

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**



**“ENMIENDAS, CALIDAD DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE LA
ASOCIACIÓN *Trifolium pratense* - *Lolium perenne*, BAJO
INVERNADERO”**

Presentada por:

MARHLENI CERDA GOMEZ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE *DOCTORIS PHILOSOPHIAE* EN
AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**Lima – Perú
2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

**“ENMIENDAS, CALIDAD DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE LA
ASOCIACIÓN *Trifolium pratense* - *Lolium perenne*, BAJO
INVERNADERO”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE

***Doctoris Philosophiae* (Ph. D.)**

Presentada por:

MARHLENI CERDA GOMEZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph. D. Manuel Canto Sáenz
PRESIDENTE

Dr. Oscar Loli Figueroa
PATROCINADOR

Ph. D. Hugo Soplin Villacorta
MIEMBRO

Ph. D. Julio Alegre Orihuela
MIEMBRO

Ph. D. Enrique Arévalo Gardini
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

A quienes son la luz de mis ojos, mis hijos:

Diego José y Lucía del Pilar

Por haber soportado mi ausencia.

A Raúl José, por su apoyo.

A Maru, mi hermana, por ser compañera entrañable y a Carlos, quienes me apoyaron para el logro de mis objetivos.

A Raquelita, quien aún postrada me daba aliento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por haberme permitido lograr metas tan anheladas.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y particularmente a mis colegas del Area de Suelos, quienes trabajaron por mi durante el periodo de estudios.

Al Dr. Oscar Loli Figueroa patrocinador, por compartir sus conocimientos, por su infinita paciencia y profesionalismo, por las sugerencias y la confianza hasta llegar a la meta.

A Guillermo Aguirre Yato, por su apoyo, en todo el proceso de trabajo y principalmente por ser amigo.

Al Dr. Manuel Canto Sáenz, por sembrar conocimiento, confianza entre los estudiantes del doctorado.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	01
II. REVISIÓN DE LITERATURA	03
2.1 Desarrollo sostenible	03
2.2 Principios de sostenibilidad	05
2.3 Funciones de suelos en el ecosistema	06
2.4 Principales problemas de manejo del suelo	07
2.5 Calidad y salud de los suelos	08
2.6 Importancia de la calidad del suelo	09
2.7 Evaluación de la calidad del suelo	10
2.8 Indicadores de la calidad del suelo	11
2.9 Calificativos inherentes a la calidad del suelo	18
2.10 Degradación del suelo	25
2.11 Naturaleza de la materia orgánica del suelo	28
2.12 Función de la materia orgánica en la calidad del suelo	29
2.13 Factores que afectan a la materia orgánica del suelo	30
2.14 Calidad y salud de las plantas	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1 Ubicación	34
3.2 Características climáticas del medio	34
3.3 Características del suelo	34
3.4 Planta indicadora	34
3.5 Características químicas del estiércol, dolomita y roca fosfatada	35
3.6 Diseño metodológico	36
3.7 Tratamientos	38

3.8	Procedimiento experimental	38
3.9	Parámetros de evaluación	39
3.10.	Análisis estadístico	42
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	Indicadores físicos	43
4.1.1	Estabilidad de agregados	43
4.1.2	Densidad aparente del suelo	54
4.1.3	Tasa de infiltración básica	56
4.1.4	Relevancia de la mejora de indicadores físicos en los aspectos socioeconómicos y ambientales	61
4.2	Indicadores químicos	62
4.2.1	Reacción del suelo	62
4.2.2	Materia orgánica del suelo	68
4.2.3	Fósforo disponible del suelo	72
4.2.4	Capacidad de intercambio catiónico del suelo	76
4.2.5	Cationes cambiables	79
4.2.6	Relevancia de la mejora de indicadores químicos en los aspectos socioeconómicos y ambientales	88
4.3	Indicadores biológicos	88
4.3.1	Actividad microbiana	88
4.3.2	Biomasa microbiana	94
4.3.3	Rendimiento de materia seca	98
4.3.4	Relevancia de la mejora de indicadores biológicos en los aspectos socioeconómicos y ambientales	103
4.4	Salud del cultivo	103
4.4.1	Estado nutricional del cultivo	103
4.4.2	Numero de nódulos	106
4.4.3	Peso de nódulos	109
4.5	Resultados de investigación en invernadero y su extrapolación a agricultores. En función a indicadores de sustentabilidad	110

