

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

AGREGACIÓN Y PROPIEDADES ASOCIADAS DEL SUELO
INFLUENCIADO POR *Lupinus uncinatus* BAJO VARIOS
MANEJOS AGRICOLAS

POLILE AUGUSTINE MOLUMELI

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

La presente tesis titulada: **AGREGACIÓN Y PROPIEDADES ASOCIADAS DEL SUELO INFLUENCIADO POR *Lupinus uncinatus* BAJO VARIOS MANEJOS AGRICOLAS**, realizada por el alumno: **POLILE AUGUSTINE MOLUMELI**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DR. VICENTE ESPINOSA HERNÁNDEZ

ASESOR:

DR. ENRIQUE OJEDA TREJO

ASESOR:

DR. VICTOR M. CETINA ALCALÁ

ASESOR:

DR. GERARDO SERGIO BENEDICTO VALDÉS

ASESOR:

DR. VICTOR VOLKE HALLER

I certify that this thesis is my own original work and all sources have been acknowledged.

Polile Augustine Molumeli

Acknowledgements:

Primarily, I have to acknowledge to my almighty God to have given me this precious health and understanding to complete one more challenge in my way; and an opportunity for live and hope to enrich me with new knowledge, with which I will be grateful to share with the people around me, as well as to extend to everyone of them something little or more of what I have learned for the past five-years.

This investigation was financially supported by the Government of Mexico through the Ministry of External Relations (*Secretaría de Relaciones Exteriores*, SRE) as part of bilateral exchange program, and for allowing me to study in Mexico and conduct this research, with whom I feel so grateful.

I am thankful to the National University of Lesotho to have given me this opportunity for extending my professional studies.

To the Sub-directors of Education and Research Studies, as well as to the Coordinator of Investigations, Department of Plant and Soil Sciences, Colegio de Postgraduados, Montecillo Campus, Texcoco, for allowing me access to the administration, transport and laboratory resources and facilities and field-personnel support services in the realization of my doctorate studies, with whom I feel highly appreciated.

For identifying the study sites, I feel most indebted to the farmers of San Pablo Ixayoc, in particular, to Eng. Raymundo Vivar and M.C. Rufino Vivar, who allowed us to use their fields for the last two years of this study.

Dr. Gerardo Sergio Benedicto Valdés, with all my respect and gratitude for his unconditional friendship, his strong support, open mindedness and innumerable advices and valuable suggestions towards the development of this present work of investigation.

Dr Victor Volke Haller, for his friendship, support, valuable advices and suggestions which made it possible for me to do well informed statistical analyses.

To all my professors and lecturers, I feel very thankful particularly to M.C. Francisco Landeros-Sanchez, Soil Physics Lab., and also to M.C. Patricio Sanchez-Guzman, Soil Classification, Genesis and Remote Sensing Lab., Department of Soil Science, for their

valuable teaching and whose extensive knowledge in field and laboratory techniques was most useful during my investigations.

To all my friends at the Colegio de Postgraduados, Muhammad Ehsan, Angel Alderete-Chavez, Nancy De la Cruz-Landero, Cornelius Kibet Serrrem, Jose de Jesus Huerta Olaque, with whom I had valuable academic help, company and friendship, like my family brothers, for sharing with me their excellent time, patience and motivating comments during the most desperate moments in developing this work. I will always be grateful to remember them.

Thanks to God to open my path, and have a valuable love, attention and company of Sonia Mariana Lara Vera, for helping me morally during the moments of extreme desolation and desperation, which had actually become a menace to my live, as well as to my progress in the development of my thesis.

To all the administration personnel and field-and lab- support workers, in particular to Mrs. Aracely Espejel Estrada, Maria de Jesus Hernandez Fragoso, Maria Barbara Zamora Hernández, and to Mr. Felipe Carrillo-Carrillo, Julio Torres Cedillo, Oscar Ayala Delgadillo, Secilio Gonzalez Torres, Juan Manuel Deheza de la Rosa, and to all those people for whatever manner or reason have participated in sharing with me their confidence at work, friendship and help in the realization of my work of investigations and this thesis.

To the Accountant Homero Enrique Trejo Diaz, in charge of Decentralized Internal Organ for Audit in the Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo de Mexico, under the *Secretaría de la Función Pública para la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH) del Gobierno Federal de México*, for his help and understanding on my rights as a student.

DEDICATIONS

Thanks to almighty God for his voluntary love.

This work is dedicated to the memory of my father, Tutubala Ramathatho Philemon Molumeli, who always taught me that higher education is more valuable than the materials around the farm, because nobody can steal it from you, as well as to my mother, 'Mapalo Nomalanga Alix-maria Molumeli, who has been the great pillar of example with unconditional love, advices and support that has always been fruitful throughout the activities that I have realized in my live.

To my family, Fr. Pokane and Dr. Matlaselo, Mathoriso and Matutubala, as well as to my sisters Mokase and Mathota, for they always have given invaluable support to me with patience.

I hope that this thesis should serve as a specimen of a desire for excellence to all the children of the family of Molumeli, particularly to

Thope

Smangele

Tutubala

Thoriso

Mthimkhulu .

CONTENTS

	PAGES
ACKNOWLEDGEMENTS	IV
DEDICATIONS	VI
INDEX FOR APPENDIX OF TABLES	XII
INDEX FOR APPENDIX OF FIGURES	XIV
INDEX FOR APPENDIX OF TABLES FOR STATISTICAL ANALYSIS	XVI
RESUMEN	XIX
SUMMARY	XXI
ABBREVIATIONS	XXIII
CAPITULO I	
1.0 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Sistemas actuales del uso y manejo del terreno	1
1.2 Materia orgánica y minerales arcillosos	2
1.3 Fundamentos del estudio	4
CHAPTER I	
1.0 GENERAL INTRODUCTION	7
1.1 Actual landuse and management systems	7
1.2 Organic matter and clay minerals	8
1.3 Rationale	10
1.4 LITERATURE CITED	13
CHAPTER II	
2.0 LITERATURE REVIEW	16
2.1 Volcanic ash-derived soils with indurated subsurface horizons (tepetates)	16
2.2 Importance of leguminous plants in soil fertility	17
2.3 Soil physical properties	17

2.4	Soil biochemical properties	19
2.5	Sustainable and alternative production	20
2.6	Organic matter pools	21
2.7	Soil aggregation hierarchy	22
2.8	Soil physical disturbance	23
2.9	Macropore channels	24
2.10	Environmental impact assessment of land management practices	25
2.11	Natural distribution of some <i>Lupinus</i> species	26
2.12	General objectives	27
2.13	LITERATURE CITED	28
	CHAPTER III	34
3.0	LUPINES-INVADED DISTURBED PINE FOREST AND CULTIVATED LAND MANAGEMENT IMPACTS IN VOLCANIC ASH SOILS OF MEXICO: DRY-SIEVED AGGREGATE SIZE DISTRIBUTION CLASSES AND MACROAGGREGATES INSTABILITY INDICES	34
3.0	ABSTRACT	34
3.1	INTRODUCTION	35
3.2	MATERIALS AND METHODS	38
3.2.1	Site, climate and soil description	38
3.2.2	Landuse ecosystems, cropping management practices and sampling	39
3.2.2.1	Landuse ecosystems	39
3.2.2.2	Cropping management practices	40
3.2.2.3	Sampling	42
3.2.3	Chemical and physical analysis	43
3.2.4	Dry-sieved soil aggregate size distribution (ASDd)	44
3.2.5	Dry-sieved soil macroaggregates instability (CoES) indices	44
3.2.6	Statistical analyses	45
3.3	RESULTS	46
3.3.1	Particle size distribution	46
3.3.1.1	Sand content (Sa)	46
3.3.1.2	Silt content (Si)	46
3.3.1.3	Total clay content (Cl)	47
3.3.2	Soil bulk density (ρ_b)	47

3.3.3	Chemical properties	48
3.3.3.1	Soil pH	48
3.3.3.2	K ₂ Cr ₂ O ₇ -oxidizable total organic carbon (TOC)	49
3.3.4	Depth of water retention (Dwr)	50
3.3.4.1	Depth of water retention at field capacity (Dwr -33 kPa)	50
3.3.4.2	Depth of water retention at permanent wilting point (Dwr -1500 kPa)	50
3.3.5	Soil structural aggregation	51
3.3.5.1	Dry-soil aggregate size distribution (ASD _d)	51
3.3.5.2	Microaggregates (MicAg, < 0.25 mm)	51
3.3.5.3	Small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm)	51
3.3.5.4	Medium-macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm)	52
3.3.5.5	Large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.00 mm)	52
3.3.6	Dry macroaggregate instability indices (CoES)	52
3.3.6.1	Total-macroaggregates instability indices (CoES-Tmag)	53
3.3.6.2	Small-macroaggregates instability indices (CoES-SmMag)	53
3.3.6.3	Medium-macroaggregates instability indices (CoES-MeMag)	54
3.3.6.4	Large-macroaggregates instability indices (CoES-LaMag)	54
3.4	DISCUSSION	55
3.4.1	Chemical and physical soil characteristics	55
3.4.2	Soil structural aggregation	57
3.4.2.1	Microaggregates (MicAg, <0.25 mm)	58
3.4.2.2	Small macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm)	59
3.4.2.3	Medium macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm)	61
3.4.2.4	Large macroaggregates (LaMag, 4-76-11.00 mm)	63
3.4.3	Dry-sieved soil macroaggregates instability (CoES) indices	64
3.5	CONCLUSIONS	69
3.6	LITERATURE CITED	71
3.7	APPENDIX OF FIGURES	76
3.8	APPENDIX OF TABLES	80
3.9	APPENDIX OF TABLES FOR STATISTICAL ANALYSIS	87
	CHAPTER IV	94

4.0	LUPINES INVADED DISTURBED FOREST AND CULTIVATED LAND MANAGEMENT IMPACTS ON STRUCTURE AND WATER TRANSMISSION PROPERTIES OF VOLCANIC ASH SOILS IN SAN PABLO IXAYOC, TEXCOCO, MÉXICO STATE.	94
4.0	ABSTRACT	94
4.1	INTRODUCTION	95
4.2	MATERIALS AND METHODS	99
4.2.1	Site, climate and soil description	99
4.2.2	Management options	100
4.2.3	Plant materials and soil sampling	101
4.2.4	Root counting and plant biomass	101
4.2.5	Bulk density (pb) and antecedent field water content (AFWC)	102
4.2.6	Structural aggregation, particle size and chemical analysis	103
4.2.7	Soil-water retention	103
4.2.8	Water transmission properties	104
4.2.9	Statistical analysis	105
4.3	RESULTS	106
4.3.1	Soil organic carbon relations	106
4.3.1.1	K ₂ Cr ₂ O ₇ -oxidizable total organic carbon (TOC) and Non-labile, less-oxidizable organic carbon (NLC)	106
4.3.1.2	KMnO ₄ -oxidizable labile organic carbon (LC)	106
4.3.1.3	Lability of organic carbon reserve pool (LCI = LC/NLC)	107
4.3.1.4	Lability index (LI = LCI ^{-sample} /LCI ^{-reference})	107
4.3.1.5	Total oxidizable carbon reserve pool size index (CPI = TOC ^{-sample} /TOC ^{-reference})	108
4.3.1.6	Carbon management index (CMI = LI * CPI * 100)	108
4.3.2	Dry soil aggregate stability (MWD _d)	109
4.3.3	Electrical conductivity (EC)	110
4.3.4	Soil water content	110
4.3.4.1	Soil water retention capacity at near saturation (SWRC) -6 kPa	110
4.3.4.2	Soil water retention capacity at field capacity (SWRC -33 kPa)	111
4.3.4.3	Soil water retention capacity at permanent wilting point (SWRC - 1500 kPa)	111
4.3.4.4	Depth of water retention at near-saturation (Dwr -6 kPa)	112

4.3.4.5	Depth of water retention at field capacity (Dwr -33 kPa)	112
4.3.4.6	Depth of water retention at permanent wilting point (Dwr -1500 kPa)	112
4.3.4.7	Plant available soil water content (θ_{pawc})	113
4.3.4.8	Depth of plant available soil water retention (Dpawc)	113
4.3.4.9	Antecedent soil water conditions (AFWC)	114
4.3.5	Water transmission properties	114
4.3.5.1	Water infiltration	114
	5-minutes water infiltration rate ($i_{-5 \text{ min}}$)	114
	2-hours water infiltration rate ($i_{-2 \text{ hrs}}$)	115
	5-minutes cumulative infiltration ($Zc_{-5 \text{ min}}$)	115
	2-hours cumulative infiltration ($Zc_{-2 \text{ hrs}}$)	116
4.3.5.2	Saturated hydraulic conductivity (Ksat)	116
4.4	DISCUSSION	117
4.4.1	Field Observations	117
4.4.2.	Relation between soil pH, total organic carbon, total clay content	117
4.4.3	Soil aggregate stability	119
4.4.3.1	Relations with soil pH, soil texture and total organic carbon	119
4.4.3.2	Influence of differences in soil drying and aggregate stability	124
4.4.4	Water transmission characteristics	127
4.4.4.1	Soil-water retention capacity (SWRC) and antecedent soil-water content (AFWC).	127
4.4.4.2	Interactive effects of soil properties on infiltration and hydraulic conductivity.	128
4.4.4.3	Hydraulic conductivity and Water repellency properties	132
4.4.4.4	Aggregate size, total organic carbon and electrical conductivity	136
4.5	CONCLUSIONS	142
4.6	LITERATURE CITED	145
4.7	APPENDIX OF TABLES	153
4.8	APPENDIX OF FIGURES	158
4.9	APPENDICES OF TABLES FOR STATISTICAL ANALYSIS	166
	CHAPTER V	175

5.0	GENERAL DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS	175
5.1	General discussion	175
5.2	Conclusions and Recommendations	181

INDEX FOR APPENDIX OF TABLES

TABLES	CHAPTER III	Page
Table 3.1	Representative Traditional Farming Systems in the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) chosen from the two land use systems in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	81
Table 3.2	Comparison of means for the soil particle size distribution, bulk density (pb), soil pH, total organic carbon, depth of water retention at -33 kPa and -1500 kPa determined at two soil depths from the seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México	82
Table 3.3	Comparison of means for the parameters of dry-sieved soil aggregate size distribution classes (ASDd) determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) from the seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	83
Table 3.4	Comparison of means for the macroaggregates instability indices (CoES) of various dry-sieved soil macroaggregates size classes (ASDd) determined at two soil depths from the seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México	84
Table 3.5	Significance levels (R^2) and regression equations relating total organic carbon content (TOC), total clay content (clay) and soil pH as independent variables to the dry-sieved macroaggregates size classes, microaggregates and macroaggregates instability indices (CoES).	85

Table 3.6	Significance levels (R^2) and regression equations relating total organic carbon content (TOC) and soil pH, as independent variables, to dry-sieved soil microaggregates and macroaggregates size fractions, and macroaggregates instability indices (CoES).	86
-----------	--	----

TABLES	CHAPTER IV	Pages
Table 4.1	Comparison of means for the saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), mean weight diameter (MWD_d) of dry-soil aggregates, soil pH and electrical conductivity (EC), soil bulk density (ρ_b) determined at two soil depths under two plant ages in seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	154
Table 4.2	Comparison of means for parameters of oxidizable organic carbon concentration and their indices determined at two soil depths (0-20 and 20-40 cm) in the root-zone of young and mature plants in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México	155
Table 4.3	Comparison of means for parameters of water infiltration and antecedent field water content of the soils before infiltration testing over the root-zone of young and mature plants under seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	156
Table 4.4	Comparison of means for parameters of soil water retention properties determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) from seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	157

INDEX FOR APPENDIX OF FIGURES

FIGURES	CHAPTER III	Pages
Figure 3.1	Location of the study area in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México	77
Figure 3.2	Cropping management practices since 1994 within the two major Traditional Farming Systems in San Pablo Ixayoc, Texcoco, México State, México	78
Figure 3.3	Dry aggregate size classes: microaggregates (MicAg, < 0.25 mm), small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm), medium-macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm), and large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.00 mm) as influenced by different cropping management systems. Vertical bars represent \pm SE (n =3).	79
CHAPTER IV		
Figure 4.1	Young and mature <i>Lupinus</i> plants in the high altitudes on the foothill slopes of the Tlaloc volcano in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	159
Figure 4.2	Comparison of the five-minutes infiltration rate (a); two-hours infiltration rate (b); saturated hydraulic conductivity (c); and two-hours cumulative infiltration (d) in a volcanic ash soil under different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	160
Figure 4.3	Mean weight diameter (MWDd) indices of aggregate size as function of soil pH (a), total clay content (b), labile organic carbon content (c), and total organic carbon content (TOC) for the volcanic ash soils under different cropping management practices. in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México,	161

México.

Figure 4.4 Five-minute and two-hour infiltration rates in response to soil-water retention capacity at -6 kPa for the volcanic ash soils under different cropping management practices. in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México. 162

FIGURES **CHAPTER IV** **Pages**

Figure 4.5 Five-minute and two-hour infiltration rates in response to soil-water retention capacity at -1500 kPa for the volcanic ash soils under different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México. 163

Figure 4.6 Infiltration rates of water after five-minutes (a) and after two-hours (b) into volcanic ash soil as a function of antecedent soil-water content (AFWC) for young and mature plants in different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México. 164

Figure 4.7 Two-hours infiltration rate ($i_{-2 \text{ hrs}}$) and cumulative infiltration ($Z_{c-2 \text{ hrs}}$) of water into a volcanic ash-derived soil for various sampling plot numbers under intensive cultivation (CA), lupines invaded fallows (SDL), lupines invaded pasture (PL), freshly-tilled lupines invaded fallows (BRDL), lupines invaded disturbed pine forest (BL), planted grass pasture (PP), and natural oak forest (VN) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México. 165

INDEX FOR APPENDIX OF TABLES FOR STATISTICAL ANALYSIS

TABLES	CHAPTER III	Pages
Table 3.1 A	Analysis of variance showing the significance levels for sand, silt, total clay, soil pH, bulk density (ρ_b), determined at two soil depths (Dz, 0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.	88
Table 3.2 A	Analysis of variance showing the significance levels for different aggregate size distribution classes (ASD) determined at two soil depths (Dz, 0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	89
Table 3.3 A:	Analysis of variance showing the significance levels for different macroaggregates instability indices (CoES-) determined at two soil depths (Dz, 0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	90
Table 3.4 A	Comparison of means in combined form for aggregate size distribution classes (ASD) and macroaggregates instability indices (CoES-) determined at two soil depths for two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco State of México, México.	91
Table 3.5 A:	Comparison of means in combined form for aggregate size distribution classes (ASD) and macroaggregates instability indices (CoES-) determined at two soil depths for two plant	92

ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco State of México, México.

Table 3.6 A	Comparison of means for macroaggregates instability indices (CoES-) determined at two soil depths for two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco State of México, México.	93
-------------	---	----

TABLES

CHAPTER IV

Pages

Table 4.1.A	Analysis of variance showing the significance levels for parameters of water infiltration and antecedent field soil water content (AFWC) determined over the root-zone of two plant ages (young and mature) in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	167
-------------	---	-----

Table 4.2.A	Analysis of variance showing the significance levels for organic carbon, and their quality indices determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (young and mature) from three randomly selected experimental units in seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	168
-------------	---	-----

Table 4.3.A	Analysis of variance showing the significance levels ($Pr > F$ values) for saturated hydraulic conductivity (Ksat), electrical conductivity (EC) and mean weight diameter (MWD), determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (young and mature) from three randomly selected experimental units in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.	169
-------------	---	-----

Table 4.4 A	Analysis of variance showing the significance levels for the mass-fractions of soil water retention capacity (SWRC) for three suction levels (-6, -33, -1500 kPa), depth of water retention (Dwr) for three suction levels (-6, -33, -1500 kPa), mass-fractions of plant available water content (pawc), and depth of plant available water content (Dpawc) determined from two soil depths (Dz: 0-20 and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of Mexico, México.	170
-------------	--	-----

Table 4.5.A	Comparison of the overall means for the parameters of water transmission properties measured from infiltration testing in the field for two plant ages (young and mature) in seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.	171
-------------	---	-----

TABLES

CHAPTER IV

Pages

Table 4.6.A	Comparison of means for different parameters of soil organic carbon fractions and for the +indices of carbon sustainability determined at two soil depths under two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.	172
Table 4.7 A	Comparison of means for soil bulk density (ρ_b), soil pH, electrical conductivity (EC), saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), mean weight diameter (MWD) determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm depth) from two plant ages (young and mature) in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.	173
Table 4.8 A	Comparison of the overall means in combined analysis form for mass fraction of soil water retention capacity (SWRC) and depth of water retention (Dwr) determined at three suction levels (-6, -33 and -1500 kPa, respectively), mass fraction of plant available water content (Θ_{pawc}) and depth of available water content (Dpawc) determined at two soil depths under two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.	174

AGREGACIÓN Y PROPIEDADES ASOCIADAS DEL SUELO
INFLUENCIADO POR *Lupinus uncinatus* BAJO VARIOS
MANEJOS AGRICOLAS

Polile Augustine Molumeli, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2008

RESUMEN

Un estudio de campo fue conducido para investigar la efectividad de invasiones de *Lupinus* y los pastos establecidos en el mejoramiento de la agregación estructural del suelo y determinar los índices de falta de estabilidad de los macroagregados del suelo seco y su impacto en la sustentabilidad de las prácticas de manejo de cultivos tradicionales. La distribución del tamaño de agregados secos (ASDd), índices de falta de estabilidad de los macroagregados (CoES), la capacidad de retención de agua en el suelo (SWRC), la profundidad de agua retenido (Dwr), carbono orgánico total (TOC), el pH del suelo, la distribución de las partículas del suelo, índice del diámetro medio poderado para la estabilidad estructural de agregados tamizados de suelo seco (MWDd), y las propiedades de la transmisión del agua ($i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Zc_{-5 \text{ min}}$, y $Zc_{-2 \text{ hrs}}$, y K_{sat}) fueron determinados en el suelo con: cultivación intensiva de largo plazo (CA), bosque natural de encino (VN), bosque de pino disturbado e invadido por *Lupinus* (BL), los pastos establecidos (PP), pastizal invadido por *Lupinus* (PL), suelo en descanso invadidos por *Lupinus* (SDL), y los suelos en descanso invadido por *Lupinus* recientemente (BRDL). El pH y el contenido de arcilla total aumentaron con la profundidad, excepto para los suelos de SDL. Se observaron menor cantidad de microagregados (MicAg) a 0-20 cm de profundidad en los suelos de SDL que en los suelos de VN y BL. Los macroagregados pequeños (SmMag) fueron mayores en los suelos de CA y VN a 20-40 cm de profundidad, pero fueron menores en los suelos de SDL y PL a 0-20 cm de profundidad. La cantidad de macroagregados medianos (MeMag) a 0-20 cm de profundidad fue mayor en los suelos de VN, y menor en los

suelos de BL en ambas profundidades. La cantidad de macroagregados grandes (LaMag) fue mayor para los suelos de BRDL en ambas profundidades y para los suelos de CA a 0-20 cm de profundidad, mientras que fue menor para los suelos de BL a ambas profundidades. Los índices CoES para macroagregados de SmMag, MeMag y LaMag fueron menores para el suelo de SDL; y también para macroagregados MeMag en los suelos de BRDL y PP a 0-20 cm de profundidad, mientras que también fueron menores para todos los tamaños de macroagregados en los suelos de VN a 20-40 cm de profundidad, pero fueron mayores para todos los tamaños de macroagregados en los suelos de BL a ambas profundidades. El análisis de regresión lineal indicó fuertes asociaciones negativas entre CoES, pH y arcilla total, pero se observó una relación positiva entre COES y TOC. Se observó mayor tasa de infiltración de 2-horas ($i_{-2 \text{ hrs}}$, varió de 45 to 57 cm hr^{-1}) y la infiltración acumulativa de 2-horas ($Z_{C-2 \text{ hrs}}$, varió de 195 to 320 cm) en los suelos de VN, seguido por los suelos de BRDL (varió de 32 a 44 cm hr^{-1}), pero fueron menores en los suelos de BL ($i_{-2 \text{ hrs}}$, varió de 13.3 a 23.9 cm hr^{-1} ; y $Z_{C-2 \text{ hrs}}$, varió de 31.7 a 49.1 cm) debido a la alta repelencia de agua y en los suelos de CA ($i_{-2 \text{ hrs}}$, varió de 14.8 a 21.8 cm hr^{-1} ; y $Z_{C-2 \text{ hrs}}$, varió de 40.9 a 59.3 cm hr^{-1}) debido a la alta dispersión de arcilla y alta densidad aparente. La densidad aparente varió en el orden desde CA = SDL > BRDL > PP = PL > VN > BL, y índice de estabilidad de agregados del suelo seco (MWDd) disminuyó desde VN = PL > BRDL = SDL > PP > CA > BL. Los efectos previos de labranza convencional fueron disminuidos entre los suelos de BRDL, PL y SDL. La tasa de infiltración de los 5-min fue similar entre los suelos de BRDL y PL, mientras que la de las 2-horas fue similar entre los suelos de PL y SDL. El análisis de regresión lineal indicó una fuerte asociación positiva entre valores de EC y MWDd, TOC, $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ y K_{sat} a 0-20 cm de profundidad. Los macroagregados del suelo formados bajo ambientes con niveles bajos en TOC, pH y EC mostraron menores índices de tamaño de agregados (MWDd), degradación extensiva de los agregados y por consecuencia resultó en valores menores de $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$, tanto como K_{sat} que aquellos que fueron formados en ambientes con niveles altos en TOC, pH y EC.

AGGREGATION AND ASSOCIATED SOIL PROPERTIES INFLUENCED BY
Lupinus uncinatus UNDER VARIOUS AGRICULTURAL MANAGEMENT
PRACTICES

Polile Augustine Molumeli, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2008

SUMMARY

A field study was conducted to investigate the effectiveness of wild lupines invasions and planted pastures on improvement of soil structural aggregation and to determine the macroaggregates instability indices for environmental impact assessment for the sustainability of traditional cropping management practices. Dry-aggregate size distribution (ASDd), macroaggregates instability indices (CoES), soil-water retention (SWR), total organic carbon (TOC), soil pH, particle size distribution, structural aggregate stability dry soil aggregate stable size index (MWDd) and water transmission properties ($i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Zc_{-5 \text{ min}}$, and $Zc_{-2 \text{ hrs}}$, and K_{sat}) were determined in air-dried soil from the long-term intensive cultivation (CA), natural oak forest (VN), lupines invaded disturbed pine forest (BL), planted pastures (PP), lupines invaded meadows (PL), lupines invaded fallows (SDL), and freshly-tilled lupines invaded fallows obtained by converting SDL to CA (BRDL). The pH and total clay content increased with depth, except for the SDL soils. The lowest amount of microaggregates (MicAg) at 0-20 cm depth was observed in the SDL soils than in the VN and BL soils. The small macroaggregates (SmMag) were the highest in the CA and VN soils at 20-40 cm depth, but was the lowest for the SDL and PL soils at 0-20 cm depth. The amount of medium macroaggregates (MeMag) at 0-20 cm depth were the amount of large macroaggregates (LaMag) were the highest for the BRDL soils highest in the VN soils, while were the lowest in the BL soils at both depths. Similar highest amounts of SmMag at 20-40 cm depth for the VN and CA soils, and yet the lowest for the BL soils indicated that a very-low TOC input level in a clay-rich soil environment favoured the interaction of

clays and oxides for binding high amount of SmMag for the CA soil; while a medium-TOC input level in a clay-poor soil decreased formation of SmMag for the BL soil. The macroaggregates instability (CoES) indices for the TMag, SmMag and MeMag size classes were the lowest in the SDL soils and also for the LaMag in the PL soils at 0-20 cm depth, while were also the lowest for all macroaggregates size classes in the VN soils at 20-40 cm depth, but were the highest for all macroaggregates size classes for the BL soils at both depths. The linear regression analysis indicated strong negative associations between CoES, pH and total clay, but a positive relationship was observed between CoES and TOC. The highest cumulative infiltration ($Z_{C-2 \text{ hrs}}$, varied from 195 to 320 cm) and 2-hrs equilibrium infiltration rate ($i_{-2 \text{ hrs}}$, varied from 45 to 57 cm hr^{-1}) were observed in the VN soils and was followed by the BRDL soils (32 to 44 cm hr^{-1}), but were similarly the lowest in the BL soils ($i_{-2 \text{ hrs}}$, varied from 13.3 to 23.9 cm hr^{-1} ; $y Z_{C-2 \text{ hrs}}$, varied from 31.7 to 49.1 cm) due to high water repellency and also in the CA soils ($i_{-2 \text{ hrs}}$, varied from 14.8 to 21.8 cm hr^{-1} ; $y Z_{C-2 \text{ hrs}}$, varied from 40.9 to 59.3 cm hr^{-1}) due to high clay dispersion high soil bulk density. Soil bulk density varied in the order from CA = SDL > BRDL > PP = PL > VN > BL, and dry stable soil aggregate size index (MWDd) diminished from VN = PL > BRDL = SDL > PP > CA > BL. Previous conventional tillage effects were diminished between the BRDL, PL and SDL soils, since the 5-min water infiltration rate was similar between BRDL and PL soils while after 2-hrs was similar between PL and SDL soils. Linear regression analysis indicated a strong positive association between EC and MWDd, TOC, $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and Ksat values at 0-20 cm depth. The soil macroaggregates formed under environments with low-TOC, low-pH and low-EC levels demonstrated smaller indices of stable aggregate size (MWDd), extensive soil aggregate degradation, and consequently resulted in lower $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$, as well as Ksat values than those that were formed under environments with high-TOC, high-pH and high-EC levels.

ABBREVIATIONS

EXPERIMENTAL SITE:

TMVB = Trans-Mexican Volcanic Belt.

LANDUSE ECOSYSTEMS:

CFM = industrial community forest management.

TCM = rainfed traditional cultivated agricultural management.

VN = natural oak forest.

CROPPING MANAGEMENT PRACTICES:

VN = natural oak forest ecosystem

CA = intensive annual cultivations.

PP = planted forage grass meadows.

PL = lupines invaded planted forage grass meadows.

SDL = lupines invaded fallows.

BRDL = converting from lupines invaded fallows to intensive annual cultivations.

BL = lupines invaded disturbed pine forest plantation.

TILLAGE PRACTICES

CT = conventional tillage

NT = no-tillage

AGGREGATE SIZE DISTRIBUTION PARAMETERS:

MicAg = microaggregates, <0.25 mm (<250 μ m diameter)

SmMag = small-macroaggregates size class, 0.25-2.00 mm diameter.

MeMag = medium-macroaggregates size class, 2.00-4.76 mm diameter.

LaMag = large-macroaggregates size class, 4.76-11.5 mm diameter

TMag = total-macroaggregate size class, 0.25-11.5 mm diameter.

MACROAGGREGATE INSTABILITY INDICES (CoES):

CoES = is defined as a quotient between microaggregates of a treatment plot and macroaggregates of a reference plot.

CoES-TMag = total-macroaggregates instability index

CoES-SmMag = small-macroaggregates instability index
CoES-MeMag = medium-macroaggregates instability index
CoES-LaMag = large-macroaggregates instability index

SOIL WATER RETENTION CAPACITY PARAMETERS:

AFWC = antecedent field soil water content, in g g^{-1} .
SWRC = soil water retention capacity, in g g^{-1} .
SWRC -6 kPa = soil water retention capacity, in g g^{-1} , measured at -6 kPa suction pressure level.
SWRC -33 kPa = soil water retention capacity, in g g^{-1} , measured at -33 kPa suction pressure level.
SWRC -1500 kPa = soil water retention capacity, in g g^{-1} , measured at -1500 kPa suction pressure level.

Dwr -6 kPa = depth of water, in cm, measured at -6 kPa suction pressure level.
Dwr -33 kPa = depth of water, in cm, measured at -33 kPa suction pressure level.
Dwr -1500 kPa = depth of water, in cm, measured at -1500 kPa suction pressure level.

 θ_{pawc} = mass fraction of plant available water content, in g g^{-1} .
 D_{pawc} = depth of plant available water content, in cm.

WATER TRANSMISSION PARAMETERS:

K_{sat} = saturated hydraulic conductivity, cm hr^{-1} .
 $i_{5 \text{ min}}$ = 5-minute initial infiltration rate, in cm hr^{-1} .
 $i_{2 \text{ hrs}}$ = 2-hours equilibrium infiltration rate, cm hr^{-1} .
 $Z_{\text{c-5 min}}$ = 5-minutes cumulative infiltration rate, in cm.
 $Z_{\text{c-2 hrs}}$ = 2-hours cumulative infiltration rate, in cm.

ORGANIC CARBON PARAMETERS:

TOC = $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -oxidizable total organic carbon, in Mg ha^{-1} .
LC = KMnO_4 oxidizable labile organic carbon, in Mg ha^{-1} .
NLC = non-oxidizable organic carbon, in Mg ha^{-1} .
LCI = labile carbon reserve index.
LI = lability index.
CPI = carbon pool index.
CMI = carbon management index.

OTHER PARAMETERS:

MWDd = dry-sieved soil mean weight diameter, in mm.
MWDw = wet-sieved soil mean weight diameter, in mm.
ASDd = dry-sieved soil aggregate size distribution, in g kg^{-1} .
ASDw = wet-sieved soil aggregate size distribution, in g kg^{-1} .
EC = electrical conductivity, in dS m^{-1} .
 ρ_{b} = soil bulk density, Mg ha^{-1} .

SYNONYMS:

Lupines = *Lupinus*
asl = above sea level.

INTRODUCCIÓN

La exigencia de proteger y regular el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas coloca al Poder Público en un contexto nacional e internacional, sobre su quehacer político en los problemas de degradación del recurso suelo, que afecta la calidad de vida de la población y la seguridad alimentaria. México con una superficie de 196 millones de hectáreas de las cuales el 64% muestra algún tipo de degradación (SEMARNAT, Inventario Nacional del Suelos, 2002). El 70% de esta cifra corresponde una degradación de moderada a severa, siendo preocupante la pérdida de utilidad agrícola de las mejores tierras de riego por la urbanización y la acumulación de sales, por lo que han dejado de ser indispensables para la producción agrícola intensiva.

El incremento demográfico obliga a los estados a impulsar los desarrollos urbanos, y como prioridad en el derecho a la vivienda, olvidando fortalecer el derecho al alimento. Situación que en México a nivel nacional y regional, genera una amenaza en el mantenimiento de la capacidad para generar alimentos. El World Bank's World Development Report (WDR) 2008, Agriculture for Development, hace una reconsideración del papel de la agricultura en el desarrollo de los países; asimismo, su propuesta establece que el crecimiento del sector agrícola en el futuro, jugara un papel fundamental en la reducción de la pobreza rural. Para lo cual se deben considerar de manera integrada tres aspectos fundamentales: agricultura, desarrollo económico y reducción de la pobreza.

La mayor pérdida de los suelos agrícolas con alta productividad, es por su cambio a uso urbano (suelos que pierden su función de forma mediata), debido que los suelos bajo agricultura, al ser planos y contar con infraestructura son los más adecuados para la urbanización. Esto se agrava en las entidades federativas en las cuales se tiene mayores crecimientos de población. En los próximos 30 años por el crecimiento de la población se requerirá la construcción de alrededor de 23 millones de viviendas, equivalente al parque habitacional disponible actualmente (PND, 2000-2006). Si bien es cierto que la superficie urbana es proporcionalmente muy pequeña a escala nacional

(0.58% de territorio), se trata del uso del suelo que en algunas regiones está creciendo más rápidamente. En Quintana Roo, por ejemplo, la superficie urbanizada se incrementó a una tasa superior al 8% anual. En total, 99 524 hectáreas fueron invadidas por asentamientos humanos entre 1993 y 2000. Por lo común se trata de tierras planas, útiles para la agricultura y que, en consecuencia, dejan de ser productivas. Mientras que el impacto directo de las ciudades es pequeño, indirectamente afectan los usos del suelo de grandes extensiones para satisfacer sus necesidades de alimentos, recursos naturales, recreación y disposición de residuos. Este factor pone a México en el lugar décimo primero más poblado del planeta, y además define la tendencia hacia la urbanización; Es decir, mientras que las cuatro quintas partes de la población del país habitaban el medio rural, en 2000 el padrón se revirtió por completo, el 74.6% de los mexicanos habitaba zonas urbanas. El crecimiento de la población rural no ha rebasado el 2% anual, mientras que en las ciudades se ha observado una tasa superior al 5%.

Estos hechos sociales y otros más, han demostrado no ser resueltos por nuestra legislación tanto histórica como vigente. Nuestros sistemas legislativos han formulado leyes en materia de protección y aprovechamiento de los recursos naturales, sin ningún resultado, como puede observarse con los datos señalados. Pero si han expuesto nuestras leyes la prioridad al derecho a la vivienda frente al derecho al alimento y por consiguiente a la destrucción de los suelos agrícolas.

La presente investigación nos llevó a concluir y proponer una legislación sustentada en el argumento legal sobre la protección, aprovechamiento, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas del territorio nacional. Con el objetivo de detener la degradación de los mejores suelos agrícolas, asegurar la autosuficiencia alimentaria y que, de esta forma, el Estado garantice el derecho humano al alimento, que es una exigencia a nivel internacional. Realizando una evaluación retrospectiva y prospectiva sobre: 1) Las primeras normas jurídicas que llegaron a regular los recursos naturales; 2) Las instituciones que participaron en la creación de las leyes y su evolución; y 3) Iniciativas de ley que nunca fueron aprobadas, pero que generaron la misma necesidad de regular

el uso de los suelos. La legislación creada a través de los materiales y métodos que determina la teoría legislativa, no obstante formando a la par y proponiendo una nueva técnica legislativa que nos determine la estructura para crear normas con rango de ley en la actualidad.

El proyecto de esta investigación se denomina Proyecto de Ley General del Uso del Suelo Agrícola, cuyos principios e instrumentos buscan lo siguiente: 1) Definir científicamente al recurso suelo, su uso, y los sujetos obligados en esta relación; 2) Precisar las facultades de los tres ordenes de gobierno; 3) La creación de un sistema nacional de coordinación en el uso sustentable de los suelos agrícolas; 4) Instrumentos que determinen su manejo sustentable, su restauración, su conservación en la producción, y 5) Intensificar el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria en la Nación.

CAPÍTULO I

FUENTES DEL SISTEMA LEGISLATIVO

El órgano legislativo a través de la historia de México, ha demostrado aristas teóricas y prácticas complejas, llevando a nuestra nación a un sistema legislativo no identificado hacia las voluntades del pueblo mexicano. Estas consideraciones que nos obligan a señalar brevemente cuales han sido las técnicas, métodos o filosofías para hacer normas con rango de ley, durante el desarrollo del proceso legislativo y sus legisladores en materia de conservación de suelos.

1.1. ÉPOCA PREHISPÁNICA.

Durante esta época, los primeros legisladores en crear normas con rango de ley en materia de recursos naturales y que además en ellos recayó el poder de legislar, fueron el Chichimeca Nopaltzin (siglo XIII) y Nezahualcoyotl (1428 – 1472). El proceso legislativo que diseñó Nezahualcoyotl, estaba estructurado a través de una filosofía. Formando un sistema legal eficiente, que ocupó un lugar especial en la historia de Texcoco, toda vez que legitimó el poder de Texcoco sobre las políticas del valle de México. Este sistema promulgado a través de 80 reglas escritas en sangre e instituido a través de un proceso legislativo que definía la armadura del control social. (Offner, 1982).¹ Sin duda las leyes de Texcoco fueron rígidas en su aplicación por la forma legislativa en que fueron creadas (Mirow, 1962). Su filosofía estaba diseñada a través de las palabras “El Hombre Razonable”. Legislaba con la visión de ser de las cosas y voluntad del individuo. (Leopoldo Pospisil en 1971, citado por Offner, 1982 Pág. 141)

¹ Jerome A. Offner en su libro *Law and Politics in Aztec Texcoco* 1982, comenta que Nezahualcoyotl fue un hombre de grandes conocimientos, excelente legislador del cual comprendía su armadura de control social. Determinó que este sistema legal surgió en un periodo de agitación social, donde existían diferencias entre grupos étnicos, sociedades y culturas. Asimismo fomento con el mismo sistema la participación de las clases sociales con el fin de minimizar el descontento y ganarse su confianza. Sus leyes fueron usadas por la élite; comerciantes, militares y sacerdotes.

dijo que legislar, es una filosofía que sustenta reglas abstractas que determinan “*manifestación exclusiva y fuente de la ley*”, “*la revelación objetiva del legislador a futuro*”, y “*la exclusiva y concreta solución en las disputas entre particulares*”. El sistema de Texcoco llevaba a cabo esta filosofía, (Motolinía, 1903, citado por Offner, 1982, Pág. 143) dijo que dos hombres estuvieron requeridos por robo a un granero: cada robo tiene que estar auxiliado por otro; el primero entonces enterado de la superficie del granero y escondido amenazando debajo de los granos, el otro hombre quieto parado sobre la tierra. En Texcoco, el hombre dentro del granero fue castigado por esclavitud; el otro no, por “el que a este hurto incitaba a otro, comúnmente era el que sabia y entraba en la troje”. Luego entonces cuando un crimen se cometía debía ser castigado, y cuando la ley no previa el delito, el emperador tenia toda la autoridad para emitir un decreto con fuerza de ley (Avalos, 1994).

Este sistema legal creado por Nezahualcoyotl y seguido de su hijo Nezahualpilli fue demasiado poderoso en la producción legislativa y de sus efectos jurídicos si así nos permitimos llamarlo. La elaboración de leyes para regular las borracheras, el hurto y adulterio solo estaban sujetas a la acción de cada individuo, porque fueron estructurándose las normas proveyendo diferentes penalidades por delincuente, de acuerdo a la clase social, ocupación, edad y sexo y diferentes tipos de evidencia y el número previo de delitos. (Ixtilixóchitl, 1952; Motolinía, 1904. Por Offner, 1982, Pág. 143) Estas leyes fueron extremadamente respetadas, llegando a ser el corazón del sistema legal de los Aztecas. Se piensa que las leyes de Tenochtitlan y Tlacopan fueron importadas del sistema legal de Texcoco; toda vez que pensamos que los miembros de la Triple Alianza consultaban a Texcoco para que les enseñara a crear sus legislaciones, ya que fueron Ciudades autónomas en su régimen interior, situación por la cual debían crear su propio sistema legal o jurídico en palabras actuales. (Andrade, 2004). Sin embargo dicho sistema legal de los pueblos prehispánicos dejó de existir con la llegada de los españoles, imponiendo un sistema de gobierno y de estado nuevo al territorio indígena, denominándolo la Nueva España.

Este sistema legislativo prehispánico definió los siguientes efectos:

a). Las Leyes fueron creadas a través de un sistema complejo, de acuerdo con la voluntad de aquellos pueblos. A tal grado que se controlaba a los jueces y a su vez la corrupción;

b). Las Leyes fueron congruentes con el Poder Público de cada Ciudad, tanto que caracterizaron su forma de organización social, su régimen político y su economía;

c). Controlaron las acciones que atentaron contra la organización y moral de las Ciudades Estado;

d). Las legislaciones prehispánicas planificaron el suelo, a través de la estructura de su organización social, la que tuvo gran influencia en la economía del México prehispánico. Así, el Poder Público controló los procesos de producción y distribución a través de los dos recursos (tierra y trabajo);

e). Se unificó una estructura para el control social y con facilidad en la administración, que llevó a impulsar el desarrollo de un imperio productivo;

1.2. ÉPOCA COLONIAL.

El proceso legislativo de esta época estuvo definido por la forma de gobierno y de estado que habían formado los españoles en el territorio indígena. Se impuso un sistema parlamentario como forma de gobierno, estructurado entre el Rey y sus Cortes [Diputados], de los cuales fueron los únicos que podían crear normas con rango de ley.

La legislación pasó a ocupar el primer rango entre las fuentes del derecho, siendo de carácter central para toda extensión del virreinato. En las provincias [territorios conquistados] como lo fue la Nueva España, el Rey homologa su administración pública con el fin de gobernar dichos territorios. La audiencia fue considerada como cuerpo legislativo, ya que revisaba y aprobada las ordenanzas que se daban a las poblaciones de América, así como la de constituirse en Real Acuerdo, para dictar todas las leyes que se considerasen necesarias para el buen gobierno de la Colonia. Las normas que se conocieron durante esta época fueron: 1). La Cédula Real: Era expedida por el

Consejo, concediendo alguna gracia; 2). Auto: Determinación judicial en materia civil y penal; 3). Provisiones: Mandamientos emitidos por los tribunales en nombre del rey; y 4). Carta abierta: Provisiones concedidas en los términos y cláusulas generales. (De Solano, 1991; Barrios, 2000).

Sin embargo el documento que mejor determinó al primer órgano legislativo implantado en la Nueva España como tal, fue la Constitución Política de la Monarquía Española Promulgada en Cádiz 1812 (primera Constitución Política), cuya vigencia fue muy corta. Su poder de aplicación comprendía a la Nueva España con la Nueva Galicia y la Península de Yucatán. La potestad de hacer leyes residió en las Cortes de Cádiz² y el Rey; La potestad de hacer ejecutar las leyes residió solo en el Rey; y la potestad de aplicar las leyes a las causas civiles y criminales residió en los Tribunales establecidos por la Ley.

El procedimiento legislativo que previa esta constitución fue muy simple: Los Diputados tenían la facultad de proponer a las Cortes (asamblea) los proyectos de ley, haciéndolo por escrito y exponiendo las razones en que se fundaban. Las Cortes la analizaban con el fin de determinar si entraban o no a discusión y pasarla a una comisión para su estudio. Pasado por tres lecturas el proyecto, se discutía en su totalidad por la Asamblea (Las Cortes), aprobándose o negándose por mayoría de votos ya sea en lo general o particular. Aprobada la ley por las Cortes, una diputación la entregará al Rey para que la sancione, y si esta era favorable, se mandaba a publicar como Ley o en caso contrario se devolvía a las Cortes para sus correcciones.

1.3. EL INICIO DEL SISTEMA LEGISLATIVO MEXICANO

Es importante señalar en este apartado, que el sistema de gobierno y la forma de constituir al Estado naciente (México), fue a través de los instrumentos jurídicos

² Las Cortes de Cádiz estaban previstas de una sola asamblea y a sus integrantes se les llamaba Diputados o Diputados a las Cortes. Actualmente una sola asamblea de diputados en una Nación, se denominado unicameralismo. Ver más detalles en el Título II del Capítulo I de la Constitución Política de Cádiz 1812.

denominados “Constituciones Políticas”. Mismas que durante este periodo y en la actualidad, determinan y definen los sistemas jurídicos, políticos, sociales y económicos de cada Nación. Las constituciones que se redactaron en México fueron: la segunda constitución en 1814 pero no entró en vigencia, sin embargo fue la única en definir el objeto de una ley; la tercera fue en 1824, y se reconoce como la primera constitución federalista en México; la cuarta nace bajo el presidencialismo de Antonio López de Santa Ana, denominada las Siete Leyes de 1836, que fundamentan luego Las Bases Orgánicas de la República Mexicana de 1843, que buscan crear un gobierno centralista. En 1847 se regresa a los principios de la constitución de 1824. La Reforma Liberal de 1855 de Benito Juárez da lugar a la Constitución de 1857. La Revolución Mexicana de 1910 inicia un nuevo periodo de transición que culmina con la Constitución de 1917, que es la vigente. Pasando a describir a las más importantes de acuerdo al tema en estudio:

En plena lucha por la independencia, se redacta el decreto constitucional para la libertad de la América Mexicana, sancionado en Apatzingán el 22 de octubre de 1814 (segunda Constitución Política), que si bien no llegó a entrar en vigor, sí expresaba los ideales para la nueva nación, cuyo objeto fue el de sustraerse para siempre de la dominación extranjera, sustituir el despotismo de la monarquía española y reintegrar a la nación misma en el goce de sus derechos a través de la independencia. El sistema de gobierno que se formó fue especial, toda vez que el Rey desaparece pasando a ocupar el cargo de la Administración tres individuos (Supremo Gobierno) que serán iguales en autoridad, alternando su mandato por cuatrimestres en la presidencia. Referente al órgano legislativo (Supremo Congreso Mexicano) su estructura seguía siendo unicameral, una sola asamblea formada por Diputados.

La potestad de hacer leyes residió en el Supremo Congreso Mexicano; la potestad de ejecutarlas residió en el Supremo Gobierno; y la potestad de hacerlas respetar en el Supremo Tribunal.

El procedimiento legislativo que se había instaurado, funcionaba de la siguiente forma; Los proyectos de ley eran presentados por los vocales al Congreso, por escrito y exponiendo las razones en que se fundaban; también pasaba por tres lecturas el proyecto votándose en la última, si se admitía o no a discusión, en caso de admitirse se fijaba el día en que se deba comenzar la discusión. Y declarando que estaba suficientemente discutida se procedía a la votación, concurriendo más de la mitad de los diputados que componían el Congreso. Si resultare aprobado el proyecto, se extenderá por triplicado en forma de ley. Firmará el presidente y secretarios los tres originales, remitiéndose uno al Supremo Gobierno, y otro al Supremo Tribunal de Justicia; quedando el tercero en la secretaría del Congreso.

Las raíces ideológicas de la Constitución de Cádiz (1812); De 23 puntos que recoge José María Morelos, en 1813, en los Sentimientos de la Nación³; De la independencia que proclama Agustín Iturbide en 1821; y el Plan de Iguala, del 24 de febrero de 1821, determinaron que en 1823 el Congreso Revolucionario disolviera la monarquía. Imponiendo la primera constitución mexicana en 1824, mediante la cual se adoptó la forma de república federal, dando nacimiento a un nuevo sistema de gobierno; Es decir, el Poder Público cambió drásticamente, abandonando el sistema de gobierno español (*Monarquía, hoy conocido como Sistema Parlamentario*) copiando el modelo estadounidense (*Sistema Presidencialista*), integrándose nuestro tercer y actual órgano legislativo mexicano por dos cámaras o llamado bicameralismo, una de Diputados y otra de Senadores. Los primeros electos por la ciudadanía y los segundos por la legislatura de los Estados. El sistema legislativo bicameral permaneció en la Constitución Federalista de 1824; En la Centralista de 1836; En las bases orgánicas de la República Mexicana de 1843; En el Acta de Reforma de 1847, hasta la entrada en vigor de la Constitución de 1857. El Constituyente de 1856 en la sesión del 10 de septiembre de 1856, suprimió el Senado para dejar al Congreso reducido a una Cámara de Diputados. El amplio proceso de reformas que experimentó la Constitución liberal de 1857 daría como resultado, nuestra Ley Fundamental en 1917, Constitución vigente que establece

³ El primer punto de los Sentimiento de la Nación es determinante para entender la necesidad de crear otra constitución y liberarse de la corona española, mismo que a la letra dice “Que la América es libre e independiente de España y de toda otra Nación, Gobierno o Monarquía, y que así se sancione, dando al mundo las razones”.

un Congreso General integrado por dos cámaras. La de Diputados que ostenta la representación popular, y el Senado, garantía del pacto federal, que encarna la representación de las entidades federativas que conforman el Estado Federal.

1.4. LA MODERNIZACIÓN DEL PROCESO LEGISLATIVO EN UN SISTEMA BICAMERAL.

El bicameralismo ha sido una constante en la historia constitucional de México. Con la existencia de dos cámaras se buscó; se ha buscado; y se sigue buscando la ponderación, el equilibrio, la serenidad, la ecuanimidad, el dar curso a diferentes opiniones, con el fin de legislar de manera objetiva las voluntades de los ciudadanos. El nacimiento de las dos cámaras en 1824, determinó el inicio de una técnica legislativa, con el fin de crear leyes que resuelvan los problemas sociales, políticos, económicos y jurídicos de la Nación. La facultad de presentar las iniciativas de ley, no solo fue de los Diputados Federales, sino que se extendió hacia el Presidente de la República y a los Diputados de las Legislaturas Locales o Congresos Locales. Esta técnica se explica en dos vertientes:

Primera: El nacimiento del sistema presidencial determinó que quien tiene la titularidad de la Administración Pública (Presidente) y que a través de esta, conoce a todos los sectores de la Sociedad y sus necesidades, de modo que tenga la facultad de crear iniciativas de ley con el fin de legislar los problemas sociales, económicos y políticos. Lo mismo sucedió, con los Diputados locales, al otorgarles esta facultad, toda vez que ellos eran los primeros en conocer las necesidades de la sociedad.

Segunda: La formación de dos cámaras definió que la creación de leyes deberían pasar por un proceso democrático; Esto es, que no solo una cámara tomara la decisión de aprobar o negar una ley, sino que existiera otra cámara que revisara por segunda vez lo ya aprobado, y si encontrara un problema de fondo, le hiciera ver el error o cambios a la cámara que inicio con el estudio de la iniciativa. Asimismo, sobre este proceso cabe

puntualizar, que se creó por primera vez, un reglamento de debates, cuyo fin fue la forma en que se llevarían estos, y el modo de proceder en las discusiones y votaciones. Así después de haber sido discutidos los proyectos de ley y aprobados por la mayoría absoluta de los miembros presentes de una y otra cámara, a través de la técnica establecida, se tenía que pasar al Presidente, quien, si también lo aprobare, los firmara y publicara; y si no, los devolviera con sus observaciones a la cámara de su origen.

Así es como se dio inicio a la formación de leyes mediante un sistema democrático. Que aunque algunos teóricos determinen que se requiere de la segunda cámara, con el fin de evitar el error por precipitación y las pasiones.

1.5. EL CONFLICTO EN EL PROCESO LEGISLATIVO EN UN SISTEMA BICAMERAL.

Los problemas de colegislación en cuanto a que una cámara resulta revisora de la otra para evitar errores, generó conflictos políticos en 1856, aunado a que los Senadores no representaban a los ciudadanos, sino al territorio, determinaban también una desconfianza legislativa y autoritarismo político. Esto ocasionó en desaparecer al Senado, argumentando que era un Cuartel de invierno de las nulidades políticas; y almácigo de obispos y generales. El Diputado Antonio Gamboa consideró que era una Institución antidemocrática o una carga legislativa. Que no tenía objeto un Bicamerismo. Es hasta 1874 con Sebastián Lerdo de Tejada como presidente, se restableció el Senado de la República, siguiendo el Modelo de Estados Unidos (Zarco, 1957). Nuestra Constitución vigente (1917) sigue con el sistema bicameral. Y todavía se hacen las críticas de la existencia del Senado, toda vez que existen en la actualidad Senadores por un Estado de la República sin pertenecer al mismo o en su vida haber residido en él, y sin embargo los representan.

1.6. LA REPRESENTACIÓN Y DEMOCRACIA, COMO ELEMENTOS DEL SISTEMA LEGISLATIVO MEXICANO.

Los temas del individuo y de la representación democrática, han sido elementos clave para poder entender la función del operador político [legislador], en su verdadera identidad y a la institución que representa [Poder Legislativo]. Los principios de autonomía y representación van ligados, con el fin de buscar la defensa de los intereses colectivos.

El concepto de representación política conlleva a aristas complejas; sin embargo, es uno de los elementos claves para poder hablar de la historia política moderna, ya que en su nombre se combate el absolutismo real y se inspiran nuevas formas de gobierno político constitucional, liberal y democrático que surge del descenso del antiguo régimen. Representar significa, actuar en determinados cánones de comportamiento con referencia a otras cuestiones y en base a sus finalidades se puede definir a la representación como un mecanismo político para la realización del control entre gobernados y gobernantes (Maycotte, 2005).

Ahora bien, es cierto que la representación hace necesario hablar de la democracia y en esta ocasión, me voy a referir a la democracia representativa, la cual considero tiene dos grandes peligros:

- a). El que haya un bajo nivel de inteligencia en el cuerpo representativo y en la opinión popular que lo controla; y
- b). El peligro de una legislación de clase por parte de una mayoría numérica compuesta enteramente por miembros de una misma clase (Apuntes de Derecho Legislativo, 2004)

1.7. ¿COMO DEBE ENTENDERSE AL CONGRESO ACTUAL?

