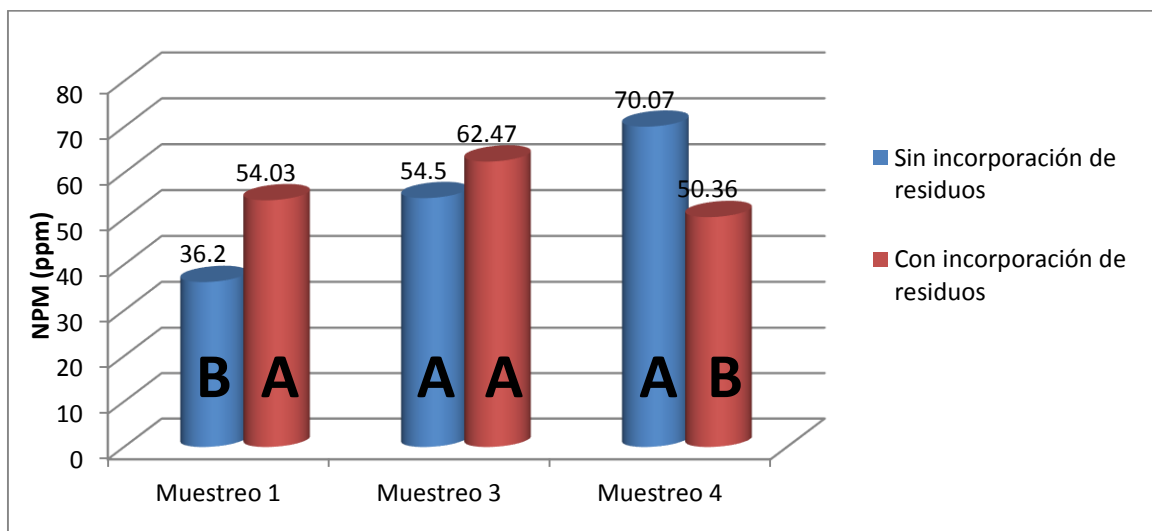


Gráfico 31. Prueba de Tukey al 5% para residuos. Variable NPM. Peribuela, 2013.

La prueba de Tukey al 5% para el factor incorporación de residuos (Gráfico 31), mostró dos rangos con el valor más alto asociado a los tratamientos que recibieron incorporación de residuos para el muestreo 1 y con los que no recibieron residuos para el muestreo 4. Estos resultados indicaron que a medida que transcurre la mineralización, la fracción de N orgánico disminuyó más rápidamente precisamente en los tratamientos en los que existió mayor cantidad de residuos.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La mezcla gramínea – leguminosa (avena – vicia) es el abono verde con mayor aporte de material vegetal fresco (52,68 t/ha) de los cuales avena aportó el 34% (17,92 t/ha) y vicia el 66% (34,76 t/ha); seguida por las leguminosas en monocultivo con una contribución de 44,51 t/ha para haba y 5,02 t/ha para fréjol.
- El mayor porcentaje de materia seca estuvo asociada con avena – vicia (29,87%) seguida por fréjol y haba que presentaron 28,33% y 23,18%; respectivamente, considerando sin embargo que las etapas de cosecha en cada cultivo fueron distintas, avena – vicia y haba en floración y fréjol en fructificación.
- La utilización de abonos verdes dentro de los sistemas de producción agrícola representa un aporte significativo de nutrientes esenciales para el suelo; considerando la acumulación de macro y micronutrientes de los mismos. La mezcla avena – vicia acumuló 348,06 kg N/ha (20% avena y 80% vicia), 65,47 kg/ha de P (45% avena y 55% vicia) y 442,36 kg/ha de K (38% avena y 62% vicia). El material vegetal fresco de haba extrajo 358,21 kg/ha de N, 37,01 kg/ha de P y 278,63 kg/ha de K. Fréjol concentró 37,02 kg/ha de N, 4,42 kg/ha de P y 23,77 kg/ha de K. El mayor aporte de N y P, se encontró en la parte aérea de haba y en el grano para fréjol; mientras que K en las vainas de fréjol y residuos del haba.
- Los análisis químicos de suelos realizados permitieron evidenciar el efecto de la incorporación de los abonos verdes; especialmente en lo que se refiere a los contenidos de macroelementos (N, P, K, Ca, Mg y S) y Fe, que fueron evaluados a los 42 días después de la incorporación del material vegetal fresco. Con avena – vicia se

incrementó 21,2 ppm de N-NH₄⁺, 23,3 ppm de P, 0,24 meq/100ml de suelo de K, 8,3 ppm de S, 1,92 meq/100ml de suelo de Ca, 0,17 meq/100ml de suelo de Mg. Con fréjol 24,2 ppm de N-NH₄⁺, 14,3 ppm de P, 0,06 meq/100ml de suelo de K, 4,7 ppm de S, 3,0 meq/100ml de suelo de Ca, 0,28 meq/100ml de suelo de Mg. Con haba 31,8 ppm de N-NH₄⁺, 13 ppm de P, 0,17 meq/100ml de suelo de K, 4,3 ppm de S, 3,3 meq/100ml de suelo de Ca y 0,23 meq/100ml de suelo de Mg.