V.	CONCLUSIONES	112
VI.	RECOMENDACIONES	114
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Cuadro 1.1 Indicadores físicos de la calidad del suelo, relación entre la propiedad y las funciones	14
Cuadro 1.2 Indicadores químicos de la calidad del suelo, relación entre la propiedad y las funciones	16
Cuadro 1.3 Indicadores biológicos de la calidad del suelo, relación entre la propiedad y las funciones	17
Cuadro 3.1 Análisis de caracterización del suelo.	35
Cuadro 3.2 Características químicas de dolomita y roca fosfatada	35
Cuadro 3.3 Características del estiércol	36
Cuadro 3.4 Descripción de tratamientos del experimento	37
Cuadro 4.1 Análisis funcional de la variancia del índice de inestabilidad de estructura del suelo (Is), por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	45
Cuadro 4.2 Análisis funcional de la variancia de la densidad aparente del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	55
Cuadro 4.3 Análisis funcional de la variancia de la infiltración del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	57
Cuadro 4.4. Análisis funcional de la variancia del pH del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	63
Cuadro 4.5 Análisis funcional de la variancia de la materia orgánica del	69

suelo, por efecto de estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado	
Cuadro 4.6 Análisis funcional de la variancia del fósforo disponible del suelo, por efecto del estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado	73
Cuadro 4.7 Análisis funcional de la variancia de la capacidad de intercambio de cationes del suelo, por efecto del estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado	77
Cuadro 4.8. Análisis funcional de la variancia del calcio cambiante del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	80
Cuadro 4.9. Análisis funcional de la variancia del magnesio cambiante del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	83
Cuadro 4.10. Análisis funcional de la variancia del potasio cambiante del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	85
Cuadro 4.11. Análisis funcional de la variancia de respiración microbiana del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	89
Cuadro 4.12. Análisis funcional de la variancia de la biomasa microbiana del suelo, por efecto de la aplicación de estiércol y dolomita	95
Cuadro 4.13 Análisis funcional de la variancia del rendimiento de materia seca (g.maceta ⁻¹), por aplicación de estiércol y dolomita	99
Cuadro 4.14 Análisis funcional de la variancia del número de nódulos en la asociación de pastos Trébol rojo (<i>Trifolium pratense</i>) y Rye-gras inglés (<i>Lolium perenne</i>) por aplicación de estiércol y dolomita	107
Cuadro 4.15 Análisis funcional de la variancia del peso de nódulos (mgr/maceta) en la asociación de pastos Trébol rojo (<i>Trifolium pratens</i>) y Rye-gras inglés (<i>Lolium perenne</i>) por aplicación de estiércol y dolomita	109

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 01.	Tukey (0.05) del Is del suelo con niveles de estiércol. A seis meses de aplicado	43
Figura 02.	Tendencia del Is por efecto de estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado.	44
Figura 03.	Efecto de estiércol y dolomita en agregados estables en alcohol	46
Figura 04.	Efecto de estiércol y dolomita en los agregados estables en agua.	47
Figura 05.	Efecto de estiércol y dolomita en agregados estables en benceno	48
Figura 06.	Tendencia del índice de inestabilidad de estructura con estiércol y dolomita. A nueve meses de aplicado.	49
Figura 07.	Tukey (0.05) del Is del suelo con niveles de estiércol. A doce Meses de aplicado.	50
Figura 08.	Tendencia del Is con estiércol y dolomita. A doce meses de aplicado.	50
Figura 09.	Contraste adicionales en el Is a doce meses.	51
Figura 10.	Contenido de agregados estables e los tratamientos adicionales A doce meses de aplicado.	52
Figura 11.	Efecto del estiércol y dolomita y raíces en el Is. A doce meses	53
Figura 12.	Tendencia del Is con estiércol - dolomita y raíces. A doce meses de aplicado.	54
Figura 13.	Tendencia de la densidad aparente del suelo con estiércol y	56

	Dolomita. A seis meses de aplicado	
Figura 14.	Prueba de Tukey (0.05) de la infiltración básica con estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado.	58
Figura 15.	Tendencia de la tasa de infiltración básica del suelo con estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado.	58
Figura 16.	Tendencia de la tasa de infiltración del suelo con estiércol y dolomita. A nueve meses de aplicado.	59
Figura 17.	Tendencia de la infiltración del suelo con estiércol y dolomita. A doce meses de aplicado.	60
Figura 18.	Infiltración básica en los tratamientos adicionales. A doce meses.	61
Figura 19.	Prueba de Tukey (0.05) del pH del suelo con niveles de estiércol. A seis meses de aplicado.	64
Figura 20.	Tendencia del pH del suelo con estiércol y dolomita. A seis Meses de aplicado.	64
Figura 21.	Tendencia del pH del suelo con estiércol y dolomita. A nueve meses de aplicado.	65
Figura 22.	Tendencia del pH del suelo con estiércol y dolomita. A doce Meses de aplicado.	65
Figura 23.	Tendencia del pH del suelo con estiércol y 4 t.ha ⁻¹ dolomita en presencia de raíces. A doce meses	66
Figura 24.	Efecto del estiércol y dolomita con y sin raíces en el pH del Suelo. A doce meses de aplicado	67
Figura 25.	Tendencia de la materia orgánica del suelo con estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado.	68
Figura 26.	Prueba de Tukey (0.05) de materia orgánica del suelo con niveles de estiércol en presencia de raíces. A doce meses de aplicado	70