Actualmente la forma de crear normas con rango de ley, da nacimiento a una pluralidad de actos legislativos, que deben ir modernizándose, no a la par de la realidad social, sino delante de ella. La teoría legislativa que se pretende aportar a la función legislativa, tiene los objetivos:

- No solo de interpretar textos normativos, sino de analizar el tránsito de la decisión política al momento en que se crea la ley (Mora Donato, 2004);
- No solo de analizar las leyes publicadas en sus defectos, sino interpretar si la producción de la ley, es eficaz o no;
- No solo de estudiar las leyes a partir de su publicación a través de otros órganos gubernamentales, sino realizar el estudio retrospectivo y prospectivo de todo el proceso legislativo y actores políticos, que llevaron a su creación.

Dichos objetivos aportaran que se refuerce el principio democrático del país; la seguridad jurídica [garantía de los derechos fundamentales y humanos]; y la creación de una rama auxiliar a esta teoría, que será la técnica legislativa, entendida desde nuestro punto de vista. Y cumplir con el objeto, que es la forma de producir, modificar, extinguir una norma jurídica o conjunto de ellas, al servicio de las sociedades.

El Congreso General, ya no se tiene que identificar como un órgano más del ejecutivo o como un elefante blanco. Sino como el órgano que concilia intereses colectivos, y al proceso legislativo como el instrumento que hace que el legislativo exprese la voluntad popular.

No existen en México mecanismos para buscar ese fin, en otros países lo están formando y fortaleciendo. Esto da cuenta que los problemas sociales están llegando al lugar correcto; Es decir, al Congreso General, en búsqueda de ajustes o reformas. Sin embargo, parece ser injusta la evaluación que se le realiza al congreso a través de instituciones privadas, toda vez que se necesitan paradigmas distintos, a través de

nuevos criterios y crítica sólida. Las evaluaciones actuales, solo tienen una visión de costo-beneficio, y sobre esta visión no se puede evaluar al Congreso General.

Sabemos que la función de representar tiene un fin, la defensa de intereses colectivos; garantizar el voto informado sea en el sentido que sea pero a través de la pluralidad. Entonces si un representante no fomenta esos valores y principios como prioridad en su función legislativa, no sabrá hacia donde va el Estado. Porque no es lo mismo a tener mayorías, que tener que conciliar. Asimismo, creemos que los principios que determinaran la nueva identidad del Congreso son:

1. Dejar a un lado la actividad de producir leyes no apegadas a la realidad social;
2. Entender a la ley como producto de la razón y con principios formadores;
3. Crear leyes con proyectos de largo plazo (50 años), y no 100 leyes que duren una legislatura;
4. No identificar al Congreso General y Locales como órganos más del Ejecutivo, sino como órganos que concilian intereses colectivos;
5. Identificar al proceso legislativo como instrumento que hace que el legislativo exprese verdaderamente la voluntad del pueblo mexicano, más no intereses particulares;
6. Los Legisladores son el enlace entre el Ciudadano y Poder Ejecutivo;
7. Determinar a la función legislativa a través de dos pilares: El Individuo y La Representación Democrática.

CAPITULO II

LEGISLACIÓN DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS MÉXICO 1400-2007

2.1. ÉPOCA PREHISPÁNICA.

El reconocimiento de la agricultura como avance de los pueblos prehispánicos y como formación de civilizaciones, se relacionan con factores que marcaron una nueva era de problemas ambientales y sociales. Entre los problemas naturales, pueden citarse: una plaga de langostas que devoró sus cultivos de maíz en 1446; después inundaciones que causaron devastaciones por tres años; malas cosechas en 1450 seguidas por dos años de intensas heladas que durante el ciclo de cultivos los destruían y un año de sequía de modo que no tuvieron semillas para la siembra, llegando la hambruna extrema a estos pueblos. Además los problemas sociales, como lo fue densidad creciente de la población indígena, cuyo efecto se tradujo en el inicio de la degradación de los suelos agrícolas. Los problemas que se crearon fueron comunes a las poblaciones de esta época⁴, los que se pueden dividir en dos: 1) La necesidad de producir más alimentos con el fin de garantizar la seguridad alimentaria de esos pueblos, creó un sistema agrícola eficiente, como lo fue la construcción de chinampas y terrazas. Sin embargo este sistema obligó a las civilizaciones de subsistencia a desmontar más bosques con el fin de crear más tierras de cultivo, esto es, suelos agrícolas; y 2) Por otro lado, las ciudades iban creciendo, dando como resultado la desaparición de los suelos planos (los mejores suelos agrícolas) para proveer habitación a una población en aumento. Asimismo se cree que este fue el hecho social

⁴ La primera gran civilización que se asentó en la parte central de México, fue Teotihuacan, entre los años 150 a. C. y 650. Se consolida y expande la ciudad, alcanzando 200.000 habitantes aproximadamente, los cuales comprendían cerca del 80% de la población total del Valle de México, distribuido en un área de 20 kilómetros cuadrados. El aumento de la población multiplicó los problemas urbanos y económicos. (Culturas Precolombinas; The Early Spanish-American Literature, 2004, McClung de Tapia, 1984). Otras civilizaciones prehispánicas que desarrollaron organizaciones urbanas similares con altas densidades de población se encontraron, en Oaxaca los Mixtecos que en 1520 tenía ciudades con poblaciones de 556 personas por milla cuadrada; los Nahuas en Puebla con poblaciones de 1,245 personas por milla cuadrada; los Tarascos en Michoacán con poblaciones de 1,754 personas por milla cuadrada. Borah, Woodrow and Sherburne F. Cook. (1963).

que dio nacimiento a la creación de las primeras normas con rango de ley, emitidas por los gobernantes de los pueblos prehispánicos, con el objeto de regular y planificar el uso del agua y la tenencia de la tierra para diversas vocaciones, situación que se inclinó al área de bosques. Asimismo dichas legislaciones definieron su organización social, política y económica⁵.

Quizás el primer gobernante en legislar fue el chichimeca Nopaltzin (siglo XIII). Quien prohibió encender fuegos en las montañas y en el campo sin licencia, y aún así sólo cuando fueran necesarios. Le sigue Nezahualcoyotl, emperador de la Ciudad de Texcoco quien reinó en los años de 1418 a 1472, preocupado por la escasez de árboles, promulgó una legislación de conservación de bosques donde restringió las áreas para cortar árboles utilizados en la construcción y uso ordinario. Su sistema legal ocupó un lugar especial en la historia de Texcoco. Legislabo con la visión de ser de las cosas y voluntad del individuo. Su Filosofía “del hombre razonable” que sustenta reglas abstractas que determinan “*manifestación exclusiva y fuente de la ley*”, “*la revelación objetiva del legislador a futuro*”, y “*la exclusiva y concreta solución en las disputas entre particulares*”. Sistema que nació en Texcoco y que, se piensa, definió la política y la organización social de las demás Ciudades, como: Tenochtitlan y Tlacopan. (Ixtilxóchitl, 1985; Simonian, 1998; Offner, 1982; Offner, 1982⁶; M.C. Mirow, 1962; Kohler, 1924; Mendieta, 1920; Ceballos, 1937; Avalos, 1994; Andrade, 2004).

La eficiencia del sistema legal y el manejo de los recursos naturales en la época prehispánica se refleja en las descripciones que los conquistadores hicieron sobre el

⁵ Mas información acerca de los sistemas prehispánicos de irrigación y la importancia en el desarrollo de las culturas en el México Central puede encontrarse en Palerm, 1973, 1980a, 1980b, 1980c, 1980d; Palerm and Wolf, 1955a, 1955b, 1972; Armillas, 1949; Armillas, Palerm and Wolf, 1956; Sanders, 1953; Millon, 1957) citado por Palerm, 1980) y en: McAffe and Barlow (1946) y Dibble (1943) citado por Rodríguez, 1995).

⁶ Jerome A. Offner en su libro Law and Politics in Aztec Texcoco 1982, comenta que Nezahualcoyotl fue un hombre de grandes conocimientos, excelente legislador del cual comprendía su armadura de control social. Determinó que este sistema legal surgió en un periodo de agitación social, donde existían diferencias entre grupos étnicos, sociedades y culturas. Asimismo fomento con el mismo sistema la participación de las clases sociales con el fin de minimizar el descontento y ganarse su confianza. Sus leyes fueron usadas por la élite; comerciantes, militares y sacerdotes.

estado de los recursos naturales: toda vez que los primeros relatos fueron sobre como se veía el paisaje en la Nueva España:

“Hay en esta provincia de la Nueva España grandes ríos y manantiales de agua dulce [fresca] muy buena, extensos bosques en colinas y planicies de muy altos pinos, cedros, robles y cipreses, además de una gran variedad de árboles de la montaña... Los campos son de lo más agradables y llenos de las más bonitas hierbas que crecen [a una altura] de la mitad de la pierna. El suelo es muy fértil y abundante, produciendo cualquier cosa que en el se siembre, y en muchos lugares da dos o tres cosechas en el año.

“El fraile Toribio de Benavente Motolinía también se maravillaba con la nueva tierra: “Es abundante y tan grande la riqueza y fertilidad de esta tierra llamada Nueva España, que uno no puede creerlo”

“El jesuita José de Acosta resumía su propia exuberante relación de la Nueva España diciendo que era la tierra más adecuada y provista en las Indias. (Gossen, 1974; Brambila Paz, 1980. Citados por Simonian, 1998)

2.2. ÉPOCA COLONIAL.

En los primeros tiempos de la Colonia, la corona española legisló para asegurar que los indios tuvieran suficiente tierra para su subsistencia sin embargo se desarrollaron otras formas de tenencia que fueron deteriorando las formas comunales prehispánicas (calpulli), desarrollando tres formas legales de tenencia de la tierra, las haciendas, los ranchos y los pueblos.

La tenencia en este periodo fue la acumulación de tierras en pocas manos. La hacienda creció por adquisición legal de tierras y algunas veces por usurpación de tierras de los indios; esto, se convirtió en la fuerza más importante para las formas de gobierno y la formación de producción agrícola (Mc Cutchen Mc Bride, 1923; Gibson, 1964). Al final

de la Colonia en 1810, el número de grandes propiedades fue el siguiente: 4944 ranchos, 3749 haciendas y 1195 estancias para ganado. El principal impacto para el desarrollo de estas propiedades fue que la mayoría de los indios perdieron sus tierras.

Durante el periodo de la Colonia, la tierra fue usada en pastizales para el ganado de ovejas durante el siglo XVII. El aumento del ganado y la deforestación para proveer materiales de construcción para la Ciudad de México y las nuevas ciudades, aceleraron la erosión del suelo. El pastoreo fue fomentado por el derecho tradicional español, ya que determinaba que animal pastaba en tierras agrícolas después de la cosecha y antes de la siembra. Más tarde los derechos fueron extendidos hacia el libre pastoreo en tierras sin uso agrícola. En el siglo XVII Torquemada (citado por Gibson, 1964) observó un cultivo extensivo de la tierra sobre los bosque y un movimiento descendente del suelo. Extensas áreas de cultivo mostraron deficiencias en la capa del suelo y el tepetate quedaba expuesto. Sólo la deforestación sobre los suelos inclinados fue superior, por la extracción de lana y áreas abiertas antes a la producción agrícola. Los arados entraron hasta lo profundo de la tierra, e hizo que los indios tuvieran que excavar con palos, y su ganado dejando la tierra al desnudo. El nuevo sistema de irrigación concentraba y redistribuía el agua corrediza. Sin embargo a través del tiempo la combinación de estos sistemas llevó a una acelerada degradación de la tierra agrícola. En los estudios de Gibson señala como ejemplo el caso del Valle de México, describiendo la degradación de los suelos agrícolas por las siguientes causas: 1) En la temporada de lluvias, los suelos de las colinas fueron lavados y llevados hacia la parte baja del Valle, produciendo erosión en las barrancas y pendientes, haciendo árido el suelo cultivable; y 2) Los procesos de explotación en el Valle fueron exacerbados por una inusual influencia de la colonia española y el programa para controlar inundaciones en la Ciudad de México por la construcción del canal del drenaje del lago de Texcoco hacia el Golfo de México. Estos cambios así como la peste, produjeron una decreción de la población después de un profundo disturbio en la relación entre el agua y la tierra. La Corona agotaba los bosques para construcción de buques y edificación, así como para la minería; Es decir, los españoles no tenían que conquistar el suelo mexicano, solo extraer su riqueza dada la aparente abundancia del recurso natural, toda vez que

ellos sentían que podían explotar sin cesar las riquezas del territorio. Los esfuerzos de la Corona para conservar los bosques no eran sólo un ejercicio legal; los funcionarios reales necesitaban el cumplimiento de colonizadores e indígenas. La suerte de los bosques de la Nueva España dependía de una relación triangular entre la Corona, los colonizadores y los indígenas.

Butzer (1993) planteó dos preguntas: 1) ¿Como era el estado del medio ambiente a la llegada de los españoles al nuevo mundo en el siglo XVI?; y 2) ¿Qué efecto tenían sobre el medio ambiente? Concluyendo: que la agricultura prehispánica fue benigna al medio ambiente; Que las formas de uso de la tierra por los españoles fueron altamente destructivas; y, más generalmente, los sistemas tradicionales agrícolas están ligados a la conservación y reducen la degradación del medio ambiente, lo que se busca actualmente.

La Corona española empezó en 1521, a repartir las tierras mesoamericanas a los pobladores españoles en mercedes reales, tierras como remuneración por los servicios prestados a la conquista material y espiritual de los pueblos indígenas. Las mercedes eran concesiones sobre uso de suelo, terminando en propiedad privada. El nuevo sistema agrícola se estructuró a través de dos elementos: el pueblo de los indios y la hacienda. Dos unidades clave de las actividades económicas y sociales de las tierras agrícolas, amenazaron las tierras de los indios por el autoritarismo y crecimiento de las haciendas. (Cámara de Senadores, 2003). El régimen jurídico de las tierras, tuvo sus fuentes no solo en las formas prehispánicas, sino desde la vieja España, con sus rasgos específicos que definen actitudes y mentalidades de los emigrantes, a través de las formas de los paisajes hispanoamericanos.

Las haciendas crecieron a partir de asentamientos fijos de trabajadores agrícolas, residentes y asalariados. Eran empresas productivas en donde todo entraba en una utilización racional: tierras de temporal, riego, cultivos diversos, bosques, pastizales o potreros, hatos y rebaños. Contaban también con instalaciones para el procesamiento

de sus productos y algunas se especializaron en productos como la caña de azúcar o el pulque.

Otro factor determinante en la degradación de los suelos agrícolas durante la colonia, fue el incremento de la población y la vivienda; Es decir, los cálculos realizados sobre la población indígena al momento de la Invasión tienen variaciones considerables. Por un lado dice Gibson (1964) que en el tiempo de la Conquista los aztecas se encontraban usando todos los recursos naturales disponibles con una población de uno a tres millones de habitantes y, con una densidad de 300 personas por milla cuadrada. Así también, según el censo ordenado por Hernán Cortés en el Anáhuac, de 3 720 000 habitantes, pero aún no se definía claramente lo que incluiría la Nueva España. Según los cálculos de Fray Bernardino de Sahagún, la población era de 9 120 000 habitantes. Sin embargo después de la Conquista hubo una drástica reducción en la población, debido a las enfermedades mortales como la viruela, que causaron la disminución de cientos de indígenas, llegando a 2.5 millones en 1568 y a sólo cerca de un millón en 1605⁷. Al final de la Colonia se calcula que sólo había 6 millones de habitantes en el territorio (Alba, 1984). Por último Gibson determinó que la población continuó incrementándose durante el siglo XIX, pero silenciosamente; esto es, la salubridad moderna, urbanismo e industrialización alteraron las condiciones de la vida en el Valle hasta 1875. Factores que no fueron apreciados, afectando la sociedad indígena. El Valle mantuvo una población de medio millón de habitantes, más que otras áreas similares en el viejo mundo.

El gobierno de la Nueva España, no legisló sobre el uso de los suelos agrícolas o en su caso su conservación, toda vez que se promulgaron leyes con el único objeto de garantizar el abastecimiento de madera y leña para la población indígena y su abastecimiento estratégico en las áreas de producción tal es como leña y materiales para construcción, para la industria minera y fuerza naval. Las leyes estuvieron

⁷ Para mayor información sobre la decadencia del pueblo indígena al inicio y final de la Colonia, revisar a Robert McCaa (1995). Quien realizó una investigación crítica, sobre la catástrofe demográfica en la Colonia, creando un cuadro analógico de los autores más importantes sobre el tema.

centradas sobre impuestos, prohibición de explotación de algunos lugares (veda). Sin embargo la burocracia entorpeció el cumplimiento de las leyes y la deforestación fue evidente en las áreas de la industria minera y en los alrededores de sus ciudades. (Simonian, 1998). La actividad legislativa de los españoles estaba unida al clima político e ideológico de los dos territorios (De Solano, 1991). Por un lado la Administración Pública del Gobierno Español solo estaba empeñada en la conservación de especies para el consumo y la recreación. Mientras que la realidad social en la Nueva España era distinta. Situación que dio como resultado, que el gobierno de la Nueva España desconociera el hecho social y no lo comprendiera por cuestión de identidad con el territorio y obvio, no desde un contexto prehispánico; es decir, no legislaban tomando en cuenta el crecimiento poblacional, el desarrollo urbano y la necesidad de producir alimento en las tierras o suelos agrícolas. De ahí que las normas con rango de ley de esta época fueron las siguientes:

I.- El Rey Carlos:

- a) En 1539 ordenó a los encomenderos (españoles a quienes se había dado acceso al trabajo de los indígenas) plantar árboles para contar en sus cercanías con una provisión de madera. (Ley 16).
- b) En 1541, declaró que todos los bosques, pastizales y aguas del Nuevo Mundo deberían de ser mantenidas en común. (Ley 5). Decreto que le garantizaba a los indígenas acceso irrestricto a los recursos en esas áreas. Demostrando que las legislaciones creadas por la Corona fueron con el objetivo de proteger los recursos maderables en la Nueva España. Pero no se llegó a definir el asunto de hasta donde se debería permitir a los indígenas el uso de los recursos naturales.

II.- En 1559, el Rey Felipe II reiteró la posición de la Corona de que los indígenas deberían tener libre acceso a los recursos forestales, pero añadió una limitación: "Es nuestra voluntad que los indígenas puedan cortar libremente la madera en los bosques para su propio uso. Y ordenamos que nadie ponga impedimentos en su camino a menos de que corten de tal manera que evite que crezca y se regenere. (Ley 14)

III.- En 1550 el Virrey de la Nueva España, don Antonio de Mendoza, estaba preocupado por el espectro de la escasez de madera y se alarmó tanto por la destrucción de los bosques cerca de la comunidad minera de Taxco que prohibió encender fuegos en la región. Este hecho social trajo como consecuencia que Mendoza advirtiera a Velasco (Virrey entrante) que la destrucción de los bosques del territorio significaría un cambio mayor en el orden de las cosas. Llamó la atención de Velasco sobre las leyes forestales que ya existían y le aconsejó que siguiera haciéndolas cumplir. Si así lo hacía, entonces las dislocaciones sociales y económicas que produce la deforestación podrían ser evitadas (Hanke, 1976).

IV.- En 1765 Carlos III, decretó que se requerían licencias para cortar madera, tanto en tierras privadas como en comunales, y que por cada árbol que se cortara deberían plantarse tres más.

V.- En 1803 Carlos IV diseñó la última y más completa ley forestal colonial. Pero ley que se frustraría a los siete años, toda vez que empezaría el conflicto social de la independencia en la Nueva España.

VI.- El cuatro de enero de 1813, el liberal parlamento español, las Cortes, declaró que todas las tierras con bosques o sin ellos (excepto aquellas tierras comunales que necesitaba la gente) en la península y en el Nuevo Mundo serían reducidas a propiedad privada (el parlamento gobernaba en ausencia del Rey Fernando VII, que había sido tomado como rehén por Napoleón). Con esta amplia medida, los legisladores resolvieron aumentar la agricultura y la industria, ayudar a los ciudadanos sin propiedad, y recompensar a los defensores de la patria en casa y en el Nuevo Mundo. (Decreto de 4 de enero de 1813).

El presente Decreto citado dejó de perseguir el objetivo que venían protegiendo las demás legislaciones; es decir, se olvidaron de la conservación y pusieron en marcha la explotación masiva de los recursos naturales. Esta nueva política de descentralización en la conservación de los bosques por los gobiernos municipales, parece, ser que llegó

a señalar parte del rumbo de la legislación agraria y de las constituciones de México, en la parte de explotación de los recursos naturales. En junio de 1813, las Cortes transfirieron autoridad a los funcionarios locales para la conservación y repoblación de los bosques comunales remanentes. (Payno, 1870 y 1879).

A pesar de la expedición de las leyes anteriores, y el interés de las diferentes autoridades peninsulares y de la Nueva España, el proceso de degradación de los recursos naturales continuó en esta etapa. Gibson (1964), describe los cambios que produjeron la degradación del ambiente en el valle de México, que fue la zona más poblada durante esta época. Con la conquista de los españoles el equilibrio de la población cambió abruptamente, los conquistadores cortaron grandes cantidades de madera para construcción y leña. Sus arados cortaron más profundamente la tierra que las coas indígenas, su ganado y ovejas dejaron la tierra desnuda, los nuevos sistemas de irrigación y molinos concentraron o redistribuyeron los flujos de agua. Ninguno de los nuevos desarrollos fue desastroso por si mismo, pero su efecto combinado a través de los años, produjeron una acelerada disminución de las tierras agrícolas. En la estación de lluvias el suelo superficial fue erosionado al fondo de los valles, las laderas se erosionaron y las pendientes que una vez tuvieron terrazas se convirtieron en tierras improductivas.

2.3. ÉPOCA INDEPENDIENTE HASTA LA REVOLUCIÓN.

El gobierno independiente de México se inició regulando el acceso a la tierra con la expedición de nuevas leyes, las que se enfocaron con la necesidad de dividir las grandes propiedades creadas durante el periodo colonial. Estas leyes llevaron a: a) La abolición del estatus legal de los indios⁸. b) La abolición y repartición de las tierras de los nobles (entailed states), y c) Terminar con la confiscación de las tierras de la iglesia que se llevó a cabo en las llamadas guerras de reforma de 1857.

⁸ Durante el periodo colonial estuvieron bajo la protección del Rey de España en la calidad de menores de edad (Mc Cutchen Mc Bride, 1923).

2.3.1. Desarrollo de la Agricultura.

Para esta época, el desarrollo agrícola se dividió entre una agricultura productora de alimentos para una agricultura comercial a través del manejo intensivo y autoconsumo en los pueblos. La producción comercial se desarrolló en la hacienda, por ejemplo la Hacienda de Chapingo perteneciente al Municipio de Texcoco, con una superficie de 15375 hectáreas fue muy productiva, con una buena administración de sus recursos y con producción de cultivos para el mercado para su consumo, como ganado, maíz, pulque y leche. El mayor énfasis se le dio a la producción de pulque, y en el periodo de 1884 a 1923 la hacienda fue un buen negocio produciendo cereales, maíz, trigo, cebada, alfalfa, ganado lechero y producción de pulque, además se vendía madera, leña y carbón (González, 1996). Aparentemente el gobierno en este periodo ordenó el levantamiento de las tierras de las haciendas para determinar su mejor uso, y para el caso de Chapingo, sus tierras fueron clasificadas como:

Clasificación de las Tierras	Hectáreas
Primera Clase	1343
Segunda Clase	1943
Tercera Clase	216
Pastizales	1484
Plantaciones	332
No Productivas	1337
Forestales	5009
Salinas y Pantanos	3708

(Fernández, 1976, citado por Parra, 1981)

En contraste en el Municipio de Texcoco, también hubo haciendas que estaban sobre explotadas o hipotecadas por ejemplo la hacienda de Tierra Blanca, Tepetitlán, y Tecoac. En este trabajo no se encontró más evidencia sobre problemas de degradación a nivel regional o nacional. En el caso de la producción de autoconsumo los pueblos continuaron en posesión de sus tierras comunales y permanecieron como la principal

fueron una fuente de labor de las haciendas temporal o permanentemente. Continuaron con la agricultura de subsistencia, extracción de madera y leña de sus bosques, complementando estas actividades con la producción de textiles y cerámica.

En 1808 la agricultura alimentaba a 6 millones de habitantes, el suelo agrícola ya se encontraba más erosionado que en la época prehispánica. En el Valle de México, se alimentaba a 137 mil habitantes.

2.3.2. La Población.

La composición de la población después de la Independencia hasta después de la Revolución, continuó siendo predominantemente rural, el crecimiento de la población mexicana durante este periodo, que podríamos marcarlo desde 1808 con 6, 000,000 habitantes, hasta 1930 con 16, 552 722 habitantes (Salgado 2004) no fue acelerado por los conflictos sociales y políticos que vivía México. Esto determinó un crecimiento aproximado de más de 10, 000,000 de habitantes durante 122 años. Para el 20 de octubre de 1895 se realizó el primer Censo de Población, con un recuento de 12.6 millones de habitantes. Para 1900 se realizó el segundo censo de población, con un recuento de 13.6 millones de habitantes, de los cuales el 10.5% de la población era urbana y el 89.5% rural (Salgado 2004, Ortiz, 1987). Se concluye de esta información que el movimiento revolucionario, fue fundamentalmente rural, convirtiéndose la ciudad en el refugio de las familias rurales a causa de la emigración, cuyo fin fue buscar la protección y trabajo, tanto de la clase política revolucionaria como de los industriales. Trayendo como consecuencia que el grosor de esta población se concentrara en el Valle de México, e indudablemente los primeros desarrollos sociales, políticos, jurídicos y económicos, fueran en esa zona.

Ezcurra (1996) realizó un estudio en la zona centro de la Cuenca (Ciudad de México) manejando dos variables: Suelo ocupado y Crecimiento Poblacional. Utilizando materiales cartográficos que describen los años de 1524 a 1980. Que siguiendo la secuencia de la época prehispánica, colonial, independencia y revolución, en relación al deterioro de los suelos agrícolas en dicha zona. Se demuestra que el Hecho Social a

Legislar del que venimos hablando es producido más por el factor antropogénico que por el natural. Asimismo señala Ezcurra “La mayor parte de los nuevos desarrollos se han edificado sobre suelos agrícolas de alto valor productivo lo que agrega un costo adicional al crecimiento de la ciudad: más de 50 000 hectáreas de buenos suelos agrícolas se han perdido durante los últimos treinta años. Adicionalmente, los nuevos desarrollos urbanos que no ocupan suelos agrícolas han sido creados sobre las laderas de la cuenca, sin tomar previsiones adecuadas en relación con el problema de la escorrentía y de la erosión hídrica que generan la tala y la construcción es áreas de fuerte pendiente. Como consecuencia, las avenidas de agua y la erosión del suelo han aumentado significativamente.”⁹

Año	Superficie	Población
1800	10 762 000 m ²	137 000 habitantes
1845	14 125 000 m ²	240 000 habitantes
1900	27 500 000 m ²	541 000 habitantes
1910	46 375 000 m ²	906 000 habitantes
1930	86 087 500 m ²	1 230 000 habitantes

(Fuente DDF, 1986. Citado por Ezcurra, 1996)

Sin duda estas políticas públicas a través de enfrentamientos y presiones sociales, llevaron a consecuencia que los Presidentes de la República Mexicana y Representantes de la Nación (Diputados) y los Estados (Senadores) se dedicaron a formular programas para estimular la economía devastada, ya sea por la guerra de independencia, por los conflictos políticos en la reforma al Estado Mexicano y la Revolución. Resulta obvio que no apostaron a la conservación de los recursos naturales (Simonian, 1998).

⁹ Para más detalles revisar el libro “Las Chinampas a la Megalópolis. El Medio Ambiente en la Cuenca de México” Capítulo Las Variables Ambientales. por Exequiel Ezcurra, 1996. Dr. © Fondo de Cultura Económica. Información [En Línea] <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/091/html/chinampa.html>.

2.3.3. El Desarrollo Legislativo y la Sociedad.

La actividad legislativa durante este periodo se siguió enfocando a la producción de leyes en materia forestal, y las tierras agrícolas se aquilataron políticamente en el mercantilismo.

Desde el Imperio de Iturbide hasta el gobierno de Porfirio Díaz, se instrumentaron varias leyes para colonizar tierras baldías. El Gobierno Federal en 1856 obligó a las comunidades indígenas a deshacerse de sus tierras que no estaban usando para su beneficio, a través la Ley Lerdo, cuyo objetivo fue iniciar la producción de esas tierras no ocupadas; Es decir: fue reemplazar al cultivador de autoconsumo por el cultivador productivo. Es así como el Poder Público Mexicano del siglo XIX, destruyó la tradición comunal española, al expropiar las tierras indígenas y al abrir las tierras públicas para la clase media y alta. Además eliminaron la distinción que habían hecho los indígenas y españoles entre tierras forestadas y tierras agrícolas (Simonian, 1998).

La agricultura capitalista fue impulsada más que la agricultura de autoconsumo. El Gobierno de Díaz, le entregó a los hacendados y a los inversionistas extranjeros, el derecho de desplazar a los indígenas de sus tierras (Hu-Dehart, 1984). El progreso económico de México dependía de poner en uso las “tierras baldías”, proyecto político autoritario, que definía a las “tierras baldías” como las no destinadas a uso público o cuya propiedad no era de corporaciones o individuos. De este modo por dominio público se entendía, aquellas tierras de difícil acceso (Beltrán, 1969). La instrumentación de la Ley de Colonización de diciembre de 1883 facultaba al Ejecutivo la autorización a compañías deslindadoras para el deslinde de propiedades que no excedieran las 2500 ha. La Ley de Terrenos Baldíos de junio de 1894, definió los terrenos propiedad de la nación en baldíos, demasías, excedencias y nacionales y ya no puso límite a la extensión denunciante, ni se obligaba a los propietarios a colonizar o cultivar los terrenos, contemplándose poco el uso del suelo y el agua.

La adopción de técnicas para conservar el suelo y el agua, seguía quedando a la conveniencia de las propiedades privadas. Una de las excepciones era una disposición

que permitía la extracción de agua sólo cuando ello no disminuyera el caudal de los ríos o el tamaño de los lagos (Ley Aprovechamiento de aguas de jurisdicción federal, 1910). Para 1890 la desamortización y enajenación de terrenos baldíos habían permitido la consolidación de los grandes latifundios y la especialización de las grandes haciendas en la exportación de productos agrícolas para la industria europea dominada por el capital inglés, francés y alemán. El panorama era desalentador, sólo un 15% de los pueblos de toda la república conservaron sus tierras comunales y en el centro de México, el despojo fue significativo porque tan sólo en Morelos las haciendas azucareras habían concentrado la mayoría de las tierras de la comunidad (Cámara de Senadores, 2003). Estas leyes definieron el desmembramiento de las propiedades de comunales y al acaparamiento de grandes extensiones de tierra en pocas manos, dando como resultado el fortalecimiento de las haciendas y la explotación de minas, surgiendo los pueblos como sociedades habitando los mejores suelos agrícolas, llevando al crecimiento de la población. Esta población se estableció al margen de los ríos, con el objeto de abastecer las necesidades de estas nuevas comunidades, y dio como resultado el acaparamiento del agua; el sometimiento del pequeño agricultor hacia el hacendado; y la destrucción de los sistemas agrícolas prehispánicos (chinampas).

Las haciendas que constituyeron los mejores suelos agrícolas fueron las situadas cerca y dentro de la cuenca del Valle de México. Lo que ocasionó la migración de personas provenientes de estados que no contaban con fuente de trabajo, o que no existía la minería. Entre las décadas de 1850, 1860 y 1870 comenzó a gestarse una transformación precisamente en lo que había caracterizado a la estructura agraria en las haciendas, en la territorialidad de los pueblos, en los bosques, en las propiedades comunales y en las huertas (Trujillo, 1996; Cámara de Senadores, 2003).

En el proceso de repartición de haciendas, su número permaneció casi igual que en la época colonial 8245, el número de ranchos se incremento de 8400, para el año de 1810 a 15805, y para el año de 1854 a 47939. Las tierras públicas fueron transferidas al sector privado, y en 10 años (1883 a 1893) 50 millones de hectáreas fueron delimitadas

y 16 millones transferidas a las compañías deslindadoras. Finalmente, las tierras comunales de los pueblos, que deberían ser divididas en parcelas y adjudicadas como propiedad privada, fueron divididas sólo 348242 hectáreas en 19906 parcelas, con un tamaño promedio de 30 hectáreas (Mc Cutchen Mc Bride, 1923).

Este proceso de detentación de las tierras obligó a crear un régimen jurídico que organizara las tierras en el sector social o agrícola; Es decir, durante la Independencia se afirmaba la existencia de la propiedad individual y privada como un derecho inalienable del hombre (Izurieta, 1951). Para finales del siglo XIX el régimen da un cambio hacia la función social, donde la costumbre social impone al propietario el deber y la facultad de emplear sus bienes para satisfacer las necesidades de alimento a la colectividad. Estas exigencias revolucionarias que se definieron a través del plan de Ayala (28 de noviembre de 1911) que a la letra dice en los principios seis al ocho:

“.....los que subscribimos, constituidos en Junta Revolucionaria para sostener y llevar á cabo las promesas que hizo la revolución del 20 de noviembre de 1910, próximo pasado, declaramos solemnemente ante la faz del mundo civilizado que nos juzga y ante la Nación á que pertenecemos y amamos, los principios que hemos formulado para acabar con la tiranía que nos oprime y redimir á la patria de las dictaduras que se nos imponen las cuales quedan determinadas en el siguiente Plan:

1a.....

6a.- Como parte adicional del plan que invocamos hacemos constar: que los terrenos, montes y aguas que hayan usurpado los hacendados, científicos o caciques á la sombra de la tiranía y de la justicia venal entrarán en posesión de estos bienes inmuebles desde luego, los pueblos o ciudadanos que tengan sus Títulos correspondientes de esas propiedades, de las cuales han sido despojados por la mala fe de nuestros opresores, manteniendo á todo trance, con las armas en la mano la mencionada posesión, y los usurpadores que se consideren con derechos á ellos, lo deducirán ante tribunales especiales que se establezcan al triunfo de la Revolución.

7a.- En virtud de que la inmensa mayoría de los pueblos y ciudadanos mexicanos, no són mas dueños que del terreno que pisan, sufriendo los horrores de la miseria sin poder mejorar su condición social ni poder dedicarse á la industria o á la

agricultura por estar monopolizados en unas cuantas manos las tierras, montes y aguas; por esta causa se expropiarán previa indemnización de la tercera parte de esos monopolios á los poderosos propietarios de ellos, á fin de que los pueblos y ciudadanos de México, obtengan ejidos, colonias, fundos legales para pueblos ó campos de sembradura ó de labor y se mejore en todo y para todo la falta de prosperidad y bienestar de los mexicanos.

8a.- Los hacendados, científicos, ó caciques que se opongan directa ó indirectamente al presente Plan, se nacionalizarán sus bienes y las dos terceras partes que á ellos les correspondan, se destinarán para indemnizaciones de guerra, pensiones de viudas y huérfanos de las víctimas que sucumban en la lucha del presente Plan.....”

El Plan determinó dos hechos sociales: Primero: La condición de vida del pueblo mexicano rural era tan deplorable, que no mejora su calidad de vida, y por consiguiente la vocación agrícola era sinónimo de esclavitud del agricultor hacia el hacendado o industrial; y Segundo: Estos hechos sociales dieron como resultado la exigencia de la restitución de las tierras, montes y aguas a las comunidades que contaran con sus títulos de propiedad, con el fin de recuperar las tierras y crear los ejidos y fundos legales para campos de sembradura o actualmente los podemos llamar suelos con vocación agrícola. Y sobre aquellos individuos que nunca habían poseído tierras, la dotación se haría mediante la expropiación de la tercera parte de las haciendas cuyos propietarios fueran contrarios a la causa.¹⁰

Esta visión del General Zapata y el Presidente Madero, de formalizar la democracia a través de un movimiento social, ocasionó que el Poder Legislativo comenzara a legislar sobre quien tiene el uso de las tierras agrícolas [más no el como se deben de usar para conservarlos]. Sobre este antecedente histórico el Senado de la República en el 2003 señaló: [La efervescencia del movimiento zapatista y el interés de Madero por respetar las formalidades políticas y constitucionales para garantizar la democracia, permitieron que durante las sesiones de la XXVI Legislatura se discutiera el problema de la tierra.

¹⁰ Los principios políticos plasmados en el Plan de Ayala determinaron la naturaleza jurídica del Sistema Agrario Mexicano, a través de la protección de Interés Público y Social. Sistema que constituyó la propiedad social con la reglamentación de las tierras comunales y ejidales.

Luís Cabrera, abogado poblano, consideró que la necesidad de dotación de tierras se debía a varias condiciones: el latifundismo y explotación de los campesinos; el caciquismo --cuyo poder político y control social ejercido sobre una región o localidad determinada habían mermado la capacidad de defensa de las comunidades-- y el “extranjerismo”, por los efectos de la inversión de capitales extranjeros que si bien había propiciado el crecimiento económico del país, había obstaculizado el desarrollo de los sectores sociales. Cabrera insistió de manera particular en la defensa de la pequeña propiedad y en el estudio de los medios económicos para dividir la gran propiedad. Después cambió su postura y planteó la urgencia de reconstituir y dotar a los pueblos de sus ejidos mediante la expropiación por causa de utilidad pública o arrendamiento forzoso, y expresó que mientras no sea posible crear un sistema de explotación agrícola en pequeño, que substituya a las grandes explotaciones de los latifundios, el problema agrario debe resolverse por la explotación de los ejidos como medio de complementar el salario del jornalero (Mac Gregor, citado por Cámara de Senadores, 2003) y sus medios alimenticios. Es decir, en primer término debía resolverse la restitución de ejidos entendidos como circunscripciones territoriales destinadas a la vida comunal].

La evolución de la tenencia de la tierra puede ser dividida en tres periodos, 1) 1821 a 1853 en donde se transfirió la tierra de los españoles a los criollos; 2) Se inicia en 1853 con la expedición de las leyes de reforma; y el 3) Durante el gobierno de Porfirio Díaz 1876 a 1911, en donde se enfatizó la industrialización del país por el desarrollo de los ferrocarriles, los negocios públicos y el estímulo de la industria minera. Los cambios incrementaron el flujo de inversión extranjera y la elevación de precios en la tierra y su especulación. El intento especial de destruir el carácter feudal del sistema de tierra mexicano, no se logró y para 1910 la mayor parte de la tierra pertenecía a las haciendas y corporaciones privadas.

Para 1910 menos del 1% era dueño del 90% de las tierras y sobre el 90% de la población no tenía acceso a la tierra (Esteva, 1987). Esta desigualdad de la distribución de la tierra que fue ampliada durante el periodo posterior a las leyes de reforma, fue una de las causas directas de la Revolución de 1910, y de la reforma

agraria subsecuentemente (Esteva, 1987, Mc Cutchen Mc Bride, 1923; Tannenbaum, 1968)

2.4. HECHO SOCIAL A LEGISLAR (1917 AL 2007).

Después de la Revolución, el Gobierno tuvo que implementar dos políticas: La reorganización de la estructura social a través de la redistribución de la tierra con el fin de reducir inequidades en el acceso y la modernización del sector agrícola (Ojeda, 2001). El artículo 27 estableció la propiedad originaria de la nación sobre la tierra, el subsuelo y las aguas. Estableció las bases para el fraccionamiento de latifundios, el desarrollo de la pequeña propiedad, la dotación y el acceso a la tierra para los núcleos de población que lo solicitasen. Ello significó una ruptura enérgica con el precedente porfiriano que preferentemente otorgó concesiones de tierra y de uso del agua a usuarios individuales y a empresas.

La inconstancia de sucesos adversos y prósperos algunos, sobre la reforma agraria, reflejó normas con rango de ley de carácter restrictivo, como la supresión del procedimiento de dotación provisional (1916-1920), la imposición a los ejidatarios del compromiso de pagar las parcelas (1919-1920) y el intento de dar término al reparto de tierras en el ámbito estatal. Todo ello, llevó a consolidar la figura jurídica denominada "ejido". Asimismo, en 1921 se establece el concepto de que la parcela ejidal es indivisible por herencia y se prohíbe rentarla o transferirla, así como alquilar pastos y montes, concepto que se perfecciona en la ley reglamentaria sobre reparto de tierras ejidales de 1925, mientras que por decreto de julio de ese mismo año se prohíbe la celebración de contratos de arrendamiento, aparcería y de cualquier acto jurídico que tienda a la explotación indirecta o por terceros de los terrenos ejidales comunales, incorporándose estos preceptos en los códigos agrarios de 1934 y 1940 (Escalante, 2001).

Durante la fase inicial 1919 a 1940 el gobierno federal redistribuyó tierra, y en el periodo de 1934 a 1940 apoyó a los ejidos en base al manejo centralizado, dando acceso a los mercados y fortaleciendo a sus organizaciones; instituyó servicios públicos bajo el control del estado y agencias especializadas como la Comisión Nacional Agraria, para la organización y manejo de la producción. Sin embargo, este apoyo fue restringido a los ejidos con las mejores tierras, pero no se apoyó a los ejidos con parcelas pequeñas o tierras marginales (De Janvry, 1998)

Estas políticas llevaron a la explotación intensiva de los recursos del suelo en las mejores tierras, con el apoyo del Gobierno; sin embargo, lo que no ocurrió en los ejidos con tierras marginales. En la misma forma se intensificó la apertura de tierras forestales para usos ganaderos y agrícolas sin las prácticas de conservación adecuadas. Esto llevó a una acelerada degradación del suelo. El Presidente Avila Camacho conciente de la importancia de la conservación de los suelos para la Nación, envió una iniciativa de ley al Legislativo en 1945. El Poder Ejecutivo por primera vez en la historia, percibió la voluntad de los mexicanos para proteger el suelo, recurso básico para la agricultura nacional, toda vez que estos garantizaban alimento para el pueblo mexicano. La Ley de Conservación del Suelo y Agua entró en vigor el 19 de junio de 1946, teniendo como objetivos: fomentar, proteger, y reglamentar la conservación de los recursos de suelos y aguas, básicos para la agricultura nacional. La autoridad encargada de ejecutarla recaía directamente en el Secretario de Agricultura y Fomento. La ley sería implementada a través de la Dirección General de Conservación de Suelos, operando en el periodo de 1946 a 1996. Durante su existencia se realizaron inventarios de erosión y obras de conservación de suelos en todo el territorio nacional. Sin embargo dicha legislación no tuvo el efecto esperado [el de proteger los suelos agrícolas]. Su ejecución se desvió más hacia las actividades de la administración pública que al objeto de la propia ley.

El incremento poblacional en este periodo, por otra parte trajo consigo la necesidad de producir más alimentos, por lo cual se abrieron nuevas tierras al cultivo (por lo general en tierras marginales) y se intensificó el uso de las mejores tierras a través de la

llamada Revolución Verde, con una utilización intensiva de fertilizantes y plaguicidas que produjeron la contaminación de los suelos agrícolas. Por otra parte el mercantilismo del suelo por la competencia del mercado y la necesidad de proveer habitación hizo que a través de la urbanización se perdieran las mejores tierras agrícolas.

En este periodo la única modificación que recibió la ley fue mediante decreto del 30 de diciembre de 1974, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 3 de enero de 1975, modificada con motivo del decreto de reformas a la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado. Con este ordenamiento, la Secretaría de Agricultura y la Secretaría de Recursos Hidráulicos. A la par de estas iniciativas sobre el intento de proteger los suelos básicos a la agricultura nacional, también se legislaba sobre la tenencia de las tierras para el sector agrícola. Del último código agrario de 1940, se crea hasta 1971 la Ley Federal de Reforma Agraria, la que confirma el hecho social, de que los derechos sobre bienes agrarios que adquieran los núcleos de población serán inalienables, imprescriptibles, inembargables e intransmisibles y, por tanto, no podrían en ningún caso ni en forma alguna, enajenarse, cederse, transmitirse, arrendarse, hipotecarse o gravarse, todo o en parte. En consecuencia, las tierras cultivables que de acuerdo con la ley podían ser objeto de adjudicación individual entre los miembros del ejido.

En 1992 dicha política tuvo un giro de 190°, suprimiéndose la obligatoriedad de trabajar las tierras, y permitiéndose la venta y renta de tierras ejidales no permitida en la ley anterior, con la Nueva Ley Agraria, toda vez que nacen las figuras jurídicas del dominio pleno y la titulación de la tierra ejidal. Estas políticas legislativas novedosas, que lo único que lograron fue definir formalmente un mercado ejidal restringido y otro abierto; Es decir, las tierras en dominio pleno [en la mayoría de los casos los mejores suelos agrícolas] quedaban abiertas al juego de la oferta y la demanda. También presentaron las políticas agrarias que coadyuvan al cambio de uso de suelos agrícolas a urbanos, llevando a dos problemas de seguridad nacional: 1) Una reducción de los suelos agrícolas más productivos; y 2) Efecto negativo en la seguridad alimentaria del país.

A partir de 1984 las políticas del gobierno cambian de una política de explotación de los recursos naturales, a una política de protección. En esa fecha se aprueba la Ley Federal de Protección al Ambiente, donde se incluye por primera vez el ordenamiento ecológico y se lo reconoce como un instrumento básico de la planeación. Y en 1988 se cambia por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, vigente actualmente. La ley de Conservación de Suelos y Agua de 1945 seguía vigente, y no es hasta la reforma de 1996 que sufre la LGEEPA, donde se abroga la Ley de Conservación del Suelo y Agua, dejando al recurso natural suelo acotado en dos artículos, 98 y 99, los cuales sólo determinan los siguientes criterios de la nueva política orientada hacia la protección y el aprovechamiento sustentable:

CRITERIOS	LGEEPA 98, 99. SUELO
De Uso	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad con vocación natural; • No alterar el equilibrio ecológico; • Mantener su integridad física, química y biológica, y su productividad; • Evitar prácticas que favorezcan la erosión y degradación; • Pérdida de vegetación natural;
Ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Los apoyos crediticios tiene como objetivo, la incorporación de cultivos compatibles con la preservación del equilibrio ecológico y restauración; • Lineamientos técnicos y programas de protección y restauración de los suelos en actividades agropecuarias, forestales e hidráulicas; • Establecimiento de distritos de conservación; • Programas de ordenamiento ecológico.

Los criterios se acotaron a un solo objetivo, el de preservar el equilibrio ecológico y restaurar los suelos degradados; todo ello es otorgado a los tres ordenes de gobierno, y en la mayoría de los municipios, ha sido la prioridad el desarrollo del uso del suelo urbano y en algunos casos el uso forestal, y no, el uso sustentable de los suelos agrícolas para la producción de alimentos. Esta situación genera la disminución de suelos fértiles, el empobrecimiento del campo mexicano y la inseguridad alimentaria,

toda vez que la Secretaría encargada de operar la ley es SEMARNAT, en cuyos objetivos no entra el manejo sustentable de los suelos agrícolas para la producción de alimentos. Estos hechos sociales impulsaron al Poder Público a crear una ley que incidiera en la relación entre los productores del campo y su desarrollo social en el 2001, formando la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, como solución a los errores de la LGEEPA. Esta legislación cuyo interés público o bien común de toda la población, se encuentra en el desarrollo rural sustentable. Determinando la planeación y organización agropecuaria, su industrialización y comercialización, así como elevación del nivel de vida de la población rural. Y señalando a SAGARPA como la Secretaría encargada de ejecutar dicha Ley. Toda vez que ella si tiene dentro de sus objetivos la producción de los alimentos. Sin embargo, esta legislación sólo se enfocó a elevar el nivel de vida de los agricultores o productores, con la implantación de programas rentables en la generación de empleos directos y comercialización. Olvidando de nueva cuenta regular con mayor fuerza el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas. Regulándolos solamente en el Tema de Reconversión Productiva Sustentable. En donde se determinan los criterios y prácticas a través de inversiones directas, para contribuir al óptimo uso de las tierras. El fomento del uso eficiente de los suelos agrícolas en condiciones agroambientales; y a reorientar el uso de los suelos cuando existan niveles altos de erosión. Todo esto con el fin de elevar el nivel de vida de los pueblos rurales.

Sin embargo estas prácticas están orientadas a la rehabilitación de suelos, la intensificación del uso del suelo, lo cual puede llevar a proceso de degradación más intenso, si no se le da un manejo adecuado. De igual forma al dar prioridad a los productores en zonas más degradadas (de reconversión y de las partes altas de las cuencas), se restringen los apoyos para la conservación de los suelos en proceso en degradación, los cuales sería más económico conservar bajo producción, en lugar de la rehabilitación de suelos en áreas con alta degradación. Contraviniendo el Artículo 25 Constitucional que establece el principio de garantizar el papel del Estado en la promoción de la equidad. Así también la presente Ley, se contrapone entre ella misma, en el apartado de la Sustentabilidad de la Producción Rural. Cuando establece

en su artículo 165 la facultad que tienen los tres órdenes de gobierno de decidir sobre el uso del suelo, cuando así convenga a sus intereses. Estos procesos se contraponen al artículo 32 fracción XIII del mismo ordenamiento, toda vez que los tres órdenes de gobierno se eximen de cumplir con la conservación y mejoramiento de los suelos y demás recursos naturales.

Cabe hacer mención que estas consideraciones legislativas se han estado evaluando durante los últimos 20 años; es decir, diversos legisladores e instituciones crearon iniciativas de ley, con el objetivo de regular el uso del suelo de forma general, mismas que nunca fueron aprobadas por las Cámaras.

La primera se presentó el 25 de octubre de 1984, por el Diputado Andrés Cázares Camacho, denominada Ley de Conservación y Mejoramiento del Suelo. Estructurada con 11 artículos, cuyo objeto fue fomentar, proteger y reglamentar la conservación y mejoramiento de los suelos básicos para la agricultura, silvicultura y ganadería. Argumentando que la conservación y mejoramiento de los suelos son elementos indispensables para la producción de todo tipo de alimentos. Y reforzaría el objetivo de producir más y mejores alimentos para la población mexicana. Sin embargo dicha iniciativa de ley, sólo se enfocó a regular las relaciones de las autoridades encargadas de mantener la conservación de los suelos a consecuencia de la erosión. Pero no incidió en regular el uso sustentable de los suelos, que es el hecho social a legislar.

La segunda fue presentada por el Senador Víctor Manuel Torres Herrera, el 13 de diciembre del 2002, denominada Ley de Uso y Conservación del Suelo, con el objeto de regular todo tipo de suelo y su uso. Argumentando dos elementos prioritarios: 1). regular el uso, conservación y restauración de todos los tipos de suelo; 2). La creación de un Consejo Nacional de Suelos para la ejecución de la ley. Iniciativa que fue desechada por los siguientes argumentos:

- a). Los instrumentos de política ambiental que él señaló, entraron en contradicción con otras legislaciones vigentes.
- b). No definió la naturaleza jurídica y las reglas claras para su conformación, administración y ejecución, llegando a ser indefinidas.

La tercera iniciativa de ley que se presentó fue el día 23 de octubre del 2003, por los Diputados Antonio Mejía Haro y Pascual Sigala Paez, con el fin de instrumentar disposiciones contenidas en la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y de esta forma enfrentar el problema de mantener y mejorar la base productiva y de servicios ambientales del país. La iniciativa se denominó Ley para la Restauración y Conservación de Tierras. Cuyo objetivo principales son:

- a). Regular solo las tierras frágiles, y la restauración de las mismas;
- b). Implantar mecanismo de lucha contra la desertificación; y
- c). Crear una Comisión Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales.

Estos objetivos buscaban reformar, adicionar y derogar diversas disposiciones, tanto de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Esta fue la única iniciativa de ley, aprobada por la Cámara de Diputados el día 26 de abril del 2005, dando como resultado que fuera turnada a la Cámara de Senadores para su estudio y evaluación.

Sin embargo la Cámara de Senadores el día 25 de abril del 2006, desechó por ser un proyecto inviable, argumentando lo siguiente:

- a). La iniciativa no contempló un sistema de competencias entre los tres órdenes de gobierno;
- b). Se presentó una invasión de aplicación material entre la Ley de Asentamientos Humanos y la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente;
- c). Se encontraron objetivos declarados inconstitucionales por la Suprema Corte de Justicia de la Nación;
- d). El uso de términos y definiciones no estaban acorde al ordenamiento jurídico, integrando un problema de técnica legislativa.

No obstante el 9 de noviembre del 2006, los Senadores Antonio Mejía Haro, Heladio Elías Ramírez López, Alejandro González Yáñez, Dante Delgado Rannauro, Arturo Escobar y Vega, Rafael Ochoa Guzmán, Claudia Corichi García, Silvano Aureoles

Conejo, Francisco Javier Obregón Espinoza y Rubén Fernando Velázquez López, volvieron a presentar la misma iniciativa, y denominada Ley General de Conservación y Restauración de Tierras ante la misma Cámara de Senadores, argumentando haberla corregido y haciendo una explicación y descripción más analítica del problema de los suelos en el territorio. Hasta ahora la Cámara no ha dado respuesta técnica sobre esta iniciativa.

Asimismo, se realizó otra evaluación a la misma iniciativa ley, pero utilizando la técnica legislativa presentada por el suscrito, encontrando lo siguiente:

- a). Si se estableció el sistema de competencias entre los tres órdenes de gobierno;
- b). Continuaron con la misma incongruencia del uso de términos y definiciones; Es decir, el problema de técnica legislativa continuaba;
- c). No desecharon de la iniciativa el padrón de proveedores, los que fueron declarados inconstitucionales por la Suprema Corte de Justicia de la Nación;
- d). Sólo regula los suelos frágiles y su restauración. Situación que prevé un presupuesto alto, y cuyo objetivo sólo será conservarlos, objetivo jurídico que ya se prevé en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- e). La creación de órganos públicos continua, y esto genera un egreso alto en el presupuesto;
- f). Contiene una incongruencia de competencia; Es decir, la secretaria de estado competente en ejecutar la iniciativa sólo es SEMARNAT, pero las acciones de coordinación y lucha contra la desertificación de las tierras dependerá de los Distritos de Desarrollo Rural Sustentable, regulados en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, de la cual cuya ejecución está encargada SAGARPA. Estando en presencia de dos políticas diversas 1). Conservación y restauración de suelos; y 2). Uso de los suelos para producción de alimentos. Y que para los suelos agrícolas solo es la segunda a través de SAGARPA. Esto conlleva a que dicha iniciativa de ley se enfocara a suelos forestales y no a suelos agrícolas, como lo pretende regular.

Actualmente son las únicas iniciativas que han intentado regular a los suelos, cayendo en incertidumbre jurídica por las tantas formas que nuestro sistema jurídico ha definido

al suelo de forma indirecta, como dominio territorial, como propiedad privada o pública, como tierra productiva, como superficie para uso urbano o industrial, como elemento físico, químico y biológico que soporta a las plantas y animales, como recurso natural renovable o no, etc. Y no obstante la degradación del suelo por el mal uso y su impacto en la producción de alimentos, no se les considera una prioridad en las acciones de la seguridad nacional. Ocasionando pérdidas económicas más altas que tienen las prácticas de protección y conservación requeridas por los suelos agrícolas.

2.4.1. Análisis del Marco Constitucional

El problema de regulación jurídica sobre la protección de los suelos agrícolas y el derecho al alimento de forma indirecta, también se encuentra en nuestra Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Solo se refiere al medio ambiente, regulándolo básicamente en dos artículos que versan sobre la materia ambiental, el 27 y el 73, fracción XXIX-G,2 dispositivos que proporcionan las bases normativas para la integración del marco jurídico ambiental que rige en el país. No se puede excluir la mención de los Artículos 4o, 25, 26, 115, y 124, los cuales, aun cuando carecen de un contenido ambiental expreso, tienen una incidencia indirecta en la materia.

En los términos originales de la Constitución Federal de 1917, la mayoría de las facultades en materia ambiental, sobre cuestiones relativas a los recursos naturales y respecto de actividades que pudieran tener efectos sobre el medio ambiente, eran ejercidas por el gobierno federal. Esta situación cambió en 1987 al adicionarse la fracción XXIX-G del Artículo 73 constitucional, por la cual se otorgó al Congreso de la Unión la facultad: “...para expedir leyes que establezcan la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico...”