- La actividad microbiana en el suelo se incrementó luego de la incorporación de los abonos verdes, en las leguminosas se evidenció mayor actividad de microorganismos con respecto a la mezcla avena – vicia (gramínea – leguminosa).
- La incorporación de fréjol y haba 7 días antes de la siembra del siguiente cultivo, permite aprovechar el máximo de N asimilable para las plantas; mientras que al emplear la mezcla avena – vicia como abono verde se deberá esperar al menos 42 días después de su incorporación para que el N esté disponible para las plantas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para mejorar la calidad y productividad de los suelos se recomienda el uso de abonos verdes, antes de implantar el cultivo de relevancia o de interés económico del agricultor; debido al gran aporte de nutrientes que proveen al suelo.
- Estudiar nuevas alternativas de asociaciones de cultivos de distintas familias, especialmente gramíneas y leguminosas, que permitan incrementar la producción de biomasa, aporte de nutrientes y concentración de estos elementos en el suelo.
- Mejorar el manejo de residuos de cosechas para devolver al suelo parte de los nutrientes que extrae el cultivo.
- Evaluar la efectividad de la incorporación de los residuos de las cosechas de cultivos de importancia para el agricultor, como abonos verdes diferentes a las evaluadas en este estudio.
- Realizar nuevas investigaciones en zonas con similares características edafo-climáticas para comparar y validar la información obtenida en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almorox, J., López, F. y Rafaelli, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación*. Murcia: Editum. 384pp.
2. Altieri M. (1999). *Agroecología: Bases teóricas para una agricultura sustentable*. Lima: CLADES. 383 pp.
3. Alvarado, S., Jaramillo, R., Valverde, F. y Parra, R. (2011). *Manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE) en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar*. (Boletín Técnico 150). Quito: INIAP - IPNI. 25pp.
4. Álvarez, M., Martín, G. M., y Rivera, R. (2003). Producción de maíz mediante la introducción de los abonos verdes en la agricultura cubana. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 24(1-2), 41. Recuperado de http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA146348039&v=2.1&u=utn_cons&it=r&p=GPS&sw=w&asid=c3b28e2c394bc7e70ee339d5e7807f3c
5. Anderson, M. & Ingram, J.M. (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. (2da Ed.). C.A.B. International. 215 pp.
6. Appel, T. & Mengel, K. (1990). Importance of organic nitrogen fractions in sandy soils, obtained by electroultrafiltration or CaCl₂, for nitrogen mineralization and nitrogen uptake of rape. *Biol. Fertil. Soils*, 10, 97-101.
7. Arana, V. H. (2003). *Dinámica del nitrógeno en un manejo orgánico del sistema de café (Coffea arabica L.) asociado con poró [Erythrina poeppigiana (Walpers) OF Cook]*. (Tesis maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 118 pp.
8. Baigorria, T., Gómez, D., Cazorla, C., Lardone, A., Bojanich, M., Aimetta, B... Canale, A. (s.f). *Bases para el manejo de vicia como antecesor al cultivo de maíz*. Argentina: INTA. Recuperado de http://inta.gob.ar/documentos/bases-para-el-manejo-de-vicia-como-antecesor-del-cultivo-de-maiz/at_multi_download/file/INTA-Bases%20para%20el%20manejo%20de%20vicia%20como%20antecesor%20del%20cultivo%20de%20ma%C3%ADz.pdf

9. Baligar V.C., Elson M.K. & Meinhardt L.W. (2007). *Cover crops useful for improving soil productivity under cacao*. Beltsville, USA: USDA-ARS Beltsville Agricultural Research Center.
10. Bartz, H. (1998). Dinámica dos nutrientes e adubacáo em sistemas de producao sob plantio direto. In: Fries, M (Ed), *IV Curso de Actualizacáo em Recomendacáo de Adubacáo e Calagem (4, 1998, Santa María, RS) Plantio direto em solos Arenosos: Alternativas de Manejo para a sustentabilidade agropecuaria. Palestras apresentadas*. Santa María, Brasil: Palloti. p 52-81.
11. Beltrán Morales, F. A., García Hernández, J., Valdez Cepeda, R., Murillo Amador, B., Troyo Diéguez, E., Larrinaga Mayoral, J... y García Rodríguez, F. (2005). Sistemas de labranza, incorporacáo de abono verde y recuperacáo de la fertilidad de un yermosol háplico. *Terra Latinoamericana*, 23: 381-387.
12. Beltrán Morales, F., *et al.* (2006). Efecto de sistemas de labranza e incorporacáo de abono verde (*Lablab purpureus* L.) sobre la respiracáo edáfica en un yermosol háplico. *Interciencia*, 31: 226-230.
13. Benegas, L., Galeano, M. y Ken Moriya, M. (s.f). Evaluacáo de la actividad microbiana en funci3n de cuatro abonos verdes en un Rhodic Kandiodoxbajo sistemas de siembra directa y laboreo convencional. *Investigacáo Agraria*, 7(1):32-41.
14. Bertsch, F. (1995). *La Fertilidad de los Suelos y su Manejo*. San José, Puerto Rico: Asociacáo Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 pp.
15. Brady, N. C. (1974). *The nature and properties of soils*. (8th ed). New York: MacMillan Co. Inc. pp. 480-482.
16. Brissio, P. A. (2005). *Evaluacáo preliminar del estado de contaminacáo en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotacáo hidrocarbúrfica*. (Tesis Licenciatura). Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.tesis.bioetica.org/pab.htm>
17. Brussaard, L., Ruiter, P. C., & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ*, 121: 233-244