Figura 27.	Tendencia de la materia orgánica del suelo con estiércol, dolomita y raíces. A doce meses de aplicado.	71
Figura 28.	Efecto de estiércol, dolomita y raíces en el contenido de materia orgánica del suelo. A doce meses de aplicado	71
Figura 29.	Tendencia del fósforo disponible del suelo con estiércol y Dolomita. A seis meses de aplicado.	72
Figura 30.	Prueba de Tukey (0.05) de fósforo disponible con niveles de E-4D en presencia de raíces. A doce meses de aplicado.	74
Figura 31.	Tendencia del fósforo disponible con E-4D en presencia de Raíces. A doce meses de aplicado.	75
Figura 32.	Efecto del estiércol y dolomita con y sin plantas en el fósforo Disponible. A doce meses de aplicado	75
Figura 33.	Tendencia de la capacidad de intercambio catiónico, con Estiércol y dolomita. A doce meses de incorporado	76
Figura 34.	Efecto de estiércol y dolomita con y sin raíz en la capacidad de intercambio de cationes. A seis, nueve y doce meses.	78
Figura 35.	Tendencia de la capacidad de intercambio de cationes con Estiércol, dolomita en presencia de raíces. A doce meses de aplicado.	78
Figura 36.	Prueba de Tukey (0.05) de calcio cambiante con dolomita en promedio de Estiércol. A doce meses de aplicado	79
Figura 37.	Efecto de estiércol y dolomita con y sin raíz en el calcio cambiante. A seis, nueve y doce meses.	81
Figura 38.	Tendencia del magnesio cambiante con estiércol y dolomita A seis y nueve meses de aplicado.	82
Figura 39.	Efecto del estiércol y dolomita con y sin raíz en el magnesio Cambiante. A seis, nueve y doce meses.	84
Figura 40.	Tendencia del magnesio cambiante con estiércol y dolomita	84

	en presencia de raíces. A doce meses de aplicado.	
Figura 41.	Tendencia del potasio cambiabile con estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado.	86
Figura 42.	Tendencia del potasio cambiabile con estiércol y dolomita. A doce meses de aplicado	86
Figura 43.	Efecto del estiércol y dolomita con y sin raíz en el potasio cambiabile. A seis, nueve y doce meses.	87
Figura 44.	Tukey (0.05) de la respiración microbiana con estiércol y Dolomita. A seis meses de aplicado.	90
Figura 45.	Tendencia de la tasa de respiración con estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado.	90
Figura 46.	Tendencia de la respiración microbiana con estiércol y Dolomita. A nueve meses de incorporado.	92
Figura 47.	Tendencia de la respiración microbiana con estiércol y dolomita. A doce meses de aplicado.	93
Figura 48.	Tendencia de la respiración microbiana con estiércol y dolomita En presencia de raíces. A doce meses de aplicado.	94
Figura 49.	Prueba de Tukey (0.05) de la biomasa microbiana con niveles de dolomita. A seis meses de aplicado.	94
Figura 50.	Tendencia de la biomasa microbiana con estiércol y dolomita. A nueve meses de aplicado.	96
Figura 51.	Tendencia de la biomasa microbiana con estiércol y dolomita. A doce meses de aplicado.	97
Figura 52.	Tendencia de la biomasa microbiana con estiércol y dolomita En presencia de raíces. A doce meses de aplicado.	97