Como resultado de esta reforma, se otorgaron a los estados facultades para legislar en materia ambiental y ecológica, estableciendo con ello un sistema de concurrencia sobre este asunto entre la federación y los estados. La concurrencia en materia

ambiental se extiende también hacia los municipios. El Artículo 115 constitucional, fracción II, señala en su párrafo segundo: Los ayuntamientos poseerán facultades para expedir de acuerdo con las bases normativas que deberán establecer las legislaturas de los estados, los bandos municipales, los reglamentos y circulares. Principios constitucionales que no logran ejecutarse, toda vez que los ayuntamiento no tienen la capacidad técnica y legislativa para proteger y administrar sus suelos y entre ellos los agrícolas. La dependencia del gobierno federal y local, los hace incapaces de ejercer su obligación y derecho constitucional.

En los citados artículos se observa la existencia de una triple concurrencia de facultades en materia ambiental y ecológica entre los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal. Estas atribuciones coincidentes entre autoridades de diferentes órdenes no implican un traslape de jurisdicciones entre los respectivos órganos de gobierno; la legislación secundaria realiza una adecuada distribución de competencias, asignando a cada uno de los gobiernos (federal, estatales y municipales) el ejercicio de facultades determinadas y bien diferenciadas.

2.4.2. Situación Actual de los suelos

El problema del manejo sustentable de los suelos debe tratarse de manera integral, abordando diversos aspectos relacionados con mantener e incrementar la productividad de los suelos y producción alimentaria, lo cual permitirá garantizar política, jurídica, social y económicamente el acceso de alimento a la población. El conservar e incrementar la capacidad productiva de estos suelos no se resolverá por el análisis de los problemas actuales sobre la degradación acelerada, la crisis económica y social en el campo mexicano, el incremento en la demanda de terrenos para construir vivienda, estas actividades se realizan principalmente sobre suelos agrícolas reduciendo la disponibilidad de este recurso para la producción de alimentos requeridos para una población creciente. Se debe hacer un análisis retrospectivo y prospectivo sobre la situación en los próximos 50 años, por los efectos de cambios climáticos y la incertidumbre en si el dilema es: ¿se dispondrá de alimentos a nivel global para alimentar a la población mundial?. Por otra parte la creciente demanda de

biocombustibles a partir de vegetales, puede producir un incremento de la frontera agrícola produciendo con la consecuente degradación del recurso suelo o reduciendo el área de suelos dedicada a la producción de alimentos. Por lo anterior es necesario crear una ley que permita proteger y conservar los suelos agrícolas del país para resolver el problema de seguridad alimentaría y reactivar la economía del sector.

Para esto México cuenta con una superficie de 196 millones de hectáreas de las cuales el 64% de las tierras están degradadas por erosión hídrica o eólica. En los suelos agrícolas la degradación debida a procesos químicos y físicos como: pérdidas de suelo superficial, declinación de la fertilidad, polución, salinización, acidificación, eutrofización, compactación, encostramiento, anegamientos y disponibilidad y la pérdida de función productiva por urbanización es aproximadamente el 25 % de los suelos. En particular, es preocupante la pérdida de utilidad agrícola de las mejores tierras irrigadas por urbanización y en las áreas de riego la acumulación de sales en 425,000 hectáreas que han dejado de ser útiles para la producción agrícola intensiva. (SEMARNAT, 1999).

De acuerdo al Inventario Nacional de Suelos 2002, por SEMARNAT, el 100% de los suelos del territorio nacional, los suelos agrícolas ocupan el 15.61%. Esto equivale a una superficie de 30, 201,602 hectáreas, las que se dividen en superficie de riego y de temporal y cultivos forestales. La primera ocupa un 4.58% equivalente a una superficie de 8, 857,821 hectáreas [suelos bajo producción intensiva]; y la segunda ocupa el 11.03% equivalente a una superficie de 21, 343,781 hectáreas [suelos divididos en forestales y agrícolas]. En relación al desarrollo de la vivienda por el crecimiento demográfico, el uso del suelo de Asentamientos humanos ocupa el 0.58% equivalente a una superficie de 1, 120,127 0.58. [En aumento]

La mayor pérdida de los suelos agrícolas con alta productividad, es por su cambio a uso urbano (suelos que pierden su función). Esto es debido, que los suelos bajo agricultura, al ser planos y contar con infraestructura son los más adecuados para la urbanización. Esto se agrava en las entidades federativas en las cuales se tiene mayores crecimientos de población.

La degradación de los suelos agrícolas es una realidad social que continuará en las próximas décadas debido a los siguientes factores: 1) Continuo incremento de la población, 2) Requerimiento de intensificación y apertura de tierras al cultivo para la producción agrícola, para satisfacer internamente el déficit de producción y 3) La producción de biocombustibles a partir de materiales vegetales. Los cambios climáticos provocarán incremento o disminución de la precipitación, lo cual afectará las condiciones ambientales actuales, por inundaciones, mayor erosión y sequías, que afectarán los niveles de producción de alimentos.

Otro factor principal, que impone la necesidad de regular los suelos agrícolas, es el crecimiento poblacional. Una de las características más importantes de la evolución demográfica de México ha sido su rápido crecimiento, ya que de 1900 al año 2000 la población en el país se multiplicó 7.2 veces, mientras que la población en todo el mundo durante el mismo lapso de tiempo, tan sólo creció 3.7 veces y la de los países más industrializados o desarrollados lo hizo en 2.2 veces. En la República Mexicana el crecimiento poblacional presentó distintos ritmos: durante los primeros cinco decenios del siglo XX la población casi se duplicó al pasar de 13.6 a 25.8 millones de habitantes, entre 1950 y 1970 su ritmo de crecimiento fue más acelerado y casi se duplicó en dos décadas al pasar de 25.8 a 48.2 millones de personas. El incremento mayor ocurrió en 1980 con una población de 66.8 millones de habitantes. Cada diez años el ritmo de crecimiento disminuyó, toda vez que para 1990 subió a 81.2 millones de habitantes, para el año 2000 con 97.5 millones de habitantes, y para el 2007 con 106 millones de habitantes aproximadamente.

En los próximos 30 años por el crecimiento de la población (PND, 2000-2006) se requerirá la construcción de alrededor de 23 millones de viviendas, equivalente al parque habitacional disponible actualmente. Si bien es cierto que la superficie urbana es proporcionalmente muy pequeña a escala nacional (0.58% de territorio), se trata del uso del suelo que en algunas regiones está creciendo más rápidamente. En Quintana Roo, por ejemplo, la superficie urbanizada creció a una tasa superior al 8% anual. En

total, 99 524 hectáreas fueron invadidas por asentamientos humanos entre 1993 y 2000. Por lo común se trata de tierras planas, útiles para la agricultura y que, en consecuencia, dejan de ser productivas. Mientras que el impacto directo de las ciudades es pequeño, indirectamente afectan los usos del suelo de grandes extensiones para satisfacer sus necesidades de alimentos, recursos naturales, recreación y disposición de residuos.

Este factor pone a México en el lugar décimo primero más poblado del planeta, y además define la tendencia hacia la urbanización; Es decir, mientras que las cuatro quintas partes de la población del país habitaban el medio rural, en 2000 el padrón se revirtió por completo, el 74.6% de los mexicanos habitaba zonas urbanas. El crecimiento de la población rural no ha rebasado el 2% anual, mientras que en las ciudades se ha observado una tasa superior al 5%.

A nivel mundial existe una revaloración del recurso suelo por la necesidad de asegurar la sustentabilidad en su manejo, sin embargo no se ha entendido de una manera clara cuando, como y donde la degradación del suelo afecta la seguridad alimentaria, que tan importante es el problema de degradación y seguridad alimentaría con el desarrollo de sector agrícola y que políticas y acciones se deben tomar para mitigar los efectos adversos de la degradación del suelo y mantener la seguridad alimentaría

En el World Bank's World Development Report (WDR) 2008, Agriculture for Development. El banco mundial hace una reconsideración del papel de la agricultura en el desarrollo, tema que había sido ignorado por mucho tiempo. La agricultura en muchos países fue atrapada por los cambios producidos en el proceso de globalización, la implantación de cadenas productivas altamente sofisticadas e integradas a nivel internacional, por la rápida innovación en información, tecnología y biociencias, y los amplios cambios en las instituciones, en especial en el papel del estado y en los sistemas de gobierno y organización. La tesis central de esta propuesta es que el crecimiento del sector agrícola en el futuro jugará un papel fundamental en la reducción

de la pobreza rural. Para lo cual se deben considerar de manera integrada tres aspectos fundamentales: agricultura, desarrollo económico y reducción de pobreza.

Una política adecuada para el sector agrícola requerirá de acciones en los siguientes puntos: 1) Fortalecer la capacidad del gobierno para desarrollar de manera apropiada sus funciones en estas áreas. 2) Mejorar la Productividad del sector de la población de más bajos ingresos e incrementar su acceso a empleo y medios de producción. 3) fortalecer la investigación y extensión agrícola 4) promover la intensificación y manejo adecuado del recurso suelo 5) Desarrollar mercados eficientes, efectivos y de bajos costos de insumos agrícolas y 6) Expandir la cooperación internacional y asistencia y mejorar su eficiencia y efectividad.

Las consideraciones anteriores, llevan a concluir y proponer una legislación basada en el contexto legal sobre los suelos agrícolas y su entorno, así como de su protección, conservación, uso y manejo sustentable, con el fin de reactivar la economía en beneficio de los sectores más pobres y detener la degradación. Tomando en cuenta las facultades de los tres órdenes de gobierno, con la creación de un sistema nacional de coordinación en el uso sustentable de los suelos agrícolas, definiéndolos científicamente como: un almacén de agua y nutrientes necesarios para el desarrollo y producción óptima de los cultivos. Aunado a ello deben establecerse las medidas necesarias para su manejo sustentable y para la restauración de suelos agrícolas degradados para mantenerlos bajo producción económica. Estas actividades públicas permitirán intensificar el desarrollo agrícola, poniendo bajo uso adecuado los mejores suelos. Propuesta legislativa cuya relación entre suelo-agua-alimento, unifica los principios rectores de introducir normas jurídicas sobre el uso del suelo agrícola, buscando la seguridad alimentaria de la nación, y con ello que el Estado pueda garantizar el Derecho Humano al Alimento, exigencia internacional. Y para ello se propone el siguiente proyecto de iniciativa de ley denominada Ley General del Uso del Suelo Agrícola, a través de los siguientes materiales, métodos y técnicas legislativas.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

En este contexto resulta conveniente una uniformidad legislativa para fortalecer este procedimiento y proceso legislativo, con el objeto de dar una solución no sólo legislativa, sino operativa y eficaz en el uso sustentable de los suelos agrícolas en México. Es así que como especialista en derecho legislativo y la enseñanza de mi maestra la Dra. en Derecho Cecilia Mora Donatto, la investigación y creación del proyecto de ley que se propone se realizará a través de un esquema de tres etapas, utilizando la técnica legislativa. Iniciando en la primera con una serie de motivos destinados a fijar lo que se denomina “la búsqueda del hecho legible”, que pasado por un análisis retrospectivo y prospectivo, nos llevará a la conclusión que es necesaria una ley. Pasando a la segunda etapa, que nos llevará a la creación de la ley, a través de las siguientes consideraciones: 1) Descripción de los objetivos; 2) Análisis de los objetivos; 3) Diseño de la estructura de la norma; 4) Redacción de la norma; y 5) Evaluación del resultado. La tercera etapa se denominará “proceso legislativo”, integrado en tres instancias: 1° Iniciativa; 2° Discusión y Aprobación; y 3° Sanción, Promulgación y Publicación de la ley por el Ejecutivo.

3.1. LOS MOTIVOS [PRIMERA ETAPA].

Se refiere al análisis del hecho legible, en un lugar, tiempo y modo, que llevan a reclamar la actividad de la autoridad o el órgano con potestad para dictar leyes; Es decir, se tiene que realizar un proceso de retrospectión y prospección del hecho social a legislar, interactuando con efectos sociales, políticos, económicos y legales o jurídicos.

3.1.1. Búsqueda del Hecho Legible.

Se tiene detectado el hecho social a legislar por la vía de los diversos motivos enunciados, y la consecuencia lógica de ello es realizar un análisis objetivo del problema, de manera que éste se describa del modo más completo. A tal fin pueden contribuir muchos instrumentos o mecanismos, proponiendo que el hecho legible sea

sometido a un ensayo; Es decir, un diagnóstico para determinar si el problema existe y realizando los siguientes cuestionamientos: ¿Quién dice que hay un problema?, ¿Se trata de un problema real o ficticio?, ¿Cuándo, donde y como nació, el problema?, ¿Existen mecanismos para solucionarlo?, ¿Se conocen las causas que provocaron el problema?, etc. Estas y más preguntas, nos permitirán circunscribir correctamente el hecho social y plantear posibles soluciones. Cabe hacer la mención, que no todos los hechos sociales pueden ser legislados y por estas circunstancias no se podrá encontrar alguna legislación a través de la historia, o viceversa. Asimismo debe imponerse paulatinamente la convicción de que no todos los problemas que se presentan en las sociedades modernas requieren de una intervención estatal y mucho menos que dicha intervención deba suponer una regulación jurídica del problema.

3.2. CREACIÓN DE LA LEY [SEGUNDA ETAPA]

Al inicio de esta etapa se ha agotado la discusión política, social y jurídica, o de pertinencia de una ley, toda vez que se inicia la fase de elaboración y redacción de la ley. Los actores políticos o grupos de interés [agricultores, consumidores, empresarios, científicos, políticos, agrupaciones de diversos sectores, etc.] deciden abrir paso para iniciar la elaboración de la ley. A través de los siguientes elementos mínimos que se deben tener en consideración para redactar.

3.2.1. Comprensión de los objetivos.

Exige al redactor del proyecto de ley, un conocimiento preciso del hecho social a regularse y de lo que el legislador persigue a través del texto. Y para ello cabrían las siguientes preguntas: ¿Cuál fue la primera vez que se legisló el hecho social?, ¿Se resolvió el problema con dicha legislación?, ¿Cuántas legislaciones se han realizado?, ¿Cómo va actuar el legislador para hacer frente al hecho legible?, ¿De que mecanismo se valdrá para solucionar el problema?. Se deben distinguir los aspectos más relevantes de la propuesta legislativa, para comprender no sólo el sentido en que

se redactará la ley, sino el problema que se pretende superar. Para ello resulta pertinente tener como ejes de dicha labor los siguientes aspectos:

- Objeto de la Ley a crear = Ámbito que se pretende regular.
 - Los agentes que se encargan de su aplicación comprendan de forma clara, en que consistirá su intervención; esto es, cuales son los alcances de la Administración Pública o de cualquier otro órgano del Estado y del ciudadano en relación al hecho social a legislar.
- Objetivo de la ley a crear = Efectos deseados por el legislador.
 - La ley debe generar el mayor número de soluciones, que plantea el hecho legible.
- Razones de la ley a crear = Causas que han llevado al individuo o a la sociedad, a exigirle al legislador que dicte una ley.
 - Estar asociados con las causas, razones o motivos que llevaron al redactor o al legislador, hacer frente al hecho legible a través de una norma con rango de ley. Existiendo un proceso de eliminación de opciones, que se abordaron en la primera parte del esquema.

3.2.2. Análisis de los objetivos.

Se realiza un análisis de todos y cada uno de los objetivos a la luz de diversos aspectos entre los que destacan potenciales en áreas de riesgo, como puede ser en materias de derecho público, privado y social.

La creación de una ley supone necesariamente algunas modificaciones al derecho vigente; dando como resultado que se encuentren espacios jurídicos vacíos. En principio debe ponerse especial atención en el aspecto constitucional de la ley para no caer en aspectos inconstitucionales. Asimismo puede afectar algún tipo de derecho fundamental [libertad, propiedad, igualdad, legalidad, expresión, etc.]. Advertirse si sus efectos son retroactivos y porque. También tiene que analizarse detenidamente que la nueva ley no vaya crear conflictos competenciales entre los tres órdenes de gobierno y en el ámbito internacional, toda vez que el derecho globalizado esta impactando en los sistemas jurídicos de todos los países.

Finalmente la oportunidad social de la ley, es otro factor que debe ser prioritario. Toda vez que debe existir el momento oportuno para desarrollar el análisis del hecho social a legislar y que por el contrario, no pase suficiente tiempo para que el análisis ya no sea válido

3.2.3. Diseño de la estructura de la norma legal.

Se realiza la planeación de la ley a crear a través de la aplicación de todas las directrices analizadas. A esta etapa se le considera como la fase de elaboración del índice temático de los contenidos del proyecto, lo cual facilita la revisión de lo normado y el control de los supuestos regulados. La organización de la ley comprende no solo la sistémica del texto legal, sino la división de la misma, y se integra por las siguientes partes:

- | | |
|------|---|
| I. | Titulo de la Ley |
| II. | Exposición de Motivos. |
| III. | Parte Dispositiva.
a. Naturaleza jurídica.
b. Intereses a proteger.
c. Definiciones.
d. Objeto.
e. Sujetos.
f. Competencias y Ámbitos de aplicación.
g. Infracciones y sanciones.
h. Procedimientos de defensa o ejecución. |
| IV. | Disposiciones Finales |

El título de la ley debe contener todos los elementos necesarios tanto para la identificación como para la individualización. La exposición de motivos debe estar

apegada a la realidad social y determinar la existencia del hecho social a legislar y la necesidad de legislarlo, con el fin de asegurar la certeza jurídica a una sociedad.

La parte dispositiva debe partir de una idea básica: la ley se sitúa en un plano intermedio entre, el ordenamiento jurídico al que se va incorporar, y el artículo considerado como la unidad básica y fundamental de las normas. Tal distribución debe hacerse en libros, títulos, capítulos, secciones, y artículos.

Las disposiciones finales regulan las modificaciones al derecho vigente, las normas de competencia, las reglas de supletoriedad y las reglas especiales sobre la entrada en vigor de la ley. El proyecto del diseño de estructura de la norma sobre el cual se va a trabajar, debe ser muy claro, lo suficiente como para que no sólo sea comprendido por especialistas o profesionales sino por inexpertos.

3.2.4. Redacción de la norma legal.

En la redacción de una disposición se seguirán los siguientes lineamientos: Se irá de lo general a lo particular; de lo abstracto a lo concreto; de lo más importante a lo menos relevante; de lo regular a lo excepcional y de lo sustantivo a lo procesal. Las líneas temáticas de una norma legal deben desarrollarse de una manera jerárquica y ordenada, y evitando dejar lagunas [errores].

Las reglas mínimas para redactar se agrupan de la siguiente forma:

- 1.- Relación con los términos: Palabra exacta; y el mismo concepto debe expresarse siempre con el mismo término, no utilizar sinónimos.
- 2.- Formas Verbales: La norma debe estar relacionada con el tiempo en que se aplica; y seguir las formular gramaticales.
- 3.- Sintaxis: Evitar construcciones ambiguas; formulación positiva y evitar la negativa.

Sin embargo dichos lineamientos no son exhaustivos, toda vez que la norma debe transitar por una pluralidad de ideas hasta que alcance el rango de ley.

3.2.5. Evaluación del resultado.

Una vez que el proyecto este redactado se distribuye entre los actores políticos interesados en la disposición [organizaciones no gubernamentales, universidades, Secretarios de despacho, subsecretarios, legisladores, secretarios técnicos, etc.]. Con el fin de que realicen todas las observaciones que consideren pertinentes.

3.3. EL PROCESO LEGISLATIVO [TERCER ETAPA.]

La decisión política que ha logrado transformarse en proyecto de ley accionará el procedimiento legislativo, que se constituye por la iniciativa; la discusión y aprobación por la Cámaras, y el periodo de sanción, promulgación y publicación de la ley, por parte del Ejecutivo.

3.3.1. Iniciativa.

El proyecto de ley, redactado bajo los lineamientos antes expuestos, es presentado como iniciativa ante el Poder Legislativo por alguno de los actores a quien la Constitución le atribuye dicha facultad. Algunos autores consideran que las iniciativas debe integrarse por: la Cámara a la que se dirige; el nombre (s) del autor (es) de la iniciativa; la exposición de motivos; el fundamento constitucional y el derecho para iniciar leyes o decretos; la denominación de la ley o decreto; el cuerpo normativo propuesto; las disposiciones transitorias; el lugar y la fecha donde se produce el documento; el nombre y la firma de quien promueva.¹¹

Las iniciativas no sólo deben integrarse por los elementos citados, sino además se les anexa un expediente con los fundamentos esenciales y necesarios para comprender correctamente sus alcances. La información no sólo podrá ofrecerse a la comisión

¹¹ Camposeco Cadena, Miguel Ángel, De las Iniciativas (manuales elementales de técnica y procedimientos legislativos), México, Cámara de Diputados, LVI Legislatura, 1990, pp. 48-49. por su parte, Miguel Alejandro López Olvera considera que los elementos de una iniciativa son: exposición de motivos, texto del cuerpo normativo propuesto y normas transitorias. "Lineamientos de técnica legislativa para la elaboración de leyes en México", Revista de la Facultad de Derecho de México, México, núms. 229-234, tomo L, enero-diciembre, 2000, p. 176.

parlamentaria de la materia o al secretario técnico o asesor de la comisión, sino también al Pleno de la Cámara de origen y para que se obtenga con tales datos, una idea más clara y precisa de lo que se persigue con la iniciativa de ley.

3.3.2. Discusión y Aprobación.

En esta etapa la técnica legislativa pone especial atención al documento elaborado y presentado por la comisiones¹² que integran las Cámaras, toda vez que dicho documento determina el análisis de las iniciativas de ley o decretos presentados, en la forma señalada en la etapa anterior.

Los diversos parlamentos¹³ pueden partir de una lógica interna distinta para tramitar las iniciativas de ley pero generalmente existirá un documento elaborado por una o más personas o comisiones en el que se analiza el contenido de dicha propuesta legislativa. En algunos casos recibida la iniciativa por el Parlamento, el órgano correspondiente la hará del conocimiento de los legisladores y la enviará a la comisión o comisiones respectivas para su estudio y dictamen. Diversas son las formas en las que los diferentes parlamentos actúan para generar dicho documento en unos casos como en Francia, es un “miembro de una Comisión designado por ésta para estudiar un texto que le ha sido remitido y presentar sus conclusiones ante la Asamblea”. Precisamente con la presentación de este dictamen [rapport] de la comisión se inicia la discusión en el Pleno. La posibilidad de tener un dictaminador unipersonal [relatore] existe también en la legislación italiana, pero en ésta, además cabe la posibilidad de ponencias colegiadas [comitato ristretto]. Incluso es posible la *relazioni di minoranza*. De la misma manera que sucede en el país galo, en Italia el ponente realiza su labor no sólo cuando el proyecto está en comisión sino en sesiones plenarias (Durán Alba, Juan Fernando y Redondo García, 1994).

¹² Las Comisiones son órganos constituidos por el Pleno, que a través de la elaboración de dictámenes, informes, opiniones o resoluciones, contribuyen a que la Cámara cumpla sus atribuciones constitucionales y legales. La Cámara de Diputados cuenta con comisiones ordinarias, de investigación, especiales, de régimen-reglamentos y prácticas parlamentarias, de vigilancia de la Auditoría Superior de la Federación, y jurisdiccional. Mismas que se mantienen de legislatura a legislatura. Para mayor información ver el Título Segundo, Capítulo Sexto, del artículo 39 al 46 de la Ley Orgánica Del Congreso General De Los Estados Unidos Mexicanos Ley Orgánica Del Congreso General De Los Estados Unidos Mexicanos.

¹³ Parlamento: Se le llama así al Poder Legislativo de cada nación. O también se utiliza para denominar el sistema de gobierno de cada país.

Por lo que hace a la legislación alemana el presidente de la comisión nombra a uno o varios ponentes para cada uno de los objetos de las deliberaciones (artículo 65 del Reglamento del Bundestag). Al igual que en los dos parlamentos europeos anteriores la actividad de los ponentes se centra en elaborar un informe escrito de las deliberaciones de la comisión, recogiendo una explicación de los cambios al texto recomendados por ésta. Además existe la posibilidad de que una iniciativa puede ser conocida al mismo tiempo, por varias comisiones lo que produce una pluralidad de ponentes, eligiéndose sólo a uno de éstos para su discusión ante el pleno. En España, y de conformidad con los reglamentos parlamentarios, es posible la constitución de ponencias unipersonales y colegiadas, dentro y fuera del procedimiento legislativo sólo para el caso del Senado, cuyo fin es redactar un informe después de estudiar y analizar la propuesta de ley remitida a la comisión y las enmiendas presentadas a su articulado. La asistencia técnico-jurídica que sirve de apoyo a las ponencias corre a cargo de los Letrados de Cortes.

Por el contrario, en Gran Bretaña, una vez que es recibida la iniciativa, se discute en comisión sin que para ello se constituya un ponente especial encargado de su análisis y estudio. Compete al presidente de la comisión ordenar las enmiendas presentadas al texto por los miembros que integran ésta. Una vez presentado el report al Pleno de la Cámara el Chairman termina sus funciones, esto es, no asume ninguna labor de presentación del texto ante el Pleno; aunque reiteradamente informa al gobierno, a la oposición y a los diputados interesados en el asunto antes de presentar el reporte (Jenning, 1970). En abierta confrontación a la discreta participación del presidente de la comisión en el Parlamento Ingles, el Chairman norteamericano asume, en el Congreso de Estados Unidos, un papel protagónico que lo lleva no sólo a presentar el report, sino a organizar el debate en el Pleno. Quedando a cargo de los demás miembros de la comisión, construir subcomisiones para organizar audiencias y escuchar testigos con el fin de obtener información sobre el tema que se debate.

En México, recibido el proyecto de ley por una de las Cámaras, el presidente de ésta turnará el mismo a la comisión a la que corresponda el estudio en razón de la materia que entrañe la iniciativa legislativa. Asimismo, dicha iniciativa será turnada a la Comisión de Puntos Constitucionales y publicada en la Gaceta Parlamentaria¹⁴. Este es el momento en el que las comisiones desplegarán sus trabajos y harán uso de todas sus facultades para solicitar documentos y mantener conferencias con Secretarios de Despacho con la finalidad de presentar un dictamen de los negocios de su competencias dentro de los cinco días siguientes a la fecha en la que los haya recibido (Camposeco, 1990). Para que haya dictamen este deberá presentarse firmado por la mayoría de los individuos que componen la comisión. Si uno o más legisladores disintiesen de la mayoría, podrán presentar su voto particular por escrito¹⁵.

Como puede apreciarse el dictamen, es el documento de suma importancia en el proceso legislativo, que sirve de vínculo entre las labores constitutivas de las dos primeras etapas del esquema, y la fase que transcurre en sede parlamentaria. El dictamen es el documento legislativo que une la etapa prelegislativa y la etapa legislativa, convirtiéndose en el documento que resuelve el proceso de creación de la ley, de tal forma que ésta resolución se considera como si hubiese sido otorgada por la propia Cámara, excluyéndose el debate y la votación en el Pleno; pasando de inmediato a la consideración de la colegisladora (Basterra, 1997).

Finalmente, en el derecho mexicano en el artículo 87 del Reglamento para el Gobierno Interior del Congreso General señala únicamente que “Todo dictamen deberá contener una parte expositiva de las razones en que se funde y concluir con proposiciones claras y sencillas que puedan sujetarse a votación”. Por otra parte algunos autores nacionales han señalado que el dictamen deberá contener:

- 1) Las consideraciones de técnica jurídica;

¹⁴ Mayor información en el artículo 28 fracción V del Acuerdo Parlamentario 11/97.

¹⁵ Una vez que estén firmados los dictámenes por la mayoría de los miembros de la Comisión encargada del asunto, se publicarán junto con los votos particulares, si los hubiera, a más tardar 48 horas antes del inicio de la sesión en que serán puestos a discusión y votación. A los dictámenes publicados de esta forma, podrá dispensarse la lectura, previa consulta al Pleno en votación económica. Los dictámenes en su totalidad estarán sujetos a discusión en lo general, y en lo particular sólo sobre los artículos reservados.

- 2) Plantear la viabilidad de la iniciativa que se discute así como la inexistencia de conflicto de leyes;
- 3) La justificación política o su renovación y un esbozo de prospectiva de cómo se habrá de regular la materia, las relaciones, derechos y obligaciones que la nueva ley impondrá a los sujetos de la misma, o bien, estarán integrados por cinco puntos básicos: 1) proemio, 2) antecedentes, 3) considerandos, 4) puntos resolutivos, y 5) mayoría de firmas (González, 1998).

Por consiguiente, el dictamen incluye las valoraciones políticas de los grupos parlamentarios, y las enmiendas que cada grupo ha propuesto a la iniciativa de ley. Por tanto no es conveniente esperar un dictamen perfectamente elaborado, sino accesible y ordenado, según lo determine cada legislatura, pero eso sí bajo un concepto uniforme que puede ser:

- 1.- Introducción;
- 2.- Motivos Justificados;
- 3.- Esquema y fundamentos de Reformas, modificaciones, y acuerdos alcanzados por la subcomisión.
- 4.- Preceptos suficientemente discutidos y acuerdos firmes;
- 5.- Firmas e informes de minoría si los hubiera.

3.3.3. Periodo de Sanción, Promulgación y Publicación de la Norma.

Parte final del proceso legislativo, que en la actualidad ha generado conflictos sociales, políticos, jurídicos y económicos. Toda vez, que es la fase, que inicia, cuando el texto legal remitido por alguna de las Cámaras [Diputados o Senadores] al Ejecutivo, para que él realice la sanción, promulgación y publicación en el Diario Oficial de la Federación.

En esta última etapa, podrá llegarse a establecer las diferencias entre los errores y las erratas. Los errores serían atribuibles, según sea el caso, al Poder Legislativo o al Ejecutivo. Mientras que las erratas lo serían, los servicios técnico-administrativos del

Diario Oficial de la Federación. En cualquier caso convendría dejar bien claro en la correspondiente corrección la fuente que provocó tal error o errata, evitando así la habitual publicación formalmente anónima de la rectificación. Así también en esta fase, el Ejecutivo tiene la facultad de hacerle observaciones a las leyes y de esta forma no publicarlas, ocasionando que se deban regresar a la Cámara de origen, con el fin de hacerle las correcciones pertinentes. Tal y como lo establece el artículo 72 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que a letra dice: “Artículo 72. Todo proyecto de ley o decreto, cuya resolución no sea exclusiva de alguna de las Cámaras, se discutirá sucesivamente en ambas, observándose el Reglamento de Debates sobre la forma, intervalos y modo de proceder en las discusiones y votaciones. **A.** Aprobado un proyecto en la Cámara de su origen, pasará para su discusión a la otra. Si ésta lo aprobare, se remitirá al Ejecutivo, quien, si no tuviere observaciones que hacer, lo publicará inmediatamente.

B. Se reputará aprobado por el Poder Ejecutivo, todo proyecto no devuelto con observaciones a la Cámara de su origen, dentro de diez días útiles; a no ser que, corriendo este término hubiere el Congreso cerrado o suspendido sus sesiones, en cuyo caso la devolución deberá hacerse el primer día útil en que el Congreso esté reunido.

C. El proyecto de ley o decreto desechado en todo o en parte por el Ejecutivo, será devuelto, con sus observaciones, a la Cámara de su origen. Deberá ser discutido de nuevo por ésta, y si fuese confirmado por las dos terceras partes del número total de votos, pasará otra vez a la Cámara revisora. Si por ésta fuese sancionado por la misma mayoría, el proyecto será ley o decreto y volverá al Ejecutivo para su promulgación. Las votaciones de ley o decreto, serán nominales.

D. Si algún proyecto de ley o decreto, fuese desechado en su totalidad por la Cámara de revisión, volverá a la de su origen con las observaciones que aquélla le hubiese hecho. Si examinado de nuevo fuese aprobado por la mayoría absoluta de los miembros presentes, volverá a la Cámara que lo desechó, la cual lo tomará otra vez en

consideración, y si lo aprobare por la misma mayoría, pasará al Ejecutivo para los efectos de la fracción A; pero si lo reprobare, no podrá volver a presentarse en el mismo periodo de sesiones.

E. Si un proyecto de ley o decreto fuese desechado en parte, o modificado, o adicionado por la Cámara revisora, la nueva discusión de la Cámara de su origen versará únicamente sobre lo desechado o sobre las reformas o adiciones, sin poder alterarse en manera alguna los artículos aprobados. Si las adiciones o reformas hechas por la Cámara revisora fuesen aprobadas por la mayoría absoluta de los votos presentes en la Cámara de su origen, se pasará todo el proyecto al Ejecutivo, para los efectos de la fracción A. Si las adiciones o reformas hechas por la Cámara revisora fuesen reprobadas por la mayoría de votos en la Cámara de su origen, volverán a aquella para que tome en consideración las razones de ésta, y si por mayoría absoluta de votos presentes se desecharen en esta segunda revisión dichas adiciones o reformas, el proyecto, en lo que haya sido aprobado por ambas Cámaras, se pasará al Ejecutivo para los efectos de la fracción A. Si la Cámara revisora insistiere, por la mayoría absoluta de votos presentes, en dichas adiciones o reformas, todo el proyecto no volverá a presentarse sino hasta el siguiente periodo de sesiones, a no ser que ambas Cámaras acuerden, por la mayoría absoluta de sus miembros presentes, que se expida la ley o decreto sólo con los artículos aprobados, y que se reserven los adicionados o reformados para su examen y votación en las sesiones siguientes.

F. En la interpretación, reforma o derogación de las leyes o decretos, se observarán los mismos trámites establecidos para su formación.

G. Todo proyecto de ley o decreto que fuere desechado en la Cámara de su origen, no podrá volver a presentarse en las sesiones del año.

H. La formación de las leyes o decretos puede comenzar indistintamente en cualquiera de las dos Cámaras, con excepción de los proyectos que versaren sobre empréstitos,

contribuciones o impuestos, o sobre reclutamiento de tropas, todos los cuales deberán discutirse primero en la Cámara de Diputados.

I. Las iniciativas de leyes o decretos se discutirán preferentemente en la Cámara en que se presenten, a menos que transcurra un mes desde que se pasen a la Comisión dictaminadora sin que ésta rinda dictamen, pues en tal caso el mismo proyecto de ley o decreto puede presentarse y discutirse en la otra Cámara.

J. El Ejecutivo de la Unión no puede hacer observaciones a las resoluciones del Congreso o de alguna de las Cámaras, cuando ejerzan funciones de cuerpo electoral o de jurado, lo mismo que cuando la Cámara de Diputados declare que debe acusarse a uno de los altos funcionarios de la Federación por delitos oficiales. Tampoco podrá hacerlas al Decreto de convocatoria a sesiones extraordinarias que expida la Comisión Permanente.”

3.4. DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESO LEGISLATIVO.

El presente diagrama de flujo, describe el modelo que se utilizó para crear la propuesta del proyecto de iniciativa de Ley General del Uso del Suelo Agrícola. Modelo en el que se consideraron elementos metodológicos y técnicos tanto científicos como legislativos, que define la uniformidad de la actividad del Poder legislativo Mexicano, con el objeto de dar una solución no sólo legislativa, sino operativa y eficaz en el uso sustentable de los suelos agrícolas en México.

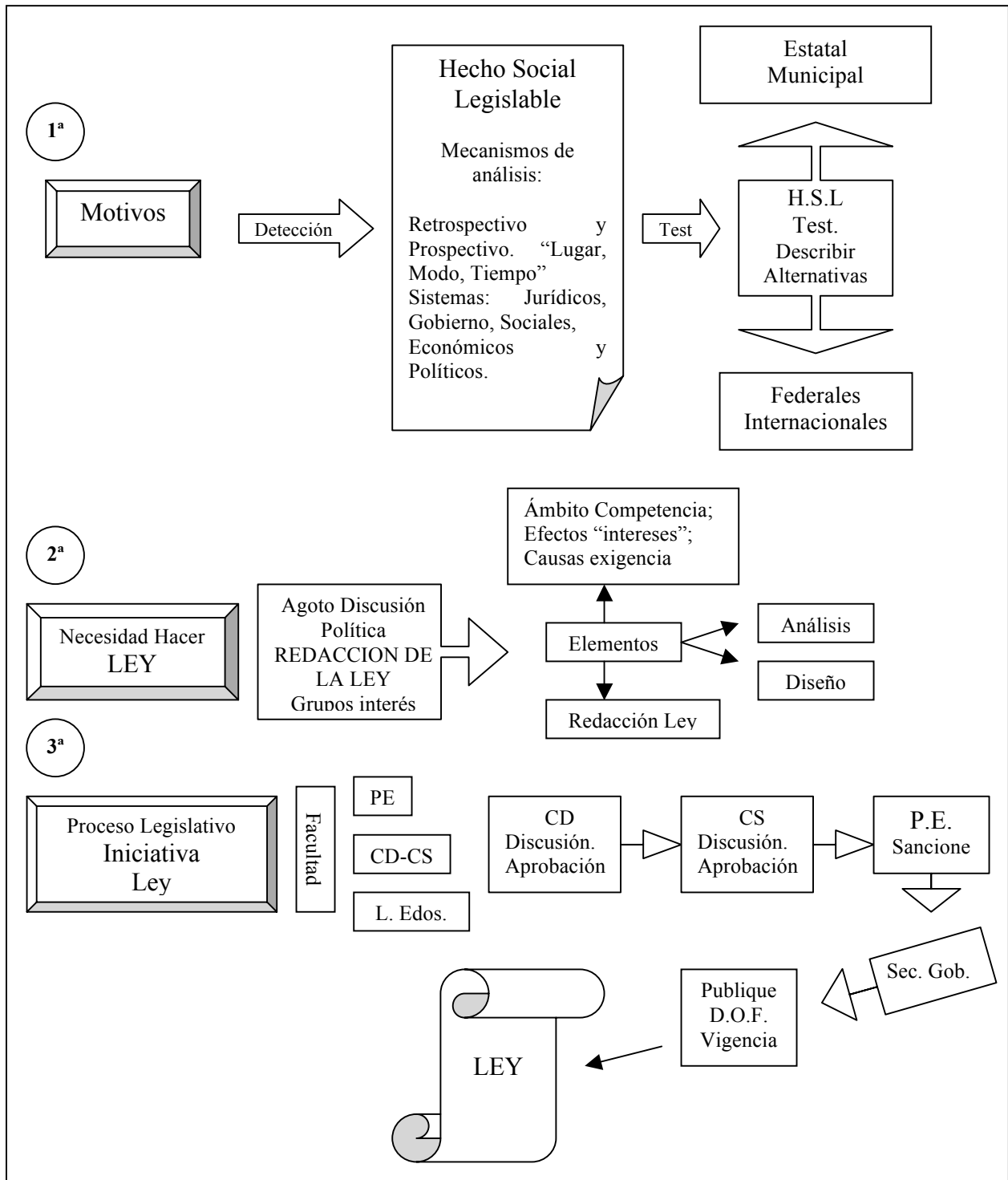


Diagrama de Flujo del Proceso Legislativo a través del uso de metodología y técnicas legislativas.

Asimismo presentamos el proceso legislativo previsto por nuestra Constitución Política Federal y demás ordenamientos legales, con el fin de demostrar visualmente las diferencias notables entre el modelo propuesto y el modelo existente.

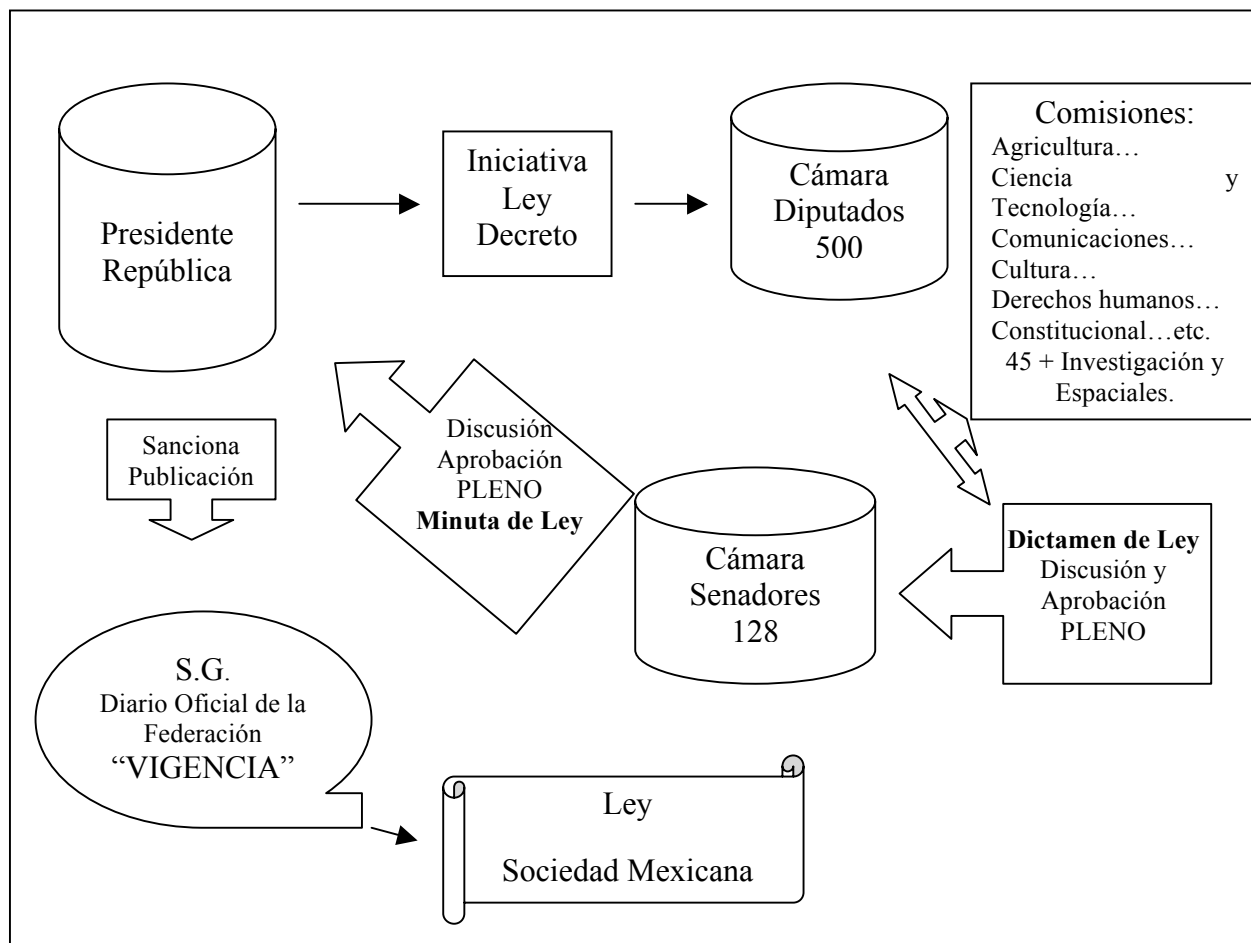


Diagrama de Flujo Proceso Legislativo por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y demás ordenamientos jurídicos.

La técnica legislativa se realiza con la visión puesta en la legislación y práctica mexicana. El problema de la calidad de la técnica legislativa en la producción de normas, es recurrente en la mayor parte de los Estados democráticos. México cuenta

con un rezago teórico y práctico en los procesos de formación de normas jurídicas. El problema apunta sobre cuestiones de muy diversa naturaleza [validez, coherencia, lógica y claridad], resulta necesario provocar en la doctrina mexicana un debate técnico que genere, entre quienes tienen la responsabilidad de elaborar legislaciones, directrices comunes ajustadas a la estructura material y formal de nuestro sistema jurídico mexicano, cuya aplicación contribuya a garantizar la seguridad jurídica.

De lo contrario seguiremos creando normas secundarias de nuestro ordenamiento desde la óptica de cada “legislador” criterio que, aunque se aplique con el mejor de los propósitos, ha resultado en muchos casos contrario a dicho principio. Por tanto, en un sistema democrático la Teoría de la Legislación debe partir de un correcto entendimiento de la figura del Parlamento o Poder Legislativo como órgano estatal que concentra la más amplia pluralidad y el órgano que por su propia vocación está obligado a conciliar los intereses de la sociedad y legislar la voluntad de los ciudadanos.

Esta técnica transformada en teoría, se estructura en tres etapas denominadas: Dos prelegislativas y una legislativa (Mora Donatto, 2001). Situación que actualmente se analiza si es necesario crear una cuarta etapa, denominada evaluación de la legislación, con el fin de determinar la eficacia y eficiencia de las leyes vigentes, y de esta forma derogarlas o abrogarlas de acuerdo a la realidad social del país.

El objeto de esta teoría es la forma de producir, modificar y suprimir una norma con rango de ley o un conjunto normativo que se sustenta en una decisión política, así como las leyes vigentes su estudio, perfeccionamiento técnico y su armonización con el ordenamiento jurídico (Mora Donatto, 2001).

Si la forma de producir normas con rango de ley, provoca pluralidad de procedimientos constitucionales permitidos, la técnica legislativa debe adaptarse a las particularidades de cada uno de éstos. Por tanto dicha técnica no debe, ni puede ser privativa de un solo procedimiento.

Por último, es preciso señalar que a través de nuestra técnica legislativa, no se pretende hacer un adoctrinamiento de la letra de la ley, sino definir los mecanismos ligados a una realidad social, toda vez que para hacer una ley, se necesita de una filosofía [El hombre razonable] y una técnica legislativa [hecho social legible], tal y como lo estableció nuestro Rey Nezahualcoyotl.

CAPÍTULO IV

“PROPUESTA LEGISLATIVA”

PROYECTO DE LEY GENERAL DEL USO DEL SUELO AGRÍCOLA

Se presenta el proyecto de la ley en comento, iniciando con la exposición de motivos, en la que se expresa de forma sintética la investigación realizada, haciendo la aclaración de la repetición de algunos párrafos de suma importancia en esta exposición. Asimismo este es el documento que evalúa el hecho social a legislar, determinando: modo, tiempo y lugar; beneficios; valores a proteger; y controles políticos que definen la eficacia y eficiencia que se espera la nueva ley.

EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

De conformidad con lo establecido en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, la Declaración Universal de los Derechos Humanos de 1948, y la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas del 2000. Esta Nación tiene el derecho de proteger, planear y regular los suelos agrícolas, otorgándole prioridad especial a la seguridad alimentaria, a través de la producción agrícola, desarrollando una política de abastecimiento adecuado y de precios justos para los productores y los consumidores nacionales. Por lo cual la protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas bajo producción sostenida forman la parte principal de la estrategia general de desarrollo del país, satisfaciendo las necesidades básicas de la población, especialmente en lo que se refiere a la seguridad alimentaria.

Esta política deberá responder las demandas de producción de alimentos de una manera sustentable, económica e inocua, asimismo requiere que la ley proteja aquellos suelos con una alta capacidad productiva actual o potencial. Se debe incrementar su productividad y producción de alimento, a través de un uso y manejo sustentable, con el

fin de reactivar la economía del sector y garantizar la seguridad alimentaria y el derecho al alimento de los mexicanos como derecho humano.

El conservar e incrementar la capacidad productiva de estos suelos no se resolverá por simple análisis de los problemas actuales sobre: la degradación acelerada; la crisis económica y social en el campo mexicano; el incremento en la demanda de terrenos para la construcción de vivienda. Sino se debe hacer, un análisis retrospectivo y prospectivo de cual será la situación en los próximos años, por los efectos de cambios climáticos y la incertidumbre en si se dispondrá de alimentos a nivel global para alimentar a la población mundial. Por otra parte la creciente demanda de biocombustibles a partir de vegetales, puede producir un incremento de la frontera agrícola produciendo con la consecuente degradación del recurso suelo o reduciendo el área de suelos dedicada a la producción de alimentos. Por lo anterior es necesario crear una ley que permita proteger y conservar los suelos agrícolas del país para resolver el problema de seguridad alimentaria y reactivar la economía del sector.

México cuenta con una superficie de 196 millones de hectáreas de las cuales el 64% de las tierras están degradadas por erosión hídrica o eólica. En los suelos agrícolas la degradación debida a procesos químicos y físicos como: pérdidas de suelo superficial, declinación de la fertilidad, polución, salinización, acidificación, eutrofización, compactación, encostramiento, anegamientos y disponibilidad y la pérdida de función productiva por urbanización es aproximadamente el 25 % de los suelos. En particular, es preocupante la pérdida de utilidad agrícola de las mejores tierras irrigadas por causa de urbanización, y en las áreas de riego la acumulación de sales en 425,000 hectáreas que han dejado de ser útiles para la producción agrícola intensiva.

La necesidad de proteger y regular el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas ocupa la atención en el contexto nacional e internacional, destacando la urgencia de actuar sobre los problemas de degradación del recurso suelo, que afecta la calidad de vida de la población y la seguridad alimentaria.

En los últimos 10 años la elaboración de convenios multilaterales sobre degradación de recursos naturales han proliferado, World Comisión on Environment and Development (1987), Rio Declaration on Environment (1992), United Nation Convention to Combat Desertification and Drought (1996) Agenda 21 1992, Millenium declaration (2000). De las cuales México se ha adherido.

La degradación del suelo es sin duda uno de los mayores problemas medioambientales a escala mundial y más importante para la sostenibilidad y el mantenimiento de la capacidad productiva en la agricultura. El incremento demográfico obliga a los estados a impulsar los desarrollos urbanos, o mejor dicho, tener prioridad en el derecho a la vivienda y olvidando fortalecer el derecho al alimento. Situación que en México a nivel regional genera una amenaza en el mantenimiento de la capacidad para generar alimentos.

A nivel mundial existe una revaloración del recurso suelo por la necesidad de asegurar la sustentabilidad en su manejo, sin embargo no se ha entendido de una manera clara cuando, como y donde la degradación del suelo afecta la seguridad alimentaria, que tan importante es el problema de degradación y seguridad alimentaria con el desarrollo del sector agrícola, y que políticas y acciones se deben tomar para mitigar dichos efectos.

En el World Bank's World Development Report (WDR) 2008, Agriculture for Development. El banco mundial hace una reconsideración del papel de la agricultura en el desarrollo, tema que había sido ignorado por mucho tiempo. La agricultura en muchos países fue atrapada por los cambios producidos en el proceso de globalización; La implantación de cadenas productivas altamente sofisticadas e integradas a nivel internacional; La rápida innovación en información, tecnología y biociencias; y los amplios cambios en las instituciones, en especial en el papel del estado y en los sistemas de gobierno y organización. La tesis central de esta propuesta es que el crecimiento del sector agrícola en el futuro jugará un papel fundamental en la reducción de la pobreza rural. Para lo cual se deben considerar de manera integrada tres aspectos fundamentales: agricultura; desarrollo económico; y reducción de pobreza.

Una política adecuada para el sector agrícola requerirá de acciones en los siguientes puntos: 1) Fortalecer la capacidad del gobierno para desarrollar de manera apropiada sus funciones en estas áreas; 2) Mejorar la Productividad del sector de la población de más bajos ingresos e incrementar su acceso a empleo y medios de producción; 3) fortalecer la investigación y extensión agrícola; 4) promover la intensificación y manejo adecuado del recurso suelo; 5) Desarrollar mercados eficientes, efectivos y de bajos costos de insumos agrícolas; y 6) Expandir la cooperación internacional y asistencia y mejorar su eficiencia y efectividad.

De acuerdo al Inventario Nacional de Suelos 2002, por SEMARNAT, el 100% de los suelos del territorio nacional, los suelos agrícolas ocupan el 15.61%, esto equivale a una superficie de 30, 201,602 hectáreas. Esta área se dividen en superficie de riego y de temporal y cultivos forestales. La primera ocupa un 4.58% equivalente a una superficie de 8, 857,821 hectáreas [suelos bajo producción intensiva]; y la segunda ocupa el 11.03% equivalente a una superficie de 21, 343,781 hectáreas [suelos divididos en forestales y agrícolas]. Y en relación al desarrollo de la vivienda por el crecimiento demográfico, el uso del suelo de Asentamientos humanos ocupa el 0.58% equivalente a una superficie de 1, 120,127 ha. Y que va en creciendo conforme aumenta la población.

La mayor pérdida de los suelos agrícolas con alta productividad, es por su cambio a uso urbano (suelos que pierden su función). Esto es debido a que los suelos bajo agricultura, al ser planos y contar con infraestructura son los más adecuados para la urbanización. Y se agrava en las entidades federativas con mayor crecimiento poblacional.

La degradación de los suelos agrícolas es una realidad social que continuará en los próximas décadas debido a los siguientes factores: 1) Continuo incremento de la población, 2) Requerimiento de intensificación y apertura de tierras al cultivo para la producción agrícola, para satisfacer internamente el déficit de producción y 3) La

producción de biocombustibles a partir de materiales vegetales. Los cambios climáticos provocaran incremento o disminución de la precipitación, lo cual afectara las condiciones ambientales actuales, por inundaciones, mayor erosión y sequías, que afectaran los niveles de producción de alimentos.

Sin duda el factor poblacional, impone la necesidad de regular los suelos agrícolas. Una de las características más importantes de la evolución demográfica de México ha sido su rápido crecimiento, ya que de 1900 al año 2000 la población en el país se multiplicó 7.2 veces, mientras que la población en todo el mundo durante el mismo lapso de tiempo, tan sólo creció 3.7 veces y la de los países más industrializados o desarrollados lo hizo en 2.2 veces. En la República Mexicana el crecimiento poblacional presentó distintos ritmos: durante los primeros cinco decenios del siglo XX la población casi se duplicó al pasar de 13.6 a 25.8 millones de habitantes, entre 1950 y 1970 su ritmo de crecimiento fue más acelerado y casi se duplicó en dos décadas al pasar de 25.8 a 48.2 millones de personas. Dando el incremento mayor en 1980 con una población de 66.8 millones de habitantes. A partir de cada diez años el ritmo de crecimiento disminuyo, toda vez que para 1990 subió a 81.2 millones de habitantes, para el año 2000 con 97.5 millones de habitantes, y para el 2007 con 106 millones de habitantes aproximadamente.

En los próximos 30 años por el crecimiento de la población se requerirá la construcción de alrededor de 23 millones de viviendas, equivalente al parque habitacional disponible actualmente. Si bien es cierto que la superficie urbana es proporcionalmente muy pequeña a escala nacional (0.58% de territorio), se trata del uso del suelo que en algunas regiones está creciendo más rápidamente. En Quintana Roo, por ejemplo, la superficie urbanizada creció a una tasa superior al 8% anual. En total, 99 524 hectáreas fueron invadidas por asentamientos humanos entre 1993 y 2000. Por lo común se trata de tierras planas, útiles para la agricultura y que, en consecuencia, dejan de ser productivas. Mientras que el impacto directo de las ciudades es pequeño, indirectamente afecta los usos del suelo de grandes extensiones para satisfacer sus necesidades de alimentos, recursos naturales, recreación y disposición de residuos.

Este factor pone a México en el lugar décimo primero más poblado del planeta, y señala la tendencia hacia la urbanización; Es decir, mientras que las cuatro quintas partes de la población del país habitaban el medio rural, en 2000 el padrón se revirtió por completo, el 74.6% de los mexicanos habitaba zonas urbanas. El crecimiento de la población rural no ha rebasado el 2% anual, mientras que en las ciudades se ha observado una tasa superior al 5%.

La tenencia de la tierra al producir la atomización en parcelas pequeñas en posesión de los sectores más pobres, es un factor que puede ser considerado como indicador de la presión sobre el suelo, debido a que la indefinición jurídica en los derechos de propiedad en muchos casos, trae como consecuencia el uso no sustentable y la degradación de los recursos, y la falta de inversión. Este factor en México, al igual que en Latinoamérica, tiene sus orígenes en la época colonial, cuando se realizó una apropiación y repartición del territorio de manera para satisfacer las necesidades de producción de alimentos de la población y como un mecanismo para generar riqueza. Desafortunadamente el estudio y análisis del acceso a la tierra se ha enfocado más desde las ciencias sociales y económicas que desde el punto de vista legislativo y de seguridad alimentaria.