18. Bunch, R. (1994). *El Uso de Abonos Verdes por Agricultores Campesinos: Lo que hemos aprendido hasta la fecha*. (2da Ed). Tegucigalpa: Centro Internacional de Información Sobre Cultivos de Cobertura (CIDICCO). 8pp.
19. Bunch, R. (2003). Adoption of green manure and cover crops. *Leisa*, 19: 16-18.
20. Cabeda, V. (1984). *Degradação física e erosão*. En: I Simpósio demanejo do solo e plantiodireito no sul do Brasil e III Simpósio deconservação de solos do planalto. Passo Fundo, RS: Anais.
21. Calegari, A. (1999). *Plantas de Cobertura e Rotação de Culturas no Sistema Plantio Direto*. En: Memorias de la V Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista. (5:1999 oct 3-7, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil).
22. Canali, S., Trinchera, S., Intrigliolo, F., Pompili, L., Nisini, L., Mocali, S., Torrisi, B. (2004). Effect of long term addition of compost and poultry manure on soil quality of citrus orchards in Southern Italy. *Biol. Fertil. Soils*, 40: 206-210
23. Cañadas, L. (1983). *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Quito, Ecuador: MAG-PRONAREG. 210 pp.
24. Cerveñansky, A. (2011). Azufre fertilidad. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/azufre.pdf>
25. Chasi, A. y Muso, H. (2009). *Evaluación del efecto de la incorporación de cinco especies de leguminosas como abono verde en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en tres localidades de la Provincia de Cotopaxi*. (Tesis de Ingeniería). Universidad técnica de Cotopaxi. Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/849/1/T-UTC-0613.pdf>
26. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). (2012). *Agricultura de Conservación*. Recuperado de <http://conservacion.cimmyt.org/index.php/es/ique-es-ac>
27. Clark, A. (Ed). (2007). *Managing cover crops profitably*. (3rd Ed.). Beltsville: Sustainable Agriculture Network. 248 pp.
28. Colacelli, N. (2002). *Suelos: Abonos verdes. Argentina: Producción agroindustrial del NOA*. Recuperado de http://www.produccion.com.ar/2002/02dic_03.htm.

29. Cordone, G. y Hansen, O. (1985). EERA INTA *Pergamino. Carpeta de Producción Vegetal*. (Informe 77). Buenos Aires, Argentina: Pergamino.
30. Couillet, F., Benintende, M., Saluzzio, M. y Benintende, S. (2001). *Estimación del aporte de N del suelo en un cultivo de maíz (Zea mays)*. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba.
31. Danieli, O. (2013). *Proyecto conservación de suelos MAG, GTZ: Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa*. Recuperado de <http://www.radiocumbre.com.py/index.php/educativa/item/30-abonos-verdes-de-invierno>
32. Daverede, I. C. (2005). *Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT): nuevo método para diagnosticar necesidades de nitrógeno en maíz*. En: Simposio Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente. Rosario, Argentina: INPOFOS Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. pp 1-5.
33. Delgado, R., Cabrera, E., Ortega, B. y Velásquez, L. (2009). Acumulación de materia seca, N, P y K en frijol cultivado bajo labranza mínima y convencional en un Mollisol en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 59(4): 401 – 411. Recuperado de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5904/pdf/5904-delgado_r.pdf
34. Delorit, R. y Ahlgren, H. (1986). *Producción Agrícola. CIA*. México: Editorial Continental. pp. 731-732.
35. Díaz Raviña, M. Acea, J. Carballas, T. (1993). Microbial biomass and its contribution to nutrients concentrations in forest soil. *Soil Biol. Biochem*, 25:25-31
36. Díez, J. (1999). Edafología. Optimización de la fertilización nitrogenada: procedimientos de análisis de suelo, toma de muestras y elección de tipo de fertilizante. *Sociedad española de la ciencia del suelo*, 6: 73-84. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/2156/1/Optimizacion.pdf>
37. Dobereiner, J. (1997). Biological nitrogen in the tropics: Soil and economic contributions. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5-6), 771-779.

38. Dorronsoro C. F. y García I. (2004). *Contaminación del Suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola*. Madrid, España: Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.
39. Duke, S., Collins, M. & Soberalske, R. (1980). Effects of potassium fertilization on nitrogen fixation and nodule enzymes of nitrogen metabolism in alfalfa. *Crop Sci*, 20:213-219.
40. ECO Agricultor. (6 de Marzo de 2013). *Los abonos verdes: funciones y características*. Recuperado de <http://www.ecoagricultor.com/2013/03/los-abonos-verdes-funciones-y-caracteristicas/#comments>
41. Ernst, O. (2004). Leguminosas como cultivos de cobertura. Informaciones agronómicas del cono sur (Informe 21). Recuperado de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/4D63CE7B3A2197D203256E600071D400/\\$file/Leguminosa+Cultivo+Cobertura-Ernst.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/4D63CE7B3A2197D203256E600071D400/$file/Leguminosa+Cultivo+Cobertura-Ernst.pdf)
42. España, M., Rodríguez, B., Cabrera, E. y Cecanti, B. (2002). Actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Terra Latinoamericana*, 20(1): 81-86.
43. Fabrizzi, K. P., Picone, L., Berardo, A. y García, F. O. (1998). Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo*, 16: 71-76.
44. Fageria, N. (1991). Response of cowpea to phosphorus on an Oxisol with special reference to dry matter production and mineral ion contents. *Trop. Agric (Trinidad)*, 68:384-388.
45. Fang, H. *et al.* (2009). Degradation of chlorpyrifos in laboratory soil and its impact on soil microbial functional diversity. *Journal of Environmental Sciences*, 21(3): 380 – 386.
46. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2012). *Agricultura de Conservación*. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/ca/es/>
47. FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). (2008). *Aumenta la degradación del suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/index.html>

48. Fassbender H. (1984). *Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica: IICA. 265pp.
49. Fassbender, H y Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. (2da ed.). San José, Costa Rica: IICA. pp 61-62.
50. Faustino, J. (1985). *Proyecto nacional de manejo de cuencas. Conservación de suelos*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. s.p.
51. Fernández, J. M., Plaza, C., García Gil, J. C. & Polo, A. (2009). Biochemical properties and barley yield in a semiarid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge. *Applied Soil Ecology*, 42: 18-24
52. Flores, J. (2009). *Agricultura Ecológica: Manual y Guía Didáctica*. Madrid, España: Mundi-Prensa. 400pp.
53. Franzluebbers, K., Weaver, R.W. y Juo, A. S. (1994). Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. *Soil Biol. Biochem*, 26(10):1379-1387.
54. García Esteva, A., Kohashi-Shibata, J., Baca Castillo, G. y Escalante Estrada, J. (2003). Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra Latinoamericana*, 21(4): 471-480.
55. García, M. (1997). *Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana*. (Tesis de doctorado). Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba: INCA. 98 pp.
56. Gilmour, J. T., Logger, G. G., Jacobs, L. W., Evahylo, G. K. & Sullivan, D. M. (2003). Decomposition and plant available nitrogen in biosolids, laboratories studies, field studies and computer simulations. *J. Env. Quality*, 32: 1498-1507.
57. Gilsanz, J. (2012). *Abonos verdes en la producción hortícola: Usos y manejo*. Montevideo, Uruguay: INIA. 63pp. Recuperado de <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429180912091518.pdf>
58. Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Argentina: CATIE. 358p.