Figura 53.	Prueba de Tukey (0.05) del rendimiento de materia seca con niveles de Dolomita. A seis meses de aplicado.	100
Figura 54.	Tendencia del rendimiento de materia seca con estiércol y Dolomita. A seis meses de incorporado.	101
Figura 55.	Tendencia del rendimiento de materia seca con estiércol y dolomita (2t.ha ⁻¹). A nueve meses de aplicado.	101
Figura 56.	Prueba de Tukey (0.05) del rendimiento de materia seca con niveles de dolomita. A doce meses de aplicado.	102
Figura 57.	Tendencia del rendimiento de materia seca con estiércol y dolomita. A doce meses de aplicado.	102
Figura 58.	Estado nutricional de Trébol rojo y Rye-grass ingles con estiércol y dolomita. A seis meses de aplicado.	104
Figura 59.	Estado nutricional de Trébol rojo y Rye-grass ingles con estiércol y dolomita. A nueve meses de aplicado.	105
Figura 60.	Estado nutricional de Trébol rojo y Rye-grass ingles con estiércol y dolomita. A doce meses de aplicado.	106
Figura 61.	Tendencia del número de nódulos con estiércol y dolomita en raíces de Trébol rojo. A doce meses de inoculado.	108
Figura 62.	Tendencia del peso seco de nódulos con estiércol y dolomita en raíces de Trébol rojo. A doce meses de inoculado.	110

ENMIENDAS, CALIDAD DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE LA ASOCIACIÓN *Trifolium pratense* - *Lolium perenne*, BAJO INVERNADERO

RESUMEN

En invernadero de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en suelo fuertemente ácido y textura arcillosa, se condujo un experimento factorial: 2 y 4 t.ha⁻¹ dolomita (D) por 10,15, 20 t.ha⁻¹ estiércol (E) con tres repeticiones y cinco adicionales; en macetas de 4 Kg de capacidad en diseño completamente randomizado. Se instala dos grupos (con y sin planta). Se evaluó en tres periodos: **a) Calidad de suelo;** a.1) Físico, índice de inestabilidad estructural (Is), densidad aparente (Pa) y tasa de infiltración. a.2) Químico, materia orgánica, P- disponible, Ca, Mg, K cambiables, CIC y pH. a.3) Biológico, biomasa y respiración microbiana, materia seca (g/maceta) de Trébol rojo (*Trifolium pratense*) y Rye-grass inglés (*Lolium perenne*). **b) Salud del cultivo:** N, P, K, Ca y Mg, número y peso de nódulos. Los resultados del análisis de variancia, pruebas de comparación de promedios de Tukey y el análisis de tendencia, muestra durante los primeros seis meses que los indicadores Is, Pa, disminuyen linealmente a mayor (E), la infiltración básica, los indicadores químicos y biológicos incrementan; las plantas muestran desbalance de calcio, magnesio, nitrógeno en 10 y 15E-D. Al año, mejora el Ca y Mg en plantas, hay mayor número de nódulos en 2D, pero de menor peso seco total. En el suelo disminuyen los efectos de E en las características físicas, permaneciendo en lo químico y biológico, siendo mejor el desempeño en general, empleando 20E-4D. Las raíces, catalizan y provocan cambios más evidentes en cada uno de los parámetros evaluados.

PALABRAS CLAVE: Calidad de suelos, salud de cultivo, indicadores físicos, químicos y biológicos, estiércol, dolomita.

IMPROVERS, SOIL QUALITY AND YIELD OF THE ASSOCIATION *Trifolium pratense* - *Lolium perenne*, UNDER GREENHOUSE

SUMMARY

In the greenhouse of the National University of “San Cristóbal de Huamanga”, in acid soil and clayey texture, a factorial experiment was conducted: 2 and 4 t.ha⁻¹ dolomite (D) for 10,15, 20 t.ha⁻¹ manure (E) with three replications and five additional; in pots of 4 Kg capacity in completely randomized design. Two groups were installed (with and without plants). The evaluation took place in three periods: **a) Soil quality;** a.1) Physical, structural instability index (Is), soil bulk density (Pa) and the rate of infiltration. a.2) Chemical, organic material, P- available, Ca, Mg, K exchangeable, CIC and pH. a.3) Biologic, biomass and microbial respiration, dry matter (g/pot) of red clover (*Trifolium pratense*) and English Rye-grass (*Lolium perenne*). **b) Crop health:** N, P, K, Ca, Mg, number and weight of nodules. The results of the analysis of variance, tests comparison averages of Tukey and tendency analysis, demonstrate that during the first six months the indicators Is, Pa, decreased linearly to major (E), the basic infiltration, the chemical and biological indicators increased; the plants show imbalance of calcium, magnesium, nitrogen in 10 and 15E-D. The year, it enhances the Ca and Mg in plants, there is a greater number of nodules in 2D, but with less total dry weight. In the soil is decreased the effects of E in its physical characteristics, continuing in the chemical and biological thing, being better the performance in general, using 20E-4D. The roots, catalyze and provoke more clear changes in every one of the evaluated parameters.

KEYWORDS: The soil quality, crop health, physical, chemical and biological indicators, manure, dolomite.