A través de la historia los gobiernos prehispánicos, coloniales y nacionales, intentaron regular el uso de los recursos naturales, y de manera indirecta el suelo, mediante la creación de normas con rango de ley regulando los bosques, pero nunca los suelos agrícolas, una reseña histórica de estas leyes se presenta con el fin de mostrar el proceso legislativo de los recursos naturales, que en la mayoría de los casos no consideraron al recurso suelo, excepto en la época prehispánica y en el periodo posrevolucionario:

- En el periodo prehispánico.
 - Nopaltzin (siglo XIII)
 - Nezahualcoyotl (1418 a 1472)

Debido a problemas de sequía y hambruna en el siglo XIV se establecieron políticas públicas, basadas en la organización social en calpulli para la producción agrícola, realizaron construcción de infraestructura para evitar la erosión y mantener el suministro constante de agua para los cultivos y mejoras en la tecnología agrícola como la producción en chinampas y terrazas irrigadas. Por otra parte a la par se establecieron políticas estrictas para la protección de los bosques.

- En el periodo colonial.
 - El Rey Carlos:
 - a) En 1539 (Ley 16).
 - b) En 1541 (Ley 5).
 - Rey Felipe 1559 (Ley 14)
 - Virrey Antonio de Mendoza 1550 ley de prohibición.
 - Rey Carlos III, 1765.
 - Carlos IV 1803 la última y más completa ley forestal colonial.
 - 1813, las Cortes, declaró que todas las tierras con bosques o sin ellos (excepto aquellas tierras comunales que necesitaba la gente) en la península y en el Nuevo Mundo serían reducidas a propiedad privada.

Los españoles que llegaban a la Nueva España, fueron sorprendidos por una tierra de abundantes recursos naturales y sentían que podían explotarlos sin ningún esfuerzo y además con la introducción del arado y ganado, dio como resultado que naciera una nueva forma de erosión del suelo. Haciendo aún más necesario la adopción de medidas de conservación del suelo. Sin embargo sus políticas se basaron en la expansión de la frontera agrícola para la producción de cultivos y ganadería, hacia las tierras de ladera en explotación por los grupos indígenas.

- Desde la Independencia hasta la Revolución
 - Constitución 1824; 1836.
 - Desde 1839 el Gobierno de México solicitó que se protegieran los bosques, pero sin alguna ley que los sustentara.
 - 1845. Veracruz crea ley forestal.

- Constitución 1847; 1857. [propiedad privada]
- En 1861, primer Ley Nacional Forestal.
- En 1862. Baja California crea ley forestal de mejor calidad que la nacional.
- 1870, cuando la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. evaluar el estado de los bosques y dar su recomendación sobre su protección y restauración.
- 1883, Ley de Colonización. Deslinde de propiedades.
- 1894, Ley de Terrenos Baldíos. [Colonizar y cultivar terrenos]
- 1894, segunda Ley Forestal.
- 1911 Plan de Ayala [propiedad social]
- Ley del 6 de enero de 1915. [Se Legisla la Tierra como usufructo y No al Suelo como productor de alimento]
- Constitución 1917 [propiedad social].

Las políticas del gobierno durante este periodo estuvieron encaminadas a, apoyar la agricultura comercial. Los suelos con vocación agrícola, cambiaron al mercantilismo del suelo; Es decir, el dominio y el uso de los mejores suelos agrícolas, dejaron de producir para el consumo familiar, para pasar a producir en la competencia del mercado. A través de la incorporación de maquinaria que sustituyó la mano de obra, así como la introducción de fertilizantes y plaguicidas, como práctica agrícola intensiva. Cuyo fin fue cubrir las necesidades del mercado. Los lagos fueron desecados con el objeto de ampliar los suelos de cultivo y los habitantes ubicados en otros lugares. El aprovechamiento de los recursos naturales se concentró en las haciendas. La agricultura de autoconsumo continuó sin regulación gubernamental en manos de los pequeños propietarios y bajo el régimen de propiedad comunal.

- De 1930 al 2007.
 - 1946, Ley de Conservación del Suelo y Agua. [primera ley que legisló los suelos].
 - 1971 Ley Federal de Reforma Agraria.
 - 1971, Ley Federal para el Control y la Prevención de la Contaminación.

- 1976 Ley General de Asentamiento Humanos.
- 1984, Primera Ley federal de protección al ambiente.
- 1988, Ley de Distritos de Desarrollo Rural
- 1988, Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental.
- 1992, Nueva Ley Agraria.
- 1993, Modifica la Ley de Asentamientos Humanos. [ordenamiento territorial]
- 1996, Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente
- 2001, Ley de Desarrollo Rural Sustentable.
- 2003, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
- 2008, TLCAN = desregulación = efectos (-) en el campo mexicano.

La política de descentralización en la conservación de los recursos naturales por los gobiernos municipales, parece ser que llegó a definir parte del rumbo de la legislación agraria y de las constituciones que dieron vida a México, en la parte de explotación de los recursos naturales. Sin embargo la voluntad de los mexicanos sobre proteger los suelos agrícolas, toda vez que estos nos garantizan la seguridad alimentaria, se vio reflejada hasta el día 19 de junio de 1946, cuando por primera vez entro en vigencia la Ley de Conservación del Suelo y Agua, con el objeto de fomentar, proteger, y reglamentar la conservación de los recursos de suelos y aguas, básicos para la agricultura nacional, otorgándole facultades a la entonces Secretaría de Agricultura y Fomento. Mediante esta ley se creo la Dirección General de Conservación de Suelos, que funciono en el periodo de 1946 a 1996, realizando un inventario de erosión y obras de conservación de suelos en el territorio nacional. Posteriormente, mediante decreto del 30 de diciembre de 1974, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 3 de enero de 1975, la ley en comento fue modificada con motivo del decreto de reformas a la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado. Sin embargo dicha legislación no tuvo el efecto esperado [el de proteger los suelos agrícolas]. Su ejecución se desvió más hacia las actividades de la administración pública que al objeto de la propia ley. Toda vez que el mercantilismo del suelo por la competencia del mercado a

consecuencia del incremento poblacional, trajo consigo que la frontera agrícola creciera con el fin de garantizar el alimento, a través de un manejo intensivo del suelo agrícola, con maquinaria, plaguicidas y fertilizantes.

En 1984 se aprueba la Ley Federal de Protección al Ambiente, donde se incluye por primera vez el ordenamiento ecológico y se le reconoce como un instrumento básico de la planeación, pero el suelo y su uso no se legisló. Sino hasta 1988 cuando se crea la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y siendo hasta 1996 que abrogó la ley de Conservación de Suelos y del Agua. Esta Ley solo establece los criterios y las políticas generales que regulan el uso del suelo, con el fin de preservar y restaurar el equilibrio ecológico. En su artículo 98, establece los principios generales para la regulación del uso del suelo y señala que el uso del suelo debe ser compatible con su vocación natural, de manera de no alterar su integridad física y su capacidad productiva; evitar prácticas que favorezcan la erosión del suelo, la degradación o cualquier impacto negativo al ambiente. Principios que deben ser considerados por el gobierno federal cuando emprenda programas de apoyo para las actividades agropecuarias, incluidos la inversión, el financiamiento y la asistencia técnica. Sin embargo no regula el uso y manejo sustentable de los suelos, por lo cual en el año del 2001 se expidió la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, que tiene como fin el promover el desarrollo rural sustentable en los suelos agrícolas del país y propiciar un medio ambiente adecuado. Los sujetos regulados bajo esta ley son los ejidos, las comunidades, las asociaciones del medio rural, y las personas físicas o morales que realicen actividades en el medio rural.

Las legislaciones también crearon Instituciones Públicas que intentaron e intentan regular y planificar el suelo, las cuales fueron:

- I. SRH- Dirección de Conservación de suelos y aguas: 1946.
- II. SEDUE. 1982.
- III. SARH- Dirección General de Conservación de suelos y aguas: 1983.
- IV. SEMARNAP-Dirección General de Restauración y Conservación de suelos (DGRCS):1995-2000

V. CONAFOR -Dirección de Suelos Forestales.

VI. SEMARNAT- La Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables: 2001-2006 [Reg. Inter. Art. 23]

El gobierno ha desarrollado diversos programas que inciden sobre la conservación y la rehabilitación de los suelos. Estos programas se encuentran bajo la responsabilidad de distintas instituciones y están orientados hacia el desarrollo productivo de las regiones afectadas por diversos procesos de degradación derivadas de una explotación inadecuada, promoviendo la adopción de prácticas sustentables y mejoras en la infraestructura que permitan un mejor desarrollo rural. De estas, solo la dirección general de conservación de suelos y aguas realizaron obras de conservación de suelos, y a partir de 1982 la actividad fundamental ha sido hacia la restauración de áreas degradadas y obras de conservación de suelos a través de organismos públicos desconcentrados como CONAZA, PIASRE, y Gobiernos de los Estados.

La superficie atendida por los programas institucionales han considerado una superficie considerablemente menor, no han sido eficientes en sus objetivos, toda vez que no existe la guía normativa.

A partir del 2000, la CONAFOR que tiene a su cargo el inventario de suelos, tiene como mandato el inventario de suelos forestales, y la dirección general del sector primario se encarga de autorizar cambios de uso del suelo.

El uso y funcionalidad del suelo en México se ha visto: como el sustento de actividades productivas; como hábitat de organismo; como destino de uso urbano; y como captador y filtrador de agua y recarga de mantos acuíferos. Sin embargo, actualmente en el sistema jurídico mexicano, no se define al suelo genéricamente, ni al suelo agrícola de forma directa. La única ley que lo define indirectamente es la LGEEPA, a través de la definición de recurso natural en su artículo 3 fracción XXIX, que a la letra dice: "Elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre". Concepto que no define al suelo, y tampoco su objeto [seguridad alimentaria].

Este proceso legislativo histórico y actual, traen como consecuencia la ineficiencia de las políticas públicas en materia de suelos; Es decir, todas las legislaciones se inclinaron hacia el área de bosques, dejando en total incertidumbre jurídica la cuestión de los suelos agrícolas. Donde además su regulación de forma indirecta se le encargó a SEMARNAT y organismo desconcentrados, cuyas políticas son en materia de conservación, aprovechamiento sustentable y restauración. Políticas que no pueden aplicarse a los suelos agrícolas, toda vez que estos suelos se les debe: de proteger contra cualquier cambio de uso que no sea el agrícola, de mantener su existencia a través del inventario, de mantener su productividad y producción en alimentos, y de determinar su uso y manejo sustentable, todos estos objetos con el fin de garantizar la seguridad alimentaria en la nación y garantizar el derecho al alimento como derecho humano de los ciudadanos mexicanos.

Políticas y objetivos que existen, pero en SAGARPA, a través de las políticas de rentabilidad, productividad, seguridad alimentaria, abasto, etc. Pero su legislación no regula directa e indirectamente los suelos agrícolas.

Durante los últimos 15 años, los legisladores han intentado crear normas con rango de ley, con el fin de regular la conservación y preservar el uso de los suelos. Iniciativas que han caído en el vicio de regular los forestales y no el hecho social a legislar, que son los suelos agrícolas, porque los forestales y urbanos ya están regulados, además contenían un sin número de errores técnicos legales para determinar las competencias entre los tres órdenes de gobierno:

a) El 25 de octubre de 1984 el C. Diputado Andrés Cázares Camacho, presentó la iniciativa de Ley de Conservación y Mejoramiento del Suelo, argumentando “Que desde que se creó la Ley de Conservación de Suelo y Agua en 1946, y su modificación en 1970, dentro de 39 años del decreto, aún no existía un reglamento de la Ley de Conservación del Suelo y el Agua, y que además se reformó en su totalidad. Además señaló ¿Qué tienen los holandeses que nosotros no tengamos? Ellos, desde 1200 a 1984 le han conquistado al mar 460 mil hectáreas. La materia orgánica es

indispensable para la producción de todo tipo de alimentos: pero se necesitan 200 años de bosque virgen para producir una capa de tierra vegetal, químicamente transformada, de un centímetro de espesor. Lo que si se sigue regulando es el agua y no el suelo agrícola, luego entonces es necesario reforzar el objetivo de producir más y mejores alimentos para la población mexicana”. Si embargo no fue aprobada por la Cámara de Diputados.

b) El 13 de diciembre del 2002 el Senador Víctor Manuel Torres Herrera, presentó ante el Senado la iniciativa de Ley de Uso y Conservación del Suelo, con el objeto de regular todo tipo de suelo y su uso. Argumentando dos objetivos primordiales: la necesidad de regular el uso, conservación y restauración de todos los tipos de suelo, asimismo la creación de un Consejo Nacional de Suelos para la ejecución de la ley. Objetivos que fueron rechazados por las diversas comisiones, toda vez que en el primer objetivo no se tomo en consideración la existencia de otros instrumentos de la política ambiental que se encuentran vigentes; y sobre el segundo objetivo, no se lograba definir la naturaleza jurídica y las reglas claras para su conformación, resultando indefinidas, se determinó que dicha iniciativa resultaba inviable.

c) El 23 de octubre del 2003, con el fin de instrumentar las disposiciones del Tratado Internacional contenido en la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y enfrentar de manera eficaz y realista el problema de mantener y mejorar la base productiva y de servicios ambientales del país, con un enfoque que apostara a la participación de los ciudadanos, los Diputados Antonio Mejía Haro y Pascual Sigala Páez a nombre del grupo parlamentario del Partido de la Revolución Democrática (PRD), presentaron la iniciativa de la Ley para la Restauración y Conservación de Tierras ante la Cámara de Diputados, la que fue aprobada el día 26 de abril del 2005 y turnada a la Cámara de Senadores.

Dicha iniciativa de ley busca reformar, adicionar y derogar diversas disposiciones de las Leyes Generales de Desarrollo Forestal Sustentable y del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Además su objeto es el de regular solo las tierras frágiles, la

restauración de las mismas, implantar los mecanismos de lucha contra la desertificación y crear una Comisión Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales. Sin embargo, después del estudio realizado por el Senado, las diversas comisiones dictaminaron, que la iniciativa no contempló establecer un sistema de competencias entre los tres órdenes de gobierno, ya que la ley tiene el calificativo de “Ley General”. Así también se llegó a definir que existe una invasión de aplicación material de la Ley de Asentamientos Humanos y la LGEEPA, y objetivos que actualmente son declarados inconstitucionales por la Suprema Corte de Justicia de la Nación.

De igual manera señalaron que resulta improcedente la iniciativa, por una serie de incongruencias en el uso de términos y definiciones, que trascienden en perjuicio de la claridad del ordenamiento jurídico mexicano, constituyendo un problema de técnica legislativa y a la postre ocasionar incongruencias en el sistema jurídico nacional. Las consideraciones anteriores determinaron desechar la Minuta con Proyecto de Ley para la Conservación y Restauración de Tierras, el día 25 de abril del 2006.

d) El 9 de noviembre del 2006, los Senadores Antonio Mejía Haro, Heladio Elías Ramírez López, Alejandro González Yáñez, Dante Delgado Rannauro, Arturo Escobar y Vega, Rafael Ochoa Guzmán, Claudia Corichi García, Silvano Aureoles Conejo, Francisco Javier Obregón Espinoza y Rubén Fernando Velázquez López, volvieron a presentar la misma Ley General de Conservación y Restauración de Tierras ante la Cámara de Senadores. Mencionaron haber corregido los puntos señalados en el dictamen, haciendo una explicación más a fondo del problema de los suelos en el territorio.

Sin embargo, después de haber realizado un estudio más detallado de la ley, por el suscrito, se encontró lo siguiente:

I. Se cumplió con lo previsto de establecer un sistema de competencias entre los tres órdenes de gobierno;

II. Continuó la iniciativa con los problemas de incongruencia en el uso de términos y definiciones, constituyendo un problema de técnica legislativa y a la postre el riesgo de ocasionar incongruencias en el sistema jurídico nacional;

III. La iniciativa continúa con la creación de un padrón de proveedores, los cuales fueron declarados inconstitucionales por la Suprema Corte de Justicia de la Nación;

IV. La iniciativa se sigue enfocando solo a los suelos frágiles y su restauración. Situación que prevé un egreso alto;

V. La iniciativa determina que la Secretaria competente será SEMARNAT, y que las acciones de coordinación y lucha contra la desertificación, se llevarán a cabo, a través de los Distritos de Desarrollo Rural Sustentable, que dependen de SAGARPA. Esto es, se faculta a SEMARNAT para la ejecución de estas acciones, pero utilizando órganos públicos e instrumentos jurídicos previstos en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, de la cual cuya ejecución esta encargada SAGARPA.

Este problema conlleva al conflicto entre conservación y uso de los suelos, dos políticas diversas, y que para los suelos agrícolas sólo es la segunda a través de SAGARPA. Además, se demuestra que la presente iniciativa se enfoca a suelos forestales y no a suelos agrícolas.

En la actualidad son las únicas iniciativas que han intentado regular el hecho social a legislar, pero siempre con un enfoque forestal, olvidando el tema principal de seguridad alimentaria y derecho al alimento como derecho humano, a través de la protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas.

Esta incertidumbre jurídica también es a consecuencia de las tantas formas en que nuestro sistema jurídico ha interpretado al suelo indirectamente. Como dominio territorial, como propiedad privada o pública, como tierra productiva, como superficie

para uso urbano, como elemento físico, biológico y químico que soporta a las plantas y animales, como recurso natural renovable, etc., relacionando las leyes con las facultades de las instituciones públicas, se concluye que las políticas sobre conservación y uso productivo están opuestas.

Actualmente los efectos de la degradación del suelo y su impacto en la producción de alimentos, no son considerados como una amenaza para la seguridad nacional, sin embargo a futuro se prevé que afectaran áreas vitales, como son la seguridad alimentaria, el suministro de alimento, el desarrollo económico, el bienestar de la población. Estos problemas ocasionaran pérdidas económicas más altas que las correspondientes a prácticas de protección y conservación requeridas por los suelos agrícolas.

En el informe World Development Report 2008, se espera que la demanda de alimento se duplique en los próximos 50 años, mientras que los recursos que sostienen a la agricultura serán más escasos, degradados y vulnerables a los efectos del cambio climático. México enfrenta una situación crítica en la cual se deben buscar las mejores estrategias para apoyar la agricultura y/o manejar la transición masiva de las poblaciones rurales fuera de las actividades agrícolas.

El principal tipo de legislación para proteger y conservar los suelos agrícolas, y reactivar la economía en beneficio a los sectores más pobres y detener la degradación, es a través de la creación de una Ley General del Uso de Suelo Agrícola, con la creación de una institución dedicada a esta actividad. El suelo agrícola estaría definido como un almacén de agua y nutrientes necesarios para el desarrollo óptimo de los cultivos y las medidas necesarias para su manejo sustentable y la restauración de los suelos agrícolas degradados para mantenerlos bajo producción económica, lo cual permitirá intensificar la agricultura cultivando los mejores suelos con prácticas adecuadas de manejo para obtener rendimientos óptimos sustentables. Mediante esta iniciativa de Ley, se podrán unificar los principios rectores del suelo agrícola a efecto de introducir

normas con rango de ley para su protección, uso y manejo sustentable, buscando la seguridad alimentaria de la nación.

Esta Ley, nace del análisis de la problemática planteada anteriormente con relación a la degradación del suelo agrícola, y como una necesidad jurídica que atienda integralmente los problemas causados por las diferentes actividades productivas de la sociedad. Asimismo, es propósito de esta ley, definir al suelo agrícola como el recurso básico, limitado y vital, para el crecimiento y desarrollo ordenado y sustentable, para cubrir las demandas actuales y futuras del alimento.

El contenido genérico de los cuatro títulos que comprenden la presente Ley son:

El título primero determina las disposiciones generales, sobre la naturaleza jurídica, los intereses protectores de la nación, el objeto, los sujetos y conceptos rectores unificados para atender las demandas actuales de los suelos agrícolas. Definiendo el marco legal de protección del suelo agrícola, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria y el derecho al alimento como derecho humano.

El título segundo versa sobre las acciones públicas de protección, uso y manejo sustentable; el uso del agua y ley supletoria; los derechos y obligaciones de los sujetos que interactúan con los suelos agrícolas; y el apoyo técnico hacia los sujetos, con el fin de establecer el uso y manejo sustentable.

El título tres define los alcances de coordinación y competencias entre los tres órdenes de gobierno. Así como la administración del recurso con la creación y atribuciones del órgano rector (SAGARPA).

El título cuarto señala, las infracciones, sanciones y procedimientos administrativos y jurisdiccionales para la administración de justicia nacional.

“Facultad del diputado”

Compañeras y compañeros:

En tal virtud y en uso de las facultades que me conceden los Artículos 71, fracción II y 72 y de conformidad con el artículo 55 del Reglamento para el Gobierno Interior del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos el Suscrito Diputado somete a la consideración del pleno el siguiente:

PROYECTO DE
LEY GENERAL DEL USO DEL SUELO AGRÍCOLA

TITULO I
Disposiciones Generales

CAPITULO I
Naturaleza Jurídica

ARTICULO 1. Es voluntad del pueblo mexicano responder las demandas del suelo agrícola, en materia de: Seguridad y Soberanía Alimentaria, incrementando la productividad de los suelos agrícolas; y evitando su degradación. A través de los principios definidos en los artículos 4 párrafo IV; 25 párrafo VI; 26; 27 párrafo tercero; y 115 fracción V. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Las disposiciones de esta ley son de interés social y de observancia general. Para todo lo no previsto en esta ley se consideran como supletorias, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y Ley de Aguas Nacionales.

ARTÍCULO 2. Se declara del Interés Social las acciones públicas y privadas sobre:

- I. La Seguridad y Soberanía Alimentaria, como principio rector de la Nación;
- II. El Derecho al Alimento, como Derecho Humano de los mexicanos, previsto en la Declaración Universal de los Derechos Humanos de 1948, y la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas del 2000.

ARTICULO 3. Se declaran de Utilidad Pública:

- I. Las acciones de protección, conservación, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas del territorio nacional, con el fin de garantizar los principios de Seguridad y Soberanía Alimentaria en la Nación;
- II. La prevención en la degradación y disminución de su productividad a consecuencia de factores humanos y naturales;
- III. El uso sustentable del agua en el desarrollo productivo de los suelos agrícolas.

ARTÍCULO 4. Son sujetos de esta Ley, los ejidos, comunidades, organizaciones o asociaciones de carácter nacional, estatal, regional, distrital, municipal o comunitario de productores del sector rural, que se constituyan o estén constituidas de conformidad con las leyes vigentes y, en general, toda persona física o moral que de manera individual o colectiva, realice preponderantemente actividades con vocación agrícola.

ARTÍCULO 5. La sustentabilidad como eje rector en el fomento a las actividades productivas del sector agrícola, con el fin de lograr el uso racional, preservación y mejoramiento de los recursos naturales, la presente ley tiene por objeto:

- I. Crear el sistema nacional de protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas y uso del agua, a través de las dependencias competentes;
- II. Regular y proteger los suelos agrícolas del territorio nacional, en contra de cualquier obra pública o privada, uso o vocación distinta a la agrícola;
- III. Regular el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, con el fin mantener, promover e incrementar su productividad y producción.
- IV. Combatir los procesos de degradación y disminución productiva de los suelos agrícolas y fomentar su manejo sustentable, con el fin de mantener su calidad y cantidad en beneficio de la población mexicana;
- V. Distribuir las competencias entre la federación, los estados y municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX - G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y definir los términos de la coordinación entre las autoridades federales, estatales y municipales en la protección y manejo sustentable de los suelos agrícolas del territorio nacional.
- VI. Realizar el inventario nacional de suelos agrícolas;
- VII. Planificar el uso sustentable de los suelos agrícolas, a través del inventario respectivo y la coordinación entre los gobiernos federales, estatales y municipales;
- VIII. Orientar el fomento agrícola, a través de la protección, uso y manejo de los suelos agrícolas, en correlación a la Ley de Desarrollo Rural Sustentable;

- IX. Establecer los criterios para los cambios de uso de suelo agrícola, manteniendo el inventario de suelos agrícolas necesarios para conseguir seguridad y soberanía alimentaria;
- X. Lograr la eficiencia en el uso sustentable del agua para el mantenimiento productivo de los suelos agrícolas.
- XI. Fomentar el manejo sustentable de los suelos agrícolas, como forma de lograr convergencia entre los objetivos de la producción agrícola y la conservación de los recursos suelo y agua;
- XII. Hacer esfuerzos intensivos para conservar y promover la fertilidad y formación de suelos agrícolas;
- XIII. Promover la educación, investigación, capacitación y programas de prevención relacionados con el uso del suelo agrícola;

ARTÍCULO 6. Para la aplicación de esta ley, se entenderá por:

- I. Ley: La ley general del uso del suelo agrícola. Y se entiende por Ley General: La expresión de la voluntad de los mexicanos en orden al fin común, expresión que se enuncia por los actos emanados de la representación nacional.
- II. Suelo: Parte superficial de la corteza terrestre localizada en la interfase de la litosfera, biosfera, hidrosfera y atmósfera. Es una mezcla de componentes físicos, químicos y biológicos, que permiten el desarrollo de sistemas ecológicos terrestres. El suelo desarrolla diversas funciones, como: reciclado de nutrientes, es parte del ciclo de carbono y del agua. Es también un elemento esencial para la producción de alimentos a través de la agricultura. Su capacidad de renovable depende de la inducción del individuo a través del uso y manejo sustentable.
 - I. Suelo agrícola: Suelos actualmente destinados bajo producción agrícola;
 - II. Suelo agrícola en áreas peri urbanas: Suelo ubicado en las inmediaciones de las áreas urbanas, y que deberán estar sujetos a regulaciones preferenciales por los tres ordenes de gobierno, para garantizar y mantener su capacidad y calidad productiva;
 - III. Suelo compactado: Aquél que con un alto grado de humedad es sometido a un exceso de presión.

- IV. Vocación agrícola: Voluntad del pueblo mexicano, para cultivar los suelos agrícolas con el fin de producir alimento a la Nación, y garantizar la seguridad alimentaria;
- V. Capacidad de uso del suelo agrícola: Es el grado óptimo de aprovechamiento que posee un área de suelo determinada, con base en la clasificación de sus limitantes para producir cultivos en forma sostenida y por períodos prolongados.
- VI. Calidad del suelo agrícola: Función dentro del uso del suelo, para sostener la productividad biológica manteniendo una calidad ambiental y promoviendo una salud humana, animal y de plantas;
- VII. Uso sustentable de los suelos agrícolas: Uso de los componentes del suelo, que mantengan una tasa de productividad y producción a largo plazo, para preservar o mejorar su calidad. Manteniendo su potencial que reúne las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes y futuras;
- VIII. Fertilidad del Suelo: La capacidad de un suelo para alimentar a las plantas dependiendo del suministro de nutrientes y el volumen de agua disponible para el desarrollo de cultivo, la fertilidad del suelo esta afectada por las diferentes formas de uso del suelo y sus prácticas de manejo;
- IX. Tierra Parcelada: Superficie o área delimitada en sus cuatro vértices, que corresponde a los ejidatarios el derecho de aprovechamiento, uso y usufructo. De acuerdo a lo estipulado en la Ley Agraria.
- X. Terreno agrícola: Superficie o área con uso agrícola, delimitada en sus cuatro vértices, que corresponde a individuos cuya titularidad se verificará sobre derechos reales o personales. De acuerdo a los estipulados por las leyes Civiles.
- XI. Contratos de Aprovechamiento de Tierras: Acuerdo de voluntades entre la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, fungiendo como Gobierno Federal por una lado y por el otro los sujetos descritos en el artículo 4 de esta ley. Con el objeto de que el Gobierno Federal se obliga a otorgarles gratuitamente a los sujetos: Asistencia técnica integral sobre el uso, manejo sustentable e incremento en la productividad de los suelos agrícolas. A través de la gestión de apoyos directos, previstos en el Programa Especial Concurrente y programas disponibles en la materia. A cambio de la cual los

sujetos y de acuerdo a su capacidad técnica y económica, se obligan a ejecutar los programas del sistema nacional de protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas y uso del agua.

- XII. Degradación de suelos agrícolas: Procesos desencadenados por las actividades humanas o naturales: En los primeros se encuentra la contaminación con productos agroquímicos de lenta descomposición o elementos pesados, el deterioro de la estructura, compactación, sedimentación y otras formas de degradación; Por los segundos se entienden los procesos tales como erosión hídrica y eólica, salinización, anegamiento, agotamiento de los elementos nutritivos para las plantas. Procesos que agotan las características químicas, físicas y biológicas, así como la disminución en la producción de alimentos e inventario de suelos.
- XIII. Agricultura de Conservación: Actividades tendientes al uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, buscando incrementar la capacidad productiva y de producción, con el fin de satisfacer las necesidades de la población, evitando, reduciendo y controlando las prácticas y procesos mediante los cuales ellas se degradan, por medio del uso de tecnologías capaces de cumplir con estos objetivos y adaptadas a los sistemas de producción locales.
- XIV. Secretaria: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación;
- XV. Arar: Remover la tierra haciendo surcos a una determinada profundidad.
- XVI. Suelo agrícola con pendiente: Aquél con una inclinación media del terreno superior al 10%.
- XVII. Suelo agrícola irregular: Aquél cuya forma impide el normal laboreo con medios mecánicos.
- XVIII. Terrazas de retención: Los ribazos perpendiculares a la pendiente que tienen como función el control de las escorrentías para proteger el suelo de la erosión.
- XIX. Vegetación espontánea: Aquellas especies vegetales que se propagan fácilmente y cuya presencia puede poner en peligro los cultivos o los barbechos.
- XX. Restauración de suelos agrícolas: Aplicación de un conjunto de prácticas para restituir y mejorar la capacidad productiva.

- XXI. Modificación importante de las estructuras del suelo agrícola: Aquellas acciones que originan cambios en los elementos de la capa vegetal y en la conformación de parcelas.
- XXII. Refinado de tierras: Aquellas operaciones necesarias que se realizan para un uso eficiente del agua en aquellas zonas de regadío en que no es posible aplicar sistemas de riego por aspersión o riego localizado o, en las que siendo posible, todavía no se ha llevado a cabo el cambio del sistema. Estas operaciones se realizan en superficies que usan el método de riego de lámina, manta o inundación.

ARTICULO 7. Todo lo relativo en esta ley sobre suelos agrícolas, así como su uso y manejo sustentable, se aplicará en los mismos términos a las tierras, tierras parceladas, terrenos agrícolas o a cualquier superficie o bien inmueble con uso agrícola. Con el fin de no generar contradicciones legislativas y fomentar su aplicación eficiente y eficaz, y responder a la realidad social que se demanda.

TITULO II Del Suelo Agrícola

CAPÍTULO I De las acciones de Protección, Uso y Manejo Sustentable del Suelo Agrícola.

ARTÍCULO 8. Se declara que los suelos agrícolas que se encuentran bajo producción, al momento de la expedición de esta ley, constituyen el activo de mayor importancia patrimonial y productiva para el sector agrícola. Por lo cual no podrán ser usados con fines de urbanización u otra vocación que sea distinta a la agrícola.

ARTICULO 9. El cambio del uso de suelos agrícolas a otra vocación u obra pública por causa de utilidad pública o necesidad económica social, obligará la restitución inmediata por parte del Estado de otros suelos agrícolas, tomando en consideración la capacidad

y calidad en la producción de alimentos de los suelos que fueron afectados por el cambio de uso. Con el fin garantizar la seguridad y soberanía alimentaria en la Nación. La restitución estará a cargo del Gobierno que haya aceptado o realizado el cambio de uso del suelo agrícola para otro fin que no sea agrícola.

ARTÍCULO 10. Con el fin de proteger, conservar y aumentar la fertilidad, productividad y producción de los suelos agrícolas, se adoptaran las medidas siguientes:

- I. Como práctica general, los restos de cosecha deberán ser incorporados en el suelo mediante labores de triturado y arada superficial para facilitar la descomposición de la materia orgánica.
- II. La conservación de la vegetación residual de las plantas cosechadas y la siembra directa deberán practicarse, cuando las condiciones lo permitan, a fin de contrarrestar la llamada erosión hídrica y eólica.
- III. Se prohíbe a cualquier sujeto la quema de rastrojos, excepto en aquellos casos en que las autoridades competentes la autoricen por motivos fitosanitarios, o por la necesidad de disponer de suelos libres de restos de cosecha, o por razones agronómicas para llevar a cabo labores singulares y específicas. En estos tres casos, el sujeto deberá presentar la solicitud al Consejo Municipal para el Desarrollo Rural Sustentable competente en base al territorio, indicando las causas agronómicas que aconseja la quema.

ARTÍCULO 11. Con el fin de mejorar las prácticas agronómicas para mejorar la fertilidad del suelo agrícola, se tomaran en cuenta las prácticas siguientes:

- I. Uso de fertilizantes químicos y biológicos, así como de herbicidas, reglamentados por las normas oficiales mexicanas o normas mexicanas;
- II. Rotación de cultivos;
- III. Incorporación de materia orgánica o cobertera vegetal;
- IV. Asociación de especies; y
- V. Uso de leguminosas.

ARTICULO 12. Con el fin de mantener la estructura de los suelos agrícola, se realizarán labores de reconstrucción, si por causas humanas o naturales se ha producido deterioro. Así mismo en condiciones normales, se permitirá en el regadío realizar operaciones de nivelado y refinado, siempre que estas labores persigan los objetivos de mejorar la capa vegetal y mayor eficiencia en el uso del agua.

CAPITULO II

Del Uso del Agua en la Productividad de los Suelos Agrícolas

ARTICULO 13. Siempre que sea posible, deberán implantarse sistemas y métodos de riego que permitan un ahorro significativo de agua. Cuando las condiciones de suelo y cultivo lo permitan se optará por el sistema de riego localizado. El riego por aspersión se instalará en aquellos sistemas en que la cota de las conducciones generales y el acceso a energía eléctrica lo permitan, debiendo aplicarse, cuando sea posible, el riego nocturno en los meses de mayor riesgo de evaporación por insolación. En las zonas en las que no sea viable, ni técnica ni económicamente, la implantación de los sistemas anteriores y el sujeto este obligado a la utilización del riego a lámina, se deberá realizar el refinado y se procurará un caudal de agua adecuado a la capacidad de la parcela.

ARTICULO 14. A través de la implantación de los sistemas y métodos de riego, previstos en el artículo anterior, y de los Distritos de Riego y Distritos de Temporal Tecnificado, se planificará el uso sustentable del agua en la productividad y producción de los suelos agrícolas. Con el fin de garantizar la Reconversión Productiva Sustentable, con la coordinación de las autoridades competentes en la regulación del uso del agua, en sus tres órdenes de gobierno.

ARTICULO 15. Las autoridades competentes en sus tres órdenes de gobierno, realizarán los estudios agronómicos de sus regiones, tomando en cuenta la capacidad y calidad de los suelos agrícolas, condiciones de drenaje, el clima y el tipo de cultivo, con el fin de determinar las técnicas de conservación racional del uso de agua.

CAPITULO III

De los Derechos y Obligaciones de los Sujetos

ARTICULO 16. Todo propietario o poseedor de una tierra parcelada, terreno agrícola o suelo agrícola, está obligado a tenerlo deslindado, amojonado y cercarse por su límite y frente a caminos públicos. Respetando las servidumbres que tenga constituidas a favor de los otros predios y efectuar el trabajo de manera que no perjudique el tránsito público y el desagüe natural de los suelos agrícolas.

ARTÍCULO 17. El nuevo sistema nacional de protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas y del agua, obliga a los sujetos a cumplir con las disposiciones legales de esta ley, en materia de seguridad alimentaria, además de buenas condiciones medioambientales. Luego entonces son obligaciones de los propietarios o poseedores de suelos agrícolas del Territorio Nacional, las siguientes:

- I. Denunciar:
 - a) La existencia de algún tipo de degradación manifiesta de sus suelos agrícolas;
 - b) El uso y manejo no sustentable, que ocasione daños al ecosistema o contamine los suelos agrícolas a través de cualquier medio;
 - c) Denunciar los cambios ilegales del uso de suelos agrícolas a urbano, toda vez que el uso agrícola tiene prioridad en el desarrollo social y económico de los mexicanos. Y su protección, uso y conservación es de utilidad pública;
- II. Cumplir con las obligaciones previstas en los contratos de aprovechamiento sustentable de tierras. En caso contrario se les exigirá el cumplimiento o rescisión del mismo a través de los procedimientos administrativos o tribunales competentes, extinguiéndoseles sus prerrogativas hacia los apoyos directos;
- III. Ejecutar los planes oficiales de prevención y lucha contra la degradación;
- IV. Realizar en su suelos agrícolas los trabajos necesarios de lucha contra la degradación por salinización tendientes a evitar daños a terceros;
- V. Conservar al suelo agrícola manteniendo su capacidad fértil a través de un manejo sustentable de producción agrícola, con el fin de no incrementar el riesgo

- de degradación, erosión, inundación, contaminación y evitando cualquier otra perturbación medioambiental;
- VI. Permitir la restauración de la vegetación en toda la superficie del suelo, que hayan perdido como consecuencia de un incendio, desastre natural o acción humana no autorizada, en los plazos determinados por la autoridad competente, y en coordinación con la misma;
 - VII. Seleccionar las técnicas y cultivos que garanticen la conservación e incremento de la productividad y producción;
 - VIII. Supervisar sus siembras y la aplicación en los cultivos de los agroquímicos que estén autorizados por las normas oficiales mexicanas o normas mexicanas, con objeto de evitar la contaminación de residuos tóxicos de difícil degradación, hacia los suelos agrícolas y mantos freáticos, que ponga en riesgo la salud humana y animal. Con perjuicio de lo que dispongan las demás leyes o reglamentos sobre el uso y comercialización de agroquímicos;
 - IX. Lograr un uso sostenible del uso de plaguicidas, destinados a reducir el efecto de esas sustancias sobre la salud humana y el medio ambiente garantizando la protección necesaria de los cultivos.
 - X. Queda absolutamente prohibido realizar cualquier tipo de obra, construcción o instalación que de algún modo dañe, cierre, obstruya o desvíe en forma directa o indirecta un camino público o el tránsito público;
 - XI. Permitir en cualquier momento, la vigilancia y verificación por parte del Consejos Municipal de Desarrollo Rural Sustentable, de sus suelos agrícolas. Con el fin de certificar el cumplimiento de las obligaciones pactadas en los contratos de aprovechamiento sustentable de tierras.

ARTICULO 18. Con el fin de sostener la reconversión productiva sustentable, en términos de los programas nacionales sobre el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, la incorporación de tecnología, mantenimiento del inventario nacional y procesos que contribuyan a la seguridad alimentaria; la presente ley otorga a los sujetos, los siguientes derechos:

- I. Celebrar con el gobierno federal, a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, contratos de aprovechamiento sustentable de tierras, regulado en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y aplicándose todos sus elementos de existencia como de validez hacia los sujetos de esta ley y a los suelos agrícolas. Con el fin de proteger, mantener e incrementar su productividad, a través de apoyos directos e inversiones complementarias a favor de los sujetos, previstos en el Programa Especial Concurrente y programas disponibles en la materia;
- II. Reorientar el uso de los suelos agrícolas, cuando existan altos niveles de degradación, ya sea naturales o humanos, en coordinación con el consejo municipal de desarrollo rural sustentable o la autoridad competente más cercana a la ubicación de los suelos;

ARTICULO 19. Los contratos de aprovechamiento sustentable de tierras, reconocerán los derechos patrimoniales, de uso y usufructo que tienen los sujetos sobre sus suelos agrícolas.

CAPÍTULO IV Del Apoyo Técnico

ARTICULO 20. A través del Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable y el Sistema Nacional de Capacitación y Asistencia Técnica Rural Integral, la Secretaría determinará los procedimientos de capacitación, evaluación, certificación, servicios técnicos y aplicación de tecnología, sobre el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, de acuerdo a lo previsto por las leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas. Procedimientos que se estipularan en los clausulados de los contratos de aprovechamiento sustentable de tierras.

ARTICULO 22. El Gobierno Federal, a su vez, cubrirá el pago convenido por los servicios establecidos en los contratos de aprovechamiento sustentable de tierras,

evaluará los resultados y solicitará al Congreso de la Unión la autorización de los recursos presupuestales indispensables para su ejecución.

ARTICULO 23. Los Contratos se formalizarán a través de cualquier fedatario público e inscribirse en el Registro Nacional de Contratos de Aprovechamiento Sustentable de Tierras.

ARTICULO 24. La Secretaría a través del Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias, realizará convenios con las instituciones educativas e investigación públicas, para que ellas ejecuten la capacitación, asistencia técnica y transferencia de tecnología con todos lo usufructuarios, posesionarios o propietarios de suelos agrícolas del territorio nacional, asistencia prevista en los contrato de aprovechamiento sustentable de tierras.

ARTICULO 25. La Dirección General de Fomento a la Agricultura, coadyuvará en la emisión de lineamientos para determinar las prácticas de uso y manejo sustentable de suelos agrícolas y construcción de obras de riego, desarrolladas y comprobadas en un área determinada. Asimismo divulgará los beneficios en primer lugar hacia aquellas zonas agrícolas que cuenten con características semejantes.

TÍTULO III De las Autoridades

CAPITULO I Competencia.

ARTÍCULO 26. Es obligación de los tres órdenes de gobierno, dentro de sus territorios, fomentar el uso sustentable de sus suelos agrícolas y el agua, de la forma más pertinente de acuerdo con sus características y potencial productivo.

ARTICULO 27. La Federación, las Entidades Federativas, el Distrito Federal y los Municipios ejercerán sus facultades en materia de protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, con el fin de garantizar los principios de Seguridad y Soberanía Alimentaria en la Nación, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales.

ARTÍCULO 28. Las atribuciones que esta Ley otorga a la Federación, serán ejercidas por el Poder Ejecutivo Federal a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, misma que tiene la titularidad de garantizar la Seguridad y Soberanía Alimentaria en la Nación. Y cuando, por razón de la materia y de conformidad con la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal u otras disposiciones legales aplicables, se requiera de la intervención de otras dependencias, la Secretaría ejercerá sus atribuciones en coordinación con las mismas, y en coordinación con los gobiernos Estatales y Municipales, y demás leyes generales y federales y reglamentos en la materia.

ARTÍCULO 29. Son atribuciones de la Federación:

- I. Formular y conducir la política nacional en materia protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas;
- II. Formular el sistema nacional sobre la protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, en coordinación con las instituciones de investigación, organismos no gubernamentales y las Entidades Federativas, Distrito Federal y Municipios. Orientado sobre los lineamientos y normas estratégicas, metodologías, técnicas regionales y locales, apoyadas en criterios basados en la información de los estudios básicos de suelos agrícolas y su evaluación, además de los criterios generados a través de las experiencias de prácticas locales. Publicado éste tendrá el carácter de obligatorio.
- III. Diseñar y celebrar contratos de aprovechamiento sustentable de tierras a favor de los sujetos señalados en esta ley;
- IV. Crear el Registro Nacional de Contratos de Aprovechamiento Sustentable de Tierras;

- V. En coordinación con los tres órdenes de gobierno, crear y ejecutar los programas del sistema nacional de protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, y de manera prioritaria Impulsará la modernización y tecnificación de la infraestructura hidroagrícola, con el fin de mantener e incrementar la capacidad productiva de los suelos y la racionalización del uso del agua. Asimismo crear los reglamentos necesarios en la materia;
- VI. La planeación de los suelos agrícolas del territorio nacional, en coordinación con los tres órdenes de gobierno;
- VII. Coordinarse con la Comisión Nacional del Agua, para determinar el uso sustentable del agua en la productividad de los suelos agrícolas;
- VIII. Periódicamente realizar y evaluar la efectividad de los programas del sistema nacional del uso y manejo sustentable de suelos agrícolas y los problemas más importantes de la degradación;
- IX. Realizar el inventario de suelos agrícolas, en coordinación con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, a través de la coordinación de autoridades Federales, estatales y municipales, con el fin de:
 - a) Ordenar y Clasificar los suelos agrícolas, clasificándolos por calidades, de acuerdo a su capacidad productiva y de producción en alimentos;
 - b) Determinar las condiciones de resistencia, residencia en tiempo, productividad, resiliencia; capacidad de respuesta a cambios, flexibilidad para cambiar de uso y la sustentabilidad;
 - c) Determinar las Unidades de Producción a través del establecimiento de las áreas geográficas, ecológicas y fisiográficas aptas para la difusión y desarrollo de cultivos.
 - d) Definir los criterios sobre la degradación y desertificación de suelos agrícolas a consecuencia de factores humanos y naturales;
- X. La expedición de las normas oficiales mexicanas y la vigilancia de su cumplimiento en las materias previstas en esta Ley;
- XI. Promover el uso de prácticas, métodos y tecnologías que conlleven a un manejo sustentable de los suelos agrícolas;

- XII. Celebrar acuerdos nacionales e internacionales de coordinación, cooperación y concertación en la materia;
- XIII. Promover y desarrollar la inversión, hacia el mejoramiento de la infraestructura para el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas;
- XIV. Proporcionar apoyos tecnológicos y humanos a los Distritos de Desarrollo Rural Sustentable, con el fin de impulsar el manejo sustentable y restauración de los suelos degradados para incorporarlos a la productividad;
- XV. Llevar a cabo las visitas de inspección y labores de vigilancia correspondientes;
- XVI. Imponer medidas de seguridad y sanciones a las infracciones que se cometan en la materia de esta Ley;
- XVII. La declaración de un suelo agrícola como degradado por factores antropogénicos. Esto obligará a la realización por los tres órdenes de gobierno, de las actuaciones necesarias para proceder a su restauración en los términos y plazos dictados por el órgano competente;
- XVIII. Desarrollar un monitoreo sistemático comprensivo de los suelos agrícolas para identificar prácticas de manejo que causan la reducción de la productividad y degradación. La toma de decisiones para la determinación de las prácticas a aplicar en las unidades de producción deberán basarse en el conocimiento compartido de la institución competente y complementaria de los técnicos y productores;
- XIX. Verificar el cumplimiento de esta Ley y de las disposiciones que de ella deriven;
- XX. Las demás que esta Ley y otros ordenamientos aplicables le confieren.

ARTICULO 30. El Registro Nacional de Contrato de Aprovechamiento Sustentable de Tierras, como órgano público desconcentrado de la Secretaría; tiene por objeto garantizar la seguridad jurídica de los sujetos y sus causahabientes, a través de la inscripción de los contratos.

ARTICULO 31. De conformidad con lo establecido en el artículo 124 y 133 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y en lo dispuesto en esta Ley y

las Leyes locales en la materia, son atribuciones de las entidades federativas y el Distrito Federal, las siguientes:

- I. Generar sus instrumentos políticos y legislar los suelos agrícolas en el ámbito de su competencia, con el objeto de protegerlos, mantener el inventario nacional, controlar y vigilar su uso y manejo sustentable a través de los proyectos y programas del sistema nacional. Con el fin de lograr la seguridad alimentaria de cada una de las Entidades Federativas;
- II. Planificar y administrar a través de sus Planes de Desarrollo Estatal, los suelos agrícolas, previstos en el Inventario Nacional;
- III. Monitorear y mantener actualizado el Inventario nacional de suelos agrícolas, bajo los criterios y lineamientos que se establezcan para el Inventario Nacional respectivo;
- IV. Promover, en coordinación con la Federación, programas y proyectos de educación, capacitación, investigación y cultura en la materia de esta Ley, acordes con el programa nacional respectivo;
- V. Realizar convenios de coordinación con sus Gobiernos Municipales, con el objeto de otorgar capacitación y asesorías a los sujetos, sobre prácticas y métodos que conlleven un manejo sustentable de los suelos agrícolas;
- VI. Realizar convenios de coordinación con la Federación, con el objeto de realizar inversiones directas hacia los Gobiernos Municipales, en el mejoramiento de la infraestructura para la conservación y la restauración de los suelos agrícolas;
- VII. Coadyuvar con las autoridades competentes a fin de delimitar las áreas peri urbanas, en las cuales tendrán prioridad, para todo efecto normativo, de planeación y fomento agrícola y su aspecto paisajístico;
- VIII. Denunciar la existencia de algún tipo de degradación manifiesta de sus suelos agrícolas o usos contrarios a la vocación agrícola, en los Consejos Municipales de Desarrollo Rural Sustentable;
- IX. Las demás que esta Ley y otros ordenamientos aplicables le confieren

ARTÍCULO 32. De conformidad con lo establecido en el artículo 115 fracción V y artículo 133 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y de

conformidad con esta Ley y demás leyes aplicables a la materia, los Gobiernos Municipales tienen las siguientes atribuciones:

- I. Planificar y administrar a través de sus Planes de Desarrollo Municipal, los suelos agrícolas, previstos en el Inventario Nacional y coadyuvar con los programas del sistema nacional;
- II. Generar sus ordenanzas municipales e instrumentos políticos sobre los suelos agrícolas en el ámbito de su competencia, con el objeto de protegerlos, mantener el inventario nacional, controlar y vigilar su uso y manejo sustentable a través de los proyectos y programas nacionales. Con el fin de lograr la autosuficiencia y seguridad alimentaria de cada una de las regiones;
- III. Coadyuvar con el Gobierno de la entidad federativa en la realización y actualización del Inventario de suelos agrícolas;
- IV. Monitorear y mantener actualizado el Inventario nacional de suelos agrícolas, bajo los criterios y lineamientos que se establezcan para el Inventario Nacional respectivo
- V. Proteger, controlar y vigilar el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, en el ámbito de su competencia;
- VI. Suscribir convenios de coordinación con la Federación, Estados y Distrito Federal, con el objeto de generar mayores facultades para el buen desarrollo en el uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas y el uso de agua en la producción de alimentos;
- VII. Asesorar, orientar y capacitar a los sujetos en el desarrollo de la protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas y uso del agua en la producción alimentaria. A través de los Consejos Municipales de Desarrollo Rural Sustentable y las Instituciones educativas y de investigación;
- VIII. Coadyuvar con las autoridades competentes a fin de delimitar las áreas peri urbanas, en las cuales tendrán prioridad, para todo efecto normativo, de planeación y fomento agrícola y su aspecto paisajístico;
- IX. Crear en su administración pública, una dirección de protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas, con el fin de dar canalizar la atención de los

- problemas y desarrollos en la productividad de los suelos. Con la participación de la Federación y de los Estados;
- X. Desarrollar y mantener la infraestructura para la conservación y restauración de los suelos agrícolas de su territorio, y en su caso podrá apoyar a otros municipios que no cuenten con el desarrollo e infraestructura para impulsar la productividad de sus suelos agrícolas, mediante convenios de colaboración;
 - XI. Coadyuvar con Instituciones educativas e Investigación y organismos no gubernamentales, a través de convenios de participación, en proyectos de apoyo directo para mantener e incrementar la productividad y restauración de los suelos agrícolas y el manejo sustentable del agua para el mismo proceso;
 - XII. Denunciar la existencia de algún tipo de degradación manifiesta de sus suelos agrícolas o usos contrarios a la vocación agrícola, en los Consejos Municipales de Desarrollo Rural Sustentable;
 - XIII. Las demás que esta Ley y otros ordenamientos aplicables le confieren

TITULO IV

De las Infracciones y Sanciones

CAPITULO I

De las Infracciones

ARTICULO 33. Son infracciones en términos de esta ley:

- I. No proteger el suelo agrícola en contra de cualquier cambio de uso sin autorización correspondiente;
- II. Usar los suelos agrícolas en contravención a esta ley;
- III. Incumplir las especificaciones establecidas en los programas del sistema nacional de protección, uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas;
- IV. Causar algún tipo de degradación manifiesta, o causar acción que dañe la capacidad productiva y de producción del suelo agrícolas, a consecuencia de una construcción, modificación de obra pública o privada con fines urbanos, industriales, mineros, comerciales y de servicios no autorizados;

- V. No permitir u obstaculizar la verificación y vigilancia por parte de las autoridades competentes;
- VI. Señalar falsos testimonios respecto de cualquier información o documento que se presente a las autoridades competentes.
- VII. Las demás que dispongan las leyes.

CAPITULO II

De las Sanciones

ARTICULO 34. Para el caso de las fracciones señaladas en el artículo anterior, la Secretaría a través de la dirección competente, aplicará a los sujetos o autoridades las siguientes sanciones:

- I. Apercibimiento;
- II. Suspensión, Modificación o revocación del apoyo directo y prerrogativas otorgadas a través de los contratos de aprovechamiento sustentable de tierras;
- III. Clausura temporal a la negociación agrícola que realice las actividades calificadas como infracciones;
- IV. Imposición de acciones de restauración y conservación de los suelos agrícolas y uso de agua, a costa de la persona física o moral sancionada.

CAPITULO III

Del Procedimiento Administrativo

ARTICULO 35. Los Consejos Municipales de Desarrollo Rural Sustentable, son los competentes para recibir cualquier denuncia prevista en el artículo 17 fracción I de esta ley. A través del siguiente procedimiento administrativo:

- I. La denuncia se interpondrá verbal o por escrito ante el consejo municipal de desarrollo rural sustentable competente en base a la ubicación territorial de los suelos agrícolas denunciados;
- II. Señalar nombre y domicilio del denunciado, y la ubicación de los suelos agrícolas afectados; y
- III. Describir algún tipo de daño previsto en el artículo 17.

- IV. El Consejo al integrar la denuncia, y con el objeto de aplicar y hacer cumplir con las disposiciones de esta ley y demás reglamentos, practicará la vigilancia y verificación necesarias en los suelos afectados;
- V. El Consejo formara su pedimento, que determinara la existencia del incumplimiento del contrato. Turnándolo a la Comisión Intersecretarial para que aplique la sanción administrativa correspondiente;

CAPITULO IV

Recurso Administrativo

ARTICULO 36. Los sujetos afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable y la Comisión Intersecretarial, por las sanciones en la materia, que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

CAPITULO V

Del Procedimiento ante Autoridades Judiciales

Sobre los Contratos de Aprovechamiento

Sustentable de Tierras.

ARTÍCULO 37. El federalismo en la impartición de justicia, serán criterios para la puesta en práctica de la solución de controversias que se susciten en los contrato de aprovechamiento sustentable de tierras.

ARTÍCULO 38. Conocerán de las controversias que se susciten con motivo de la interpretación de los contratos de aprovechamiento sustentable de tierras, a elección del actor, Los Tribunales Administrativos tanto el Federal, Estatales y del Distrito Federal.

ARTÍCULO 39. Las acciones que se ejerciten se fundarán, tramitarán y resolverán conforme a lo establecido en esta Ley y en sus reglamentos, siendo supletorio el Código Civil Federal y el Código Federal de Procedimientos Civiles

TRANSITORIOS

PRIMERO. La presente Ley entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO. Se derogan todas las disposiciones que se opongan al presente ordenamiento.

TERCERO. El Ejecutivo Federal expedirá dentro de los cinco meses siguientes a la entrada en vigor de esta Ley, los reglamentos que previene este cuerpo normativo y las demás disposiciones administrativas necesarias. Asimismo, establecerá las adecuaciones de carácter orgánico, estructural y funcional para su debido cumplimiento.

CUARTO. La creación y constitución de los sistemas y servicios previstos en esta Ley, tendrá un plazo de cinco meses a partir de la publicación de esta Ley, en el Diario Oficial de la Federación.

QUINTO. El Presidente de la República dispone de cinco meses a partir de la entrada en vigor de esta Ley, para iniciar a formular los Contratos de Aprovechamiento Sustentable de Tierras hacia con los sujetos señalados en esta ley.

México, Distrito Federal., a ____ de septiembre de 2007.

Se recomienda realizar los reglamentos en materia de:

- Protección de los suelos agrícolas del territorio nacional (federalismo);
- Uso y manejo sustentable de los suelos agrícolas y el agua. En correlación con la Ley de Aguas Nacionales;
- Apoyo Técnico. En relación a la interacción entre la Federación, Estados, Municipios y todas las Instituciones Públicas de Investigación en la materia de suelos;
- Competencia. Con el fin de determinar con exactitud el nombre de las dependencias o direcciones competentes y sus funciones. Así también para no generar duplicación de funciones administrativas, prevista en la LDRS;
- Procedimientos Administrativos. Más claros y específicos.

Los reglamentos que se recomiendan tendrán la función de que esta ley siempre este de acuerdo a la realidad social y a las demandas sobre el suelo agrícola.