59. Gomero, L. y Velásquez, H. (1999). *Manejo de suelos: Conceptos, técnicas y experiencias*. Lima, Perú: RAAA. pp 196-200.
60. Gómez, E. I. (13 de mayo de 1998). Temen que aumente la erosión del suelo. *El Norte*. Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/316228438?accountid=36862>
61. Gonzáles, V., Zaera, E. y Gómez, J. (2011). Digestibilidad e ingestión voluntaria de veza común (*Vicia sativa* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) en corderos. Madrid. Instituto de alimentación y productividad animal. pp 475 – 479.
62. González, V. y Pomares, F. (2008). *La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos*. Valencia, España: SEAE. 24pp.
63. Hart, S., Stark, J., Davidson, E. & Firestone, M. (1994). Nitrogen Mineralization, Immobilization, and Nitrification. In: *Methods of Soil Analysis. Microbiological and Biochemical Properties-SSSA*, 2 (5), 985-1018.
64. Herencia, J., Ruiz, J., Melero, S., García-Galavís, P. & Maqueda. C. (2008). A short-term comparison of organic vs. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *J. Agric. Sci.*, 146: 677-687.
65. Hernández, D. y Viteri, S. (2006). Selección de abonos verdes para el manejo y rehabilitación de los suelos sulfatados ácidos de Boyacá (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 24(1): 131 – 137.
66. Hernández Jiménez, A., Ascanio, MO., Morales, M., Bojórquez, J., García, N. & García, J. (2006). *El Consuelo: Fundamentos Sobre do Formación, los Cambios Globales y Manejo do*. Nayarit, México: Universidad Autónoma de Nayarit.
67. Horwath & Paul. (1994). *Methods of Soil Analysis. Microbiological and Biochemical Properties*. Michigan, EE. UU: Michigan State University. pp. 754 - 761.
68. Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo*. Barcelona, España: REVERTE. 352pp.
69. Hycka, M. (1980). *Veza común*, su cultivo y utilización. (3^{ra} ed.). Zaragoza, España: Consejo superior de investigaciones Científicas, Estación experimental de aula de Zaragoza. 79 pp.
70. Jacquinet, L. (1967). Croissances et alimentations minerales camparees de quatre varietes de niebe. *L. Agronomic Tropicale*, 6(7): 575 – 640.

71. Jensen, S., Mueller, T., Magid, J. & Nielsen, N. (1997). Temporal variation of C and N mineralization, microbial biomass and extractable organic pools in soil after oilseed rape straw incorporation in the field. *Soil Biol. Biochem*, 29(7): 1043-1055.
72. Jiménez, S. (2011). Observatorio de Política Ambiental. La erosión del suelo en el ecuador. CTT-USFQ – Fundación Carolina. Recuperado de <http://observatoriopoliticaambiental.org/categoria-indicadores/89-indicadores-de-cambio-climatico/71-la-erosion-del-suelo-en-el-ecuador>
73. Kayser, L. & Scholles, D. (1998). *Atividade microbiana e permanencia de resíduos vegetales em função de sua composição e disposição no solo*. In: " Reunião Sul-Brasileira de Ciência do solo (2, 1996, Santa Maria, RS) Resumos Expandidos. Santa Maria, Brasil: SBCS. p 54-57.
74. Khalil, M., Van Cleemput, O., Boeckx, P. and Rosenani, A. (2001). Nitrogen transformations and emission of greenhouse gases from three acid soils of humid tropics amended with N sources and moisture regime. In. Nitrogen transformations. *Soil Sci. Plant Analysis*, 32(17-18): 2893 – 2907.
75. Khan, S., Mulvaney, R. & Hoefl, R. (2001). A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65: 1751-1760.
76. Liebig, M. A., Varvel, G. E., Doran, J. W. y Wienhold, B. J. (2002). Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:596-601.
77. Lloyd, P. (1997). The vegan news. Green manure crops. Recuperado de http://higherwaltonandhoghtonallotments.weebly.com/uploads/6/1/9/2/6192728/article_on_green_manures.htm
78. Lora, G. y Azero, M. (2005). Evaluación comparativa de cuatro abonos verdes y estimación de su capacidad de fijación de carbono en dos comunidades del municipio Morochata – Bolivia. *Acta Nova*, 3(1): 44 – 55.
79. Macedo, R., Zotarelli, L., Urquiaga, S., Boddey, R., y Alves, B. (2003). Efeito do manejo sobre FBN na cultura da soja avaliada a través da una técnica de ureidos. Seropedica, Brasil: EMBRAPA Agrobiologia. Boletim de pesquisa y desenvolvimiento. pp 23-26.