Esto se ejemplifica con la palabra denominada "sustentabilidad"

5. BIBLIOGRAFIA

5.1. Fuentes:

5.1.1. Primarias.

1. Alba, F. (1984) *La población de México. Evolución y dilemas*. El Colegio de México, México.
2. Avalos, Francisco. (1994) An Overview of the Legal System of the Aztec Empire, Lexis Nexos.
3. Beltrán, Enrique. (1969) Forestry and the Public Domain: A Mexican Viewpoint.” *American Forests* 75 (December 1969): 59.
4. Borah, Woodrow, and Sherburne F. Cook. (1963) *The Aboriginal Population of Central Mexico on the Eve of the Spanish Conquest*. Ibero-Americana 45. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
5. Butzer, Kart W. 1993. No Eden In the New World. *Nature review*. Mar 4. 362. pg 15.
6. Decreto de 4 de enero de 1813.– Sobre reducir los terrenos baldíos y otros comunes a dominio particular: Suertes concedidas a los defensores de la patria y a los ciudadanos no propietarios.”En Código de colonización y terrenos baldíos de la República Mexicana años de 1451 a 1892. 148-152. Comp. Francisco F. de la Maza. Ciudad de México: Secretaría de Fomento, 1893.
7. De Janvry, A. Sudolet, E. Wolford, W. (1998) *The Changing Role of the State in Latin America Land Reform*. In Workshop Access to Land Sponsored by FAO. April 27-19, 1998 .Santiago de Chile.
8. El aprovechamiento de las aguas y la agricultura.”*El Tiempo* (Ciudad de México), 23 de octubre, 1905. Ley sobre aprovechamiento de aguas de jurisdicción federal de 13 de diciembre de 1910 y reglamento de la misma de 31 de enero de 1911. Hermosillo, Sonora.: Imprenta del Gobierno del Estado, 1912.
9. Escalante, Roberto. “El Mercado de tierras en México”, Publicación de las Naciones Unidas, noviembre 2001, Copyright ©. [CEPAL. ECLAC] Red de Desarrollo Agropecuario, Unidad de Desarrollo Agrícola, División de Desarrollo Productivo Empresarial. Santiago de Chile, noviembre 2001.

10. Esteva, G. (1987) *Food Policy in México: the search of self-sufficiency*. Cornell University Press, New York.
11. Gibson, Charles. (1964), *The Aztecs under Spanish Rule: A History of the Indians of the Valley of México, 1519-1810* Stanford: Stanford University Press.
12. González M. S. (1996) *Historia de la Hacienda de Chapingo*. Patuca. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
13. Gossen, Gary H. (1974) *Chamulas in the World of the Sun: Time and Space in a Maya Oral Tradition*. Cambridge: Harvard University Press.
14. Hu-Dehart, Evelyn. (1984) *Yaqui Resistance and Survival: The Struggle for Land and Autonomy, 1821-1910*. Madison: University of Wisconsin Press. Págs. 81, 89, 155.
15. Ixtlilxóchitl, Fernando de Alva. (1985) *Historia de la nación chichimeca*. Ed. Guzmán Vázquez Chamorro. Colección Crónicas de América 11. Madrid: *Historia* 16.
16. Juan Izurieta Craig, (1951) "El derecho de propiedad y su función social", *Revista de Ciencias Jurídicas y Sociales*, Buenos Aires, Universidad Nacional del Litoral, XIII, número 68-69.
17. Kohler, J. (1924) *El Derecho de los Aztecas*. México, escuela Libre de Derecho.
18. Lane Simonian. (1998) *Defending the Land of the Jaguar A history of conservation in Mexico*. Copyright (c)r, University of Texas Press. 1995. Traducción al español y presentación por Enrique Beltran G. Dr © 1998 Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP. Y DR © 1998 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Primera edición 1999.
19. Los virreyes españoles en América durante el gobierno de la Casa de Austria: México. Ed. Lewis Hanke con la colaboración de Celso Rodríguez, *Biblioteca de los Autores Españoles 273-277*. 5 vols. Madrid: Ediciones Atlas, 1976.
 Ordenanzas de tierras y aguas. 5th ed. Condensada por Mariano Galván Rivera. París: Librería de Rosa y Bouret, 1868.
20. Manuel Payno. (1870) "Bosques y arbolados," *Boletín de la Sociedad de Geografía y Estadística de la República Mexicana*, 2ª época.
21. Martínez, Henrico. (1948) *Reportorio de los tiempos e historia natural de Nueva España*. Introd. Francisco de la Maza. Apéndice bibliográfico por Francisco González de Cossío. Ciudad de México: Secretaría de Educación Pública.

22. Maycotte Luna, Eliot, (2005) "Representación, Democracia y Como debe entenderse al Congreso General", Tesina presentada en la Especialidad de Derecho Legislativo ante el Instituto de Investigaciones Legislativas de la Legislatura Local del Estado de México y Universidad Autónoma del Estado de México.
23. McClung de Tapia, E. (1984) *Ecología y cultura en Mesoamérica*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, México.
24. McCutchen-McBride, G. (1923) *The Land Systems of Mexico*. Second Impression, 1927 ed. American Geographical Society. New York.
25. Mendieta y Núñez, Lucio, (1920) "El Derecho Mexicano antes de la Conquista", en *Revista Etnos*. México, T. I, 8-12, noviembre 1920, marzo 1921.
26. Mirow, Matthew Campbell, (1962). *Latin American Law, a history of private law and institutions in Spanish America*, Austin, Texas, University of Texas, 2004.
27. Mora Donato, Cecilia, (2001) *Temas Selectos de Derecho Parlamentario*, Universidad Anahuac del Sur, Editorial Porrúa, México.
28. Ortiz Monasterio, Fernando, Isabel Fernández Tijero, Alicia Castillo, José Ortíz Monasterio, y Alfonso Bulle. (1987) *Tierra Profanada: Historia ambiental de México*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia y Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
29. Ojeda-Trejo Enrique (2001) *GIS and Land use in Texcoco Municipality, Mexico: contrasting local and official understandings*. Doctor of Philosophy Thesis. Department of Geography, University of Durham, England.
30. Offner, Jerome Anthony. (1982) *Aztec Legal Process. The Case of Texcoco*. pag 143 – 157. *THE ART AND ICONOGRAPHY OF LATE POST-CLASSIC CENTRAL MÉXICO*, A conference at Dumbarton Oaks, OCTOBER 22ND AND 23RD, by Dumbarton Oaks, 1982. TRUSTEES FOR HARVARD UNIVERSITY Washington, D.C. Instituto de Investigaciones Filológicas UNAM, México.
31. Offner, Jerome Anthony. (1982) *Law and Politics in Aztec Texcoco*. Ann arbor, Michigan: University Microfilms International, 620 p. Tesis (doctor of philosophy) Yale University, 1979. Instituto de Investigaciones Filológicas UNAM, México.
32. Palerm, A. (1973) *Obras Hidráulicas Prehispánicas: en el Sistema Lacustre Del Valle de México*. 1st ed. SEP/INAH, D.F, México.

33. Palerm, A. (1980a) Aspectos Agrícolas del Desarrollo de la Civilización Prehispánica en Mesoamérica. In: Agricultura Y Civilización en Mesoamérica. Diana, D.F, México, 9-29.
34. Palerm, A. (1980b) Distribución Geográfica de los Regadíos Prehispánicos en el Área Central de Mesoamérica. In Palerm, A. (ed) Agricultura Y Civilización en Mesoamérica. Diana, D.F, México 30-64.
35. Palerm, A (1980c) La Base Agrícola de la Civilización Urbana Prehispánica en Mesoamérica. In Palerm, A. (ed)) Agricultura Y Civilización en Mesoamérica. Diana, D.F, México. 65-94.
36. Palerm, A. Wolf, E. (1972) Aspectos Agrícolas del Desarrollo de la Civilización Prehispánica en Mesoamérica. In Palerm, A. Wolf, (eds) Agricultura y Civilización en Mesoamérica. (Eds: Palerm, A; Wolf, E) Sep setentas., México, DF.
37. Palerm, A; Wolf, E (1980) Sistemas Agrícolas y Desarrollo del Área Clave del Imperio Texcocano. In Palerm A. (ed) Agricultura y Civilización en Mesoamérica. Diana, México. 111-27
38. Palerm, A; Wolf, E (1980) Agricultura de Riego en el Viejo Señorío de Acolhuan. In Palerm A. (ed) Agricultura y Civilización en Mesoamérica. Diana, México.128-148
39. Palerm V, J. (1993) Santa Maria Tecuanulco, Floricultores y Músicos. Universidad Iberoamericana A.C., D.F, México.
40. Palerm V, J. (1993) Santa Maria Tecuanulco. Floricultores y Músicos. Colección Tepetlaoxtoc ed. Vol. 2. Universidad Iberoamericana, Mexico D.F.
41. Parra, V.M. (1981) *Produccion de Maiz en Condiciones de Temporal, en Tequesquinahuac, Tezcoco, Estado de Mexico*. Tesis maestria. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México .
42. Recopilación de las leyes de los reynos de las Indias. Facsímil de la 4ª ed. impreso en Madrid en 1791, 3 vols. Madrid: Consejo de la Hispanidad, 1943.
43. Sahagún, Bernardino de. (1963) *Florentine Codex: General History of the Things of New Spain*.(Ed. en esp. por Porrúa) Trad.de Aztec into English with notes and illustrations por Charles E. Dibble and Arthur J. O. Anderson. 12 vols. Santa Fe: School of American Research and the University of Utah.
 - Brambila Paz, Rosa, et al. *El animal en la vida prehispánica*. Ciudad de México:

Instituto Nacional de Antropología e Historia y Secretaría de Educación Pública, 1980.

44. Tannenbaum, F. (1968) *The Mexican Agrarian Revolution*. Archon Books.
45. Trujillo Bolio, Mario (1996) "Producción fabril y medio ambiente en las inmediaciones del Valle de México 1850-1880", p.344. Citado por Alejandro Tortolero, Tierras, Aguas, Bosques, Historia y medio Ambiente en el México Central, México, Potrerillos Editores, Universidad de Guadalajara, Instituto José Ma. Luis Mora, p. 44.
46. Zarco, Francisco, (1957) "Crónica del Congreso Constituyente (1856-1857), El Colegio de México, p. 582.

5.1.2. Secundarias.

47. Berlín Valenzuela Francisco, (1994) Derecho Parlamentario, editorial fondo de cultura económica, México.
48. Bernal, Ignacio, (1976) Formación y Desarrollo de Mesoamérica, en Historia General de México, México, El Colegio de México, Centro de Estudios Históricos.
49. Bernardo Batiz Vázquez, (1999) Derecho Parlamentario, Editorial Oxford press México, México.
50. Ceballos Novelo, Roque. (1937) Instituciones Aztecas, Su origen, carácter y evolución. México, Talleres Gráficos de la Nación.
51. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, editorial Porrúa, México 1998.
52. Cravioto Cortes, Idea y Génesis de la Cámara de Diputados del h. Congreso de la Unión, Editorial h. Cámara de Diputados de la IV Legislatura.
53. De la Isla de Bauer, Maria de Lourdes. (2002) Deterioro, Preservación Ambiental y Agricultura, Colegio de Postgraduados Instituto de Recursos Naturales, p 29.
54. De la Maza, R, 2000, Una Historia de las Áreas Naturales Protegidas en México, En Biblioteca interactiva de medio ambiente. INE-SEMARNAP. 1995-2000. México. [En Línea]
55. Degradación del Suelo debido a actividades Humanas por la Cumbre Mundial sobre la Alimentación "C.M.A.", 1996, Roma, 13-17 de noviembre, página 12.
56. García Martínez, José. (1941) "La legislación forestal como base de una mejor

- administración de los recursos naturales de los bosques de nuestro país” *Boletín Bimestral de la Dirección Forestal y de Caza*, 2 (noviembre-diciembre, 1941)
57. Kirchoff Paul, (1967) Mesoamérica, Sus límites geográficos, composición étnica y caracteres culturales, México, Sociedad de Alumnos de la Escuela Nacional de Antropología, p17.
 58. Lorenzo, J. E., 1968. Materiales para la arqueología de Teotihuacan XVII. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
 59. Moisés Ochoa Campos, (1973) Derecho Legislativo Mexicano, Editorial XLVIII legislatura del congreso de la unión, cámara de diputados, México.
 60. Noguez Ramírez, Xavier. (1984) *México y su Historia, Tomo I precolombino*. Editorial. Unión Tipográfica Editorial Hispano América. Semblanzas de (Bernal, 1976), (Jiménez Moreno, 1974), (Kirchoff, 1967), y más.
 61. Payno, Manuel. (1870) “Bosques y arbolados.” *Boletín de la Sociedad de Geografía y Estadística de la República Mexicana*, 2ª época, 2: 77-94.
 62. Payno, Manuel. (1879) “Bosques y arbolados”. *Boletín de la Sociedad de Geografía y Estadística de la República Mexicana*, 2ª época, 2: 14-24.
 63. Río de la Loza, Leopoldo. (1911) Escritos de Leopoldo Río de la Loza. Comp. Juan Manuel Noriega. Publicados por la Secretaría de Educación Pública y Bellas Artes, en conmemoración del primer centenario del nacimiento de Río de la Loza. Ciudad de México: Imprenta de Ignacio Escalante, 1911. “Tala de Bosques” Págs. 330, 332, 333.
 64. Reglamento para la explotación de los bosques y terrenos baldíos y nacionales. Ciudad de México: Oficina Tip. de la Secretaría de Fomento, 1894.
 65. SEMARNAP e INE, 2005. El Ordenamiento Ecológico del Territorio, logros y retos para el desarrollo sustentable, 1995 – 2000.
 66. Superior Government State Papers. Decrees and Dispatches 57. 15: 128. “1839, México.– Romero Gobierno de California– Villa de Los Ángeles, junio 12.” 1839. Archives of California. 63 vols. Manuscript Collections, Bancroft Library, Berkeley, California.
 67. Víctor Ricco, 2003. Los derechos humanos y el medio ambiente en las Américas. Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA), sobre el tema de la Resolución

AG/RES. 1926 (XXXIII-O/03). Reunión de la Comisión de Asuntos Jurídicos y Políticos (CAJP) del 20 de noviembre de 2003.

68. Apuntes de la Especialidad en Derecho Legislativo, (2005) Instituto de Investigaciones Legislativas de la Legislatura del Estado de México y por la Facultad de Posgrado en Derecho de la Universidad Autónoma del Estado de México.

5.2. Fuentes en Línea.

69. África and América 30 BC-1453. Toltecs and Aztecs [En Línea]. Disponible en <http://san.beck.org/AB1-AfricaAmerica.html>. (Revisado el 5 de enero del 2007).

70. Barrios Islas, María Fabiola, Comisión de Estudios Legislativos, Cámara de Diputados Federal, 2000, [En Línea] <http://www.cddhcu.gob.mx/comisiones/estudios/T-21.htm>.

71. (CIFA) "Centro de Investigación y Formación Agraria "Alameda del Obispo", 2005 [En línea]. Disponible en <http://www.aeac-sv-org/html/agricultra.html> (Revisado 10 de marzo del 2006).

72. Culturas Precolombinas. [En línea]. Disponible en <http://mexico.udg.mx/historia/precolombinas/azteca/teotihuacan.html> (revisado el día 2 de febrero del 2007). Este artículo fue originalmente creado para el sitio "Cultura y Entretenimiento" de la Universidad de Guadalajara a cargo del Ing. Monico Briceño.

73. Comisión para la Cooperación Ambiental. 1999. "Derecho y políticas ambientales en América del Norte". [En línea]. Disponible en <http://www.cec.org> . (Revisado el 5 de marzo del 2006).

74. Degradación del Suelo debido a actividades Humanas por la Cumbre Mundial sobre la Alimentación "C.M.A.", 1996, Roma, 13-17 de noviembre, página 12.

75. De Solano Francisco, "Cedulario de Tierras. Compilación de Legislación Agraria Colonial (1497-1820)", 2a. Ed., Instituto de Investigaciones Jurídicas Serie a: Fuentes b) Textos y Estudios Legislativos, núm. 52, DR © 1991. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas. Págs. 77-82. [En Línea] <http://www.bibliojuridica.org/libros/1/387/pl387.htm>.

- En "Gobernación Temporal y Espiritual de las Indias". Colección de documentos

inéditos. Ultramar, t, XXI. Lib. III, tit, 10, ley 29.

76. Food Sovereignty: towards democracy in localized food systems. Publishing 2005. [En línea]. Disponible en <http://www.ukabc.org/foodsovpaper.htm>, (Revisado el 8 de marzo del 2006. Traducción de Polly Castañeda. La traducción al español de este documento fue financiada por Heifer International como un servicio informativo a la comunidad global.
77. La Destrucción la Naturaleza, 1996. [En línea]. Disponible en <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/html/biologia.html> (Revisado el día 1 de enero del 2007).
78. La OEA y su participación en la reflexión sobre la relación de los derechos humanos y el medio ambiente, 2004. [En línea]. Disponible en <http://www.cd hdf.org.mx/index.php?id=convoca0206> . (Revisado el 20 de marzo del 2006).
79. La Población en México, 2004, <http://www.inep.org/content/view/225/51/>, [En Línea], revisado el día 20 de abril del 2007. Raymundo Salgado Porcayo. rsalgado@inep.org Sociólogo UNAM. Ha colaborado en la UNAM, la UPN y en la SEP. Investigador del INEP.
80. La Tenencia De La Tierra En México, 2003. Cámara de Senadores, De La Dirección General Del Archivo Histórico Y Memoria Legislativa, Boletín Informativo Publicación Bimestral Marzo-Abril 2003, [En línea] <http://www.senado.gob.mx/content/sp/memoria/memoria.php?ver=boletines>. Revisado el día 14 de agosto del 2006.
- ___ Josefina Mac Gregor. "Luis Cabrera: una explicación de carácter social sobre la lucha zapatista". Ponencia presentada en el Instituto Nacional de Estudios Históricos de la Revolución Mexicana. Marzo 2003. P. 12.
81. Las Chinampas a la Megalópolis. El Medio Ambiente en la Cuenca de México. Por Exequiel Ezcurra, 1996. Dr. © Fondo de Cultura Económica. Información [En Línea] <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/091/html/chinampa.html>. Revisado el día 10 de abril del 2007.

82. México, economía solidaria, democracia participativa, soberanía alimentaria y desarrollo local. 2004. [En línea]. Disponible en http://www.vinculando.org/economia_solidaria. (Revisado el 20 de marzo del 2006).
83. Opiniones sobre el problema del suelo en el Mundo. FAO, 2005 [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/y5673s/y5673s0x>. (Revisado el 11 de marzo del 2006).
84. Programa estratégico para contribuir a detener y revertir la contaminación de los sistemas que sostienen la vida, aire, agua y suelos, 2005 [En línea]. Disponible en <http://www.ine.org.mx/ueajei/publicaciones/index.html>. (Revisado el 26 de febrero del 2006).
85. The Aztec Legal System. Spring 2004. Dale Frank Andrade. [En línea]. Disponible en http://www.daviddfriedman.com/Academic/Course_Pages/legal_systems_very_difere nt_06/final_papers_04/andrade_aztec_04.html. (revisado el 4 de enero del 2007).
86. Welcome to the Early Spanish-American Literature site, Images of Mexico. [En línea]. Disponible en <http://people.ku.edu/%7EElskinner/meximagesindex.html> (revisado el día 15 de diciembre del 2006).

5.3. Bibliografía de Materiales y Métodos

5.3.1. Principal.

87. Camposeco Cadena, Miguel Ángel, (1990) De las iniciativa (manuales elementales de técnica y procedimientos legislativos, Cámara de Diputados, LVI Legislatura, México.
- ____ El dictamen legislativo, México, Instituto de Investigaciones Legislativas, Cámara de Diputados, LVII Legislatura, 1998.
88. Durán Alba, Juan Fernando y Redondo García, Ana María, (1994) Disfunciones de la ponencia en el procedimiento legislativo, La Técnica legislativa a debate, Jesús M. Corona Ferrero, Francesc Pau Vall, José Tudela Aranda (coord.), Tecnos – Asociación de Letrados de Parlamentos, Madrid.
89. Jennings, Ivor, (1970) Parliament, London, Cambridge University Press, 2ª ed.
90. Mora Donato, Cecilia, (2001) Temas selectos de Derecho Parlamentario,

5.3.2. Secundaria.

91. Barahona Novoa y otros, (1995) El estilo de la ley, San José, Asamblea Legislativa de Costa Rica.
92. Basterra Montserrat, Daniel, (1997) Las comisiones con delegación plena, Granada Comares.
93. Cazorla Prieto, Luís María, (1999) Codificación contemporánea y técnica legislativa, Madrid, Aranzandi.
94. González Oropeza, Manuel, (1998) La redacción normativa. Su estilo, Técnica Legislativa, Argentina, Rubizal-culzoni (ed.).
95. López Olvera, Miguel Alejandro, (2000) Lineamientos de técnica legislativa para la elaboración de las leyes en México, Revista de la Facultad de Derecho de México, núms. 229-234, tomo L, enero-diciembre, 2000.
96. Rubio Llorente, Francisco, (1993) El principio de la legalidad, Revista Española de Derecho Constitucional, Madrid, núm. 39, septiembre-diciembre, España.

5.4. Legislaciones Históricas y Vigentes.

97. Cedulaario de Tierras. Compilación. Legislación agraria colonial (1497-1820), De Solana, Francisco, 1991.
98. Constitución Política de la Monarquía Española Promulgada en Cádiz 1812.
99. Sentimientos de la Nación 14 de septiembre de 1813, José María Morelos.
100. Decreto Constitucional para la libertad de la América Mexicana, sancionado en Apatzingán a 22 de octubre de 1814.
101. Constitución Política de 1824.
102. Constitución Política de 1836, denominada las Siete Leyes.
103. Constitución Política de 1843, denominada las Bases Orgánicas.
104. Constitución Política de 1857.
105. Constitución Política de 1917. [vigente]
106. Ley de Conservación del Suelo y Agua, publicado en el Diario Oficial de la

- Federación el 19 de junio de 1946. [abrogada]
107. Ley Federal de la Reforma Agraria de 1971. [abrogada]
 108. Ley Agraria, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de febrero de 1992. [vigente]
 109. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988 [vigente].
 110. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada en el diario oficial de la federación el 8 de octubre de 2003 [vigente].
 111. Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003 [vigente].
 112. Ley De Desarrollo Rural Sustentable. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2001 [vigente].
 113. Ley General De Asentamientos Humanos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de julio de 1993 [vigente].
 114. Ley General De Bienes Nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 2004 [vigente].
 115. Ley Federal Sobre Metrología Y Normalización. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de julio de 1992 [vigente].
 116. Ley Orgánica del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de septiembre de 1999 [vigente].

5.5. Iniciativas de Ley sobre la Conservación de los Suelos en México, No aprobadas por el Congreso General [Cámara de Diputados y Senadores]

117. El 25 de octubre de 1984 el C. Diputado Andrés Cázares Camacho, presentó la iniciativa de Ley de Conservación y Mejoramiento del Suelo.
118. El 13 de diciembre del 2002 el Senador Víctor Manuel Torres Herrera, presentó ante el Senado la iniciativa de Ley de Uso y Conservación del Suelo.
119. El 23 de octubre del 2003, con el fin de instrumentar las disposiciones del Tratado Internacional contenido en la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y enfrentar de manera eficaz y realista el problema de

mantener y mejorar la base productiva y de servicios ambientales del país, con un enfoque que apostara a la participación de los ciudadanos, los Diputados Antonio Mejía Haro y Pascual Sigala Paez a nombre del grupo parlamentario del Partido de la Revolución Democrática (PRD), presentaron la iniciativa de la Ley para la Restauración y Conservación de Tierras ante la Cámara de Diputados, misma que fue aprobada el día 26 de abril del 2005 y turnada a la Cámara de Senadores.

120. El 9 de noviembre del 2006, los Senadores Antonio Mejía Haro, Heladio Elías Ramírez López, Alejandro González Yáñez, Dante Delgado Rannauro, Arturo Escobar y Vega, Rafael Ochoa Guzmán, Claudia Corichi García, Silvano Aureoles Conejo, Francisco Javier Obregón Espinoza y Rubén Fernando Velásquez López, volvieron a presentar la misma Ley General de Conservación y Restauración de Tierras ante la Cámara de Senadores. Mencionando haber corregido los puntos señalados en el dictamen que desecho la misma en el mismo año. Y haciendo una explicación más a fondo del problema de los suelos en el territorio.

6. APENDICE

1. Oficio de la Comisión de Agricultura y Ganadería; y del Equipo Técnico Jurídico de la Cámara de Diputados LX Legislatura. Aprobación del proyecto como iniciativa de ley.
2. Ley de Conservación del Suelo y Agua de 1946.
3. Iniciativa de Ley de Conservación y Mejoramiento del Suelo 1984.
4. Iniciativa de Ley de Uso y Conservación del Suelo del 2002.
5. Iniciativa de Ley Para la Conservación y Restauración de las Tierras.

Cabe hacer mención a los lectores dos consideraciones: 1) La ley de 1946, se presenta en copia simple emitida por el Archivo General de la Nación, toda vez que solo existe un solo ejemplar en la presente institución pública; 2) Las iniciativas de ley contienen problemas ortográficos de origen que no se corrigieron, y no debemos hacer algún cambio o modificación a dichas iniciativas de ley. Asimismo no fueron aprobadas y quedaron intactas en los archivos de la Congreso General.

CAPITULO I

1.0. INTRODUCCION GENERAL

1.1. Sistemas actuales del uso y manejo del terreno

En la región del Eje Volcánico Trans-mexicano (TMVB), los suelos volcánicos están utilizados para la producción forestal comunitaria y cultivos agrícolas dentro de las reservas forestales federales que pertenecen a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) desde la década de los 1970's bajo la rigurosa vigilancia de Gerencias Forestales (Pulido y Bocco, 2003). Estos autores indicaron que, en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, el uso de terreno para el manejo comunal del bosque (CFM, *monte*) ha sido considerado económicamente sustentable, mientras que aquel con manejo temporal de cultivos agrícolas tradicionales (TCM, *milpa*) ha mostrado problemas de escurrimiento y sedimentación, acompañados por la disminución del contenido de materia orgánica.

El manejo del terreno bajo *milpa*, involucrando una secuencia de rotación de cultivos con los periodos del descanso a corto plazo (de 14 meses) y a largo plazo (de 4 a 10 años), han sido adoptados con fines de conservación (Pulido y Bocco, 2003). El objetivo de los periodos de descanso ó abandono a largo plazo de los campos cultivados es disminuir la erosión debido al aumento en materia orgánica en el suelo, lo cual es la consecuencia de adopción de las prácticas de labranza conservacionista y reducida (Langdale et al., 1992; Reeves, 1997). Muchos estudios (Medina-García *et al.*, 2000) indicaron la distribución extensiva de *Lupinus* sp. y *Senecio* sp ocurre en las parcelas cultivadas durante el periodo del abandono ó descanso a largo plazo. Por lo tanto, una evaluación para la sustentabilidad de las resultantes prácticas del manejo de cultivos y suelo, la cual enfoque en el contexto de acercamiento al ecosistema sobre conservación agrícola e integra las estrategias socio-económicas, y en cuanto es posible, alinea con las políticas ambientales y difusión del gobierno, es urgentemente esencial. Muchas prácticas del manejo de los suelos y cultivos no están sustentables así cuando se muestren la evidencia de la erosión, la disminución del contenido de

materia orgánica en el suelo, la contaminación de recursos acuáticos superficiales y subterráneos, la compactación y acidificación del suelo, y la disminución de la estabilidad y macroporosidad estructural de los agregados del suelo.

La conversión de cultivo intensivo a prácticas de no-labranza ha sido adoptado para reducir la densidad aparente, aumentar la cantidad de residuos de cultivo en la superficie del suelo, aumentar la capacidad de agua disponible, y promover la población de lombrices, por los cuales aumenta la continuidad de bio-macro-poros y la capacidad de retención de agua disponible, resultando en altas tasas de infiltración (Logsdon *et al.*, 1990; Edwards and Bohlen, 1996; Wuest, 2001). La textura, materia orgánica, densidad aparente, retención de agua, distribución de tamaño y estabilidad de agregados fueron influenciados por las prácticas del uso y manejo del terreno y posiciones de paisaje (Shukla *et al.*, 2003). Un incremento en los residuos de cultivo en la superficie del suelo aumenta la tasa de infiltración debido a la intercepción de las gotas de lluvia y reducción en la formación de sellos superficiales (Gómez *et al.*, 2001).

1.2. Materia orgánica y minerales arcillosos

Rodríguez-Tápia (2005) reportó que los horizontes ócricos del suelo fueron comunes en las laderas occidentales del volcán Tlaloc. Los suelos volcánicos bajo del bosque natural contienen la fracción de arcilla dominado por montmorillonita en las capas superficiales, mientras que los materiales de arcillas amorfos fueron dominantes en las capas transicionales y subyacentes a los tepetates tipo fragipan (Rodríguez-Tápia, 2005). La disrupción más intensa de los agregados ha sido observado en varios suelos esmectíticos con un contenido < 3.1 % de materia orgánica, y resultado en diferencias significativas en el tamaño de agregados, pero sin diferencias significativas en infiltración (Freebairn *et al.*, 1991; Shainberg *et al.*, 1997).

Cuando la superficie del suelo esta expuesta al impacto de las gotas de lluvia bajo situaciones de campo cultivado, la permeabilidad del suelo es limitado por el bloqueo de poros ó la formación de sellos, lo cual ocurre a través de partículas del suelo que

dispersan y erosionan en los poros y compactan por las gotas de la lluvia (McIntyre, 1958; Morin *et al.*, 1981).

Lado *et al.* (2004b) atribuyeron las menores tasas de infiltración de agua a la mayor dispersión de todos tamaños de agregados, cuando la superficie del suelo fue expuesta a las gotas de lluvia para el suelo con menor contenido de materia orgánica que en aquel con mayor contenido de materia orgánica. En otro estudio, Lado *et al.* (2004a) concluyeron que mayor dispersión de arcilla y el aplacamiento de agregados de < 2-mm y 2-4-mm en suelos de Humic Dystrudept con bajo contenido de materia orgánica que en aquellos con alto contenido de materia orgánica. En la ausencia de las gotas de lluvia, Lado *et al.* (2004a) observaron valores dos veces más bajos de conductividad hidráulica en suelos con bajo contenido de materia orgánica que en aquel con alto contenido de materia orgánica. Las pérdidas del suelo aumentaron con el incremento en el tamaño de agregados, especialmente en los suelos con bajos niveles de ingresos en materia orgánica más que en aquel con altos niveles de materia orgánica (Lado *et al.*, 2004b).

La tasa de infiltración de agua en el suelo depende en la distribución de tamaño, continuidad, y estabilidad de los poros, el contenido antecedente de agua en el suelo, y la densidad aparente de los horizontes (Kay y VandenBygaart, 2002). El aumento en materia orgánica del suelo mejora la estabilidad de agregados del suelo, aumentando la infiltración de agua, y por consecuencia resulta en una baja pérdida del suelo (Bajracharya, *et al.*, 1992). Las pérdidas del suelo aumentaron con el incremento en el tamaño de agregados para los suelos con bajos niveles de materia orgánica que en aquellos con altos niveles de materia orgánica (Lado *et al.*, 2004b). Los incrementos en materia orgánica han sido reportados al aumentar la estabilidad de agregados (Le Bissonais y Arrouays, 1997; Castro-Filho *et al.*, 2002). No obstante, en comparación con suelos del testigo, Whalen y Chang (2002) reportaron que la estabilidad de agregados no mejoró por el aumento en la tasa de aplicaciones anuales de estiércol bovino. Aoyama *et al.* (1999) propusieron que la aplicación de estiércol de bovino puede aumentar una parte de materia orgánica particulada, lo cual promueve la formación de macroagregados en corto plazo; mientras que en largo plazo, el estiércol

transforma a una parte de la materia orgánica asociada con los minerales, lo cual puede aumentar la estabilidad de micro-agregados. La disminución del contenido de materia orgánica en suelos cultivados disminuyó la permeabilidad de agua significativamente en el campo con trigo que con pasto (Black y Abdul-Hakim, 1985). Una respuesta en la formación y estabilización de los agregados a la adición de materia orgánica para un Alfisol que para un Oxisol fue postulado como una función de minerales arcillosos (Denef *et al.*, 2002). Esta respuesta en la agregación del suelo es probablemente el resultado de la presencia de la alta cantidad de ambas cargas permanentes y variables con todos los mecanismos posibles de enlaces electrostáticos entre componentes de minerales arcillosos y óxidos, en adición a los procesos de enlace entre los componentes de carbono orgánico con arcillas (Six *et al.*, 2002).

La tasa de infiltración de agua y conductividad hidráulica son de gran interés en campo porque determinan la división de agua que se dirige al almacenamiento en el perfil del suelo para el uso de la planta y la que se va a escurrimiento superficial causando problemas de sedimentación del suelo (Wangemann *et al.*, 2000). La desintegración de agregados y la dispersión de arcillas son dos procesos complementarios en la formación de sellos que reducen la infiltración de agua y conductividad hidráulica (Shainberg *et al.*, 1997). Si la superficie del suelo es protegido por una cobertura vegetal, y tiene una textura del suelo lo cual es bien drenado y no se contrae ó se expande significativamente, el aire atrapado es el parámetro más significativo que puede afectar la tasa de percolación de agua en una condición inicialmente más seca en la superficie del suelo. (Wangemann *et al.*, 2000). Si el suelo contiene un alto contenido de materia orgánica y bajo nivel de densidad aparente, la repelencia de agua es el parámetro más significativo que influye en la tasa de percolación de agua en una condición inicialmente más seca en la superficie del suelo (Poulenard *et al.*, 2001).

1.3. Fundamentos del estudio.

Pulido y Bocco (2003) indicaron que el uso preferencial del terreno esta influenciado por la profundidad de depósitos de la ceniza volcánica, mientras que los

cambios en las prácticas de manejo de cultivo parecen dependientes sobre el contenido de materia orgánica. Además, Pulido y Bocco (2003) mostraron que los canalillos y entre-canalillos fueron formas dominantes de los procesos erosionales en la superficie del suelo, utilizando las fotografías. Estos procesos de erosión se pueden observar a través de la sedimentación de las partículas del suelo en depresiones superficiales con el cambio en la pendiente de las parcelas cultivadas sin el sistema de terraza. Sin embargo, como ha ocurrido con Pulido y Bocco (2003), la magnitud de estos procesos de erosión puede ser subestimados y ser pobremente percibidos en las parcelas cultivadas (Bajracharya, *et al.*, 1992). Esto indica que, el proceso para tomar decisiones por parte de los campesinos, para convertir el periodo de labranzas intensivas al periodo de descanso a largo plazo, con la vegetación de arbustos y pasto (*scrubland*) que invade naturalmente, es poco acertada. En general, es posible que esa toma de decisiones por los campesinos pudiera ser tardía, por qué los canalillos y entre-canalillos podrían haber removido el suelo gradualmente y expuesto severamente los fragipan tepetates infértiles. Por consecuencia, los campesinos son obligados a abandonar las parcelas debido a la pérdida de la fertilidad del suelo y los bajos rendimientos de cultivos (Solleiro-Rebolledo *et al.*, 2002).

La implementación del descanso a largo plazo con la vegetación invasora "*scrubland*" no se garantiza la conservación del suelo, por qué la cobertura vegetativa dependería de la sucesión natural. A pesar de que los suelos cultivados fueron inicialmente infértiles cuando fueron abandonados, la vegetación que invade las parcelas cultivadas, por ejemplo, *Lupinus* sp y *Senecio* sp., puede tardar para alcanzar una adecuada cobertura vegetativa. Durante este periodo inicial del descanso a largo plazo, los campos de cultivos abandonados con la baja nivel de fertilidad inicial del suelo provocarían una severa pérdida del suelo superficial, y por consecuencia darían como resultado la formación de cárcavas. Los sedimentos suspendidos en el escurrimiento han sido observados al contener una mayor cantidad de partículas de arcillas finas junto con los sedimentos flotantes (Oropeza-Mota, 1980). También una erosión fuerte fue observada por los agregados flotantes en las praderas de altitudes altas de Ecuador, y este comportamiento fue indicativo de la ocurrencia de la

repelencia de agua promovido por la sequedad de los Andisoles (Poulenard *et al.*, 2001).

Los diferentes ecosistemas encontrados en diferentes altitudes con distintas condiciones climáticas y edáficas favorecen a una adaptación distinta de las especies diferentes de *Lupinus* en las laderas altas orientales del volcán Tlaloc (Sánchez-González, 2003; Ehsan *et al.*, 2007; Alderete-Chavez *et al.*, 2008). Aparte de la influencia de altitud en la distribución de *Lupinus* sp, también hay varios cambios en el manejo del suelo y de la vegetación con diferentes grados de perturbación, tal como, los incendios forestales, cultivación tradicional, la tala de árboles y el tráfico de pastoreo, tanto como, de las vías de acceso forestal (Alderete-Chavez *et al.*, 2008). Sin embargo, el impacto de la invasión por especies silvestres del genero *Lupinus* y algunas forrajes de pasto en diferentes prácticas de manejo durante el periodo de descanso ó abandono a largo plazo de las parcelas cultivadas es poco conocido. Estos sistemas de manejo influyen las propiedades estructurales e hidráulicas del suelo.

Los objetivos principales del presente estudio fueron: (i) evaluar el impacto de la invasión de *Lupinus* y forraje de pasto establecido durante el periodo de descanso ó abandono del campo cultivado a largo plazo sobre las propiedades del suelo superficial y subsuelo de las diferentes prácticas de manejo de cultivos en dos distintos ecosistemas (CFM y TCM); y (ii) cuantificar el cociente entre micro-agregados y macro-agregados como un parámetro muy sensitivo para determinar una identificador del grado de degradación del suelo, y para identificar los mejores practicas de manejos sustentables; y (iii) caracterizar el impacto de diferentes practicas de manejo de cultivos sobre las propiedades estructurales e hidráulicas en las ecosistemas seleccionadas. En este estudio, se presume que labranza intensiva controla los cambios en las propiedades estructurales e hidráulicas del suelo, y los efectos adversos de la labranza intensiva disminuyen con la conversión de labranza intensiva al descanso de largo plazo con la invasión de *Lupinus* y los pastos forrajeros establecidos.

CHAPTER I

1.0 GENERAL INTRODUCTION

1.1 Current landuse and management systems

In many regions in central Mexico, the volcanic soils are used for community forestry and cultivated agricultural production in the federal forest reserves since the 1970's under rigorous conservation compliance policy monitored by the federal forest reserves stewardship councils (*Gerencias Federales para la Proteccion de Reservas Forestales*) (Pulido and Bocco, 2003). These authors indicated that, in Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, the land use ecosystem for the industrial community forest management (CFM, *monte*) has been found economically sustainable, whereas that for the rain-fed traditional cultivated agricultural management (TCM, *milpa*) has demonstrated serious runoff and sediment problems accompanied by the declining organic matter content.

The land management under *milpa*, involving the crop rotation sequence with fallow periods for short-term (14 months, *año y vez*) and for longterm (4 to 10 years), have been adopted with intension for conservation compliance policy. The main aim of the long-term fallow period with scrubland is to decrease erosion due to an increase in soil organic matter content in the soil, which is the consequence of adoption of conservation tillage or reduced tillage practices (Langdale et al., 1992; Reeves, 1997). Many studies (Medina-Garcia *et al.*, 2000; Pulido and Bocco, 2003) indicated that the extensive distribution of wild *Lupinus* sp. y *Senecio* sp. occurs in the cultivated fields during the periods of the long-term fallow or abandonment. However, an evaluation for the sustainability of the resulting cropping management practices which would focus in the context of an ecosystem approach on conservation agriculture, and would integrate socio-economic strategies, and where possible, would align with the government extension and environmental policies, is urgently essential. Many current soil and crop management practices are not sustainable as they may demonstrate the evidence of erosion, contamination of surface and ground water resources, intensive compaction

and acidification of the soil profile, decreased organic matter content, and reduced soil structural aggregate stability and macroporosity.

The conversion of intensive cultivated to no-tillage practices has been adopted to reduce bulk density, increase the amount of residues on the soil surface, enhances the earthworm populations, by which the continuity of bio-macropores and available water-holding capacity increase, resulting in high infiltration rates (Logsdon *et al.*, 1990; Edwards and Bohlen, 1996; Wuest, 2001). Soil texture, soil organic matter (SOM), bulk density (pb), water retention, aggregate size distribution and stability are influenced by land use management practices and landscape positions (Shukla *et al.*, 2003). Increasing crop residues at the soil surface increases infiltration rate by reducing surface seal formation by raindrop impact (Gomez *et al.*, 2001).

1.2. Organic matter and clay minerals

Rodríguez-Tapia (2005) reported that ochric soil horizons were common in the western foothills of Tlaloc volcano soil series with the clay fraction dominated by montmorillonite in the surface horizons and amorphous clay materials in the transition layers overlying the fragipan tepetates. More intense aggregate breakdown has been observed in various smectitic clay soils with < 3.1% OM content, and resulted in significant different aggregate size, but no significant differences in infiltration (Freebairn *et al.*, 1991; Shainberg *et al.*, 1997), compared with the higher infiltration in the high-OM vermiculite and kaolinite soils than in the same soil but with low-OM content. Soil infiltration rate depends on the size distribution, continuity and stability of pores, and antecedent soil water content, and bulk density of the horizons (Kay and VandenBygaart, 2002). When the soil surface is exposed to raindrop impact under normal cultivated field situation, the permeability of the soil is limited by surface seal formation, which occurs when dispersible soil particles are washed into the pores and compacted by raindrop impact (McIntyre, 1958; Morin *et al.*, 1981).

Lado *et al.* (2004b) attributed lower water infiltration rates to more extensive clay dispersion and breakdown of all aggregate sizes when the soil surfaces were exposed to raindrop impact for the low-OM soil than for the high-OM soil. In another study, Lado

et al. (2004a) concluded that greater clay dispersion occurred for soils with a lower-solution electrolyte concentration (EC) and low-OM soil than for those with higher EC levels and high-OM content of Humic Dystrudept. In the absence of raindrop impact, Lado *et al.*, (2004a) observed two times lower values of hydraulic conductivity in soils with low-OM content than in those with high-OM content. The soil loss increased with the increase in aggregate size, especially in soils with low-OM input levels more than in those with high-OM input levels (Lado *et al.*, 2004b).

The increase in soil organic matter often leads to improvement in soil aggregate stability, increasing water infiltration, and subsequently decreasing the soil erodibility (Bajracharya *et al.*, 1992). An increase in OM content has been found to increase aggregate stability (Le Bissonais and Arrouays, 1997; Castro-Filho *et al.*, 2002). However, Whalen and Chang (2002) observed fewer dry-sieved >7.1 mm macroaggregates and more small-macroaggregates (0.47-2.00 mm) after 25-yr annual application of cattle manure (>30 Mg ha⁻¹) for dryland and (>60 Mg ha⁻¹) for irrigated production compared with no-amended soils, which was caused by dispersing agents in the animal manure. Aoyama *et al.* (1999) proposed that animal manure application can increase particulate organic matter pool which promotes macro-aggregate formation in the short-term; whereas in the long-term, manure may be transformed into the mineral-bounded OM pool that can improve microaggregate stability. Decreased organic matter decreased permeability significantly in wheat growing than in pasture growing (Black and Abdul-Hakim, 1985). A greater response in aggregate formation and stabilization to organic matter inputs for an Alfisol than for an Oxisol was postulated as a function of clay mineralogy (Denef *et al.*, 2002). Greater soil aggregation for soils having an integrated clay mineralogy with dominant vermiculite-kaolinite-oxides than for soils with dominant kaolinite-oxides was probably the result of the presence of higher amount of permanent and variable charges with all possible electrostatic bonding mechanisms between clay minerals and oxides, in addition to the bonding processes between organic carbon components and clays (Six *et al.*, 2002).

The rate of water infiltration and hydraulic conductivity are of great interest in the field because they determine the partitioning between water that leads to water storage in the soil profile for plant use and that goes to runoff flow for causing sediment

problems (Wangemann *et al.*, 2000). The disintegration of aggregates and clay dispersion are two complementary mechanisms that reduce water infiltration and hydraulic conductivity (Shainberg *et al.*, 1997). If the soil surface is protected by vegetation cover, and have a soil texture which is well drained and does not shrink and swell significantly, the entrapped air is the parameter more significant which can affect the rate of water percolation in a dryer initial soil surface condition (Wangemann *et al.*, 2000). If the soil contains a high organic matter content and lower apparent bulk density level, the water repellency is the parameter more important which can influence the rate of water percolation in a dryer initial soil surface condition (Poulenard *et al.*, 2001).

1.3. Rationale

Pulido and Bocco (2003) indicated that the preferential landuse system was influenced by depth of volcanic ash deposits, whereas changes in cropping management practices seem to be depending upon the soil organic matter content. Furthermore, Pulido y Bocco (2003) demonstrated that the soil surface erosion processes were dominated by the rill and interill types, using the photographs. These erosion processes can be seen through the sedimentation of the soil particles in surface depressions with the change in the slope of the cultivated fields without the terrace system. However, as it has happened with Pulido y Bocco (2003), the magnitude of these erosion processes can be underestimated and poorly perceived in the field (Bajracharya *et al.*, 1992). This indicates that, the process for decision-making by the farmers to convert from intensive cultivations to long-term (4 to 10 years) fallows with the naturally invading shrubs and grass vegetation (scrubland) is obviously uncertain. In general, it is possible that such decision-making by farmers might be untimely because the rill and interill erosion processes could have gradually removed the topsoil layer and exposed the infertile fragipan tepetates. Ultimately, the farmers are obliged to abandon the fields due to loss of soil fertility and low crop yields (Solleiro-Rebolledo *et al.*, 2002).

The implementation of the long-term fallow with scrubland appears to lack the soil conservation guarantees, because the vegetative cover would depend upon the natural succession. Considering that the cultivated soils were initially infertile when they were

abandoned, the invading vegetation, such as *Lupinus* sp., and *Senecio* sp., may delay to attain an adequate vegetative cover. During this initial period of long-term fallow, the abandoned fields with low soil fertility would promote severe topsoil loss, and consequently result in the formation of severe gully erosion. The suspended sediments in runoff have been reported to contain a large amount of fine clay-sized particles along with the floating debris (Oropeza-Mota, 1980). Strong erosion by floating of aggregates from very dry bare fallow Andisols has also been reported in high altitude grasslands of Ecuador, and such behaviour was indicating the occurrence of water repellency with drying in Andisol (Poulenard *et al.*, 2001).

An environmental impact assessment for the landuse ecosystems is urgently needed because the cropping management practices would be influencing the soil structural and water transmission characteristics differently for different soils. The different ecosystems found at different altitudes with distinct climatic and edaphic conditions are favourable to distinct adaptation of different *Lupinus* sp. on the upper eastern foothill slopes of the Tlaloc volcano (Sanchez-González and Lopez-Mata, 2003; Ehsan *et al.*, 2007; Alderete-Chavez *et al.*, 2008). Apart from the influence of altitude on climatic and edaphic conditions, there are also various changes in management in soil and vegetation with different degrees of disturbance, such as, forest fires, traditional cultivation, and tree felling, and grazing animal ó forest access roads traffic (Alderete-Chavez *et al.*, 2008). However, the impact of wild *Lupinus* sp. and planted grass meadows, invasion on surface and subsurface chemical, structural and water transmission properties of the volcanic ash soils under different management practices is still not understood. These management systems would influence the structural and hydraulic properties of the soil.

The main objectives of the present study was to evaluate the impacts of the wild *Lupinus* invasion and planted forage grasses on surface and subsurface properties of a volcanic ash soil under different cropping management practices in two distinct landuse ecosystems (CFM and TCM), (ii) to quantify the quotient between microaggregates and macroaggregates as a sensitive parameter to determine the degree of soil degradation for determining the best sustainable cropping management practices, (iii) to characterize the impact of different cropping management practices on structural and

hydrological properties in selected landuse systems. In this study, it is presumed that intensive tillage governs the changes in the structural and hydraulic soil properties, and the adverse effects of the intensive tillage would diminish with the conversion from intensive tillage to long-term fallow with the *Lupinus* invasion and established forage grasses.

1.4. LITERATURE CITED.

- Alderete-Chavez, A., V. Espinosa-Hernández, E. Ojeda-Trejo, M. Ehsan, J. Perez-Moreno, V.M. Cetina-Alcalá, D.A. Rodriguez-Trejo, N. De la Cruz-Landero, 2008. Natural distribution and principal characteristics of *Lupinus* in the oriental face of Tlaloc mountain in Sierra Nevada, México. *J. Biological Sciences* 8 (3): 604-609.
- Aoyama, M., D.A. Angers, and A. N'Dayegamiye, 1999. Particulate and mineral associated organic matter in water stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure application. *Can Soc Soil Sci.* 79: 295-302.
- Bajracharya, R.M., W.J. Elliott, R. Lal, 1992. Interrill erodibility of some soils based on field rainfall simulation. *Soil Sci. Am. J.* 56: 267-272.
- Black, A.S., and B.M.S. Abdul-Hakim, 1985. Effects of pasture or wheat growing on the permeability of a weakly weathered soil to sodic solutions. *N.Z.TJ. Agric. Res.* 28:275-278.
- Castro-Filho, C., A. Lourenço, M. De F. Guimaraes, and I.C.B. Fonseca, 2002. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil Till. Res.* 65: 45-51.
- Denef, K., J. Six, R. Merckx, and K. Paustian, 2002. Short-term effects of biological and physical forces of aggregate formation in soils with different clay mineralogy. *Plant and Soil* 246: 185-200.
- Edwards, C.A., and P.J. Bohlen, 1996. *Biology and ecology of earthworms.* 3rd ed. Chapman and Hall, London.
- Ehsan, M., P.A. Molumeli, V. Espinosa-Hernández, A.B. Reyes, J. Perez-Moreno, M.S. Hernández, E. Ojeda-Trejo, D.J. Contreras, A.R. Bello, E.R. Santoyo, 2007. Contamination time effect on plant available fractions of Cadmium and Zinc in a mexican clay loam soil. *Journal of Applied Sciences* 7(16): 2380-2384.
- Freebairn, D.M., S.C. Gupta, and WJ. Rawls, 1991. Influence of aggregate size and microrelief on development of surface soil crusts *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 188-195.
- Gomez, J.A., J.V.Giraldez, E. Fereres, 2001. Analysis of infiltration and runoff in an olive orchard under no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 291-299.
- Kay, B.D., and A.J. VandenBygaart, 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter.. *Soil Till. Res.* 66: 107-118.

- Lado, M., A. Paz, and M. Ben-Hur, 2004a. Organic matter and aggregate size interactions in saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 234-242.
- Lado, M., A. Paz, and M. Ben-Hur, 2004b. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 935-942.
- Langdale, G.W., L.T. West, R.R. Bruce, W.P. Miller, A.W. Thomas, 1992. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Technol*, 5: 81-90.
- Le Bissonnais, Y., and D. Arrouays, 1997. Aggregate stability and assessment of soil crusting and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Euro. J. Soil Sci.* 48: 39-48.
- Logsdon, S.D., R.R. Allmaras, L. Wu, J.B. Swan, and G.W. Randall, 1990. Macroporosity and its relation to saturated conductivity under different tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1096-1101.
- McIntyre, D.S. 1958. Permeability measurements of soil crust formed by raindrop impact. *Soil Sci.* 85: 158-189.
- Medina-Garcia, C., F. Guevara-Féver, M.A. Martínez-Rodríguez, P. Silva-Sáenz, Ma. A. Chavez-Cabajal, 2000. Study of flora in the indigenous community area of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico. *Acta Botánica Mexicana.* 52: 5-41.
- Morin, J., Y. Benyamini, and A. Michaeli, 1981. The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile. *J. Hydrol. (Amsterdam)* 52: 321-335.
- Oropeza-Mota, J.L., 1980. Evaluation of the water erosion (sediments in suspension) in the valleys of the Texcoco and Chapingo rivers (MSc. Thesis, *in Spanish*). Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México, México,
- Poulenard, J., J. Poswojewski, J.L. Janeau, and J. Collinet, 2001. Effects of tillage and burning on hydrodynamic properties of volcanic ash soil in Ecuadorian páramos. *Catena* 45 : 145-207.
- Pulido, J.S., and G. Bocco, 2003. The traditional farming system of a Mexican indigenous community: The case of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Geoderma* 111: 249-265.

- Reeves, D.W., 1997. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43: 131-167.
- Rodríguez-Tapia, S.A., 2005. Genesis and evolution of the clay soils of the eastern foothills of the Tlaloc volcano mountain (Ph.D. thesis, *in Spanish*). Colegio de Postgraduados, Department of Soil Science, Montecillo campus, Texcoco, Estado de México, México.
- Sanchez-González, A., and L. Lopez-Mata, 2003. Classification and arrangement of the vegetation in the northern Sierra Nevada, along an altitudinal gradient. *Anales Instituto Biol. UNAM* 74 (1): 47-71.
- Shainberg, I., G.J. Levy, J. Levin, D. Goldstein, 1997. Aggregate size and seal properties. *Soil Sci.* 162 (7): 470-478.
- Shukla, M.K., R. Lal, J.W. Owens, and P. Unkefer, 2003a. Land use and management on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio. *Soil Sci.* 168: 167-177.
- Six, J., C. Feller, K. Denef, S.M. Ogle, and J.C. de Moraes-Sa, 2002. Soil organic matter, biota, and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie* 22:755-775.
- Solleiro-Rebolledo, E., D. Flores-Roman, J. Gama-Castro, and S. Sedov, 2002. Tepetates of Central México: Paleogeographical background and functioning in modern agroecosystems. 17th WCSS. Symposium No.15 of the 14-21 August 2002, Thailand. 1914: 1-8.
- Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wangemann, S.G., R.A. Kohl and P.A. Molumeli, 2000. Infiltration and percolation influenced by antecedent soil water content and air entrapment. *Trans. of the ASAE* 43 (3): 1517-1523.
- Whalen, J.K., and C. Chang, 2002. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. *Soil sci. Soc. Am. J.* 66: 1637-1647.
- Wuest, S.B., 2001. Earthworm, infiltration, and tillage relationships in a dry land pea-wheat rotation. *Appl. Soil Ecol.* 18: 187-192.

CHAPTER II

2.0 LITERATURE REVIEW.

2.1 Volcanic ash-derived soils with indurated subsurface horizons (tepetates)

Volcanic ash-derived soil with indurated subsurface horizons (having the local name tepetates) is totally or partly cemented by silica, 1:1 clay silicates, and iron oxides or calcium carbonates, and cover about 660 000 km² in Latin America (Solleiro-Rebolledo *et al.*, 2002). According to Etchevers *et al.* (2004), the term “tepetates”, is a Mexican vernacular which, in scientific definition, can be referred to as a hardened subsoil layer in soils formed from pyroclastic volcanic materials; and they are found in other Latin American countries, for example, Nicaragua (2500 km²), Ecuador (3000 km²), Chile (4750), Peru (10000 km²), and Columbia (12000 to 15000 km²). Tepetates are derived from volcanic parent rock materials, mainly tuff. These tepetates are estimated to cover approximately 27% of the Trans-México Volcanic Belt (TMVB) region (Zebrowski, 1992).

In México, tepetates were exposed by ancient deforestation and excessive soil erosion processes, and they are referred to as hardened or indurated lands with various degrees of infertility. The rate of soil loss from tepetates is approximately 10-30 mt.ha⁻¹.y⁻¹ (Prat *et al.*, 1997). In the Central Valley of México, these indurated subsoil layers are among the most striking pedological features, which have been exposed to the surface through topsoil erosion degradation under agricultural land uses and when they are mixed into the plough layers they usually have high bulk density which limits rain-water infiltration, promotes high volume of surface runoff and increasing soil loss rates (Etchevers *et al.*, 2004). The deteriorating physical, chemical and biological fertility and productivity of the cropped volcanic ash soils has often been associated with a decline in soil carbon content (Etchevers *et al.*, 2004). Although the physical fertility of soils is affected by cropping management practices, a decline in physical fertility is often neglected in determining the sustainability of most agricultural systems.

2.2 Importance of leguminous plants in soil fertility

The grain legumes, such as soybeans, lupines, alfalfa and faba-beans, are often grown as break or cover crops in organic agriculture and have attractive positive agronomic “rotational effects” on subsequent cereal production; as well as an economic potential for the most essential oils and proteins in the world trade (Robson *et al.*, 2002). Nitrogen fixation by grain legumes, such as faba-bean, lupines and soybean, can contribute to the overall N-nutrient balance for organic crop rotations in a hay and silage farming systems. After three years of fallow/break, the nitrogen fixation ranging between 0.096 and 0.220 Mg N.ha⁻¹ yr⁻¹ has been reported with other grain legumes, whereas tree lupines (*Lupinus arboreus*) can be expected to accumulate between 0.210 to 0.540 Mg N.ha⁻¹ yr⁻¹ in the soil as a nurse-crop (Marrs *et al.*, 1982).

Leguminous winter cover crops and trees have the potential to provide biologically-fixed N for the summer crops (Ebelhar, *et al.*, 1984). In fresh volcanic ash deposits of Mt. St. Helen’s volcano, the highly dense population of *Lupinus lepidus* stands was a key for their nitrogen fixation capacity which, in turn, facilitated the abundance and diversity of succession vegetation (De Moral and Rozzell, 2005).

Lupinus, as well as other leguminous plants, possess specialized acid-secreting type of root system known as cluster root hairs, and which make them particularly efficient for acquiring soil phosphorus in strongly P-fixing soils (Horst *et al.*, 2001, Drouillon and Merckx, 2003). A wide adaptability of diverse wild species of *Lupinus* to a wide range of climates, soil pH and soil fertility has been demonstrated by Graham and Turkington, (2000) and Hockings and Jeffrey (2004).

2.3 Soil physical properties

As plant roots grow through the soil, they excrete water soluble organic compounds, generally called root exudates, which provide a carbon source that can stimulate soil microbial activity. The root exudates, dead fine roots and residues that can proliferate microbial activity, particularly earthworms and fungi, and produce extracellular polysaccharides that are effective binding compounds between soil particles (Tisdall and Oades, 1982) could be derived from the readily decomposable legumes than grasses

and trees. Actively growing fungal hyphae and fine plant roots can promote macroaggregate stability by physically entangling soil materials (Tisdall and Oades, 1982; Dorioz *et al.*, 1993). Organic matter from the root death increases the cohesion of aggregates through the binding of soil particle by organic polymers (Chenu *et al.*, 1994). The earthworm casts are enriched in organic C, since earthworms ingest partially-decomposed plant debris and soil, producing a mixture of fine mineral grains, and mucilage coated organic fragments that are excreted as casts along the bio-macropore channels. The fluid flow through the bio-macropores formed by root growth is believed to be particularly significant in no-tilled soils, whereas tillage practices tends to disrupt the continuity of the pore system. Meek *et al.* (1992) measured progressive increases in water infiltration rates that were related to lower plant density because of roots death that leads to opening of macropores under long-term alfalfa. Winter cover crops have shown some potential to reduce soil bulk density and increase water infiltration properties, and they change the distribution of soil aggregate-size classes relatively quicker after their introduction into cropping systems (McVay *et al.*, 1989; Kou *et al.*, 1997; Miller, and Dick, 1995a).

Plants growing in hardened soils develops larger root diameter which enables them greater resistance in penetrating compacted soils having bulk density over 1.62g.cm^{-3} (Whiteley and Dexter, 1984). Singh and Sale (2000) reported that coarse root diameter of white clover increased with nutrient amount and forms of phosphorus supply and water content. Henderson (1989) demonstrated that a normal lupine stand density was able to ameliorate a compacted earthy sandy soil and increased the potential of a subsequent wheat grain and biomass yield. Plant roots growth can create microfissures or zones of failure on initially compact soils at continuously moist regimes, resulting to the breakdown of large aggregates, inducing soil loosening and formation of smaller aggregates (Materchera *et al.* (1992). Materchera *et al.* (1994) suggested that the higher proportion of small aggregates in planted than in unplanted soils could have resulted from breakdown of large aggregates by penetrating roots. Materchera *et al.* (1992) observed that repeated wetting and drying cycles associated with plant root growth resulted in extensive soil fragmentation and production of smaller aggregates. According to Deneff *et al.* (2002), the resiliency of structural forms and stability is governed by soil clay (content and type), climatic factors (wetting/drying; freeze/thaw

cycles), and biological activity (tillage, roots, microflora, and fauna mucilage). These authors concluded that positive effects of actively growing roots that can form and stabilize smaller aggregates into larger macroaggregates include: soil drying in the zone of root exudation that stimulates microbial activity and mucilage production, the presence of mixed clay (2:1 and 1:1) minerals, physically entangle and compress the soil materials by a dense plant root network, which can be related to soil shear strength or root-length density. Statistical correlations have been found between root length or biomass and soil aggregation (Miller and Jastrow, 1990). Positive effects of short-term actively growing plant roots and biological processes on soil aggregate stabilization led to less stable macroaggregates in an oxide-rich kaolintic clay soil than in an illitic clay soil, and also macroaggregates formed in soils with low-organic matter (low-OM) level were less stable than macroaggregates formed in soils with high-organic matter (high-OM) level (Denef and Six, 2005).

2.4 Soil biochemical properties

When an aggregate form, they physically protect organic C from soil microbial attack (Jastrow, 1996) and high levels of total and hydrolysable organic C were associated with large macroaggregate size classes (McLauchlan and Hobbie, 2004). Soil organic C stabilization may undergo three principal mechanisms: physical protection through aggregation, chemical protection through organo-mineral ionic complexes, and biochemical protection through recalcitrance of organic molecules (Sollins *et al.*, 1996; Jastrow and Miller, 1998). The magnitude of stable or recalcitrant soil organic matter has been related to a non-hydrolysable organic carbon (NHC) pool because of its high resistance to decomposition (Paul *et al.*, 2001; Six *et al.*, 2002). Conversion of conventional-tillage to no-tillage cropping management resulted in enriched NHC content of the aggregate fractions (Tan *et al.*, 2004). According to Tan *et al.* (2004), the most sustainable land use and management practices were those whose soil macroaggregate (250-2000 μm diam.) stability increased with increasing NHC concentration. The decomposition of nitrogen-rich crop residues from leguminous winter crops by microorganisms lead to changes in soil physical and chemical features through mineralization of organic carbon, phosphorus, and nitrogen. No-tillage (NT) management systems can promote the accumulation of SOM and increased

macroaggregate stability, which reduces losses of labile SOM by physically protecting SOM; than in conventional tillage (CT) soils where the disrupted aggregates increase microaggregate turnover and may increase decomposition of SOM (Six *et al.*, 1998).

The soil microorganisms mineralize organic residues of animal and plant origin into inorganic nutrient forms which a plant can then take up the root xylem to its foliage. Leguminous trees (*Erythrina*) have shown the potential to provide high amounts of nutrients (N and P) recycling through mineralization of their mulching prunings in alley cropping systems with maize/bean rotation in Costa Rica (Henriksen *et al.* 2002).

2.5 Sustainable and alternative production

Exposed tepetates in volcanic ash soils (Etchevers *et al.*, 2004) under the current agricultural and forestry landuse management systems (Pulido and Bocco, 2003) create soil fertility limitations, but investigations have given little attention on identifying sustainable land use and cropping management practices for countless generations of indigenous Mexican farming systems, probably because of a negligible subsistence agricultural profitability or severe fertility limitations (Solleiro-Rebolledo *et al.*, 2002).

Intensive annual disc-ploughing has thoroughly mixed the fragipan tepetates into the plough layer, resulting in soil surface crusting, low water infiltration, loss of organic matter, low water storage capacity, massive structure and high bulk density, until the cultivated soils become un-productive, and the fields become abandoned or fallowed to recuperate organic matter slowly through natural plant invasion (Pulido and Bocco, 2003). During the initial periods of fallowing, the fertile volcanic topsoil erosion loss result in exposing the hard fragipan tepetates, which limits a sustainable growth of vegetation cover due to their hardness and low fertility. Deep ploughing (at 40 cm depth), crop rotation with legumes and gramineae and fertilization with split annual nitrogen and phosphorus to complement for addition of large amount of soil organic matter ($40 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ of farmyard manure) have been recommended for sustainable productivity of fragipan tepetates (Etchevers *et al.*, 2004).

If the long-term invasion of wild lupines in cultivated and forest lands could improve the soil physical and hydraulic soil properties of the volcanic ash-derived soils, then, a

recommendation would be to introduce improved grain lupines genotypes as a new cropping management strategy in the TMVB region in México. Such grain lupines would provide new alternative and sustainable farming systems for replacing the current long-term fallow rotation cycle (Pulido and Bocco, 2003) or land abandonment (Lopez *et al.*, 2006). Considerable cereal yield benefit following *Lupinus* cover crops can be expected due to large nitrogen-accumulation in the soil (Marrs *et al.*, 1982). An increasing demand for *Lupinus* seed is already existing in developed countries for animal feeds, and their high protein (35-40%) and oil (11-13%) contents in *Lupinus* seed meal can suggest a potential replacement for the soybean meal in animal feed rations and most human food diets (making bread, biscuits, cakes, pasta, baby foods, powdered milk, snack foods, and fast foods) (Robson *et al.*, 2002). The autumn-sown, florally-determinate genotypes of *Lupinus* exist in the south United Kingdom with a more reliable yield potential (3 to 4.5 Mg grain.ha⁻¹) (Robson *et al.*, 2002; Reeves *et al.*, 1984).

2.6 Organic matter pools

Soil organic matter is an important component of the ecosystem which regulates the nutrient supply for plants and microorganisms, temporary soil water retention, a long-term carbon storage and balance in the soil atmosphere (McLauchlan and Hobbie, 2004). Soil organic matter is the organic fraction of the soil, with a complex mixture of plant and animal products in various stages of decomposition by the soil microorganisms and plant roots, and the substances they produced through their respiration (Chan *et al.*, 2001).

Accumulating information suggests that the smallest-size portion of soil organic matter, which consists of organic carbon compounds that are most rapidly-decomposed, readily-soluble, N-S-P-enriched, lower molecular-weight, is termed *labile, particulate organic matter, light-fraction*, whereas the larger portion with organic carbon compounds that are slowly-decomposed, less-soluble, higher molecular weight, is termed *recalcitrant, heavy-fraction* (Cambardella and Elliott, 1992; McLauchlan and Hobbie, 2004). The heavy fraction of organic carbon is assumed to be chemically stabilized onto surfaces of clay particles which are associated with highly stable microaggregates

(<250 µm diameter) make it less vulnerable to microbial degradation, whereas the light fraction of organic carbon is thought to be physically-protected in relatively less-stable macroaggregates (>250 µm diameter) from which labile C fraction is released when unstable macroaggregates slake (Gale *et al.*, 2000).

The labile organic carbon fraction consists of decaying animal and plant residues, roots, fungal hyphae, and polysaccharides, and is more important in maintaining soil fertility, aggregate formation and stabilization processes, and therefore, it is a more sensitive indicator of the impact of management (Cambardella and Elliott, 1992). Recalcitrant SOM has been considered more resistant to tillage practices, and less sensitive to soil management. Blair *et al.* (1995) demonstrated that the calculation of the carbon management index is a sensitive tool for monitoring and selecting sustainable soil and cropping management practices. Chan *et al.* (2001) observed similar amounts of more oxidizable organic carbon by both $K_2Cr_2O_7$ and $KMnO_4$ under lovegrass and Lucerne soils, although the lucerne soil had higher total organic carbon accumulation than the pasture soil.

2.7 Soil aggregation hierarchy

According to the conceptual, hierarchical model that describes the formation of stable aggregates (Tisdall and Oades, 1982)), highly stable microaggregates (<250 µm diameter) are enmeshed by plant roots and fungal hyphae to form the relatively less-stable macroaggregates (>250 µm diameter) of various sizes and shapes. The increases in large macroaggregates were formed with time in the growing plant roots + plant residues than in the plant residues only, were accompanied by decreases in the silt + clay (<53 µm) and microaggregates (53-250 µm) fractions for the illitic soil rather for the oxide-rich kaolinitic soil (Denef and Six, 2005). The illitic soil provides an evidence for the hierarchical construction, in which large amount microaggregate size structural units were assembled together in, bound together by positive root growth process into macroaggregates.

Gale *et al.* (2000) observed that small macroaggregates were enriched in large amounts of root-derived particulate SOM, but slaking resulted in progressive loss of organic carbon from small-macroaggregates (250-2000 µm) and simultaneous increase

in SOC in microaggregates (53-250 μm) with incubation time. This indicated that a large amount of microaggregate was released when unstable small macroaggregates slaked. The particulate SOM fraction had contributed to the formation and stabilization of macroaggregates. Therefore macroaggregate instability could be a result of increased rate of microbial degradation of the particulate SOM fraction.

Raindrop impact leads to instant macroaggregates breakdown into smaller particles that are then able to settle-in and plug the inter-aggregate macropores, which is often the first step to the formation of surface soil seal or crust (Le Bissonnais, 1990). The higher amount of soil microaggregates released from unstable macroaggregates could be as a consequence of decreased particulate SOM content (temporary and transient binding agents, such as roots, hyphae, polysaccharides) needed to stabilize macroaggregates (Tisdall and Oades, 1982). The rapid wetting cause the soil to become saturated with water leading to slaking and dispersion mechanism of macroaggregate breakdown through pressure build up by air-entrapment (Green *et al.*, 2004).

2.8 Soil physical disturbance

The physical disturbance of the vegetation and soil structure through farming systems modifies the natural ecosystems. Soil degradation problems are often accompanied by the decline in soil organic carbon, usually under exploitative farming systems (Greenland, 1981). Forest logging in agro-industrial forest ecosystems can reduce inputs of organic matter through exploitative removal of plant biomass. Cultivated agricultural ecosystems can decrease the amount and size of soil macroaggregates (Six *et al.*, 2000; Franzluebbers, 2002), and accelerate microbial degradation of organic carbon physically-protected in macroaggregates. Conversely, a reduction in tillage intensity increases plant residue mulch and reduces overland water runoff, and enhances the earthworm population (Wuest, 2001).

High residues returned to soil surface improved the stability of aggregate size, biotic activities, aeration, and macroporosity of soil (Haynes and Naidu, 1998). The higher aggregate stability and lower clay dispersion under high-OM soil than low-OM

soil was found to limit seal formation, resulting to an increase in the saturated hydraulic conductivity and infiltration rates (Lado *et al.*, 2004a). This indicates that SOM is an important soil quality indicator because it has strong relationship with the critical soil functions, such as infiltration, productivity, erodibility and soil structural aggregates stability.

Soil structure improves when the cultivated land is put into grass. Soil structural aggregate size and stability, and active water flow conducting pores improve with time in a grass or pasture culture (Lindstrom *et al.*, 1998).

2.9 Macropore channels

Higher initial and equilibrium infiltration of ponded water in no-tillage system than in conventional tillage system was ascribed to the presence of bio-macropore channels, lower bulk density, mean weight diameter, higher amount of water-stable aggregates (Shukla *et al.*, 2003b). Initial infiltration and sorptivity could be a function of open channels caused by earthworm activity and roots death, and as a consequence of greater spatial distribution of actively growing roots (Shukla *et al.*, 2003a).

Hangen *et al.* (2002) reported greater vertical connectivity and continuity of hydrologically-active macropore channel network beneath the extensively-rooted zone and higher earthworm abundance conservation tilled soils as compared to conventional tilled agricultural soils. Natural macropores occur along the decomposing dead root channels, earthworm holes, and shrink-swell cracks.

2.10 Environmental impact assessment of land management practices

Measurable changes in soil properties are attributed generally to the influence of landuse and management practices (Sanchez-Maranon *et al.*, 2002; Carter, 2002). However, critical limits and methods for quantifying sustainability of management systems are complex. An ecosystem that has a capacity to supply adequate organic carbon inputs to the soil would maintain the largest soil macroaggregates with sufficient

bonding strength to resist slaking would increase soil water retention and transmission, pH and electrical conductivity (EC), and the presence of stable macroaggregates and bio-macropores. The most optimal environment with extensive network of plant roots of the perennial grass or legume would be expected to sustain biological productivity, economic production of crops or environmental benefits, which promote plant and animal health (Shukla *et al.*, 2004). The goal of the sustainable agriculture is to maintain increasing trend in per capita productivity while maintaining or enhancing soil quality (Lal, 1994; Lal, 1998).

The soil degradation under intensive cultivations than under no-tillage resulted in greater amount of microaggregates than macroaggregates (Six *et al.*, 2000). Boix-Fayos *et al.* (2001) and Cammeraat and Imeson (1998) had proposed that soil degradation under certain landuse ecosystems and cropping management practices could be assessed by determining the quotient between the weight of the free microaggregates size class (MicAg, <0.25 mm) in the sample soil and macroaggregates size class(es) (MacAg, >0.25 mm) in the reference soil released from the wet-sieved aggregate size distribution (ASDw) method. The ASDw method is widely used to determine the size distribution classes and stability levels of the aggregates caused by the raindrop impact on dry soil, and the subsequent rapid wetting that causes aggregate slaking and surface crusting (Elliot, 1986; Kemper and Rosenau, 1986; Le Bissonnais, 1990). However, many studies (Kemper and Rosenau, 1986; Mendes *et al.*, 1999; Gale *et al.*, 2000; Shutter and Dick, 2002) have mentioned the disadvantages of the ASDw method for assessing the environment sustainability of various cropping management practices. By contrast, Sainju (2006) has recommended the use of the dry-sieved aggregate size distribution ASDd) method for successfully separating aggregate size classes at field-moist soil conditions, without destroying the physical habitats, activities and N-mineralization of microbial communities in aggregates. In the present study, a quotient of the weight of microaggregates size class (MicAg, <0.25 mm) in the sample soil to the weight of the macroaggregates size class(es) (MacAg) in the reference soil to indicate the degree of soil degradation could be explained as the macroaggregates instability index (CoES), and the lower the value was considered as a sensitive indicator of a sustainable environment (Boix-Fayos *et al.*, 2001).

2.11 Natural distribution of some *Lupinus* species

In Mexico, the potential benefit of wild *Lupinus* species growing naturally in *milpa* is traditionally more recognized as a weedy plant invader rather than as a green-manure legume. The *Milpa* is the conventional tillage production ecosystem that involves a short-term fallow and crop rotation sequence: (i) intercropping cereals (such as, maize) with the summer legume crops (such as, faba beans, field beans), and (ii) a short-term fallow consisting of a one-year + two-months (año y vez) with the winter forage crops (such as, *Avena veza*). However, the impact of the wild *Lupinus* invasion during the short-term forage crop fallow is not significant and also not recognizable to the farmers. Apparently, the increasing landuse pressure and more intensive conventional tillage practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Edo de Mexico, have impinged on the conversion sequence between *milpa* and long-term fallow period, which is required in order to manifest greater impacts of the wild *Lupinus* invasion.

To evaluate of the impact of the wild *Lupinus* invasion during the long-term fallow period would help in formulating new cropping patterns by introducing grain-lupines genotypes in the current traditional cropping systems, because of the anticipated economic opportunities of the grain-lupines crop for the farmers and feed manufacturers. However, whether long-term active *Lupinus*-root growth and biomass effects in San Pablo Ixayoc can positively improve the soil physical and biochemical properties of volcanic ash soils under intensive cultivations and forest plantations still remain to be documented.

Numerous species of the naturally-growing perennial *Lupinus* have been found in highly disturbed forests and abandoned cultivated (Medina-Garcia *et al.*, 2000.). On the north-eastern highland foothill slopes of the Tlaloc volcano, Alderete-Chavez *et al.* (2008) reported on the natural distribution of seven wild lupines species in several areas with varying degree of soil and forest disturbance by intensive cultivations, forest fires, tree logging, access roads, as well in open-canopy rock outcrop lands. This has prompted the question of whether these soil and cropping management practices are environmentally sustainable. To what extent does the long-term *Lupinus* invasion in

cultivated fallows and disturbed pine forest lands has improved the physical and chemical properties of volcanic ash soils with indurated subsurface horizons (tepetates)? The focus of the present study, for the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB), is to elucidate the replacement of the long-term fallow or abandonment period with the introduction of the grain *Lupinus* genotypes in the on-going traditional cultivated-agriculture management (TCM, *milpa*) ecosystem. If the wild *Lupinus* invasions in cultivated fallows and harvested forest lands could demonstrate sustainable agronomic and environmental benefits, probably there would be economic profitability and socio-economic potential when introducing the high-yielding grain *Lupinus* genotypes for the future farming communities in the TMVB region. This study was planned to investigate direct field agronomic and environmental benefits or evidences of the long-term role of lupines (*Lupinus uncinatus* Schlecht and *Lupinus leptophyllus*) invasion in cultivated fallows, planted grass meadows and harvested forest lands on changes in soil aggregation, water transmission characteristics and organic matter pools in the volcanic ash soils with fragipan tepetates under different cropping management practices for the two distinctly managed landuse ecosystems.

2.12 General objectives

The main goal of the present study was that, a proper understanding is needed about the impacts of the wild *Lupinus* invasion and planted pastures on surface and subsurface soil properties for different cropping management strategies in two distinct landuse (CFM and TCM) areas, in order to help in assessing the best environmentally-sustainable cropping management practices for the selected landuse ecosystems in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

The specific objectives and hypotheses are presented in their individual chapters.

2.13 LITERATURE CITED

- Alderete-Chavez, A., V. Espinosa-Hernández, E. Ojeda-Trejo, M. Ehsan, J. Perez-Moreno, V.M. Cetina-Alcalá, D.A. Rodríguez-Trejo, N. De la Cruz-Landero, 2008. Natural distribution and principal characteristics of *Lupinus* in the oriental face of Tlaloc Mountain in Sierra Nevada, Mexico. *J. Biological Sciences* 8 (3): 604-609.
- Blair, G.J., R.D.B. Lefroy, and L. Lisle, 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, the development of a carbon management index for agricultural systems. *Austr. J. Agric. Res.* 46: 1459-1466.
- Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson, M.D. Soriano-Soto, 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate-size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.
- Cammeraat, L.H., and A.C. Imeson, 1998. Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in south-eastern Spain and southern France. *Geomorphology* 23: 307-321.
- Cambardella, C.A., and E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Carter, R., 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38-47.
- Chan, K.Y., A. Bowman, and A. Oates, 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic Paleustalf under different pasture leys. *Soil Sci.* 166 (1): 61-67.
- Chenu, C., J. Guérif, and A.M. Jaunet. 1994. Polymer bridging: A mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides. pp.403-410. *In: XVth World Congress of Soil Science, 3rd ISSS, Acapulco, Mexico.*
- De Moral, R. and L.R. Rozzell. 2005. Long term effects of *Lupinus lepidus* on vegetation dynamics at Mt St. Helens. *Plant Ecology* 181: 203-215.
- Denef, K., and J. Six, 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. *Euro. J. Soil Sci.* 56 (4): 469-479.

- Denef, K., J. Six, R. Merckx, and K. Paustian. 2002. short-term effects of biological and physical forces on aggregate formation in soils with different clay mineralogy. *Plant and Soil*. 246: 185-200.
- Dorioz, J.M., M. Robert, and C. Chenu. 1993. The role of roots, fungi, and bacteria, on clay particle organization: A experimental approach. *Geoderma* 56 : 179-194.
- Drouillon, M., and R, Merckx. 2003. The role of citric acid as a phosphorus mobilization mechanism in highly P-fixing soils. *Gayana Bot.* 60 (1): 55-62.
- Ebelhar, S.A., W.W. Frye, and R.L. Blevins, 1984. Nitrogen from legume cover crop for no-tillage corn. *Agron. J.* 76: 51-55.
- Elliott, E.T., 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci Soc. Am. J.* 50: 627—633.
- Etchevers, J.D., C. Hidalgo, C. Prat, P. Quantin. 2004. Tepetates of Mexico. *Encyclopedia of Soil Science*. pp 1-4.
- Franzuebbers, A.J., 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and is stratification with depth. *Soil and Till. Res.* 66: 197-205.
- Gale, W.J., C.A. Cambardella, and T.B. Bailey, 2000. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. *Soil Sc. Soc. Am J.* 64: 201-207.
- Graham, A.S., and R. Turkington, 2000. Population dynamics response of *Lupinus arcticis* to fertilization, clipping, and neighbour removal in the understory of the boreal forest. *Canadian J. of Botany* 78 (6): 753.
- Green, V.S., D.E. Stott, J.G. Graveel, and L.D. Norton, 2004. Stability analysis of soil aggregates treated with anionic polyacrylamides of different molecular formulations. *Soil Sci.* 169(8): 573-581.
- Greenland, D.J., 1981. Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.* 32: 301-322.
- Hangen, E., U. Buczko, O. Bens, J. Brunotte, R.F. Huttl, 2002. Infiltration patterns into two soils under conventional and conservation tillage: Influence of spatial distribution of plant root structure and animal activity. *Soil and Till. Res.* 63: 181-186.
- Haynes, R.J., and R. Naidu, 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic mater content and soil physical soil properties: A review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51: 123-127.

- Henderson, C.W.L. 1989. Lupin as a biological plough: evidence for, and effects on wheat growth and yield. *Aust. J. Exp. Agric.* 29: 99-102.
- Henriksen, I., A. Michelsen, and A. Schlonvoigt. 2002. Tree species and soil tillage in alley cropping systems with *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and Soil* 240:145-159.
- Hockings, P.J. and S. Jeffrey, 2004. Cluster-root production and organic anion exudation in a root of old-world lupines and a new-world lupine. *Plant and Soil* 258: 135-150.
- Horst, W.J., M. Kamh, J.M. Jibrin, and V.O. Chude. 2001. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil* 237: 211-223.
- Jastrow, J.D., 1996. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter. *Soil Biol. and Biochem.* 28: 665-676.
- Jastrow, J.D., and R.M. Miller. 1998. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organo-mineral associations. Pp.207-223. *In: Soil Processes and the Carbon Cycle*. R. Lal, J. Kimble, R. Follett, BA. Stewart, (eds). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Kemper, W.D., and R.C. Rosenau, 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425-442. *In: A. Klute (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd Edition. Agron. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.*
- Kou,S., U.M. Sainju, and E.J. Jellum. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrates in soil. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 61: 145-152.
- Lado, M., A. Paz, and M. Ben-Hur, 2004a. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am J.* 68: 935-942.
- Lal, R., 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. *In: Soil Management Support Services, USDA-NRCS, Washington, DC.*
- Lal, R., 1998. Soil quality and agricultural sustainability. pp.3-12. *In: R. Lal (ed). Soil Quality and Agricultural sustainability. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.*
- Le Bissonnais, Y., 1990. Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. pp.13-28. *In: R.B. Bryan (ed.). Soil erosion - experiments and models. Catena Verlag, Cremlingen, Germany.*

- Lindstrom, M.J., T.E. Schumacher, N.P. Cogo, M.L. Blecha, 1998. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. *J. Soil Water Conserv.* 53: 59-63.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velásquez, J.R. Aguirre-Rivera, 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems* 90: 62-78.
- Marrs, R.H., L.D.C. Owen, R.D. Roberts, and A.D. Bradshaw. 1982. Tree lupin (*Lupinus arboreus* Sims): An ideal nurse crop for land restoration and amenity plantings. *Arboricultural Journal* 6:161-174: AB Academic Publishers, Great Britain.
- Materechera, S.A., T.M. Kirby, A.M. Alston, and A.R. Dexter, 1994. Modification of soil aggregation by watering regimes and roots growing through beds of large aggregates. *Plant and Soil* 160: 57-66.
- Materechera, S.A., A.R. Dexter, A.M. Alston. 1992. Formation of aggregates by plant roots in homogenized soils. *Plant and soil* 146: 69-79.
- McLaughlan, K.K., and S.E. Hobbie, 2004. Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1616-1625.
- McVay, K.A., D.E. Radcliffe, and W.L. Hargrove. 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1856-1862.
- Medina-Garcia, C., F. Guevara-Féver, M.A. Martinez-Rodriguez, P. Silva-Sáenz, Ma. A. Chavez-Cabajal, 2000. Study of flora in the indigenous community area of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico. *Acta Botánica Mexicana.* 52: 5-41.
- Meek, B.D., E.R. Rechel, L.M. Carter, W.R. DeTar, and A.L. Urie, 1992. Infiltration rate of a sandy loam soil: effects of traffic, tillage, and plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 908-913.
- Mendes, I.C., A.K. Mandick, R.P. Dick, and P.J. Bottomley, 1999. Microbial biomass and activities in soil aggregates affected by winter cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 873-881.
- Miller, M., and R.P. Dick. 1995a. Dynamics of soil C and microbial biomass on whole soil aggregates in two cropping system differing in C-input. *Applied Soil Ecology.* 2: 253-261.
- Miller, R.M., and J.D. Jastrow. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 5: 579-584.

- Paul, E.A., H.P. Collins, S.W. Leavitt. 2001. Dynamics of resistant soil carbon on Midwestern agricultural soils measured by naturally occurring ^{14}C abundance. *Geoderma* 104: 239-256.
- Prat, C., A. Báez-Pérez, and A. Márquez, 1997. Erosion and runoff in cultivated plots of indurated t3 volcanic soils in Texcoco, Mexico. pp. 371-383. *In*: C Zebrowski, P. Quantin and G. Trujillo (eds). Proceedings of the: III International Symposium on indurated volcanic soils (in *Spanish*). 6 – 12 Dec. 1996. ORSTOM., Quito, Ecuador.
- Pulido, J.S., and G. Bocco, 2003. The traditional farming system of a Mexican indigenous community: The case of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico. *Geoderma* 111(3-4): 249-265.
- Reeves, T.G., A. Ellington, and H.D. Brooke. 1984. Effects of lupin-wheat rotation on soil fertility, crop disease and crop yields. *Austr. J. Exp. Agric. and Animal Husb.* 24: 595-600.
- Robson, M.C., S.M. Fowler, C. Leifert, M. Leitch, D. Robinson, C.A. Watson, and A.M. Litterick, 2002. The agronomic and economic potential of break crops for ley/arable rotations in temperate organic agriculture. *Advances in Agronomy* 77: 369-427.
- Sainju, U.M., 2006. Carbon and nitrogen pools in soil aggregates separated by dry and wet sieving methods. *Soil Sci.* 171 (12): 937-949.
- Sanchez-Gonzalez, A., and L. Lopez-Mata, 2003. Classification and arrangement of the vegetation in the northern Sierra Nevada, along an altitudinal gradient. *Anales Instituto Biol. UNAM* 74 (1): 47-71.
- Sanchez-Maranon M.M. Soriano, G. Delgado, R. Delgado. 2002. Soil quality in mediterranean mountain environment: Effects of land use change. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 948-958.
- Shukla, M.K., R. Lal, L.B. Owens, and P. Unkefer, 2003a. Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio. *Soil Sci.* 168 (3): 167-177.
- Shukla, M.K., R. Lal, and M. Ebinger, 2003b. Tillage effect on physical and hydrological properties of a Typic Argiaquoll in central Ohio. *Soil Sci.* 168 (11): 802-811.

- Shukla, M.K., R. Lal, and M. Ebinger, 2004. Soil quality indicators for the North Appalachian experimental watersheds in Coshocton, Ohio. *Soil Sci.* 169 (3): 195-205.
- Shutter and Dick, 2002. Microbial community profiles and activities among aggregates of winter fallow and cover cropped soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:142-153.
- Singh, D.K. and Sale, P.W.G. (2000). Growth and potential conductivity of white clover roots in dry soil with increasing phosphorus supply and defoliation frequency. *Agronomy Journal* **92**, 868-874.
- Six, J., E.T. Elliott, K. Paustian, and J.W. Doran. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1367-1377.
- Six, J., R.T. Conant, E.A. Paul, and K. Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.
- Solleiro-Rebolledo, E., D. Flores-Roman, J. Gama-Castro, and S. Sedov, 2002. Tepetates of Central Mexico: Paleogeographical background and functioning in modern agro-ecosystems. 17th WCSS. Symposium No.15 of the 14-21 August 2002, Thailand. 1914: 1-8.
- Sollins, P., P. Homann, and B.A. Caldwell. 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. *Geoderma* 74: 65-105.
- Tan, Z.X., R. Lal, R.C. Izaurralde, and W.M. Post. 2004. Biochemical protected soil organic carbon at the north Appalachian experimental watershed. *Soil Science* 169 (6): 423-433.
- Tisdall J.M., and J.M.Oades, 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Whiteley, G.M., and A.R. Dexter. 1984. Root development and growth of oilseed , wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. I. Experimental methods and results. *Plant and Soil* 77: 141-149.
- Wuest, S.B., 2001. Earthworm, infiltration, and tillage relationships in a dry land pea-wheat rotation. *Appl. Soil Ecol.* 18: 187-192.
- Zebrowski, C. 1992. Indurated soils in Latin America. *Terra* 10 (special issue, *in Spanish*): 15-23.

CHAPTER III

3.0. LUPINES-INVADDED DISTURBED PINE FOREST AND CULTIVATED LAND MANAGEMENT IMPACTS IN VOLCANIC ASH SOILS OF MEXICO: DRY-SIEVED AGGREGATE SIZE DISTRIBUTION CLASSES AND MACROAGGREGATES INSTABILITY INDICES

ABSTRACT

A field study was conducted to investigate the effectiveness of wild lupines invasions and planted pastures on improvement of soil structural aggregation and to determine the macroaggregates instability indices for environmental impact assessment on the sustainability of traditional cropping management practices. Dry-sieved aggregate size distribution (ASDd), macroaggregates instability indices (CoES), soil-water retention capacity (SWRC), total organic carbon (TOC), soil pH and particle size distribution were determined from air-dried soil under the long-term intensive cultivations (CA), natural oak forest (VN), lupines invaded disturbed pine forest (BL), planted pastures (PP), lupines invaded meadows (PL), lupines invaded fallows (SDL), and freshly-tilled lupines invaded fallows obtained by converting SDL to CA (BRDL). The higher moderate-acid pH and total clay content increased with depth, except for the SDL soils. The lowest amount of microaggregates (MicAg) at 0-20 cm depth was observed for the SDL soils than for the VN and BL soils. The small-macroaggregates (SmMag) was the highest for the CA and VN soils at 20-40 cm depth, but the lowest for the SDL and PL soils at 0-20 cm depth. The VN soils caused higher medium-macroaggregates (MeMag) at 0-20 cm depth as compared to the BL soils. The large macroaggregates (LaMag) was the highest for the BRDL soils at both depths and for the CA soils at 0-20 cm depth, while was the lowest for the BL soils at both depths. The macroaggregates instability (CoES) indices for the TMag, SmMag and MeMag size classes were the lowest for the SDL soils and for the LaMag for the PL soils at 0-20 cm depth, while were also the lowest for all macroaggregates size classes for the VN soils at 20-40 cm depth, but were the highest for all macroaggregates size classes for the BL soils at both depths. The linear regression analysis indicated strong negative associations between CoES, pH and total clay, but a positive relationship was observed between CoES and TOC. High yielding grain lupines genotypes could be considered for future inclusion in the cropping management practices to improve the physical soil fertility and socio-economic sustainability of the traditional farming systems.

Keywords: dry-sieved soil macroaggregates, macroaggregates instability indices, sustainable environmental assessment, volcanic ash soils, México.

3.1 INTRODUCTION

Volcanic soils (Andisols) are among the most productive soils for agriculture and forestry in the world (Ugolini and Dahlgren, 2002). The pyroclastic volcanic ash materials are progressively transformed by climate in conjunction with the vegetation and time of exposure to weathering processes. Andisols are typically dominated by varying amounts of non-crystalline inorganic clay-size materials depending on diverse weathering environments of both humid temperate and tropical climates, mainly with grass vegetation and is altered to other soil orders with aging and degree of weathering (Ugolini and Dahlgren, 2002). Changes in landuse management practices lead to the variation in organic matter content which contribute to differences in soil pH and allophane content (Huygens *et al.*, 2005). With high organic-C content and enhanced acidification by organic acids in A-horizons, the amount of allophane-imogolite was decreased because, humus preferentially complexes exchangeable Al to form Al/Fe-humus complexes, and the soil pH varied with soil depth from 4.9 to 6.2 under *Miscanthus sinensis* grassland and from 5.6 to 6.0 for *Fagus crenata* forest (Ugolini and Dahlgren, 2002). Raising soil pH to neutral values in the range 6.1 to 7.3, would significantly cause the hydrated $[\text{Fe/Al}(\text{OH})^{2+}]$ oxides to precipitate and their removal increase the amount of negative charges on the surfaces of crystalline silicates (2:1-type) minerals and humus on which they are always found as coatings that block exchange sites (Brady and Weil, 1999). The soils dominated by 1:1 kaolinite and oxide clays rapidly formed high amounts of unstable macroaggregates through electrostatic interactions at low organic matter levels, while the soils dominated by 2:1 type clays slowly formed more stable macroaggregates at high organic matter levels (Denef *et al.*, 2002).

In Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) region of central Mexico, the forested highland Andisols extend beyond 2500 m altitude, and are progressively being subjected to rain-fed cultivated agriculture for fodder and cereal crop production, to an extent that the natural ecosystem dominated by black oak forest vegetation is being diminished and is limited to ravines (Campos-Cascaredo *et al.*, 2001). The Federal Council for Forestland Reserves Stewardship (FCFRS; *Gerencia Federal para la Protección de Reservas Forestales*) has approved traditional farming systems that are

monitored through the local administration of Municipal Ecological Commissions (*Comisiones Ecologicas Municipales*) for lands allocation and certification of conservation compliance (Pulido and Bocco, 2003). The landuse ecosystem occupying the altitudes from 2920 to 3300 m above sea level (asl) is for Community Forestry Management (CFM), while for the altitudes from 2750 and 2920 m asl is for rain-fed Traditional Cultivated Management ecosystems (TCM) (Pulido and Bocco, 2003). The TCM landuse ecosystem involves short-term (14 months, *año y vez*) and long-term (4 to 10 years) fallow periods with distinct rotational cropping management practices, whereas the CFM landuse ecosystem seems to be a long-term pine forest monoculture. These land use systems and their respective cropping management practices have also been summarized in this report (Table 3.1). The short-term and long-term fallow rotational cropping management practices in TCM landuse are established with scrublands vegetation that increases organic matter content in the soil; but are often negatively perceived as abandonment of cultivated rain-fed agricultural lands due to low soil productivity (López *et al.*, 2006). No drastic emigration patterns have been observed when converting scrublands fallows to avocado orchards, because of new variety of economic opportunities that provided relatively higher peasants family incomes (López *et al.*, 2006). Perhaps this abandonment of TCM landuse provides strong evidence that unsustainable physical and chemical soil environments resulted in major decline in economic crop yields (Pulido and Bocco, 2003; Lopez *et al.*, 2006), and in soil fertility as a consequence of topsoil erosion and desertification (Prat *et al.*, 1996; Solleiro-Rebolledo *et al.*, 2002). The latter indicates that TCMs practices have promoted the deterioration in soil quality which could be manifested as accelerated degradation of soil structure, mostly concerning low aggregates stability, hydraulic conductivity, or structural bio-macropore space.

The wild *Lupinus* sp. invasion is a common phenomenon in scrublands fallows with low soil fertility, less productive rain-fed farmlands or degraded forest in the highlands volcanic-ash soils of the TMVB region (Medina-Garcia *et al.*, 2000). Clearly, a need to evaluate the impact of these leguminous invaders in different cropping management phases within the TCM and CFM landuse systems is warranted by the necessity to guide the formulation of alternative future cropping management systems. Certainly, the wild lupines invasion in scrublands reflects a satisfactory suitability for introducing the

high-yielding, florally-determinate *Lupinus* genotypes from several temperate regions of the world (Robson *et al.*, 2002). The genetical and physiological improvement of the local wild genotypes is urgently needed. This would open the possibility of screening for the higher-yielding grain *Lupinus* genotypes that would harmonize the direct economic interests of the farmers with the environmental or ecological conservation policy for the on-going long-term fallow or abandonment cycle to rehabilitate the soil fertility in cultivated lands; as dictated by the federal government.

It was hypothesized that low soil disturbances during the wild *Lupinus* invasion and grass meadows would increase the amount of crop residues on soil surface, increase organic carbon content, reduce bulk density (ρ_b), and improve amount and size of structural macroaggregates, which may reduce the macroaggregates instability indices. The objectives in this study was: (i) to characterize the effects of low soil disturbance during the wild *Lupinus* invasion in cultivated and disturbed pine forest plantation and in planted grass meadows on the surface and subsurface physical and chemical soil properties, (ii) to assess the development of structural aggregate size distribution and macroaggregates instability indices in different cropping management practices of the TCM and CFM landuse ecosystems, compared to the natural oak forest ecosystems in San Pablo Ixayoc, Texcoco, the State of México, México; and (iii) to quantify the interactive effects of texture, total organic carbon, and soil pH on dry-sieved aggregate-size distribution (ASDd) classes and the macroaggregates instability (CoES) indices.

3.2 MATERIALS AND METHODS

3.2.1 Site, climate and soil description

The study was conducted in the Trans-Mexican Volcanic belt (TMVB) region (Fig. 3.1), and geographically situated between 19° 27' 15'' N and 19° 25' 51'' N latitudes and between 98° 47' 10'' W and 98° 42' 43'' W longitudes (Fig. 3.2) on the eastern side of the Central Valley of México, about 25 km along a country gravel-road Texcoco-San Pablo Ixayoc, in the State of México, México. This study site is located on the north-western middle foothill slopes of the Tlaloc volcano.

The semi-cool temperate climate is characterized by mean annual summer rainfall (MAR) ranging from 620 to 770 mm occurs between June and September with mean monthly amounts varying from 30 to 75 mm, and the early-morning daily fog and dew fall provides a substantial amount of humidity above the 2750 m altitude. The mean annual temperature (MAT) ranges from 12 - 18°C with a mean minimum (T-min) of 4°C in November and mean maximum (T-max) of 23°C in July (Sanchez-Gonzalez and Lopez-Mata, 2003) on the northwestern Rio Frio mountain range that includes the Tlaloc volcano.

The volcanic ash soil of Tlaloc volcanic soil series on the northwestern shoulder slopes of Tlaloc volcano could be grouped into altitudes from 2750 to 2920 m asl and from 2920 to 3300 m asl, according to the land use ecosystems which have been adapted to the initially identical and homogeneous volcanic ash deposits (Pulido and Bocco, 2003). Gutiérrez-Castorena *et al.* (2007) have classified the Tlaloc volcano soil series as Haplic Andosols, according to the FAO-ISRIC-ISSS (1998) taxonomic procedures and observed that these soil series presented the 2:1 smectite clays at 0-7 cm soil depth in A-horizons, a mixed clay mineral soil having 1:1-kaolinite and 2:1-smectite clays at 7-40 cm soil depth in Bw-horizons; whereas the 2:1-smectite were mixed with 1:1-halloysite which replaced kaolinite at 40, 60, 90, and 115 cm depths in the 2ABb-horizons, with a uniform distribution of anorthite, silica (as cristobalite) and iron-hydroxides (as ferrihydrite) in different amounts, which indicates abundant source of Al, Si and Fe oxides. The underlying red tepetates (Luvisols) that were formed by an

Fe-enriched Si-indurations in the 2Bs-horizons from 90, 115 to 120 cm depths and in the 2Bt- and 2Crt-horizons below 120 to 150 cm depths, were characterized as a calcareous Paleozoic illuvial fragipan consisting of mixed clay minerals of halloysite, metahalloysite and large amounts of 2:1-smectite (Gutiérrez-Castorena *et al.*, (2007)). These morphological features were used to guide the choice of soil depths for the present study.

3.2.2 Landuse ecosystems, cropping management practices and sampling

3.2.2.1 Landuse ecosystems

In México, the higher mountain forestlands are dominated by natural oak forest (*Quercus* sp.), that were converted to pine forest plantation (*Pinus* sp.), and are under the jurisdiction of the Federal Forestland Reserves Stewardship Council (FFRSC; *Gerencia para la Protección de Reservas Forestales Federales*) under the National Forest Commission (*Comisión Nacional Forestal*, CONAFOR). The administration of communal (*ejidal*) land tenure allocation policy operates through local Municipal Ecological Commissions (*Comisiones Ecológicas Municipales*), and it is based on the principle of compliance with the conservation techniques of landuse management following a training program of approved for environmental protection, land resources conservation and cropping management practices. On the northwestern shoulder of Tlaloc volcano, three land use ecosystems are operated at two contiguous slope positions. In La Canoa catchment area, at the altitudes ranging from 2920 to 3300 m asl, (i) the Community Forest Management (CFM) was characterized by disturbed pine forest (*Pinus* sp.) plantations (BL) ecosystem consisting of the large patches of dense *Abies religiosa* (NPF) that were mostly occupying rock-outcropped escarpments and marginally steep slopes. In La Era catchment area, at the altitudes ranging from 2750 to 2920 m asl, (ii) the natural black oak forest (*Quercus* sp., VN) ecosystem has apparently been confined to buffer strips and ravines by (iii) the encroachment of the rain-fed Traditional Cultivated-agriculture Management (TCM) ecosystem (Fig 3.2).

The identification of the cropping management practices was complemented by the use of semi-detailed topographic maps and aerial photographs in order to determine the cropping management history in the study area (Fig. 3.2).

3.2.2.2 Cropping management practices.

The cropping management practices were as summarized in Table 3.1. The CFM and TCM landuse ecosystems resulted from the landuse reform initiative programs for the allocation of communal lands “tierras ejidales” since the ~1970 in the forest ecosystem consisting of *Pinus montezumae*, *P. leyophyla*, *P. michoacana* and *Alnus* sp. trees (Piludo and Bocco, 2003). Consequently, the impact of soil disturbance through forest clearing (e.g. cutting and burning) and extensive summer cattle grazing with subsequent degradation of vegetation and soil properties was evident in the open wood fields.

In the present study, the CFM landuse ecosystem in La Canoa catchment area, which occupied the altitudes from 2920 to 3300 m asl, (i) extensive invasion of wild lupines (*Lupinus leptopylus* Schltl & Cham) resulted in dense patches following the vegetation and soil disturbances through slashing and burning activities for the exploitation of the indigenous pine forest plantations (*Abies religiosa* Kunth Schtdl & Cham), locally called Oyamel. These cropping management practices were designated as lupines invaded disturbed pine forest (**BL**, Fig.3.2).

In the TCM landuse ecosystem, in *La Era* catchment area, which occupied the altitudes between 2750 m and 2920 m asl, (ii) the relicts of the natural vegetation were found along the buffer strips and in the fringes of canons, gorges and ravines, which were dominated by the black oak forest (*Quercus* sp., and a few *Abies religiosa*) **VN** ecosystem. This cropping management practice was then considered as a reference soil (Fig.3.2). The previous conversion of the natural vegetation (**VN**) ecosystem to rain-fed cultivated agricultural management (TCM) landuse ecosystem resulted in (iii) intensive annual cultivations (**CA**) that were characterized by intercropped grain maize (*Zea maiz*) with faba beans (*Vicia faba*)-alternating with short-term fallow cycles of 14

months (año y vez) with minimum-tilled winter forage cover crops (oats (*Avena sativa* L.) or canola (*Brassica napus* L.)). This accounts for the highest soil disturbing activity which has caused adverse effects in the VN ecosystem (Fig.3.2).

More sparse and retarded populations of *Lupinus uncinatus* are commonly found during the short-term fallow cycles within the CA (intensive cultivated fields), along borders between the forest and cultivated fields, and along the road sides, whereas denser *Lupinus uncinatus* populations were found upon converting CA to long-term fallow or “abandonment” cycles for a period of 4 to 10 years. The succeeding natural vegetation includes wild *Lupinus* sp. and *Senecio* sp. during this long-term fallow or “abandonment” period (Medina-Garcia *et al.*, 2000; Pulido and Bocco, 2003). In the present study, the latter were designated as (iv) weedy *Lupinus* invaded fallows (**SDL**).

When the farmers decide to convert the *Lupinus* invaded fallows (**SDL**) to intensive cultivations (**CA**), they use the tractor crater for uprooting shrubs and trees and the disk-ploughing to prepare a seedbed for planting the winter forage cover crops, especially oats, *Avena veza*, in autumn. This was then designated as the freshly-tilled lupines invaded fallow (**BRDL**).

Where a more rapid establishment of surface soil cover was necessary during the long-term fallow period, (vi) the farmers could seek the assistance from Municipal Ecological Commission for planting the forage grasses, to establish a long-term planted tall oatsgrass (meadows, **PP**). This is important to avoid the risk of soil loss during the initial stages of the long-term fallow period, because the establishment of the naturally succeeding scrubland vegetation (wild *Lupinus* sp. and *Senecio* sp.) may be slower due to lower initial soil fertility and productivity resulting from soil degradation during the long-term intensive cultivations (**CA**).

The burning of the long-term planted tall oatsgrass forages/meadows, which occurred before 1994, had resulted in: (vii) the emergence or invasion of dense *Lupinus uncinatus*. In the present study, this was designated as the lupines invaded meadows (**PL**). The long-term fallows cycles may be extended even up to or over 25 years due to

the peasant's emigration (López *et al.*, 2006). Upon the adverse soil degradation in TCM (*ejidal-milpa*) landuse ecosystem, the peasants are obliged to comply with the long-term fallow rotational cropping management cycles, which are dictated by the ecological conservation policy under the direction of the *Comisión Nacional Forestal* (CONAFOR). The long-term fallow cycles are intended to accumulate soil organic carbon (TOC) in the soil in order to improve nutrient recycling, soil fertility and rehabilitate biological processes that can promote the formation of soil structural biopores and macroaggregates (Pulido and Bocco, 2003). These cropping management practices were summarized for this study in Table 3.1.

3.2.2.3 Sampling

The sampling plot units within every cropping management practice were selected from the lupines invaded patches with the high plant population density. Three sampling plot units (16 m x 20 m surface area) were selected as pseudo-replicates within each of the seven cropping management practices (Fig. 3.2). Sampling was carried out at 2 rooting depths (0-20 cm and 20-40 cm) for two randomly selected target plants chosen at vegetative and flowering growth stages within each sampling plot unit, and were considered as the main factors; thus, a total of 84 samples were taken for analysis. However, the plant growth stages were later treated as replicates since no significant differences were found, which confirmed that plant growth stage could not be an easily controlled physiological parameter under ecological field conditions for the stolon root sprouting wild perennial lupines. Therefore, the plant growth stage data were treated as replicates for their corresponding sampling depths. All samples were collected during both the wet and dry seasons for each of the seven cropping management systems, and were air-dried under shade in the warehouse. The time of sampling could not show any detectable differences in the preliminary statistical analysis, which indicated that air-drying of the soil samples has helped to standardize the potential variations that might be caused by initial field-soil water content (Kemper and Rosenau, 1986).

3.2.3 Chemical and physical analysis

Oxidizable total soil organic carbon (TOC) was determined using the method of Walkley and Black, 1934). The 0.5 g of pulverized (<0.50 mm sieve size) air-dried (under shade) soil samples were first reacted with 5 ml of 0.166 M $K_2Cr_2O_7$, followed by 10 ml of concentrated H_2SO_4 and 5 ml of concentrated H_3PO_4 . After the reaction, the excess Cr_2O_7 was estimated by titrating against 1.0 M Fe_2SO_4 in the blank and in the treatment. The amount of Cr_2O_7 consumed by the soil was used to calculate the amount of oxidizable organic carbon based on the theoretical value of 1.0 ml for 0.166 M or 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ oxidizes 0.30 to 0.39 g C. The TOC contents were classified to facilitate the discussion of parameters, as follows: vh = very high (>9.34%), h = high (6.38 to 9.33%), m = medium (3.54 to 6.37%), l = low (2.38 to 3.53%), and vl = very-low (>2.37%). The TOC contents were adjusted to organic carbon pool for the specified soil layer of thickness (Dz) and bulk density (ρ_b), according to (Lal et al., 1998), as follows:

$$Mg\ ha^{-1} = [\% \text{ organic C} \times \rho_b\ (Mg\ m^{-3}) \times Dz\ (m) \times 10^4\ m^2\ ha^{-1}] / 100\%.$$

Soil pH was determined using a pH and conductivity meter from a 1:2.5 v/v soil-deionized water extracts, according to Thomas (1996). The pH values were classified as follows: strong acid = pH <5.0, moderate acid = pH 5.0 to 6.5, neutral = pH 6.6 to 7.3 moderate alkaline = pH 7.4 to 8.4, strong alkaline = pH >8.5; according to Brady and Weil (1999).

Soil texture was determined by the hydrometer method of Gee and Bauder (1996).

The soil-water retention capacity (SWRC) at field capacity (-33 kPa) and permanent wilting point (-1500 kPa) tensions were determined by the suction pressure plate apparatus from the <2 mm diameter sieved air-dried whole-soil samples (Klute, 1986). The depth of water retention (Dwr) for each tension level was corrected for the soil bulk density (ρ_b) at separate soil depths (Dz) studied.

3.2.4. Dry-sieved soil aggregate size distribution (ASDd)

The dry-sieving method was used for the measurement of dry soil aggregate size distribution (ASDd) after air-drying the soil samples for 2-weeks under shade to standardize the soil-water conditions was adopted from Kemper and Rosenau (1986). Dry-sieving was performed without destroying the aggregates of the larger fractions in the soil collected at 0-20 cm and 20-40 cm soil depths from every replicate sampling plot unit for each cropping management practice. The aggregates were separated by placing the 500 g of air-dried bulk-soil subsamples in a stack of 20 cm diameter sieves containing 11.5, 4.76, 3.36, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 and <0.25 mm diameter screen openings attached to a Tyler rotary-tap sieve shaker (Combustion Engineering, Inc., Mentor, OH.). The sieve stacks were shaken at 200 oscillations min^{-1} for 15 minutes. The soil aggregates retained on individual sieves and passed through the sieves were weighed and their proportions to that of the air-dried bulk soil sample were obtained as dry-sieved soil aggregate-size distribution (ASDd) classes. A graphical examination of these 8 ASDd classes (data not shown), resulted in a distinct pattern of four dry ASDd classes for all the cropping management practices, as follows: microaggregates (MicAg, <0.25 mm diameter), small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm diameter), medium-macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm diameter), and large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.5 mm diameter).

3.2.5. Dry-sieved soil macroaggregates instability (CoES) indices

The dry-sieved soil macroaggregates instability (CoES-) indices were determined using the method described by Boix-Fayos *et al.* (2001) and Cammeraat and Imeson (1998) to assess the environment sustainability of various cropping management practices. The CoES indices were calculated as a quotient of the weight of microaggregates size class (MicAg, <0.25 mm) in the sample soil to the weight of the macroaggregates size class (MacAg, >0.25 mm) in the reference soil. The reference soil was collected from the nearby buffer strips with the relict natural oak forest (VN) landuse ecosystem (Fig. 3.2), instead of using a bare soil as in the study of Cammeraat and Imeson (1998). If the CoES index, that is, $(\text{MicAg}^{\text{sample}}/\text{MacAg}^{\text{reference}})$ becomes less than 1.0, then we accept null hypothesis that the cropping management practices have

promoted the formation and stabilization of macroaggregates. It was hypothesized that mechanical-sieving of a dry soil could be an appropriate method to measure the macroaggregates instability indices (CoES) for different ASDd classes in the soil for different cropping management practices. This method was chosen because farmers carried out the primary tillage operations at the beginning of a dry winter season after harvesting summer crops and removal of crop residues and following the long-term fallow periods, which could subject the soils to highly catastrophic wind erosion losses. Agricultural sustainability can be limited by the loss of the wind erodible soil aggregate size fractions <0.84 mm (Campbell *et al.*, 1993b). The CoES index is a parameter intended to express the relative magnitude of the undesirable friability in volcanic ash soils, by calculating the proportion of free microaggregates released from the breakdown of each of the macroaggregates size classes during the disruptive forces of mechanical dry-sieving. Mechanical dry-sieving was intended to simulate the effect of disruptive forces of tillage operations on dry soil aggregates.

3.2.6. Statistical analyses.

Analysis of variance was performed with the use of SAS for window version 8.1 software by GLM procedure (SAS, 2002) at significant level of $p < 0.05$. Both cropping management practices and soil depth were considered as the main factors. Because the cropping management practices could not be replicated within the watershed area, three subsamples obtained from the sampling plot units within every cropping management practice were treated as pseudo-replicates. Least-significant differences were calculated at $p < 0.05$ level to compare the means. Correlations were determined by a simple linear regression analysis to determine the relationships between the soil properties and the amount of dry-sieved soil macroaggregates parameters and instability indices.