80. MacKenzie J. (2000). *Green manure cover crops for Minnesota*. Recuperado de <http://www3.extension.umn.edu/projects/yardandgarden/ygbriefs/H234greenm.html>
81. Martin, G y Rivera, R. (marzo, 2004). Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217916013>
82. Martín, M. y Rivera, R. (2001). Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos Tropicales*, 22(03): 89-96. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217916013>
83. Meelu, O., Yadvinder Singh y Bijay Singh. (1994). *Green manuring for soil productivity improvement. World Soil Resources Report*. Department of Soils Punjab Agricultural University Ludhiana. India, Roma: FAO. 119 p.
84. Mejía C. L. (1986). Guías para la clasificación de suelos (polipedones) en la taxonomía del USDA. CIAF. Unidad de Suelos y Agricultura. Bogotá, Colombia.
85. Michelena, R. (2002). *Como controlar la erosión hídrica para que no destruya los suelos*. Honduras: INTA. Recuperado de http://anterior.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/La_erosion_hidrica.htm
86. Miller, P., Graves, W., Williams, W., Madson, B. (1996). Cultivos de Cobertura para la Agricultura de California. (Folleto 21510). California: Universidad de California. División Agrícola y Recursos Naturales. 33pp.
87. Monedero M, Alfonso C A, González B y Uriarte R. (2002). *Factibilidad económica y ecológica del uso de la asociación Maíz + Canavalia ensiformis en un sistema maíz-fríjol*. La Habana, Cuba: Congreso Científico del INCA.
88. Mulvaney, R., Khan, R., Hoefl, R. and Brown, H. (2001). A soil organic fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Sci. Am. J.*, 65: 1164-1172.
89. Muñoz, L. (2014). *Agrohuerto*. Abono verde para el huerto ecológico. Recuperado de: <http://www.agrohuerto.com/abono-verde-para-el-huerto-ecologico/>

90. Navarro Blaya, S. y Navarro García, G. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros. 487pp.
91. Navarro García, G. y Navarro García Simón. (2013). *Química Agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. (3ra Ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa. pp. 279-297.
92. Nezomba, H., Tauro, T., Mtambanengwe, F. and Mapfumo, P. (2010). Indigenous legume fallows (indifallows) as an alternative soil fertility resource in smallholder maize cropping systems. *Field Crops Res.*, 115: 149-157.
93. Núñez, J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. San José, Costa Rica: EUNED. 258pp.
94. Peña Cabriales, J. (2000). *La fijación biológica de nitrógeno en América Latina: El aporte de técnicas isotópicas*. México: Improsa. 120 pp.
95. Peña Cabriales, J. y Zapata. F. (1999). *Aumento de la fijación biológica de nitrógeno en el fréjol común en América Latina*. México: Improsa. 203p.
96. Pereyra, D., Gómez, L. y Loeza, F. (2005). Perdida del Suelo por erosión hídrica. En Trejo, F., Gutiérrez López, A., Val Segura, R., Mejía Zermeño, R., Sánchez Ruiz, P., Aparicio Mijares, F., y Díaz Flores, I. (Ed.). *La medición de sedimentos en México*. México: IMTA-UJAT. pp. 60-82.
97. Prager, M., Sanclemente, O., Sánchez, M., Miller, J. y Ángel, D. (2012). Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología*, 7:53-62.
98. Ramírez, M. (2004). Desarrollo de un método alternativo de producción de almácigos de tomate con bacterias fijadoras de nitrógeno. (Tesis Ingeniería). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 66 pp.
99. Rebolé A., Alzuela, L., Ortiz, L., Barro, C., Rodríguez, M. and Caballero, R. (2004). Yield and chemical composition of different parts of common vetch at flowering and two seed filling stages. *Spanish Journal of Agriculture Research*, 2:550-557.
100. Reigosa, M., Pedrol, N. y Sánchez, A. (2004). *La Eco fisiología Vegetal. Una ciencia de síntesis*. Madrid, España: Paraninfo. pp 388 – 393 Recuperado de

http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CCX2127800114&v=2.1&u=utn_cons&it=r&p=GPS&sw=w&asid=f9e6652f3b3533915faf5a3539f18ff6

101. Rekhi, R. and Bajwa, M. (1994). Effect of urea application timing on ammonia volatilization in green manure amended wetland rice soil. *International Rice Research Notes*, 19(1): s.p.
102. Renella, G. *et al.* (2004). Hydrolase activity, microbial biomass and community structure in long-term Cd-contaminated soils. *Soil Biol. Biochem.*, 36(3): 443 – 451.
103. Renzi, J. y Cantamutto, M. (2007). Efecto de la densidad de siembra sobre la producción de forraje de *Vicia sativa* L. y *Vicia villosa* Roth. consociada con *Avena sativa* L. *Revista Argentina de Producción Animal*, 2(1): 153 – 154.
104. Rivera, R.; Martín G. M. y Pérez, D. (1999). Efecto de la temperatura sobre la mineralización del nitrógeno de dos especies de abonos verdes en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*. 20(2):15-19.
105. Rodríguez, J., Tosquy Valle, O. y López Salinas, E. (2014). Producción de materia seca de frijol en cinco fechas de siembra durante el ciclo otoño-invierno en el norte de Veracruz. *Revista Científica Biológica Agropecuaria Tuxpan*, 2(3): 465 – 470.
106. Romero, M. (2010). Rehabilitación de suelos cangahuosos mediante la incorporación de abonos verdes. (Tesis de Ingeniería). Escuela superior politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/672/1/13T0695%20ROMERO%20M%20ARIA.pdf>
107. Ruiz Vega, J. y Loaeza Ramírez, G. (2003). Evaluación de los abonos verdes en asociación con maíz de temporal en los valles centrales de Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 21(3): 409 – 415.
108. Russell, W. (1976). *Soil Condition and Plant Growth*. (10ma ed.). Hong Kong. 849pp.
109. Sánchez Yáñez, J. M. (1997). *Producción de inoculantes para leguminosas y gramíneas*. *Coordinación de la Investigación Científica*. Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Proyecto 2.7. Reporte técnico.