3.3 RESULTS

3.3.1 Particle size distribution

3.3.1.1 Sand content (Sa)

The sand concentration was significantly ($p < 0.0001$) influenced by the cropping management practices (MGT), but neither by the plant age (Age), soil depth (DZ) nor by all the interactions of MGT x Age, MGT x Dz, and Age x Dz (Table 3.1.A). In general, the sand content was significantly the highest for the BL soil and the lowest for the VN soil (Table 3.4.A). Interesting, all the soil materials have higher sand content at 0-20 cm than at 20-40 cm depth for all MGT practices; except for the BL and SDL soils which had similar amounts of sand at both soil depths (Table 3.2). The latter could be ascribed to the extensive soil perturbation by the rodents (moles) activity, which seemed to be more pronounced in the lupines invaded patches (based on the field observations). The topsoil erosion processes seemed to be responsible for sorting out the organic-mineral complexes through floating or suspended load transport by the surface runoff water (Oropeza-Mota, 1980; Poulénard *et al.*, 2001).

3.3.1.2 Silt content (Si)

The silt content was affected by both the cropping management practices (MGT) and plant (Age, $p < 0.0001$ and 0.0408 , respectively), but neither by the Dz nor by all interactions of MGT x Age, MGT x Dz and Age x Dz ($p > 0.164$, 0.539 and 0.569 , respectively; Table 3.1.A). The silt contents were higher for the mature plants than for the young plants but were similar at both soil depths, whereas were the highest (37.33 %) for the BL soil and the lowest for the BRDL soil among the cropping management practices (Table 3.4.A). The average silt content was similar for the PL, SDL, BRDL, and VN soils at 0-20 cm depth, while they were the highest for the BL soil at both depths, but the lowest at 0-20 cm depth for the CA soil and at 20-40 cm depth for the SDL soil (Table 3.2). The higher amount of silt content at 0-20 cm depth for the SDL soil than for the CA soil could imply the existence of greater losses of the silt-size mineral

fraction through surface soil erosion processes. Furthermore, the lower proportion of the silt:clay contents at both soil depths for the CA soil than for the SDL soil could suggest that the intensive annual cultivations have induced greater physico-chemical weathering rates of the finer mineral fraction.

3.3.1.3 Total clay content (Cl)

The MGT and Dz effects on total clay content were significant ($P = 0.0053$ and <0.0001), respectively, but the Age and the interactions between MGT x Age, Age x Dz or MGT x Dz were not significantly different ($P > 0.1947$; Table 3.1.A). This suggested that total clay formation might be more a function of management than pedogenic factors. The mean total clay content ranged from 19 to 32% at 0-20 cm depth and 21 to 35% at 20-40 cm depth (Table 3.2), indicating that total clay contents increased with soil depth (Table 3.4.A), except for the PP soil in which total clay content was similar at both depths; and also for the SDL and CA soils in which total clay content was higher (32%) at 0-20 cm than (30%) at 20-40 cm depth. The latter were exceptional results ascribed to clay redistribution, and was likely caused by exposition of the clay-rich subsoil layers during long-term annual ploughing for the CA soil. Exceptionally higher total clay content at 0-20 cm than at 20-40 cm depth for the SDL soil was likely induced by increased earthworm activity due to the ease of decomposable lupine residue mulches under low soil disturbances by the weedy-lupines invaded fallow practice. The finer texture of surface soil layers has been ascribed to sorting during the ingestion of finer earth particles by earthworms and their excretion as mucilage-coated and mixed with organic fragments in worm casts (Graham and Wood, 1991). Although differences in total clay content at 0-20 cm depth were not significant among cropping management practices at La Era, but seemed to be highly significant along topographic positions with distinct landuse ecosystems (Table 3.2).

3.3.2 Soil bulk density (pb)

Similar to total clay content, the effects of MGT and Dz were significant on ρ_b ($p = 0.0347$ and <0.0001 , respectively), rather than the Age (Table 3.1 A). The mean bulk

density (ρ_b) varied between 0.563 and 1.152 Mg m⁻³ among cropping management practices (Table 3.4.A), and was generally higher for the 20-40 cm depth (0.562 to 1.180 Mg m⁻³) than for the 0-20 cm soil depth (0.565 to 1.125 Mg m⁻³). The ρ_b was similar among the SDL, BRDL and PP soils at 0-20 cm depth and also among the PL, SDL, BRDL, PP and VN soils, and was the highest for the CA soils at both depths (Table 3.2). In spite of the significantly higher amounts of sand- and silt-sized mineral fractions for the BL soil than for the VN soil, the lower ρ_b at 0-20 cm depth for the BL soil than for the VN soil (C.V. = 7.386%, Table 3.2) could be a result of lower total clay content.

In the topsoil profiles for La Era landuse ecosystem, an examination of the amounts of sand and total clay showed clearly a similar distribution of these fractions at 0-20 cm depths, regardless of the differences in cropping management practices (PL, SDL, BRDL, PP, CA and VN soils) (Table 3.2). The significant differences in mean total clay and sand contents observed only between the soils from La Era and La Canoa landuse ecosystem could be a result of differences in microclimatic conditions and/or biogeochemical weathering processes influenced by landscape positions (elevation, slope steepness). Another possible reason could be that the finer particle sizes from the volcanic ejecta could be initially deposited at further distances away from the crater, while coarser particles could remain nearer to the crater. Hence, the higher sand content and lower total clay content were observed at both depths for the BL soil than for all the soils from the TCM and VN landuse ecosystems (Table 3.2).

3.3.3 Chemical properties

3.3.3.1 Soil pH

The MGT, Age and the interaction of MGT x Age had significant influences ($P = <0.0001$, 0.0003 and 0.0001) on soil pH (Table 3.1.A). The mean pH levels were significantly higher for the mature plants than for the young plants, and varied from 5.893 to 6.940 among the cropping management practices (C.V. = 1.95%; Table 3.4.A).

No significant differences observed between the mean pH values along the soil depth levels (Dz, $P = 0.1686$; Table 3.1.A) could be a result of existing *in-situ* clay transformations, representing 86% of the studied soils (for SDL, BRDL, PP, CA, VN and BL, except for PL treatment site). This could also indicate the high buffer capacity of these volcanic ash-derived soils may have prevented high fluctuations in soil pH with increasing soil depth.

The lower-moderate acid pH values (< 6) were predominant in La Canoa for the BL soils in the CFM landuse ecosystem, while the higher-moderate acid pH values (> 6) were predominant in La Era landuse ecosystem (Molumeli *et al.*, 2008). The higher soil pH conditions are crucial for the gain in concentrations of less-soluble, hydrated exchangeable metallic cations, such as hydroxy-Al and -Fe. However, the apparently lower pH (< 6) values were observed for the BL soils, as well as in a small part of the PL soil with the pH < 6.11 only at 0-20 cm than (6.23) at 20-40 cm depth (Table 3.2), which could be associated with the relatively higher extractable Al (Rodriquez-Tapia, 2005). In the present study, even with the loss of TOC inputs associated with intensive residue export and annual cultivations (CA) soil reflected soil pH values > 6 . Previous studies of Ismail (1970) and Liu and Chen (2004) indicated that raising the pH values above 6 or 7 favoured the transformation of illite into smectite, while on the other, if the soil pH is maintained at less than 6 under good drainage and humid climate; micas were weathered into vermiculite, but not to smectite. Fanning *et al.* (1989) observed that the loss of exchangeable K through plant nutrients uptake may gradually lead to the transformation of the illitic micas to smectite, rather than to vermiculite.

3.3.3.2 $K_2Cr_2O_7$ -oxidizable total organic carbon (TOC).

The effects of MGT, Dz and the interaction of MGT x Dz on $K_2Cr_2O_7$ -oxidizable total organic carbon (TOC) were significant (C.V. = 24.38% and 25.27%; $P < 0.0001$, 0.0001 and 0.0001, respectively), but not by the Age and the interaction of MGT x Age and Age x DZ (Table 3.1.A). The mean TOC content was higher at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth, and varied from 28.229 Mg ha⁻¹ for the CA soils to 77.712 Mg ha⁻¹ for the VN soils among the cropping management practices (Table 3.4.A). The average

TOC levels at both depths were significantly the highest for the VN soil and the lowest for the CA soil (Table 3.2). Among the scrubland cropping management treatments, the TOC content at 0-20 cm depth was the highest for the BRDL soils, while it was similarly the lowest for the PL, SDL, PP and BL soils (Table 3.2).

3.3.4 Depth of water retention (Dwr)

3.3.4.1 Depth of water retention at field capacity (Dwr -33 kPa)

The MGT and the interaction of MGT x Dz had significant influence ($p < 0.0001$ and 0.0083 , respectively) on Dwr -33 kPa at both depths (Table 3.1.A). The mean Dwr -33 kPa ranged between 5.317 and 6.809 cm H₂O among the cropping management practices (Table 3.4.A). The Dwr -33 kPa at 0-20 cm depth was higher for the PL, PP and VN soils than for the BL soil, whereas it was higher at 20-40 cm depth for the PL, SDL and BRDL soils than for the CA soil (Table 3.2).

3.3.4.2 Depth of water retention at permanent wilting point (Dwr -1500 kPa)

The Dwr -1500 kPa at both depths was significantly influenced ($p < 0.0001$, 0.0044 , <0.0001 , 0.0001 , 0.0001 and 0.0035) by all treatment factors, namely, cropping management practices (MGT), plant age (Age), soil depth (Dz), and the interactions of MGT x Age, MGT x Dz and Age x Dz, respectively (Table 3.1.A). The average Dwr -1500 kPa ranged from 3.340 cm to 4.958 cm H₂O among the MGT, and was higher for mature plants than for young plants, especially at 0-20 cm than at 20-40 cm depth (Table 3.4.A). The mean Dwr -1500 kPa at 0-20 cm depth was the highest for the PP soil and the lowest for the SDL, CA and BL soils; whereas it was the highest for the SDL soil but the lowest for the PP, CA and BL soils at 20-40 cm depth (Table 3.2).

3.3.5 Soil structural aggregation

3.3.5.1 Dry-soil aggregate size distribution (ASD_d)

The analysis of variance showed that the cropping management practices (MGT) and soil depth (Dz) had significant effects ($p < 0.0001$, < 0.0001 , < 0.0001 and < 0.0001) on MicAg, SmMag, MeMag and LaMag, respectively; while the interaction of MGT x Dz had a significant influence ($p < 0.0001$, 0.0151 , < 0.0001 and 0.0108) on MicAg, SmMag, MeMag and LaMag, respectively (Table 3.2.A).

3.3.5.2 Microaggregates (MicAg, < 0.25 mm)

The amount of MicAg increased with soil depth, and ranged from 179.80 g kg^{-1} for the SDL soils to 609.98 g kg^{-1} for the BL soils among the cropping management practices, and was higher at 20-40 cm than at 0-20 cm soil depth ($p < 0.05$; Table 3.5.A). The mean MicAg was consistently the highest for the BL soil at both depths, but was similar and the lowest at 0-20 cm depth for all the scrubland cropping management practices, involving PL, SDL, BRDL, and PP soils, whereas was the lowest at 20-40 cm depth for the SDL, BRDL, CA and VN soils ($p < 0.05$; Table 3.3).

3.3.5.3 Small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm)

Similar to MicAg, the amount of SmMag, in general, was higher at 20-40 cm than at 0-20 cm depth, varying from 280.69 to 431.97 g kg^{-1} among the cropping management practices ($p < 0.05$; Table 3.5.A). The mean SmMag was consistently the highest for the CA soil at both depths and for the VN soil at 0-20 cm depth only; while it was the lowest for the PL soil at 0-20 cm depth and also for the BL soil at 20-40 cm depth ($p < 0.05$; Table 3.3).

3.3.5.4 Medium-macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm)

The average amount of MeMag ranged from 97.74 g kg⁻¹ for the BL soils to 433.87 g kg⁻¹ for the VN soils among the cropping management practices, and was higher at 0-20 cm depth (359.46 g kg⁻¹) than at 20-40 cm depth (244.02 g kg⁻¹; $p < 0.05$; Table 3.5.A). The mean MeMag was consistently the highest for the VN soil at both depths and also for the PL soil at 0-20 cm depth and for the SDL soil at 20-40 cm depth only; however, it was the lowest for the CA at 0-20 cm depth and also for the PP and BL soils at 20-40 cm depth ($p < 0.05$; Table 3.3).

3.3.5.5 Large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.00 mm)

In general, the mean LaMag was higher at 0-20 cm depth (102.440 g kg⁻¹) than at 20-40 cm depth (76.02 g kg⁻¹), and varied from 35.95 to 131.74 g kg⁻¹ among the cropping management practices ($p < 0.05$; Table 3.5.A). The mean LaMag was consistently the highest for the BRDL soil at both depths and also for the CA soil at 0-20 cm depth; whereas it was the lowest for the BL soil at both depths and also for the PP at 20-40 cm depth ($p < 0.05$; Table 3.3). The higher amounts of LaMag at 0-20 cm depth for the BRDL and CA soils than for the reference (VN) soil corresponded to their low-TOC levels (Table 3.2). This indicated that soils with high total clay content at 0-20 cm depth have the capacity to form greater amount of dry LaMag under lower-TOC input levels in the cultivated soil environments for the BRDL and CA soils, as compared with those under higher-TOC input levels in the low soil disturbance environments for the VN, SDL and BL soils.

3.3.6 Dry soil macroaggregate instability indices (CoES)

The cropping management practices (MGT), soil depth (Dz) and the interaction of MGT x Dz had a highly significant ($p < 0.0001$, <0.0001 and <0.0001 , respectively) influence on dry-sieved soil macroaggregates instability indices for total-macroaggregates (CoES-TMag, 0.25-11.00 mm), medium-macroaggregates (CoES-MeMag, 2.00-4.76 mm) and large-macroaggregates (CoES-LaMag, 4.76-11.00 mm)

size classes (Table 3.3.A). Those three indices were not significantly influenced by plant age (Age, $p = 0.9734$, 0.619 and 0.6770 , respectively), neither by the interaction of MGT x Age ($p = 0.9154$, 0.7112 and 0.8295 , respectively), nor the interaction of Age x Dz ($p = 0.4288$, 0.7559 and 0.7512 , respectively; Table 3.3.A). On the other hand, dry-sieved soil macroaggregates instability indices for small-macroaggregates size class (CoES-SmMag) were significantly ($p < 0.0001$ and <0.0001) influenced by MGT and the interaction of MGT x Dz, only, but not by the plant age (Age, $p = 0.7753$), soil depth (Dz, $p = 0.0836$) and the interactions of MGT x Age ($p = 0.5723$) and Age x Dz ($p = 0.7691$; Table 3.3.A).

3.3.6.1 Total-macroaggregates instability indices (CoES-TMag)

Consequently, the mean CoES-TMag was higher at 20-40 cm depth (0.628) than at 0-20 cm depth (0.400); and ranged between 0.223 for the SDL soil and 1.600 for the BL soil ($p < 0.05$; Table 3.6.A). The mean CoES-TMag at 0-20 cm depth was similar for all other soils at La Era landuse ecosystems and lower than for the BL soil at La Canoa landuse ecosystems ($p < 0.05$; Table 3.4). The differences in CoES-TMag between these ecosystems corresponded with differences in total clay content at both depths (Table 3.2). The mean CoES-TMag at 20-40 cm depth was the highest for the BL soil and was similarly the lowest for the PL, SDL, BRDL, VN, CA and PP soils ($p < 0.05$; Table 3.4).

3.3.6.2 Small-macroaggregates instability indices (CoES-SmMag)

The CoES-SmMag was ranging from 0.480 for the SDL soils to 1.618 for the BL soils among cropping management practices, although, there were no significant differences along the plant age and soil depth levels ($p < 0.05$; Table 3.6.A). The mean CoES-SmMag was the highest for the BL soil at both depths, while it was the lowest at 0-20 cm depth for the SDL soil and also the lowest at 20-40 cm depth for the BRDL, CA and VN soils ($p < 0.05$; Table 3.4).

3.3.6.3 Medium-macroaggregates instability indices (CoES-MeMag)

The values of CoES-MeMag were higher at 20-40 cm depth (0.951) than at 0-20 cm depth (0.509), and ranged from 0.448 for the SDL soil to 1.501 for the BL soil among the cropping management practices ($p < 0.05$; Table 3.6.A). The mean CoES-MeMag at 0-20 cm depth was the lowest for the SDL soil (0.257), followed by BRDL and PP soils, and was the highest for the BL soil (1.064; $p < 0.05$; Table 3.4). The higher values of CoES-MeMag for the BL soil at both depths compared with other lupines invaded scrubland cropping management practices was consistent with differences in other soil chemical and physical properties measured in the present study ($p < 0.05$; Table 3.2). The values of CoES-MeMag at 20-40 cm depth were the lowest in the order: VN = BRDL = CA = SDL soils ($p < 0.05$; Table 3.4).

3.3.6.4 Large-macroaggregates instability indices (CoES-LaMag)

Similar to the CoES-MeMag, the values of CoES-LaMag, in general, were higher at 20-40 cm than at 0-20 cm depth, and were ranging between 2.704 for the SDL soil and 9.007 for the BL soil ($p < 0.05$; Table 3.4). The lowest average values of CoES-LaMag for the SDL soil were 56% less than for the VN soil at 0-20 cm depth, but were consistently the highest for the BL soil at both soil depths ($p < 0.05$; Table 3.4). The VN, BRDL and CA soils had similar lowest mean values of CoES-LaMag at 20-40 cm depth ($p < 0.05$; Table 3.4).

3.4 DISCUSSION

3.4.1 Chemical and physical soil characteristics

Total organic carbon (TOC) content ranged from 14.3 to 64.9 g kg⁻¹ at 0-20 cm depth and also ranged from 13.4 to 24.8 g kg⁻¹ at 20-40 cm depth (Table 3.2). The TOC contents were classified as shown Table 3.2 to facilitate the discussion of parameter. Higher humus accumulation in the surface soil layers is a major characteristic of Andisols, which supplies (for supplying) organic acids that are responsible for lowering soil pH and strong adsorption of active Al and Fe onto humic substances to form stable Al/Fe-humus complexes, and this hinders their reaction with silica and prevents the formation of aluminosilicate clay materials, such as allophane (Ugolini and Dahlgren, 2002).

Soil pH ranged from 5.86 to 6.86 at 0-20 cm depth and ranged from 5.93 to 7.02 values at 20-40 cm (Table 3.2), was classified according to Brady and Weil (1999). The SDL soils had exceptionally higher soil pH values at 0-20 cm than at 20-40 cm depth. Higher soil pH at 20-40 cm depth than at 0-20 cm depth was indicative of the contribution of organic acids in enhancing soil acidity in the surface soil layers with higher TOC content. The high organic matter and low pH indicate that organic acids are likely to have strong effect in regard to weathering of products of clay minerals (Liu and Chen, 2004).

Total clay content increased with varied from 18.8 to 32.6% at 0-20 cm depth and ranged from 20.8 to 34.3% at 20-40 cm depth, but the sand and silt fractions showed no distinct patterns (Table 3.2). The surface layers (0-20 cm depth) appeared to have lower total clay content than subsurface layers (20-40 cm depth) because of higher TOC content. The formation of allophane and imogolite is favoured by dominant carbonic acid weathering environment at lower horizons with lower-TOC content and higher soil pH range of (5 to 7); whereas organic acids activity can suppress the carbonic acid dissociation in the surface horizons with higher-TOC content and lower soil pH (Ugolini and Dahlgren, 1991; Niseyimana *et al.*, 1997). In volcanic ash soils at Cofre de Perote volcano, México, Campos-Cascaredo *et al.* (2001) reported that increased allophane

content was strongly related with increasing soil pH and also was increasing with soil depth. As indicated earlier, soil pH tended to increase at 20-40 cm soil depth under low TOC content derived from translocated dissolved and biologically active TOC and appeared to favour an increase in total clay content at 20-40 cm soil depth. Although there were good negative correlations between total clay and TOC contents (Table 3.5), the differences in slope and intercept of the linear relationships between the soil depths could indicate that the total clay mineral constituents were probably interacting with different TOC pools at different soil depths. This warrants further studies focused on the interaction of organic C fractions and clay mineral fractions among different cropping management practices.

The depth of soil-water retention (Dwr) at field capacity (-33 kPa) varied from 5.302 cm water (for the BL soil) to 6.964 cm water (for the VN soil) at 0-20 cm depth and ranged from 4.972 cm water (for the CA soil) to 7.044 cm water (for the PL soil) at 20-40 cm depth showed no significant variation with soil depth (Table 3.2). By contrast, the higher Dwr at permanent wilting point (-1500 kPa) was observed at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth, which varied from 3.358 cm water (for the CA soil) to 5.880 cm water (for the PP soil) at 0-20 cm depth; whereas it varied from 3.133 cm water (for the BL soil) to 5.124 cm water (for the SDL soil) at 20-40 cm depth (Table 3.2). These results indicated that the variation in Dwr at -33 kPa was mainly the function of landuse and management practices only, while the variation in Dwr at -1500 kPa tended to depend on pedological processes in the soil profile, as well as plant age (Table 3.4.A). The greater Dwr at -1500 kPa at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth may be related to the quantity and quality of organic matter which interacts with the more dominant permanent-charged crystalline clay mineral fraction in the surface soil horizons, rather than with the pH-dependent non-crystalline clay mineral fraction in the subsurface horizons, as postulated by Rodriquez-Tapia (2005). An increase in allophanic clay materials has been associated with increasing soil pH (Campos-Cascaredo *et al.*, 2001). The pH had no significant differences between the studied soil depths, but mature plants seemed to have more significant influence on pH changes than young plants (Table 3.4.A). Positive relationship between total clay content and soil pH ($r^2 > 0.59$; $p < 0.05$; Table 3.5), could support the idea that raising the pH values above 6 or 7 could favour the transformation of illite into smectite; while on the other hand, when

maintaining the soil pH of less than 6 in well-drained soils and humid climatic environments, the micas can be weathered into vermiculite, but not to smectite, as suggested by Ismail (1970) and Liu and Chen (2004).

In spite of greater total clay content at both soil depths for the SDL and CA soils than for the BL soil, the similarly lowest Dwr at -1500 kPa at 0-20 cm depth for the SDL, CA and BL soils is still confounded. Whereas the Dwr at -33 kPa at 0-20 cm depth was similarly the highest for the PL, PP and VN soils, the greater Dwr at -1500 kPa at 0-20 cm depth for the TOC-poor PP soil than for the TOC-rich VN soil suggested that a large-TOC content is not the only factor controlling depth of water retention at permanent wilting point for the volcanic ash-derived soils. However, the lowest Dwr at -1500 kPa at both depths for the CA and BL soils (Table 3.2) could demonstrate that extreme deficiencies in the silt, TOC or total clay contents may lead to reductions in depth of water retention capacity. The greater Dwr at -1500 kPa at 0-20 cm depth for the TOC-poor PP soil than for the TOC-rich VN soil could be ascribed to the significantly higher silt content for the former. Wada (1989) ascribed the water retention of >18.5% at -1500 kPa level to the dominant allophane/imogolite content because of the finer particle size and hollow physical structure of the allophanic clay materials. This could be a possible explanation for the latter, which warrants further investigations on the effects of interactions between the silt- and clay-sized mineral and organic carbon fractions on depth of water retention.

3.4.2 Soil structural aggregation

Dry-sieved soil aggregate size distribution classes (ASD_d) were obtained from the analysis of the graphical patterns of soil mass proportions of all the eight dry-sieved aggregate-size classes for different cropping management practices. Consequently, four distinct parabolic distribution patterns resulted in new soil mass proportions of dry-soil aggregate size classes (Fig. 3.3).

3.4.2.1 Microaggregates (MicAg, <0.25 mm)

The amount of microaggregates (MicAg) at 0-20 cm depth ranged from 135.0 to 546.2 g kg⁻¹ and from 183.6 to 673.8 g kg⁻¹ at 20-40 cm depth (Table 3.2). Although, the CA, SDL and VN soils had the similarly high total clay content at 0-20 cm depth, the SDL soils had the lowest amount of MicAg at 0-20 cm depth, to an even greater extent than in both the VN and CA soils, probably because a rise in soil pH at this depth was accompanied by increased total clay content (Table 3.3). Lupines are known to have a relatively high demand for P and K nutrients uptake (Robson *et al.*, 2002). Therefore, an exceptionally higher soil pH at 0-20 cm than at 20-40 cm depth in the SDL soils than in all other soils was likely caused by high uptake of cation-bound phosphorus and the subsequent redistribution of the base-forming cations through the *Lupinus* foliage, resulting in the lowest amounts of MicAg at 0-20 cm depth. The high outburst of exudates by the *Lupinus* roots and associated microbial polysaccharides production (Johnson *et al.*, 1996b) act to bind the silt and clay particles into microaggregates (Oades, 1993; Haynes and Beare, 1997). The increased soil aggregates stability index (GMD) was positively related to the biologically active hydrolysable organic carbon pool and total organic carbon (McLauchlan and Hobbie, 2004). The soil solutions beneath the lupines canopy with elevated biological (roots and microbial) CO₂ respiration are often found to contain high carbonic acid concentrations that promotes both a rise in soil pH (>5.6) and the formation of allophane/imogolite (Ugolini and Dahlgren, 2002). A rise in soil pH can also lead to increased amount of electronegative charges on the surfaces of some 1:1-type clays, humus and amorphous clay constituents (allophane, imogolite and some Fe/Al oxides) for cation exchange capacity (Brady and Weil, 1999).

The highest amount of MicAg at both depths in the BL soils than in the SDL soils could be the most direct indication of a medium-TOC level in the BL soils that inhibited total clay formation through enhanced soil acidification by dominant organic acid weathering processes, while depress the carbonic acid dissociation in the entire soil profile (Table 3.3). Higher humic acid concentration in soils with high TOC content has been found to increase active Al and Fe contents in soil solutions by dispersing allophanic clay compounds (Farmer and Lumsdon, 2002). The active Al and Fe are often preferentially retained on humic acids in most oxide-rich soils, which have high

humus accumulation to form humus-Al complexes (Huygens, *et al.*, 2005), and this can hinder their reaction with silica and thus preventing the formation of aluminosilicates, such as allophane/imogolite (Ugolini and Dahlgren, 2002). The subsequent adsorption mechanisms between the humus-Al complexes and the amorphous clay materials (such as allophane, imogolite and ferrihydrite) is believed to occur through a ligand exchange on organic-carboxyl groups with inorganic Al/Fe hydroxyl groups and can have both an aggregating and TOC-stabilization effects, that leads to stabilizing high amounts of TOC in microaggregates (Sollins *et al.*, 1996; Six *et al.*, 2000a).

At 20-40 cm depth, the prevailing low TOC content and the apparent rise in soil pH in the VN soils than in the BL soils could indicate a dominant carbonic acid weathering environment that resulted in increased total clay content, which consequently resulted in the lowest amount of MicAg in the former (Table 3.3). As a result, an increase in soil pH from higher moderate-acid to neutral conditions at 20-40 cm depth could demonstrate that the oak forest ecosystem might have a greater capacity for promoting *in-situ* weathering of the abundant mafic parent materials, such as anorthite and volcanic glass, than the pine forest ecosystem.

As predicted, the amount of MicAg was positively correlated with TOC content ($r^2 > 0.009$ and 0.074 for 0-20 and 20-40 cm depth), but was negative correlated with the soil pH ($r^2 > 0.208$ and 0.408 for 0-20 and 20-40 cm depth) and total clay content ($r^2 > 0.626$ and 0.827 ; Table 3.5 and 3.6; $P < 0.05$). This pattern could indicate that high amount of MicAg at 20-40 cm depth was released rapidly from unstable macroaggregates developed under low content of root-derived TOC inputs; whereas low amount of MicAg at 0-20 cm depth was released slowly from rather stable macroaggregates developed under high content of TOC from the decomposing particulate organic matter.

3.4.2.2 Small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm)

The amount of small macroaggregates (SmMag) at 0-20 cm depth ranged from 297.7 to 394.9 g kg⁻¹ and from 263.7 to 468.9 g kg⁻¹ at 20-40 cm depth (Table 3.3). Although, the CA, SDL and VN soils had similar highest total clay content, the former resulted in the highest amount of small microaggregates (Table 3.3). This could indicate that the clay-rich volcanic-ash derived soil environments had a greater capacity to form

higher amounts of SmMag at very low-TOC content for the CA soils than at low-TOC for the SDL and at high-TOC for the VN soils. These results are consistent with other studies by Deneff *et al.*, (2002) and Deneff and Six (2005), who reported that a high clay content in kaolinitic soils enriched with the amorphous clays and oxides or oxyhydroxides of Fe/Al had a potential to form macroaggregates through electrostatic interactions in the absence of organic matter inputs. Since the soil pH did not vary significantly with depth, the lower total clay content at 0-20 cm depth than at 20-40cm depth was likely a result of higher TOC and NLC fractions at this depth (Table 3.2 and 3.4.A). Decreased clay content in surface horizons has been associated with the preferential extraction of Al/Fe oxides from the allophane/imogolite at lower-pH levels by the less-soluble TOC (humic/organic acid) compounds, leading to the formation of humus-Al complexes (Nizeyimana, 1997; Campos-Cascaredo *et al.*, 2001; Huygens *et al.*, 2005). By contrast, in the absence of the less-decomposable TOC compounds at 20-40 cm depth, a rise in soil pH led to increased total clay content ($r^2 > 0.585$; Table 3.5). Other studies indicated that the allophane/imogolite content was increasing parallel with a rise in soil pH, and pH increased with increasing soil depth (Campos-Cascaredo *et al.*, 2001; Huygens *et al.*, 2005). The SmMag showed the best correlations with the soil pH and total clay content than with TOC (Tables 3.5 and 3.6), but the closest absolute values were at 20-40 cm depth than at 0-20cm depth.

The similar amount of SmMag at 0-20 cm depth for the PL and SDL soils could indicate that their differences in total clay content at 0-20 cm depth had no effect on decreasing the SmMag formation, but was dependent mostly upon other positive stabilizing effects of actively growing roots (i.e. physical entanglement of soil particles, production of cementing exudates, periodic root-zone drying-wetting cycles induced by higher root-water uptake), besides enhanced microbial activity. The SmMag increased by depth, and was the lowest at 0-20 cm depth for the PL and SDL soils than for the PP and BRDL soils probably because the lupines root exudation could enhance greater microbial activity than grass-type genotypes, such as wheat (Haynes and Beares, 1997). Greater reduction in SmMag formation for the SDL soils than for the BRDL soils could indicate that increased SmMag resulted from the disruptive forces of the recent tillage operations, and decreased SmMag resulted from the entanglement of soil particle by the long-term actively growing lupines roots and at a higher-TOC input level, rather

than from the remaining roots and incorporated lupines residues. Besides a distinct dry season, such periodic root-zone soil drying-wetting cycles of the rooting zone could lead to enhanced formation of crystalline layer silicate clays at the expense of amorphous clay materials in volcanic soils, as has been found in other studies (Ugolini and Dahlgren, 2002). Only in the subsurface Si-rich environments having $Al/Si < 2$, was halloysite abundant than kaolinite (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2007), indicating that halloysite has been converted to kaolinite as the surface horizons become more weathered (Nizeyimana *et al.*, 1997). This could help for explaining that biological processes in the PL and SDL soils led to decreased SmMag formation at 0-20 cm depth in the presence of 1:1-type clays at lower-pH levels, while increased SmMag at 20-40 cm depth could be associated with increased proportions of pH-dependent amorphous clay materials at higher-pH levels. As discussed earlier, total clay content increased with increasing soil pH and both clay and pH increased with depth. Deneff and Six (2005) concluded that biological processes were highly effective in forming more stable macroaggregates through stronger organic bonds between the illitic than kaolinitic clay soils. Detailed investigations are however warranted on the changes in clay mineralogy for these cropping management systems.

3.4.2.3 Medium-macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm)

The amount of medium macroaggregates (MeMag) at 0-20 cm and at 20-40 cm depth ranged from 115.0 to 518.29 g kg⁻¹ and 80.5 to 349.5 g kg⁻¹, respectively (Table 3.3). Although total clay content was similar at 0-20 cm depth or even higher at 20-40 cm depth for the CA than SDL soils, the lower amount of MeMag formation at both depths for the CA soils than for the SDL soils could demonstrate that the increased amount and long-term stability of MeMag formation was highly dependent upon the presence of actively growing biological cementing processes, resulting in more stronger organic bonds, rather than only upon electrostatic interactions, between the total clay mineral constituents and oxides. According to Six *et al.* (1998), soils subjected to frequent and intensive cultivation suffer aggregate degradation due to loss of readily-decomposable TOC by microbial activity and consequently resulted in decreased production of cementing agents.

The higher amount of MeMag at both depths in the PL and SDL soils than in the BL soils was likely caused by their higher total clay content and soil pH without accumulating as much TOC as for the BL soils (Table 3.3). The lowest amount of MeMag at both depths in the BL soils than in the VN soils could be a consequence of lower total clay content and soil pH conditions in the former (Table 3.3). An increase in amount of macroaggregates size classes occurred with both increasing total clay content and soil pH and (Table 3.5). However, organic matter accumulation in volcanic ash soils led to increased organic acid concentration (Huygens *et al.*, 2005). The resulting lower soil pH levels have been found to increase the Al release from allophane compounds (Farmer and Lumsdon, 2002). The subsequent formation of humus-Al complexes (Huygens *et al.*, 2005) hinders the formation of aluminosilicates, such as allophane (Ugolini and Dahlgren, 2002). The latter could be a possible explanation for the lowest amount of macroaggregates at both depths for the BL soils than for the rest other soils (Table 3.3).

The highest amount of MeMag at 0-20 cm depths in the VN soils than in the PL and SDL soils may suggest that a rise in soil pH from higher moderate-acid to neutral conditions was needed to increase both the amount and electrostatic capacity of total clay constituents to counteract the negative effects of increased TOC inputs in the VN soils. The MeMag increased with increasing soil pH ($r^2 > 0.61$) and total clay content ($r^2 = 0.69$; Table 3.5). According to Brady and Weil, (1999), a rise in soil pH can be also important for increasing the negative charges by removing the Al/Fe hydroxyl and hydrogen ion coatings from blocking the electrostatic variable exchange sites on the aluminosilicate clays on some 1:1-type clays, humus and oxides.

The similar highest amount of MeMag at 20-40 cm depth for the VN and SDL soils may support that lupines root growth was more effective in transferring positive biologically-active cementing agents to greater soil depths, leading to higher MeMag formation, to an even equal extent as for the reference soil at lower-TOC level. The stronger positive correlations between the MeMag size fractions and TOC content were found only at the lower elevations where increased total clay content had occurred with a rise in soil pH, rather than at higher elevations ($r^2 > 0.07$ and -0.45), with the closest absolute values found at 0-20 cm depth ($r^2 = 0.76$) than at 20-40 cm depth ($r^2 = 0.33$;

$P < 0.05$; Table 3.6). This implies that the role of increased TOC content in the formation of higher MeMag size fractions with long-term stability was dependent upon increased total clay content with increasing soil pH levels. The higher amount of particulate organic-C (POC) was also associated with dry-sieved 4.75-2.00 mm (MeMag) fractions where the soils had higher total clay content (Sainju, 2006). Increased total clay content was found to increase the proportion of macroaggregates in the soil under pastures in southern Piedmont, USA (Franzluebbers *et al.*, 2000).

The positive correlations were found between MeMag size fractions and Dwr at -33 kPa and -1500 kPa ($r^2 > 0.23$; Table 3.5), which suggested that soil drying could have promoted MeMag formation. Soil drying to the wilting point could lower the soil pH and favour macroaggregates formation, by freeing off the water and oxy-hydroxides of Al/Fe from the permanent negative charges for cation exchange on the surfaces of 2:1-type clays and allophane minerals, with a subsequent specific adsorption of organic molecules (Denef *et al.*, 2002). The best positive correlation was between the TOC fraction and MeMag at both depths when data for the BL soil is isolated from the regression analysis; but the closest absolute values were between the LC fraction and MeMag at 0-20 cm depth only ($r^2 > 0.433$, *data not shown*). The higher amount of MeMag was associated with decreasing levels of MicAg and SmMag, which support an idea of an accretive model for greater macroaggregates formation when MicAg and SmMag could possible combine together to form larger macroaggregates (Six *et al.* 2000b).

3.4.2.4 Large-macroaggregates (LaMag, 4-76-11.00 mm)

The amount of large-macroaggregates (LaMag) ranged from 62.7 to 140.4 g kg⁻¹ and from 9.2 to 144.0 g kg⁻¹ at 0-20 cm and at 20-40 cm depth, respectively (Table 3.3). The amount of LaMag was the lowest at both soil depths among all the four macroaggregates size fractions (Fig. 3.3). The similar highest amount of LaMag at 0-20 cm depth for the BRDL and CA soils showed that, in clay-rich CA soils with very low-TOC levels, the depletion of TOC had less impact on the amount of LaMag. The LaMag formation for the CA soils was not bound by organic agents, since no increase in macroaggregates was observed with increasing TOC content. Therefore, the higher

LaMag for the CA soils with their high total clay content could be bound through physical drying and electrostatic interactions between the abundant oxides and clay minerals, whereas after incorporating fresh lupines residues by tillage in the BRDL soils could lead to enhanced biologically active TOC cementing agents, resulting in higher amounts of LaMag with long-term stability (Table 3.3). These results are consistent with the findings of Deneff *et al.* (2002) and Deneff and Six (2005), who reported that macroaggregates were formed rapidly without adding residues or plant derived organic-C inputs in the kaolinitic soils, but could be bound through mineral-mineral bonds mediated by electrostatic interactions between the oxides and 1:1-type clay minerals. The BRDL soils formed the highest amount of LaMag at both depths, to an even greater extent than the clay- and TOC-rich VN and SDL soils, suggesting that LaMag structure may be enhanced through the binding of biologically active TOC (i.e. fungal hyphae, roots and microbial-derived polysaccharides) inputs after incorporating fresh lupines residues, rather than leaving dead plant residues as mulches. These differences could not be related to drying after tillage operations because all the soil samples were air-dried to standardize the drying effects (Kemper and Rosenau, 1986). The lowest amount of LaMag at both depths in the BL soils than in the BRDL soils could be the most direct indication that increasing TOC inputs, with dead rather than freshly incorporated plant residues without raising soil pH, resulted in decreased LaMag formation.

The highest amount of LaMag at 20-40 cm depth in the BRDL soils than in the CA soils can be attributed to their higher total clay content under low TOC inputs released by the lupines roots, since increased total clay content was observed with increasing amount of LaMag. The similar amounts of LaMag at 20-40 cm depth between both the PL and VN soils, as well as between the SDL and CA soils, demonstrate the effectiveness of the lupines invaded meadows and fallows in promoting LaMag formation, to an even equal extent as in the clay-rich VN and CA soils.

3.4.3 Dry-sieved soil macroaggregates instability (CoES) indices

The macroaggregates instability (CoES) indices of the soil aggregates separated by dry-sieving was calculated as a quotient of the mass of free microaggregates plus silt- plus clay-size particles (<0.25 mm diameter) to the mass of a specified

macroaggregates size class of the reference soil, as suggested by Cammeraat and Imeson (1998) and Boix-Fayos *et al.* (2001). According to these authors, the most sustainable cropping management practices were considered as those that contributed to the lowest CoES indices. Similarly, this criterion was used in this study as a parameter to evaluate the impact of traditional cropping management practices on environmental sustainability. Soils from all the seven cropping management practices had a very friable consistency at 0-20 cm depth and most at 20-40 cm depth and this could be the main limitation for achieving a stable structural aggregation in these volcanic ash soils. We identified the CoES indices for four macroaggregates size classes for the whole-soil, small-, medium- and large- macroaggregates (TMag, SmMag and MeMag and LaMag, respectively) at both soil depths studied. The CoES- indices for the TMag ranged from 0.143 to 0.583 at 0-20 cm depth and from 0.217 to 0.792 at 20-40 cm depth; and for the SmMag ranged from 0.442 to 1.707 at 0-20 cm depth and ranged from 0.423 to 1.110 at 20-40 cm depth; for the MeMag ranged from 0.255 to 1.062 at 0-20 cm depth and ranged from 0.527 to 1.937 at 20-40 cm depth; and for the LaMag from 0.929 to 6.375 at 0-20 cm depth and from 0.486 to 11.64 at 20-40 cm depth, respectively (Table 3.4).

The CoES indices for all the dry-sieved soil macroaggregates size classes were decreased with increasing soil pH ($r^2 > 0.199$; $P < 0.05$; Table 3.6) and total clay content ($r^2 > 0.624$; $P < 0.05$; Table 3.5), but the CoES indices were increased with increasing TOC content ($r^2 > 0.000$; $P < 0.05$; Table 3.6). As discussed earlier, the increased amount of MicAg was also associated with increasing TOC content ($r^2 > 0.009$; $P < 0.05$; Table 3.6). The poor coefficient of determination could probably suggest that not the whole TOC fraction was responsible for increasing the CoES indices; therefore, it is not clear whether the TOC can be considered non-hydrolysable C or labile C. The CoES indices represented the MicAg release rate as the macroaggregates breakdown. It has been hypothesized that, increasing organic C content in volcanic-ash soils resulted from biochemical stabilization of the slowly-decomposable C through the formation of Al/Fe-humic acid complexes and chelates with allophane/imogolite clay materials (Wada and Aomine, 1973), and can also be physically-associated with clay- and silt-size fractions in MicAg within macroaggregates (Six *et al.*, 2000b). This could be a possible explanation for the observed lowest CoES indices for all the macroaggregates size classes at both

depths for the SDL soils with low-TOC input level than for the BL soils with medium-TOC input level (Table 3.2). The lower CoES indices for the SDL soil than for the BL soils could indicate that aggregation and stabilization may be induced by biologically active TOC cementing agents from fresh lupines residues resulted in stronger organic bonds between a large amount of total clay constituents at a higher-moderate acid pH level for the SDL soils, rather than from dead pine forest litter at a lower-moderate acid pH level for the BL soils (Tables 3.2 and 3.4). Similarly lower CoES indices at 0-20 cm depth for the all macroaggregates size classes for the PL, SDL and BRDL soils than for the clay-rich VN and CA soils could indicate that the lower total clay content for these practices was likely not the only factor controlling their reduction in CoES indices. This can be due to the fact that a reduction in cultivation intensity with PL, SDL and BRDL practices has resulted in the increased fresh hydrolysable C i.e. a labile C fraction in macroaggregates with long-term stability than for the VN and CA practices.

The TOC-depleted soil environments, such as for intensive cultivations, can lead to macroaggregates breakdown and loss of organic C accompanied by an increase in C-depleted MicAg release (Six *et al.*, 2000a). The higher CoES indices at 0-20 cm depth for the CA soil than for the SDL soil indicated that because the macroaggregates that were bound through electrostatic interaction between 1:1-type clays and oxides at a very-low-TOC levels for the CA soil were weaker than those that were bound through stronger organic cementing processes at a low-TOC level for the SDL soil. Deneff *et al.* (2002) and Deneff and Six (2005) also reported that a significant increase in amount of stable macroaggregates that were induced by actively growing biological processes led longer-term stabilization of macroaggregates in 2:1- than in 1:1-type clay soils for the planted treatments. Therefore, actively growing lupines in the PL, SDL and BRDL practices led to decreased CoES probably through the more soluble organic cementing agents (i.e. root exudates and associated microbial polysaccharides production) and were likely contributing to stronger organic bonds that promoted long-term macroaggregates stabilization, whereas the mineralization of dead and mature oak forest residues in the VN soils could lead to the non-soluble or less- decomposable organic cementing agents (i.e. lignocellulose compounds). This is in agreement with Deneff and Six (2005), who reported that actively growing plant root exudates stimulated

significant microbial activity which simultaneously promoted the formation of large macroaggregates in illitic clay soil than in kaolinitic clay soil.

Many studies have shown that allophane content was increased by increasing soil pH, which was in turn increased by soil depth in several other volcanic ash soils (Campos-Cascaredo *et al.*, 2001; Huygens *et al.*, 2005). The total clay content and pH measured in this study also showed the same pattern. Secondly, the lowest CoES-indices at 20-40 cm depth for the TMag, SmMag, MeMag and LaMag for the VN soils than for the scrubland (PL, BRDL, PP and SDL) soils (Table 3.4) could indicate that a rise in soil pH from higher-moderate-acid to neutral-pH conditions has resulted in significantly higher amounts of total clay constituents with a higher-charge that promotes more CEC, and have led to stable macroaggregates. The preferential sorption of humic-types of TOC on clay particles and sesquioxides at 0-20 cm depth resulted in TOC fractionation, leading to the lack of humic-types of TOC inputs at 20-40 cm depth. The increase in TOC content led to increasing CoES- indices for all the macroaggregates size fractions ($r^2 > 0.51$; $P < 0.05$; Table 3.6). Decreasing the humic-type TOC content resulted in increased total clay content with increasing soil pH at 20-40 cm depth for the VN soils, which suggest that a stronger adsorption of dissolved TOC content was probably favoured by increased allophane/imogolite content, and consequently helped to the formation of stable macroaggregates of all size classes. These conclusions were supported by the negative correlations between CoES indices and total clay content ($r^2 > -0.70$) and also between soil pH ($r^2 > -0.42$); but positive correlations with TOC content ($r^2 > 0.73$; $P < 0.05$), while the closest absolute values were observed at 20-40 cm than at 0-20 cm depth (Tables 3.5 and 3.6).

The lower CoES-LaMag at 20-40 cm depth for the PL soils than for the PP soils, to an even similar extent for CoES-LaMag at 0-20 cm depth for the PL, PP and VN soils (Table 3.4) could suggest that the larger total clay content and higher pH level for the VN soils than for than for the PP and PL soils was not the only factor controlling CoES. At a lower soil pH, the cation adsorption reactions tend to be dominated by 2:1-type clays more than some pH-dependent 1:1-type clays and amorphous clay materials (Brady and Weil, 1999). The similar lowest CoES- indices for the TMag and SmMag at 20-40 cm depth for the VN and BRDL soils (Table 3.4) was likely caused by their higher

total clay content. Increase in total clay content for the two soils resulted from significantly different soil pH levels, suggesting that their similar CoES indices were more likely influenced differently at this soil depth by different mixtures of variable and constant charged colloids. Similarly, a significantly lower CoES-LaMag indices at both depths for all the size classes for the SDL and PL soils than for the PP soils could indicate that biologically active processes from the lupines invasions fallows and meadows led to stronger organic bonds than from the pure pastures (PP). A higher pH at 20-40 cm depth was important since it could determine the amount of variable charge on colloidal constituents, of which allophane is often more abundant than humus content, since no increase in CoES indices was observed with increasing total clay content.

3.5. CONCLUSIONS

This study examined long-term effects of the wild lupines invasions in various traditional cropping management systems on dry-soil aggregate size distribution and macroaggregates instability indices at two depths in volcanic ash soils. The data suggested that increasing soil pH resulted in increased total clay content independent of the TOC content. Compared to other cropping management practices, the lupines invaded fallow soils demonstrated higher total clay content with increased soil pH at 0-20 cm than at 20-40 cm depth, showing that the lupines may have a unique capacity to redistribute the base-forming cations through the *Lupinus* foliage. The microaggregates formation at 0-20 cm depth was highest in the pine forest soils under dead plant residues TOC inputs, but was lowest in the lupines invaded fallow soils under biologically active soluble TOC inputs. In the absence of dead plant derived-TOC inputs at 20-40 cm depth, the amount of microaggregates release was then decreased with increased total clay content and soil pH from higher moderate-acid to neutral conditions in the oak forest soils than in the lupines invaded fallows. The lupines invaded fallows and meadows had similar lowest amounts of SmMag at 0-20 cm depth in the (PL and SDL) soils, and also lowest at 20-40 cm depth in the lupines invaded disturbed pine forest (BL) soils. The highest amount of SmMag at both depths was formed under very low TOC inputs in the annually cultivated soils. This indicates that high total clay soils have a potential to form SmMag through electrostatic reactions rather than through biologically active TOC cementing processes, since TOC did not increase with increasing amount of small macroaggregates. The highest amount of MeMag formation at both soil depths in the VN soils than in the SDL and PL soils was significantly enhanced by a rise in soil pH from higher medium-acid to neutral conditions. The highest amount of LaMag at both depths upon fresh-lupines residues incorporation (BRDL) could indicate a rapid response of LaMag formation to biologically active cementing TOC processes after adding fresh lupines residues into the soil. The highest amount of large macroaggregates (LaMag) were formed in annually cultivated (CA) soils with very low TOC input through electrostatic adsorption reactions between the clays and oxides, rather than through biologically active TOC cementing processes.

Incorporating fresh lupines residues for the BRDL soil had the similarly lower medium-macroaggregates instability indices (CoES-MeMag) at both depths as for the SDL soil. This indicates that *Lupinus* invaded fallows (SDL) had a long lasting capacity to decrease dry macroaggregates instability indices in whole soil, even after converting from fallow to cultivation. The SDL soil had larger amounts of MeMag at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth more than did the other scrublands soils, but the trend reversed in the reference oak forest soils. This was due to physical entanglement and biologically active TOC cementing processes associated with lupines roots growth and a rapidly fresh residues decay throughout the rooting zone. The clay-rich annually cultivated (CA) soils can form large macroaggregates due to electrostatic interactions without accumulating TOC, but had higher macroaggregates instability indices for all the macroaggregates size classes, which may pose very serious threat to sustainable agricultural systems.

We concluded that lupines invaded fallows and meadows can stabilize all the macroaggregates size classes. Hence these findings will be relevant for future inclusion of *Lupinus* in cropping management practices with high yielding grain lupine genotypes in order to improve both physical soil fertility and socio-economic sustainability of the traditional farming systems.

3.6 LITERATURE CITED

- Alderete-Chavez, A., V. Espinosa-Hernández, E. Ojeda-Trejo, M. Ehsan, J. Perz-Moreno, V.M. Cetina-Alcalá, D.A. Rodríguez-Trejo, N. De la Cruz-Landero, 2008. Natural distribution and principal characteristics of *Lupinus* in the oriental face of Tlaloc Mountain in Sierra Nevada, México. *Journal of Biological Sciences* 8 (3): 604-609.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge, 1986. Bulk density. pp.363-376. *In*: A. Klute (ed). *Methods of soil analysis, Part 1. Monograph No. 9. ASA, Madison, WI.*
- Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson, M.D. Soriano-Soto, 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate-size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.
- Brady, N.C., and R.R. Weil, 1999. *The nature and properties of soils. Twelfth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.*
- Cammeraat, L.H., and A.C. Imeson, 1998. Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in south-eastern Spain and southern France. *Geomorphology* 23: 307-321.
- Campbell, C.A., Moulin, A.P., Curtin, D., Lafond, G.P., Townley-Smith, L., 1993. Soil aggregation as influenced by cultural practices in Saskatchewan: I. Black Chernozemic soils. *Canadian J. Soil Sci.* 73: 579-595.
- Campos-Cascaredo, A., K. Oleschko, L. Cruz-Huerta, J.D. Etchevers-B, C. Hidalgo-M., 2001. Estimation of allophane and its relationship with other chemical parameters in Mountain Andisols of the volcan Cofre de Perote. *Terra* 19: 105-116.
- Dahlgren, R.A., and Saigusa, M., 1994. Aluminium release rates from allophane and non-allophane Andosols. *Soil Sci. Plant & Nutr.* 40: 125-136.
- Denef, K., and J. Six, 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregates formation and stabilization. *Euro. J. Soil Sci.* 56: 469-479.
- Denef, K., J. Six, R. Merckx, and K. Paustian, 2002. Short-term effects of biological and physical forces on aggregate formation in soils with different clay mineralogy. *Plant and Soil* 246: 185-200.
- Fanning, D.S., V.Z. Keramidas, and M.A. El-Desoky, 1989. Micas. *In*: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds). *Minerals in Soil Environments. SSSA, Madison, WI.* pp.551-634.

- FAO-ISRIC-ISSS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports No. 84, FAO, Rome, Italy, 88pp.
- Farmer, V.C. and D.G. Lumsdon, 2002. A re-interpretation of aluminum solubility mechanisms in moderately acid Bs-horizons of podsolized soils by Gufstafsson *et al.*, Euro. J. Soil Sci. 53: 671-673.
- Franzluebbers, A.J., S.F. Wright, J.A. Stuedemann, 2000. Soil aggregation and glomalin under pastures in southern Piedmont USA. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1018-1026.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1996. Particle size analysis. p.383-411. *In*: A. Klute (ed). Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical methods, SSSA book 5, ASA-SSSA, Madison, WI. USA.
- Graham, R.C., and H.B. Wood, 1991. Morphologic development and clay redistribution in lysimeter soils under chaparral and pine. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1638-1646.
- Graham, R.C., J.O. Ervin, H.B. Wood, 1995. Aggregate stability under oak and pine after four decades of soil development. Soil Sci. Soc. Am. J., 59: 1740-1744.
- Gutiérrez-Castorena, Ma del C., C.A. Ortiz, P. Sanchez-Guzman, 2007. Clay coatings formation in tepetates from Texcoco. Catena 71(3): 411- 424.
- Haynes, R.J., and M.H. Beare, 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. Soil Biol. Biochem. 29: 1647-1653.
- Huygens, D., P. Boeckx, O. van Cleemput, C. Oyarzún, R. Godoy, 2005. Aggregate and soil organic carbon dynamics in South Chilean Andosols. Biogeosciences 2: 159-174.
- Johnson, J.F., D.L. Allan, C.P. Vance, G. Weiblen, 1996. Phosphorus deficiency in *Lupinus albus* altered lateral root development and enhanced expression of phosphoenolpyruvate carboxylase. Plant Physiology 112: 31-41.
- Kemper, W.D., and R.C. Rosenau, 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425-442. *In*: A. Klute (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd Edition. Agron. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods. *In*: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis, Part 1, 2nd Edition. Agron. Monogr. No. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and C.V. Cole, 1998. The potential of US cropland to sequester and mitigate the greenhouse effect. Ann Arbor Press, Chelsea, MI., p. 124.

- Liu, J.C., and Z.S. Chen, 2004. Soil characteristics and clay mineralogy of two subalpine forest Spodosols with clay accumulation in Taiwan. *Soil Sci.* 169: 66-80.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velásquez, J.R. Aguirre-Rivera, 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems* 90: 62-78.
- McLauchlan, K.K., and S.E. Hobbie, 2004. Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1616-1625.
- Medina-Garcia, C., F. Guevara-Féver, M.A. Martinez-Rodriguez, P. Silva-Sáenz, Ma. A. Chavez-Cabajal, 2000. Study of flora in the indigenous community area of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana.* 52: 5-41.
- Molumeli, P.A., V. Espinosa-Hernández, M. Ehsan, S. Benedicto-Valdéz, E. Ojeda-Trejo, V.M. Cetina-Álcala, A. Alderete-Chavez, N. De la Cruz-Landero, and K. Santamaria-Delgado, 2008. Lupines-invaded pine forest and cultivated scrublands in volcanic ash soils in México: Dry-sieved aggregation and instability indices. *International Journal of Botany*, 4(4): 390-405.
- Nizeyimana, E., 1997. A toposequence of soils derived from organic materials in Rwanda: Morphological, chemical and physical properties. *Soil Science*, 162(5): 350-360.
- Nizeyimana, E., T.J. Bicki, and P.A. Agbu, 1997. An assessment of colloidal constituents and clay mineralogy of soils derived from volcanic materials along a toposequence in Rwanda. *Soil Sci.* 162(5): 361-371.
- Oades, J.M., 1993. The role of biology in the formation, stabilization, and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Oropeza-Mota, J.L., 1980. Evaluation of the water erosion (sediments in suspension) in the valleys of the Texcoco and Chapingo rivers (MSc. Thesis, *in Spanish*). Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México, México,
- Poulenard, J., J. Poswojewski, J.L. Janeau, and J. Collinet, 2001. Effects of tillage and burning on hydrodynamic properties of volcanic ash soil in Ecuadorian páramos. *Catena* 45: 145-207.