110. Sarmiento, O. H. (2011). Proyecto de desarrollo rural integral Vicente Guerrero A.C. Recuperado de <http://vicenteguerrero.blogspot.com/material-es-didacticos/manuales-gvg/leguminosas-y-abonos-verdes>
111. Scherer, H., Pacyna, S., Spoth, K. & Schulz, M. (2008). Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N₂ fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biol. Fert. Soils*, 44: 909-916.
112. Singh, M., Singh, A, Singh, S., Tripathi, R., Singh, K. and Patra, D. (2010). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Indust. Crops Prod.*, 31: 289-293.
113. Stanford, G. and Smith, S. J. (1972). Nitrogen mineralization potentials of soils. *SoilSd. Soc. Am.*, 36: 465-472.
114. Stevens, R., Laughlin, R. & Malone, J. (1998). Soil pH affects the processes reducing nitrate to nitrous oxide and di-nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8-9): 1126-1149.
115. Stevenson, F.J. (1982). *Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy Series 27.* Madison: Ed. American Society of Agronomy. pp 75-79.
116. Sulieman, S., Ha, C., Schulze, J. y Tran, S. (2013). Growth and nodulation of symbiotic *Medicago truncatula* at different levels of phosphorus availability. *J. Exp. Bot.*, 64: 2701-2712.
117. Suquilanda, M. (s.f). Los agentes microbiológicos en la agricultura orgánica. Microorganismos eficaces autóctonos (EMA), Biofertilizantes, Entomopatógenos y Antagónicos. Recuperado de <http://agronegociosecuador.ning.com/page/los-agentes-microbiologicos-en>
118. Tayupanta, J. y Córdova, J. (1990). *Algunas alternativas agronómicas y mecánicas para evitar la pérdida del suelo.* Quito, Ecuador: INIAP. 24pp.
119. Teasdale, J. (2003). Management options and perspectives. In Labraba, R. *Food and agriculture organization of the United Nations.* (pp. 185 – 194). Roma: FAO.

120. Thorup Kristensen, K. (2006). Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil Use Manage*, 22: 29-38.
121. Tisdale, S., Beaton, J., Havlin, J. and Nelson, W. (1999). Nitrogen transformations in soils. p. 108-135. In Tisdale, S.L., J.D. Beaton, J.L. Havlin, and W.L. Nelson. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. (1993). Prentice-Hall, (6ta Ed.). New Jersey.
122. Tisdale, S., Havlin, J., Beaton, J. & Nelson, L. (1993). Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice Hall Inc. Upper Saddle River, NJ. In *Soil fertility past and present*. pp 1-13.
123. Valverde, F. (15 de Septiembre de 2011). Suelos ecuatorianos afectados por la erosión. *Diario La Hora*. Recuperado de http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101204884/-1/Suelos_ecuatorianos_afectados_por_erosi%C3%B3n.html#.U1ABjFV_tCA
124. Valverde, F., Córdova, J. y Parra, R. (1998). *Fertilización del cultivo de la papa*. Quito, Ecuador: INIAP, PNRT/Papa, DMSA. 37 pp
125. Valverde, F., Ramos, M., Estrada, S., Silva, J., Ruales y Parra, R. (2004). *Evaluación de sistemas de labranza de suelos y fertilización en la asociación con maíz-frejol voluble*. (Boletín Técnico 121). Quito, Ecuador: INIAP.
126. Varin, S., Cliquet, J., Personeni, E., Avice, J. y Lemauviel- Lavenant, S. (2010). How does sulphur availability modify N acquisition of white clover (*Trifolium repens* L.). *J. Exp. Bot.*, 61: 225-234.
127. Villalobos, F., Mateos, L., Orgaz, F. y Fereres, E. (2009). *Fitotecnia: bases y tecnologías de la producción agrícola*. (2da Ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa. 297-304 pp.
128. Viteri, S., Martínez, J. y Bermúdez, A. (2008). Selección de abonos verdes para los suelos de Turmequé (Boyacá). *Agronomía Colombiana*, 26(2): 332 – 339.
129. Vitousek, P. M., Aber, J., Howarth, R., Likens, G., Matson, P., Schindler, D., Schlesinger, W. & Tilman, G. D. (1997). Human Alteration of the Global Nitrogen

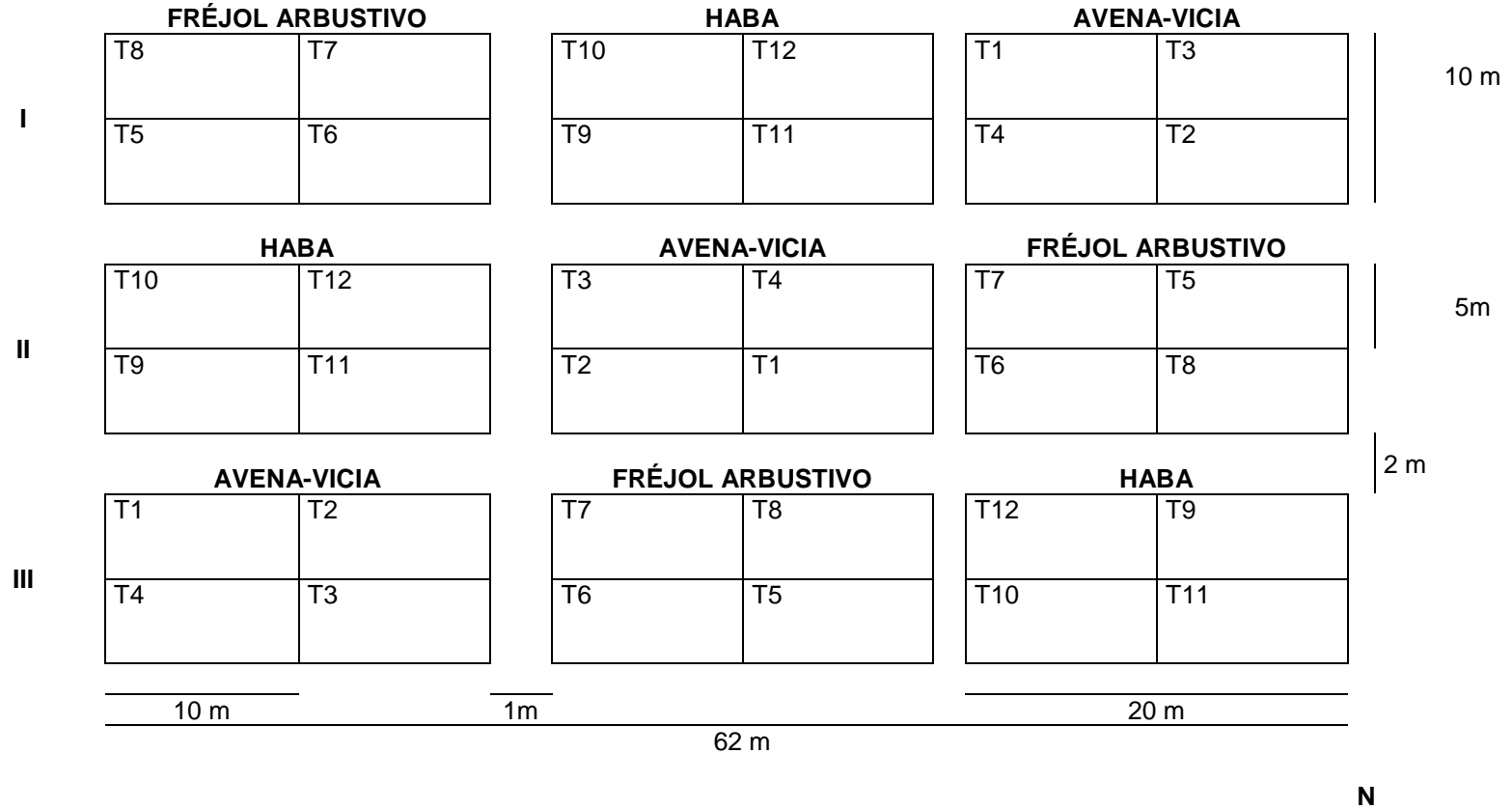
Cycle: Causes and Consequences. *Ecological Society of America. Issues in Ecology*, (1): 1-15.

130. Vogel, A. (2000). *Causas, efectos y formas de erosión de los suelos serranos. Manejo y conservación de suelos: la degradación del suelo y los cambios históricos*. Quito, Ecuador: CAMAREN. 181pp.
131. Vuelta Lorenzo, D. (2011). La agricultura de conservación. Algunas consideraciones sobre la problemática de su implementación en la región del Caribe. (Spanish). *Ciencia En Su PC*, (4), 1-13. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=eabca43b-0ed5-4027-8811-da796b771f92%40sessionmgr4002&vid=2&hid=4212>
132. Wicander, R. y Monroe. J. S. (2000). *Fundamentos de Geología*. (2nd ed.). México: Cengage Learning México. pp. 128-130. Recuperado de http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CCX3003900092&v=2.1&u=utn_cons&it=r&p=GPS&sw=w&asid=9a17440547836979e029e11d13b989ca
133. Zaragoza, E., Hernández, A., Pérez, J., Herrera, J., Osnaya, F., Martínez, P., González, S. y Quero, A. (2009). *Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. Téc. Pecu*, 47: 173–188.

ANEXOS

Anexo 1. Plano de distribución del experimento.

Localidad: Peribuela (Sector El Rabanal) - Imantag - Cotacachi – Imbabura



Anexo 2. Análisis de suelos inicial.

 INIAP <small>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small>	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

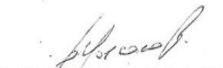
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : PROYECTO SENESCYT Dirección : COTACACHI Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : EL RABANAL - PERIBUELA Provincia : IMBABURA Cantón : COTACACHI Parroquia : IMANTAG Ubicación :	PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : LEGUMINOSAS Fecha de Muestreo : 07/02/2013 Fecha de Ingreso : 15/02/2013 Fecha de Salida : 23/02/2013
--	---	--

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
0290	I I FONDO	6,78 PN	37,00 M	58,00 A	3,80 B	0,42 A	11,30 A	2,70 A	4,8 M	12,5 A	296,0 A	7,3 M	0,40 B
0291	I I LOMO	6,82 PN	48,00 M	53,00 A	4,98 B	0,31 M	11,28 A	2,70 A	5,0 M	11,3 A	254,0 A	7,8 M	0,41 B
0292	I II FONDO	6,83 PN	36,00 M	53,00 A	4,23 B	0,33 M	11,54 A	2,70 A	4,9 M	11,4 A	336,0 A	8,0 M	0,50 B
0293	I II LOMO	6,81 PN	44,00 M	38,00 A	8,52 B	0,21 M	11,50 A	2,80 A	4,1 M	11,1 A	297,0 A	7,6 M	0,55 B
0294	I III FONDO	6,78 PN	48,00 M	69,00 A	8,30 B	0,45 A	11,30 A	2,51 A	6,6 M	11,3 A	216,0 A	8,1 M	0,54 B
0295	I III LOMO	6,77 PN	51,00 M	85,00 A	4,55 B	0,40 M	11,24 A	2,51 A	6,1 M	10,9 A	215,0 A	8,7 M	0,48 B

INTERPRETACION		
pH		Elementos
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal		T = Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA		
pH = Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado	
S, B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado	
	B = Curcumina	


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA

Anexo 3. Datos registrados para la producción de biomasa (t/ha).

Tratamientos	Repeticiones			Sumatoria	Media
	I	II	III		
T1	65,09	47,59	52,32	165,00	55,00
T2	53,63	55,80	45,54	154,96	51,65
T3	56,16	57,95	46,79	160,89	53,63
T4	57,68	43,57	50,09	151,34	50,45
T5	4,73	6,12	6,88	17,72	5,91
T6	5,49	6,25	6,16	17,90	5,97
T7	1,47	5,85	4,55	11,87	3,96
T8	2,41	6,56	3,75	12,72	4,24
T9	49,73	25,71	43,08	118,53	39,51
T10	53,66	15,71	54,15	123,53	41,18
T11	59,51	40,00	63,04	162,54	54,18
T12	57,86	14,33	57,32	129,51	43,17

Anexo 4. Datos registrados para % materia seca (%MS).

Tratamientos	Repeticiones			Sumatoria	Media (%)
	I	II	III		
T1	28,5	30,2	26,7	85,42	28,47
T2	31,49	33,07	31,57	96,13	32,04
T3	32,11	28,28	27,45	87,84	29,28
T4	31,10	29,16	28,57	88,84	29,61
T5	28,84	27,11	29,26	85,22	28,41
T6	27,96	26,42	25,30	79,69	26,56
T7	33,30	26,66	30,25	90,21	30,07
T8	30,41	27,90	26,36	84,67	28,22
T9	23,21	25,16	22,13	70,49	23,50
T10	23,56	26,62	20,23	70,42	23,47
T11	24,54	25,97	20,76	71,27	23,76
T12	21,09	25,17	19,62	65,87	21,96

Anexo 5. Datos registrados para materia seca (t/ha).

Tratamientos	Repeticiones			Sumatoria	Media
	I	II	III		
T1	18,55	14,37	13,99	46,90	15,63
T2	16,89	18,46	14,37	49,72	16,57
T3	18,04	16,39	12,84	47,27	15,76
T4	17,94	12,71	14,31	44,96	14,99
T5	1,36	1,66	2,01	5,04	1,68
T6	1,54	1,65	1,56	4,75	1,58
T7	0,49	1,56	1,38	3,43	1,14
T8	0,73	1,83	0,99	3,55	1,18
T9	11,54	6,47	9,53	27,54	9,18
T10	12,64	4,18	10,96	27,78	9,26
T11	14,60	10,39	13,09	38,08	12,69
T12	12,20	3,61	11,24	27,05	9,02

Anexo 6. Datos para el análisis de población microbiana de suelo (C-CO₂/g ss).

Trat.	Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3			Muestreo 4			Muestreo 5		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
T1	5,74	1,43	2,89	1,9	2,84	0	1,24	1,71	1,94	2,65	5,18	0	3,16	15,93	2,65
T2	1,19	0,8	0,48	3,18	1,1	2,92	2,5	0,66	2,61	3,24	3,79	2,59	9,48	6,17	14,89
T3	0,64	1,58	1,9	3,02	2,85	1,03	1,98	0,65	0,98	3,32	8,02	1,99	1,99	2,59	9,71
T4	2,29	0,64	1,43	0	1,59	0,99	0,65	1,1	0,55	0	3,09	12,34	3,32	0	6,32
T5	0,8	1,74	6,01	1,86	0,64	3,05	1,3	0,69	0,9	3,79	4,65	5,83	3,09	5,18	2,59
T6	2,23	1,11	2,22	2,16	0,87	2,58	1,11	0,87	2,5	15,54	11,11	7,77	4,42	12,61	0,65
T7	1,27	2,84	3,28	2,32	3,54	2,39	0,98	0,92	0,66	4,53	0,65	10,11	4,53	7,41	1,94
T8	1,8	1,81	0	2,97	3,03	4,16	1,04	0,66	1,31	3,09	3,32	4,65	5,69	8,63	3,79
T9	0,72	4,16	1,44	0,82	0,41	1,71	0,23	1,09	1,09	3,79	3,88	4,53	3,24	2,47	5,31
T10	0,54	0,21	1,33	0	1,67	1,53	0,58	0,33	1,87	3,79	5,55	3,32	6,32	4,94	8,64
T11	3,58	2,19	0	2,89	1,51	2,69	1,74	0	1,63	5,31	4,42	1,99	8,85	3,88	5,05
T12	2,31	1,7	4,9	1,76	0,86	4,61	0,59	0,54	1,96	1,94	3,24	1,94	7,12	8,42	9,95

Datos originales.

Anexo 7. Análisis de varianza de población microbiana para muestreos.

F de V	gl	Cuadrados Medios				
		Muestreos				
		1	2	3	4	5
Total	35					
Tratamientos	11	0,17 ns	0,16 ns	0,04 ns	0,55 ns	0,48 ns
Repeticiones	2	0,03 ns	0,07 ns	0,18 *	0,07 ns	0,11 ns
Cultivos (C)	2	0,03 ns	0,20 ns	0,07 ns	0,95 ns	0,22 ns
Residuos (R)	1	0,00 ns	0,40 ns	0,08 ns	0,41 ns	0,09 ns
Fertilización (F)	1	0,48 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,17 ns	0,93 ns
C x R	2	0,20 ns	0,25 ns	0,08 ns	0,80 ns	1,41 ns
C x F	2	0,08 ns	0,03 ns	0,02 ns	0,32 ns	0,13 ns
R x F	1	0,40 ns	0,10 ns	0,04 ns	0,95 ns	0,31 ns
C x R x F	2	0,22 ns	0,16 ns	0,01 ns	0,22 ns	0,22 ns
Error Experimental	22	0,18	0,11	0,04	0,41	0,54
CV (%):		25,26	19,8	13,88	28,01	29,08
Media (C-CO₂/g ss):		1,66	1,69	1,45	2,27	2,53

** = Significativo al 1%
 * = Significativo al 5%
 ns = No significativo

FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Producción de biomasa de los distintos abonos verdes



Fotografía 2. Evaluación de los abonos verdes



Fotografía 3. Incorporación de los abonos verdes



Fotografía 4. Toma de muestras de suelo



Fotografía 5. Fase de laboratorio