- Prat, C., A. Báez-Pérez, and A. Márquez, 1997. Erosion and runoff in cultivated plots of indurated t3 volcanic soils in Texcoco, Mexico. pp. 371-383. *In*: C Zebrowski, P. Quantin and G. Trujillo (eds). Proceedings of the: III International Symposium on indurated volcanic soils (in *Spanish*). 6 – 12 Dec. 1996. ORSTOM, Quito, Ecuador.
- Pulido, J.S., and G. Bocco, 2003. The traditional farming system of a Mexican indigenous community: the case of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico. *Geoderma* 111: 249-265.
- Robson, M.C., S.M. Fowler, C. Leifert, M. Leitch, D. Robinson, C.A. Watson, and A.M. Litterick, 2002. The agronomic and economic potential of break crops for ley/arable rotations in temperate organic agriculture. *Advances in Agronomy* 77: 369-427.
- Rodríguez-Tapia, S.A., 2005. Genesis and evolution of the clay soils of the eastern foothills of the Tlaloc volcano mountain (Ph.D. thesis, *in spanish*). Colegio de Postgraduados, Department of Soil Science, Montecillo campus, Texcoco, Estado de México.
- Sainju, U., 2006. Carbon and nitrogen pools in soil aggregates separated by dry and wet sieving methods. *Soil Science* 171 (12): 937-949.
- Sainju, U.M., B.P. Singh, and W.H. Whitehead, 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90: 511-518.
- Sanchez-Gonzalez, A., and L. Lopez-Mata, 2003. Classification and arrangement of the vegetation in the northern Sierra Nevada, along an altitudinal gradient. *Anales Instituto Biol. UNAM* 74 (1): 47-71.
- SAS (Statistical Analysis System). Statistical Analysis System Institute, Inc. 2002. Introduction to SAS methods. Version 8.1-(8e). Gary, NC, USA. 117 p.
- Six, J., E.T. Elliot, K. Paustian, and J.W. Doran, 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1367-1377.
- Six, J., K. Paustian, E.T. Elliott, and C. Combrink, 2000a. Aggregation and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.

- Six, J., E.T. Elliott, K. Paustian, 2000b. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32: 2099-2103.
- Solleiro-Rebolledo, E., D. Flores-Roman, J. Gama-Castro, and S. Sedov, 2002. Tepetates of Central Mexico: Paleogeographical background and functioning in modern agroecosystems. 17th WCSS. Symposium No.15 of the 14-21 August 2002, Thailand. 1914: 1-8.
- Sollins, P., Homann, P., and Caldwell, B.A., 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma* 74: 65-105.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and liming requirements. p.475-490. *In*: A. Klute (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical methods*, SSSA book 5, ASA-SSSA, Madison, WI. USA.
- Ugolini, F.C. and R.A. Dahlgren, 1991. Weathering environments and occurrence of imogolite/allophane in selected Andisols and Spodosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1166-1171.
- Ugolini, F.C., and R.A. Dahlgren, 2002. Soil development in volcanic ash. *Global Environment Research* 6: 1-69.
- Wada, K., 1989. Allophane and imogolite. p.1051-1087. *In*: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds). *Minerals in soil environments*. 2nd ed. SSSAm Book series I, SSSAm, Madison, WI.
- Wada, K., and S. Aomine, 1973. Soil development on volcanic materials during the quaternary. *Soil Sci.* 116: 170-177.
- Walkley, A., and I.A. Black, 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.

3.7

APPENDIX

OF

FIGURES

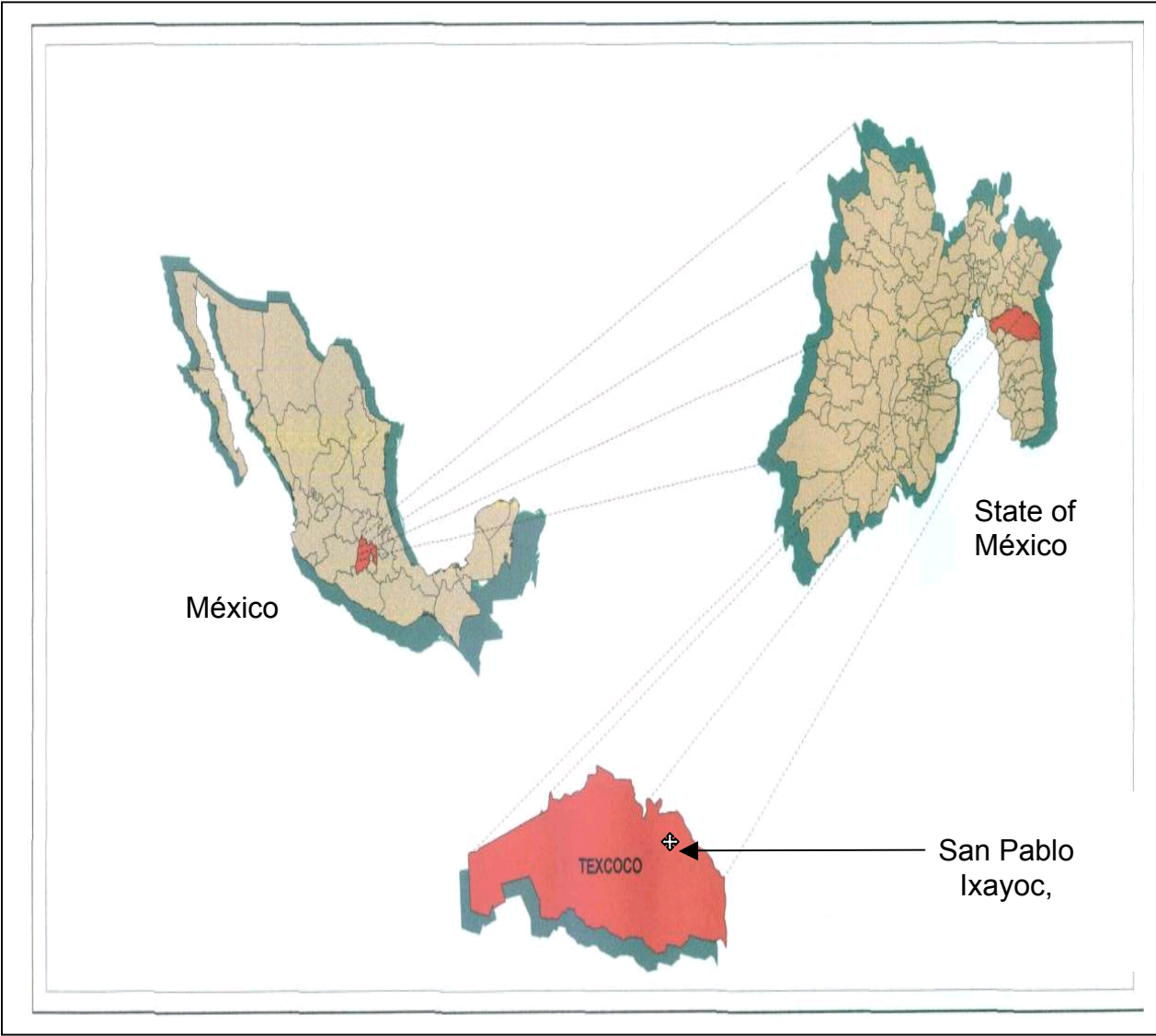
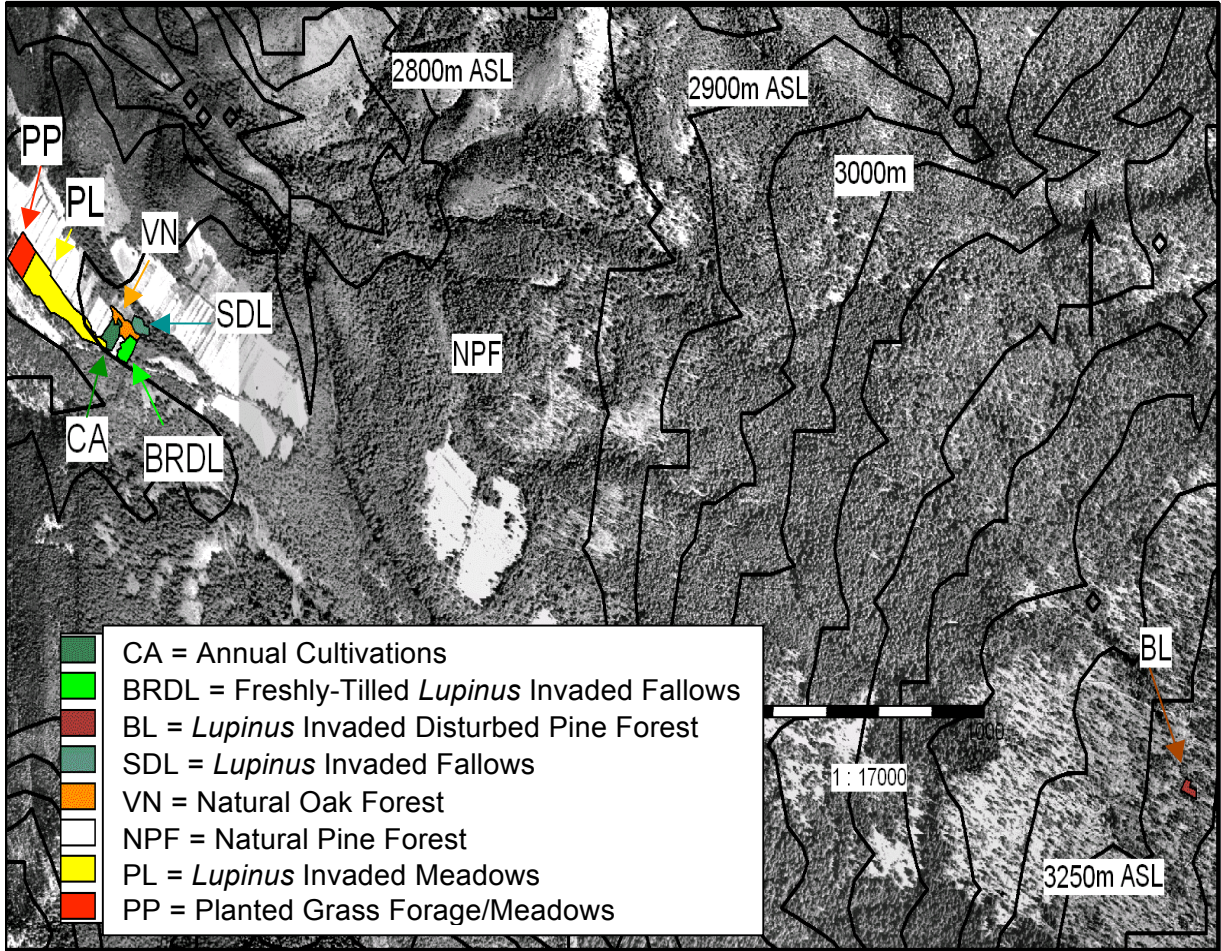


Figure 3.1: Location of the study area in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

19 27 15
98 47 10

19 27 15
98 42 43



19 25 51
98 47 10

19 25 51
98 42 43

Figure 3.2: Cropping management practices since 1994 within the two major Traditional Farming Systems in San Pablo Ixayoc, Texcoco, México State, México.

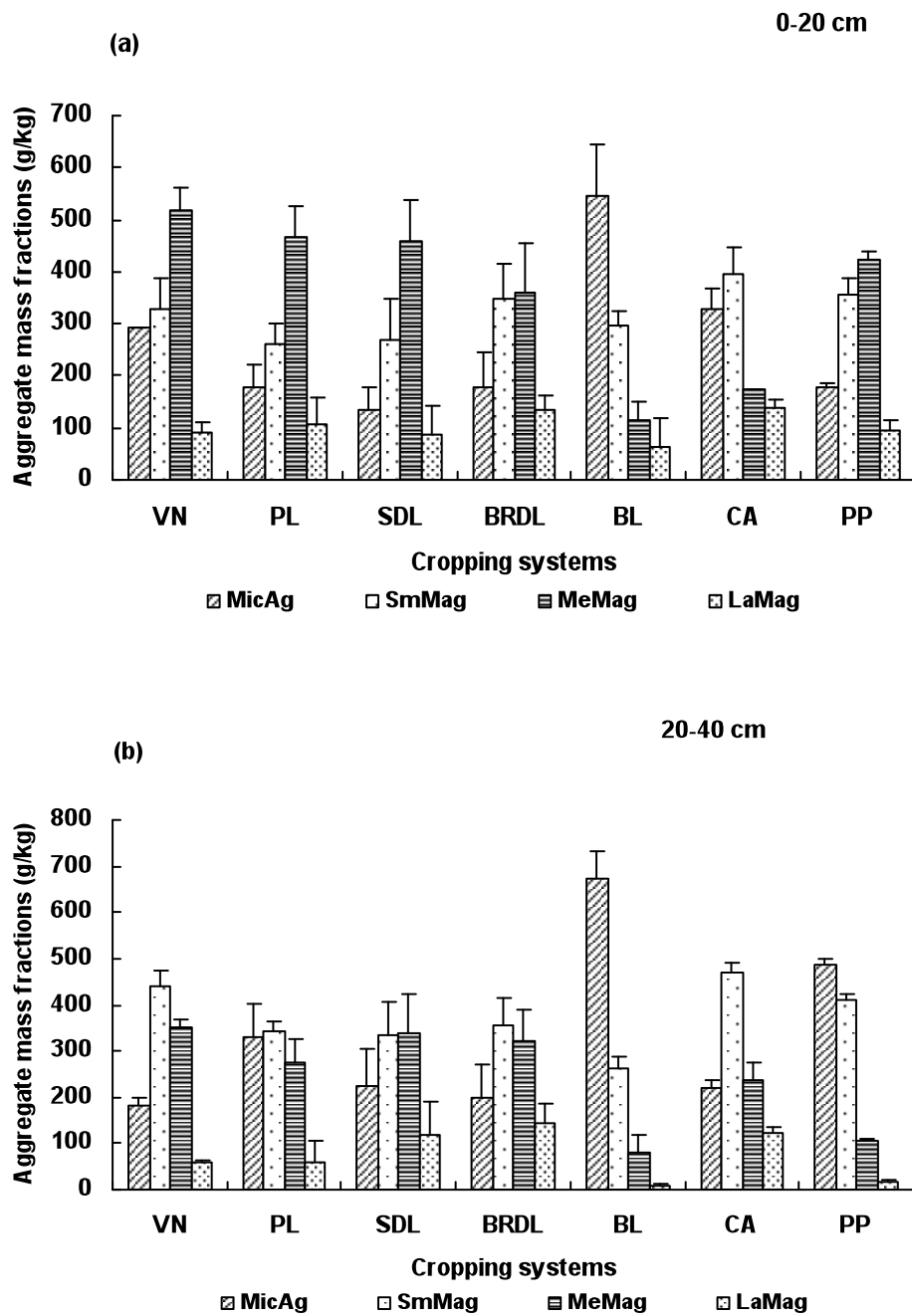


Figure 3.3: Dry-sieved soil aggregate size classes (ASDd): microaggregates (MicAg, < 0.25 mm), small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm), medium-macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm), and large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.00 mm) determined for two soil depths as influenced by different cropping management systems in San Pablo Ixayoc, Texcoco, México State, México. Vertical bars represent \pm SE (n =3).

3.8

APPENDIX

OF

TABLES

Table 3.1: Representative Traditional Farming Systems in the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) chosen from the three landuse ecosystems in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

Altitude (m asl)	Landuse ecosystems	Land management areas	Plants or tillage sequences	Sampling code /Cropping management practices	Slope /position/area studied
2920 -3200	Community Forestry Management (CFM)	Natural pine forest + dense herbaceous pasture and shrubs	Diverse <i>Pinus</i> sp forest vegetation + indigenous grass (<i>Muhlenbergia</i> sp.)	NPF (natural pine forest)	15-30% /summit/ <i>Tests not determined</i>
		<i>Pinus</i> + <i>Lupinus uncinatus</i> invaded open field of disturbed pine forest	Clearing of forest litterfall for fire control+ adapted <i>Pinus</i> sp.+ <i>Muhlenbergia</i> sp. + cattle grazing + wood logging	BL (lupines invaded disturbed pine forest)	8-20% /summit/ 0.26 ha
2765 -2920	Natural oak forest management (VN)	Relict <i>Quercus</i> sp. on buffer strips and ravines	Cattle grazing + wood logging + <i>Abies religiosa</i>	VN (relict oak forest, reference soil)	8-20% /upper backslope / 0.13 ha
		Short-term (14 months) fallows alternating with maize/beans intercrop production (<i>milpa</i>)	Furrow-dikes + direct sowing-forage crops: <i>Avena sativa</i> and <i>Brassica napus</i> fallows	FF (forage fallows)	<i>Tests not determined</i>
	Disk-plow + furrow-dikes + sowing maize/faba of 2 plant tufts + hilling + weeding cultivation + harvesting		CA (intensive cultivations)	8-15% / upper backslope / 0.49 ha	
	fallows + > 11 years weedy <i>Lupinus uncinatus</i> invasion		SDL (lupines invaded fallows)	8-15% / upper backslope / 0.21 ha	
	fallows + > 11 years weedy <i>Lupinus uncinatus</i> invasion + Freshly tilled		BRDL (freshly-tilled lupines invaded fallows)	8-15% / upper backslope / 0.42 ha	
	Rainfed Traditional Cultivated Management (TCM)	Long-term (4 – 10 years) scrubland fallows or subtropical deciduous shrubs	fallows + > 11 years tall oats grass pastures + weedy <i>Lupinus uncinatus</i> invasion	PL (lupines invaded meadows)	8-15% / middle backslope / 0.67 ha
fallows + > 11 years pure tall oats grass pastures			PP (pure meadows)	8-15% / middle backslope / 0.34 ha	

Table 3.3: Comparison of means for the parameters of dry-sieved soil aggregate size distribution classes (ASDd) determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) from the seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

Dry-sieved soil aggregate size distribution classes (ASDd)	Landuse ecosystems								Means	LSD (p<0.05)
	La Era 2750-2920 m asl TCM				La Canoa 2920-3300 m asl CFM					
	PL	SDL	BRDL	PP	CA	VN	BL			
	<u>0-20 cm soil depth</u>									
MicAg, g kg ⁻¹	178.88 c	134.95 c	177.79 c	177.31 c	328.90 b	291.40 b	546.15 a	262.2	95.15	
SmMag, g kg ⁻¹	259.59 c	268.91 bc	347.2 abc	357.5 ab	394.88 a	326.2abc	297.72 abc	321.7	97.55	
MeMag, g kg ⁻¹	465.19 a	458.26 ab	360.83 b	424.6ab	173.97 c	518.29 a	115.03 c	359.4	101.9	
LaMag, g kg ⁻¹	108.70 ab	88.18 ab	132.92 a	93.55 ab	140.39 a	90.66 ab	62.69 b	102.4	69.07	
	<u>20-40 cm soil depth</u>									
MicAg, g kg ⁻¹	331.22 c	224.64 d	197.29 d	486.67 b	221.70 d	183.62 d	673.82 a	331.2	98.84	
SmMag, g kg ⁻¹	342.23 bc	333.28 cd	355.51 bc	412.1 ab	468.86 a	441.54 a	263.66 d	373.8	73.99	
MeMag, g kg ⁻¹	273.44 ab	340.54 a	320.58 ab	107.51 c	236.15 b	349.46 a	80.45 c	244.0	91.18	
LaMag, g kg ⁻¹	59.24 bcd	120.0 abc	144.01 a	18.76 d	123.0ab	57.89 bc	9.18 d	76.03	64.61	

Means followed by the same letter within the row for an individual parameter are not significantly different at the probability level, $p < 0.05$ and $n = 3$. MicAg=microaggregates (<0.25 mm); SmMag = small-macroaggregates size class (0.25-2.00 mm); MeMag = medium macroaggregates size class (2.00-4.76 mm); LaMag = large-macroaggregates size class (4.76-11.5 mm). PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. TCM = rainfed traditional cultivated agricultural landuse management ecosystem, CFM = industrial community forest landuse management ecosystem.

Table 3.4: Comparison of means for the macroaggregates instability indices (CoES) of various dry-sieved soil macroaggregates size classes (ASDd) determined at two soil depths from the seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.

Macroaggregates instability (CoES) indices	Landuse ecosystems										Means	LSD (p<0.05)
	La Era 2750-2920 m asi					La Canoa 2920-3300 m asi						
	PL	SDL	BRDL	PP	CA	VN	BL	CFM	BL			
	0-20 cm soil depth											
CoES-TMag	0.217 b	0.162 b	0.215 b	0.203 b	0.463 b	0.312 b	1.227 a				0.400	0.305
CoES-SmMag	0.547 cd	0.441 d	0.571 cd	0.567 cd	1.022 b	0.922 bc	1.709 a				0.826	0.391
CoES-MeMag	0.351 cd	0.257 d	0.342 d	0.343 d	0.642 b	0.566 bc	1.064 a				0.509	0.218
CoES-LaMag	2.132 bc	1.472 c	1.988 bc	2.026 bc	3.867 b	3.363 bc	6.375 a				3.032	2.006
	20-40 cm soil depth											
CoES-TMag	0.506 c	0.285 c	0.246 c	0.905 b	0.268 c	0.217 c	1.972 a				0.628	0.352
CoES-SmMag	0.745 c	0.518 cd	0.454 d	1.109 b	0.502 d	0.420 d	1.527 a				0.754	0.241
CoES-MeMag	0.959 c	0.639 d	0.563 d	1.394 b	0.637 d	0.525 d	1.937 a				0.951	0.316
CoES-LaMag	5.681 c	3.935 cd	3.445 d	8.444 b	3.828 d	3.197 d	11.639 a				5.738	1.767

Means followed by the same letter within the row for an individual parameter are not significantly different at the probability level, $p < 0.05$ and $n = 3$. CoES = macroaggregates instability index defined as a quotient between the amount of microaggregates in a bulk soil sample and the amount of a specific macroaggregates size class. CoES-TMag = macroaggregates instability index for the total macroaggregates of the bulk-soil sample (TMag, 0.25-11.5 mm); CoES-SmMag = macroaggregates instability index for the small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm), CoES-MeMag = macroaggregates instability index for the large-instability index for the medium macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm) and CoES-LaMag = macroaggregates instability index for the large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.5 mm) of the reference soil. PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-filled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. TCM = rainfed traditional cultivated agricultural management ecosystem, CFM = industrial community forest management ecosystem.

Table 3.5: Significance levels (R^2) and regression equations relating total organic carbon content (TOC), total clay content (clay) and soil pH as independent variables to the dry-sieved macroaggregates size classes, microaggregates and macroaggregates instability indices (CoES).

Dependent variable	§ Regression equations		R^2
Clay	Clay ¹	= -0.002 TOC + 29.45	0.000
	Clay ²	= -0.135 TOC + 38.16	0.051
Clay	Clay ¹	= 0.1139 pH - 42.69	0.000
	Clay ²	= 0.1043 pH - 36.04	0.061
MicAg	MicAg ¹	= -24.25 clay + 972.4	0.626
	MicAg ²	= -36.12 clay + 1430	0.827
SmMag	SmMag ¹	= 3.055 clay - 232.2	0.084
	SmMag ²	= 11.88 clay - 12.23	0.606
MeMag	MeMag ¹	= 20.76 clay - 248.5	0.391
	MeMag ²	= 17.59 clay - 291.2	0.552
LaMag	LaMag ¹	= 3.692 clay - 5.695	0.406
	LaMag ²	= 7.123 clay - 140.7	0.384
CoES-TMag	CoES-TMag ¹	= -0.073 clay + 2.544	0.820
	CoES-TMag ²	= -0.129 clay + 4.560	0.880
CoES-SmMag	CoES-SmMag ¹	= -0.075 clay + 3.026	0.626
	CoES-SmMag ²	= -0.081 clay + 3.235	0.826
CoES-MeMag	CoES-MeMag ¹	= -0.047 clay + 1.899	0.625
	CoES-MeMag ²	= -0.104 clay + 4.116	0.827
CoES-LaMag	CoES-LaMag ¹	= -0.286 clay + 11.43	0.624
	CoES-LaMag ²	= -0.622 clay + 24.67	0.826
MicAg	MicAg ¹	= -212.4 pH + 1608.0	0.208
	MicAg ²	= -360.1 pH + 2607.0	0.408
SmMag	SmMag ¹	= 50.28 pH + 3.089	0.099
	SmMag ²	= 149.2 pH - 577.1	0.475
MeMag	MeMag ¹	= 333.6 pH - 1754.0	0.438
	MeMag ²	= 197.0 pH - 1012.0	0.344
LaMag	LaMag ¹	= 19.51 pH - 21.21	0.049
	LaMag ²	= 22.37 pH - 66.61	0.018
Dwr-33 kPa	Dwr-33 kPa ¹	= 0.003 MeMag + 5.243	0.658
	Dwr-33 kPa ²	= 0.002 MeMag + 5.46	0.171
Dwr -1500 kPa	Dwr-1500 kPa ¹	= 0.004 MeMag + 2.882	0.438
	Dwr-1500 kPa ²	= 0.005 MeMag + 2.686	0.643

Superscript 1 is for 0-20 cm, and 2 is for 20-40 cm soil depth. Dwr -33 kPa and -1500 = depth of water retention determined at -33 and -1500 kPa suction pressure levels. MicAg=Microaggregates (<0.25 mm) ; SmMag = small-macroaggregates size class (0.25-2.00 mm); MeMag = medium macroaggregates size class (2.00-4.76 mm); LaMag = large-macroaggregates size class (4.76-11.5 mm). CoES = macroaggregates instability index. CoES-TMag = macroaggregates instability index for total macroaggregates (TMag, 0.25-11.5 mm) of the reference soil; CoES-SmMag = macroaggregates instability index for small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm), CoES-MeMag = macroaggregates instability index for medium macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm) and CoES-LaMag = macroaggregates instability index for large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.5 mm) of the reference soil.

Table 3.6: Significance levels (R^2) and regression equations relating total organic carbon content (TOC) and soil pH, as independent variables, to dry soil microaggregates and macroaggregates size fractions, and macroaggregates instability indices (CoES).

Dependent variable		Regression equations ‡	R^2
MicAg	MicAg ¹	= 0.565 TOC + 226.9	0.009
	MicAg ²	= 6.459 TOC + 109.7	0.074
SmMag	SmMag ¹	= -0.727 TOC + 367.1	0.122
	SmMag ²	= -1.727 TOC + 433.1	0.036
MeMag	MeMag ¹	= 3.350 TOC + 150.4	0.261
	MeMag ²	= -0.458 TOC + 259.7	0.001
MeMag ‡	‡MeMag ¹	= 3.751 TOC + 169.0	0.629
	‡MeMag ²	= 3.509 TOC + 154.7	0.093
LaMag	LaMag ¹	= -0.711 TOC + 146.8	0.387
	LaMag ²	= -4.506 TOC + 230.5	0.432
CoES-TMag	CoES-TMag ¹	= 0.000 TOC + 0.381	0.000
	CoES-TMag ²	= 0.027 TOC + 0.310	0.111
CoES-SmMag	CoES-SmMag ¹	= 0.002 TOC + 0.702	0.011
	CoES-SmMag ²	= 0.014 TOC + 0.255	0.073
CoES-MeMag	CoES-MeMag ¹	= 0.001 TOC + 0.442	0.008
	CoES-MeMag ²	= 0.018 TOC + 0.310	0.084
CoES-LaMag	CoES-LaMag ¹	= 0.111 TOC + 1.930	0.074
	CoES-LaMag ²	= 0.005 TOC + 2.660	0.006
CoES-TMag	CoES-TMag ¹	= -0.644 pH + 4.91	0.199
	CoES-TMag ²	= -0.811 pH + 5.924	0.406
CoES-SmMag	CoES-SmMag ¹	= -2.559 pH + 19.24	0.215
	CoES-SmMag ²	= -6.187 pH + 45.18	0.406
CoES-MeMag	CoES-MeMag ¹	= -0.417 pH + 3.156	0.210
	CoES-MeMag ²	= -1.039 pH + 7.576	0.410
CoES-LaMag	CoES-LaMag ¹	= -2.559 pH + 19.24	0.215
	CoES-LaMag ²	= -6.187 pH + 45.18	0.406

Superscript 1 is for 0-20 cm, and 2 is for 20-40 cm soil depth.

‡ Regression analysis was done only with data from the lower altitudes (2750-2920 m asl). MicAg=Microaggregates (<0.25 mm) ; SmMag = small-macroaggregates size class (0.25-2.00 mm); MeMag = medium macroaggregates size class (2.00-4.76 mm); LaMag = large-macroaggregates size class (4.76-11.5 mm). CoES = macroaggregates instability index. CoES-TMag = macroaggregates instability index for total macroaggregates (TMag, 0.25-11.5 mm) of the reference soil; CoES-SmMag = macroaggregates instability index for the small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm), CoES-MeMag = macroaggregates instability index for the medium macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm) and CoES-LaMag = macroaggregates instability index for the large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.5 mm) of the reference soil.

3.9

APPENDIX

FOR

TABLES OF STATISTICAL ANALYSIS

Table 3.1 A: Analysis of variance showing the significance levels for sand, silt, total clay, soil pH, bulk density (pb), determined at two soil depths (Dz: 0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.

S.V.	df	Sa %	Si %	Cl %	pH	pb Mg m ⁻³	TOC Mg ha ⁻¹	Dwr -33 kPa, cm	Dwr -1500 kPa, cm
MGT	6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<.0001	<0.0001	<0.0001
Age	1	0.5156 ^{ns}	0.0408	0.1947 ^{ns}	<0.0003	0.5851 ^{ns}	0.9946 ^{ns}	0.7499 ^{ns}	0.0044
Depth (Dz)	1	0.0578 ^{ns}	0.1637 ^{ns}	0.0053	0.1686 ^{ns}	0.0347	<.0001	0.2318 ^{ns}	<0.0001
MGT x Age	6	0.9297 ^{ns}	0.5388 ^{ns}	0.3602 ^{ns}	<0.0001	0.8129 ^{ns}	0.2768 ^{ns}	0.6697 ^{ns}	<0.0001
MGT x Dz	6	0.1042 ^{ns}	0.5686 ^{ns}	0.2461 ^{ns}	0.3093 ^{ns}	0.1306 ^{ns}	<.0001	0.0083	<0.0001
Age x Dz	1	0.9124 ^{ns}	0.2608 ^{ns}	0.2773 ^{ns}	0.8058 ^{ns}	0.4263 ^{ns}	0.2209 ^{ns}	0.7827 ^{ns}	0.0035
Error	62	2.462	2.767	3.666	0.015	0.0049	138.846	0.433	0.232
R²		0.798	0.750	0.889	0.894	0.895	0.824	0.557	0.845
C.V. (%)		4.199	5.098	6.388	1.95	7.386	24.380	10.57	30.22
Means		37.4	32.6	30.0	6.36	0.950	48.331	6.225	4.292

ns = no significant differences. S.V. = Sources of variance. MGT = Cropping management practice. Sa = % sand; Si = % silt; Cl = % clay; pH = soil pH; pb = soil bulk density, TOC = total organic matter content. Dwr -33 kPa = depth of water at -33 kPa suction level. Dwr -1500 kPa = depth of water retention at -1500 kPa suction level.

Table 3.2 A: Analysis of variance showing the significance levels for different dry sieved soil aggregate size distribution classes (ASDd) determined at two soil depths (Dz: 0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

S.V.	df	Aggregate size distribution (ASD) classes			
		MicAg g kg ⁻¹	SmMag g kg ⁻¹	MeMag g kg ⁻¹	LaMag g kg ⁻¹
MGT	6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Age	1	0.580 ^{ns}	0.717 ^{ns}	0.574 ^{ns}	0.790 ^{ns}
Depth (Dz)	1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0019
MGT x Age	6	0.4281 ^{ns}	0.8619 ^{ns}	0.5026 ^{ns}	0.2389 ^{ns}
MGT x Dz	6	<0.0001	0.0151	<0.0001	0.0108
Age x Dz	1	0.7775 ^{ns}	0.2921 ^{ns}	0.6721 ^{ns}	0.1953 ^{ns}
Error	62	3046.173	2552.805	3119.763	1374.978
R²		0.925	0.706	0.902	0.679
C.V. (%)		18.600	14.526	18.511	41.555
Means		296.74	347.82	301.74	89.23

ns = not significant. S.V. = Sources of variance. TMag = total macroaggregates (0.25-11.5 mm) of the whole (bulk) reference soil sample; SmMag = small-macroaggregates size class (0.25-2.00 mm); MeMag = medium macroaggregates size class (2.00-4.76 mm); LaMag = large-macroaggregates size class (4.76-11.5 mm). MGT = Cropping management practice.

Table 3.3 A: Analysis of variance showing the significance levels for different macroaggregates instability indices (CoES) determined at two soil depths (Dz: 0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

SV	df	Macroaggregates instability indices (CoES)			
		CoES-TMag	CoES-SmMag	CoES-MeMag	CoES-LaMag
MGT	6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Age	1	0.9734 ^{ns}	0.7753 ^{ns}	0.6190 ^{ns}	0.6770 ^{ns}
Depth (Dz)	1	<0.0001	0.0836 ^{ns}	<0.0001	<0.0001
MGT x Age	6	0.9154 ^{ns}	0.5723 ^{ns}	0.7112 ^{ns}	0.8295 ^{ns}
MGT x Dz	6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Age x Dz	1	0.4288 ^{ns}	0.7691 ^{ns}	0.7559 ^{ns}	0.7512 ^{ns}
Error	62	0.037	0.035	0.0254	1.253
R²		0.911	0.876	0.924	0.900
C.V. (%)		37.359	23.7049	21.822	25.522
Means		0.514	0.790	0.730	4.385

CoES = macroaggregates instability index defined as a quotient between the amount of microaggregates in a soil sample and the amount of a specific macroaggregates size class. CoES-TMag = macroaggregates instability index for the total macroaggregates of the whole-soil sample (TMag, 0.25-11.5 mm); CoES-SmMag = macroaggregates instability index for the small-macroaggregates (SmMag, 0.25-2.00 mm), CoES-MeMag = macroaggregates instability index for the medium macroaggregates (MeMag, 2.00-4.76 mm) and CoES-LaMag = macroaggregates instability index for the large-macroaggregates (LaMag, 4.76-11.5 mm) of the reference soil sample.

Table 3.4 A: Comparison of means for sand, silt, total clay, soil pH, total organic carbon (TOC), depth of water retention at -33 kPa and -1500 kPa (Dwr -33 kPa and -1500 kPa, respectively), soil bulk density (pb) determined at two soil depths (Dz: 0-20 cm and 20-40 cm depth) from two plant ages (Age: young and mature) in seven different landuse and cropping management practices (MGT) during the autumn 2005 in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.

Treatment factors	Sa %	Si %	Cl %	pH	TOC Mg ha ⁻¹	Dwr -33 kPa cm	Dwr -1500 kPa cm	pb Mg m ⁻³
Management practices (MGT):								
PL	37.28 b	32.92 b	29.63 c	6.169 c	44.63 bc	6.809 a	4.39 ab	0.970 bc
SDL	37.78 b	30.33 d	31.8 abc	6.349 b	50.21 bc	6.397 a	4.270 b	1.026 b
BRDL	36.33 b	31.4 bcd	32.22 ab	6.402 b	38.381cd	6.30 ab	4.889 a	1.022 b
PP	36.48 b	33.34 b	30.17 bc	6.420 b	45.27 bc	6.650 a	4.76 ab	1.022 b
CA	36.92 b	30.53 cd	32.65 a	6.317 bc	28.229 d	5.56 bc	3.428 c	1.152 a
VN	34.09 c	32.50 bc	33.32 a	6.940 a	77.712 a	6.530 a	4.958 a	0.896 c
BL	42.67 a	37.33 a	19.92 d	5.893 d	53.868 b	5.317 c	3.340 c	0.563 d
LSD(p<0.05)	1.96	2.08	2.39	0.154	14.659	0.818	0.599	0.087
Plant (Age):								
Young	37.48 a	32.25 b	30.25 a	6.304 b	48.340 a	6.202 a	4.137 b	0.946 a
Mature	37.25 a	33.01 a	29.37 a	6.408 a	48.323 a	6.248 a	4.447 a	0.954 a
LSD(p<0.05)	0.69	0.73	0.84	0.054	5.140	0.287	0.210	0.031
Soil depth (Dz):								
0-20 cm	37.70 a	32.89 a	29.37 b	6.337 a	62.366 a	6.312 a	4.512 a	0.934 b
20-40 cm	37.03 a	32.38 a	30.58 a	6.375 a	34.297 b	6.139 a	4.072 b	0.967 a
LSD(p<0.05)	0.69	0.73	0.84	0.054	5.140	0.287	0.210	0.031
Overall means	37.363	32.635	29.972	6.337	48.331	6.225	4.292	0.950

Means for an individual variable with the same letters within a column are not significantly different at p<0.05 and n = 3. Sa = % sand; Si = % silt; Cl = % clay; Dwr -33 kPa and -1500 kPa = depth of water retention at -33 kPa and -1500 kPa, respectively; pb = soil bulk density. PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. LSD = least significant difference. MGT = landuse and cropping management practice.

Table 3.5 A: Comparison of means in combined form for dry-sieved soil aggregate size distribution (ASDd) classes determined at two soil depths for two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco State of México, México.

Treatment factors	Dry-sieved soil aggregate size distribution classes (ASDd)			
	MicAg g kg ⁻¹	SmMag g kg ⁻¹	MeMag g kg ⁻¹	LaMag g kg ⁻¹
Management practices (MGT) :				
PL	255.05 c	300.91 cd	369.31 ab	83.97 bc
SDL	179.80 d	301.09 cd	399.40 ab	104.10 ab
BRDL	187.54 d	351.38 bc	340.71 b	138.46 a
PP	331.99 b	384.87 ab	266.10 c	56.15 cd
CA	275.30 bc	431.87 a	205.06 c	131.74 a
VN	237.51 cd	383.91 ab	433.87 a	74.28 bcd
BL	609.98 a	280.69 d	97.74 d	35.93 d
LSD(p<0.05)	67.511	61.472	67.512	45.32
Plant (Age):				
Young	300.08 a	349.82 a	298.30 a	88.153 a
Mature	293.39 a	345.81 a	305.18 a	90.312 a
LSD(p<0.05)	23.673	21.555	23.674	15.892
Soil depth (Dz):				
0-20 cm	262.20 b	321.75 b	359.46 a	102.440 a
20-40 cm	331.28 a	373.89 a	244.02 b	76.025 b
LSD(p<0.05)	23.673	21.555	23.674	15.892
Overall means	296.738	347.818	301.741	89.233

Means for an individual variable with the same letters within a column are not significantly different at $p < 0.05$ and $n = 3$. MicAg = microaggregates (<0.25 mm diameter); SmMag = small-macroaggregates (0.25-2.00 mm diameter); MeMag = medium-macroaggregates (2.00-4.76 mm diameter); LaMag = large-macroaggregates (>4.76 mm diameter). PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. MGT = Cropping management practice. LSD = least significant difference

Table 3.6 A: Comparison of means for macroaggregates instability indices (CoES) determined at two soil depths for two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco State of México, México.

Treatment factors	Macroaggregates instability indices (CoES)			
	CoES-TMag	CoES-SmMag	CoES-MeMag	CoES-LaMag
Management practices (MGT):				
PL	0.361 bc	0.646 bc	0.655 c	3.907 bc
SDL	0.223 c	0.480 c	0.448 d	2.704 c
BRDL	0.231 c	0.512c	0.452 d	2.717 c
PP	0.554 b	0.838 b	0.868 b	5.235 b
CA	0.366 bc	0.762 b	0.640 cd	3.848 bc
VN	0.265 c	0.671 bc	0.545 cd	3.280 c
BL	1.600 a	1.618 a	1.501 a	9.007 a
LSD(p<0.05)	0.240	0.234	0.199	1.397
Plant age (Age):				
Young	0.515 a	0.796 a	0.739 a	4.436 a
Mature	0.5134 a	0.784 a	0.721 a	4.334 a
LSD(p<0.05)	0.084	0.082	0.070	0.489
Soil depth (Dz):				
0-20 cm	0.400 b	0.826 a	0.509 b	3.032 b
20-40 cm	0.628 a	0.754 a	0.951 a	5.738 a
LSD(p<0.05)	0.084	0.0818	0.0696	0.489
Overall means	0.514	0.790	0.730	4.385

Means for an individual variable with the same letters within a column are not significantly different at $p < 0.05$ and $n = 3$. CoES-TMag = macroaggregates instability indices in relation to the amount of total macroaggregates (TMag) in the whole (bulk) reference soil sample; CoES-SmMag = macroaggregates instability indices in relation to the amount of small-macroaggregates in the reference soil sample; CoES-MeMag = macroaggregates instability indices in relation to the amount of medium-macroaggregates in the reference soil sample; CoES-LaMag = macroaggregates instability indices in relation to the amount of large-macroaggregates in the reference soil sample. PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. MGT = cropping management practice. LSD = least significant difference

CHAPTER IV

4.0 *LUPINUS* INVADED DISTURBED FOREST AND CULTIVATED LAND MANAGEMENT IMPACTED ON STRUCTURE AND WATER TRANSMISSION PROPERTIES OF VOLCANIC ASH SOILS IN SAN PABLO IXAYOC, TEXCOCO, MÉXICO STATE, MÉXICO.

ABSTRACT

The objective of the study was to quantify the interactive effects of different cropping management practices in two landuse areas on structural aggregate stability and water transmission properties of Tlaloc volcanic ash clay loam (fine, mixed, andic, Haplic Andosols). Soil properties were studied at San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México, at least > 11yrs after the implementation of the planted grass and lupines invasions in cultivated fallows, meadows, and disturbed pine forest plantations. Soil samples were taken in the summer 2005 at 0-20 cm depth and 20-40 cm depths. TOC input levels were strongly correlated with MWDd indices at 0-20 cm depth dominated by 2:1-type clays, while negatively correlated with MWDd indices at 0-20 cm depth dominated by amorphous materials. The infiltration tests conducted in spring 2006 in each of the 7 cropping management practices showed that the highest cumulative infiltration ($Z_{C-2 \text{ hrs}}$, 195 to 320 cm) and 2-hrs equilibrium infiltration rate ($i_{-2 \text{ hrs}}$, 45 to 57 cm hr⁻¹) was the highest for the natural oak forest (VN) ecosystem and was seconded by the 32 to 44 cm hr⁻¹ for the BRDL soils. Soil bulk density varied in the order CA = SDL > BRDL > PP = PL > VN > BL, and MWDd was in the order VN = PL > BRDL = SDL > PP > CA > BL. Previous tillage effects were diminished between the BRDL, PL and SDL soils and water infiltration rate after 5-min was similar between BRDL and PL soils while after 2-hrs was similar between PL and SDL soils. Linear regression analysis indicated strong association between EC and MWDd, TOC, $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and Ksat at 0-20 cm depth. Raising soil pH from lower-moderate acid values for the BL soils to neutral values for the VN soils could provide biogeochemical mechanisms for the formation of large amount of total clay minerals, that were most likely suitable to form stronger bonds with higher-TOC input level for binding of microaggregates and small-macroaggregates together into more stable and larger MWDd indices.

Key words: volcanic ash soils, infiltration, percolation, water content, water repellency, surface sealing.

4.1. INTRODUCTION

In México, the landuse reform initiatives of the 1970's resulted in the organization of social and economic corporative societies for community forest management (CFM) landuse policy programs at higher-mountain altitudes (2920-3300 m above sea level, asl), and the extensive subsistence rain-fed traditional cultivated-agriculture management (TCM) at lower-mountain altitudes (2750-2920 m asl) within an ecologically protected federal forest reserves monitored by the Federal Forest Reserves Stewardship Councils (FFRSC, *Gerencia para la Protección de Reservas Forestales Federales*) under the National Forest Commission (*Comisión Nacional Forestal*, CONAFOR) (Pulido and Bocco, 2003). The CFM landuse ecosystem has shown more sustainable economic returns, except for the TCM landuse ecosystem the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) region, (CINSJP, 1998). In the TCM landuse ecosystem, the community land-users (*ejidatorios*) typically abandon the least productive land classes as a consequence of intense topsoil loss by overland runoff water with emergence of ephemeral gullies, that implies severe land degradation in: (i) organic matter and nutrient imbalances, particularly phosphorus, (ii) soil physical (hydraulic and structural) degradation, (iii) high production cost due to greater conservation compliance input cost than grain maize returns (Pulido and Bocco, 2003).

Andic soils are developed from volcanic ash materials and have a very friable consistency and high TOC content in the surface horizons than other mineral soils developed under similar climatic conditions (Wada, 1989). A high CEC in subsurface horizons was essentially caused by increased allophane content with increasing soil pH, while it was due to high TOC content in surface horizons (Nizeyimana, 1997).

Conventional tillage (CT) leads to drastic destruction of soil physical properties, such as destroying the continuity of pores, increasing bulk density (ρ_b) and decreasing the aggregate stability and size-distribution, reduce water-retention capacity and decrease water infiltration rate into the soil (Six *et al.*, 2000; Franzluebbers, 2002). In the TMVB region, the TCM landuse program is defined as a rain-fed traditional maize-based intercropping system (*milpa*), which involves sequential (rotational) cropping

management practices composed of two fallow cycles: (i) alternating forage with maize production in short-term rotation (14 months) phase and ii) conversion from intensive cultivation to scrubland fallows (abandoning cultivated lands) for a long-term fallow rotation (at least 4 to 10 years or more) phase (Molumeli *et al.*, 2008). These scrubland fallows often included *Lupinus* sp. and *Senecio* sp. invasions and were intended to comply with ecological conservation policy to accumulate soil organic carbon (TOC), improve soil fertility and rehabilitate biological processes that promote the formation of structural pores and aggregates (Pulido and Bocco, 2003). Other studies have related these scrubland fallows to emigration patterns in México (Lopez *et al.*, 2006). The deterioration in physical, chemical and biological fertility of the cropped volcanic soils has often been associated with a decline in soil carbon content (Etchevers *et al.*, 2004).

Conversion from plough tillage to no-till practices increases crop residues cover on the soil surface, leading to increased TOC content, aggregate stability and water infiltration rate (Wright *et al.*, 1999). Decaying roots and earthworm channels are often stabilized by encrusting organic glues resistant to dissolution by water, and so not only enhance the formation of soil aggregates but also serves to ensure major continuous conducting macropores extending to the soil surface (Yunusa and Newton, 2003). One-hour equilibrium water infiltration rates on bare, tilled soil surface were the lowest in initially wetter soils than initially drier soils due to rapid aggregate breakdown or slaking and surface seal development, whereas percolation rates were decreased due to entrapped air-bubbles in major water conducting mesopores or macropores of initially drier soil than wetter soils (Wangemann *et al.*, 2000). Lado *et al.*, 2004) reported that percolation rates were higher in macroaggregates >2 mm diameter with high TOC soil than with low TOC soil because high organic matter content prevented clay dispersion and macroaggregate slaking at the beginning of soil wetting process.

The lupines invasion in degraded forests and abandoned cultivated lands has been well documented (Medina-Garcia *et al.*, 2000). Certainly, the wild lupines invasion in scrublands reflects a satisfactory suitability for introducing improved florally-determinate lupines genotypes in several temperate regions of the world (Robson *et al.*, 2002). However, proper understanding of the impact of lupines invasions on water transmission

properties in volcanic ash soils is needed to guide the formulation of future cropping management practices with suitable lupines genotypes that have relatively higher economic returns compared to the actual *milpa*.

Although the actual area for *Lupinus* invasion in the TMVB region of México is not known, the extensive *Lupinus* invasion and grass meadows during long-term fallow or abandonment period would increase the amount of crop residues on soil surface (Pulido and Bocco, 2003; Lopez *et al.*, 2006). Preliminary studies indicated that a greater number of the living fine roots per unit soil profile area was under forest plants and grass meadows than under *Lupinus* plants (data not shown), which is probably more important than a number of large roots for nutrient and water absorption (Box, 1996). However, the root counts could be declining from autumn through spring because of the most frequent root death for *Lupinus* than for trees and grasses (Tufekcioglu *et al.*, 1999). The advantages for the more frequent root death can be increased amount of root biomass or residues returned to the soil profile, thereby, increasing soil organic matter sequestration, and enhancing rapid nutrient cycling, decreasing bulk density (Sainju *et al.*, 1998). Besides the physical and chemical soil benefits, frequent *Lupinus* root death can promote microbial processes that are important for increasing the number of bio-macropore channels, through which the newly-formed roots of succeeding crops can grow even in the root-restrictive, indurated subsurface soil layers (Box, 1996), and also for maintaining continuity of soil capillaries and improving soil structural aggregate stabilization (Haynes and Beare, 1997). Indurated subsurface layers in volcanic ash-derived soils are called *tepetates*, as a local vernacular in the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) region of México (Etchevers *et al.*, 2004).

The premise was that, the more frequent roots death during autumn through spring for *Lupinus* invasion than for grass meadows and trees, and the ease of decomposition of the leaf-litter under oak forest than pine forest may enhance microbial processes, especially earthworm activity, which in turn, can improve the soil structural properties, nutrient cycling and organic carbon-protection inside large-macroaggregates, reconstruction of active-flow bio-macropore channels affecting water transmission characteristics. The objectives of this study were to, (i) quantify the interactive effects of

different cropping management practices, plant age and soil depth in three (TCM, CFM and VN; Table 3.1) landuse ecosystems on structural and water transmission properties; and (ii) relate the structural and infiltration properties to soil texture, electrical conductivity, and organic carbon content.

4.2 MATERIALS AND METHODS

4.2.1 Site, climate and soil description

The experimental site is located about 25 km at the end of a country road Texcoco-San Pablo Ixayoc on the northwestern shoulder slopes of Tlaloc volcano of the Sierra Nevada mountains in the eastern side of the Central Valley of Mexico, and in the State of México, México, in the Trans-Mexican Volcanic belt (TMVB) region (Fig. 3.1), and geographically lies between the 19° 27' 15'' N and 19° 25' 51'' N latitudes and between 98° 47' 10'' W and 98° 42' 43'' W longitudes (Fig. 3.2).

The climate of the study area is semi-cool temperate, with mean annual rainfall (MAR) ranged from 620 to 770 mm, that occurred only in the summer months with averages of 56, 121, 131, 198 and 99 mm for June, July, August and September, respectively, and involves daily fog and dew fall with substantial amount of morning humidity for the 2004, 2005 and 2006. The mean annual temperature (MAT) ranges from 12 – 18 °C with a mean minimum (T-min) of 4 °C in November and mean maximum (T-max) of 23 °C in July (Sanchez-Gonzales and Lopez-Mata, 2005) on the northwestern cold river (*Rio Frio*) mountain range that includes the Tlaloc volcano.

The predominant soil series was the yellowish-brown Tlaloc clay loam (Haplic Andosols, USDA; or Eutric Andosols, FAO-ISRIC-ISSS, 1998), and was associated with a dark organic variant at the upper slope ridges, which was extending to 40, 60, 90, and 115 cm depths from the Ap to the 2ABb-horizons of volcanic ash and tuff parent material. The underlying material was a deep, calcareous paleosolic illuvial fragipan with Fe-enriched Si-indurations (classified as Luvisols, according to the FAO-ISRIC-ISSS, 1998, and are locally called red tepetates in the TMVB region) in the 2Bs-horizons extending from 90, 115-120 cm depths to 120-150 cm depths in the 2Bt-2Crt-horizons, according to (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2007). The occurrence of 2:1 smectite (montmorillonite and beidellite) clays has been reported at 0-7 cm soil depth in A- and Ap- horizons, a mixed clay (1:1-kaolinite and 2:1-smectite) at 7-40 cm depth in Bw-horizons, and a mixed clay (2:1-smectite and 1:1-halloysite) at 40, 60, 90, and 115 cm depths in 2ABb-horizons.

Different amounts of anorthite, silica (as cristobalite) and iron-hydroxides (as ferrihydrite) are uniformly distributed, which indicates abundant source of Al, Si and Fe oxides (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2007). Although halloysite was always associated with allophane in all horizons, the silica-rich environments can favour halloysite than allophane, and the halloysite can be converted to kaolinite as the horizons become more weathered from the soil surface. The subsurface horizons have been classified as Luvisols with mixed clays of halloysite, metahalloysite and large amounts of 2:1-smectite (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2007). These morphological features were used to guide the choice of soil depths for this present study, and the general soil characteristics are shown in Table 4.2.

4.2.2 Management options

Seven cropping management practices at the experimental site were identified within an ecologically protected Federal Forestland Reserves Stewardship Council (FFRSC; *Gerencia Federal para la Proteccion de Reservas Forestales*), which were subdivided into two principal rural economic landuse activities, namely: (i) a Community Forest landuse Management ecosystem (CFM) in La Canoa, at altitudes of 2920-3300 m above sea level (asl) with pine forest (*Pinus* sp.) and (ii) a subsistence rain-fed Traditional Cultivated-agricultural Management (TCM) in La Era, at altitudes of 2750-2920 m asl with a natural black oak forest (*Quercus* sp.) (Fig. 3.2). The use of semi-detailed topographic maps and aerial photograph interpretation indicated that the cropping management history has not changed in the study area since 1994. In the CFM ecosystem, the lupines (*Lupinus leptophyllus* Schltld. and Cham.) invaded disturbed pine forest (BL) monoculture (Alderete-Chavez *et al.*, 2008), whereas the relicts of natural black oak forest (*Quercus* sp.) and *Abies religiosa*, occupying the buffer strips and ravines, which served as a reference soil, (VN). The TCM ecosystem consists of: (i) annual intensive cultivations (CA), which involves short-term fallow cycles “14 months or año y vez” of intercropped grain maize (*Zea maiz*) with faba beans (*Vicia faba*), and alternating with minimum-tilled winter cover forage crops with oats (*Avena sativa* L.) or canola (*Brassica napus* L.), (ii) long-term fallow cycles “4 to 10 years, even up to or over 25 years” involving: (1) planted grass meadows of tall oatsgrass, (PP); (2) Lupines-

(*Lupinus uncinatus* Schltl) invaded meadows of tall oatsgrass (PL); (3) Weedy lupines (*Lupinus uncinatus* Schltl) invaded fallows (SDL); (4) converting *Lupinus* invaded fallows (SDL) to intensive cultivations (CA) by tractor crater + disk-ploughing, was designated as freshly-tilled lupines invaded fallows (BRDL). A detailed summary of the selected experimental cropping management practices was shown in Table 3.1.

4.2.3 Plant materials and soil sampling

The sampling plot units were selected from the lupines invaded patches with the high plant population density within every cropping management practice. Three sampling plot units (A, B and C of 16 m x 20 m surface area) were delineated to serve as pseudo-replicates for each of the seven cropping management practices during the wet and seasons (September, 2006 and February 2007). Bulk and core soil (7.5 cm deep x 7.5 cm diameter) samples were obtained from undisturbed area immediately outside the infiltrometers at 2 rooting depths (0-20 cm and 20-40 cm) depths from two target plants of young and mature ages which were chosen at random within each sampling plot unit from the patches with a denser plant population. The young plants were identified at the vegetative growth stages (without flowers), while the mature plants were identified at flowering growth stages (when some of their large stems were also having a considerable number of dead bunches). Other two cores and two bulk soil samples were collected at 0-20 cm and 20-40 cm soil depths from two randomly selected positions in three sampling plot units for the CA practice where there was less tractor wheel traffic and VN practice where there was more residues accumulation, since they had no distinct target plants. Plant ages were considered as the main factors; thus, a total of 84 samples were taken for analysis.

4.2.4 Root counting and plant biomass

The trench walls (1.00 m length, 0.80 m width and 1.00 m depth) were dug at 3- to 5-cm distance from the root stump of the plants. The soil volume of 0.20 m x 0.20 m x 0.20 m was carefully excavated from one side of the taproot on each trench wall at 0-20 cm soil depth and placed it on a separate double-folded mosquito net and/or polyester mesh.

The roots exiting the exposed 3-D trench face walls (front, f_1 ; side, s_1 ; and bottom, b_1) for the 0-20 cm depth were counted with the aid of the magnifying glass within a 5 cm x 5 cm grid wire mesh surface area, and the number of root counts (N_r) obtained were expressed as $N_r \text{ cm}^{-2}$, as described by Lopez-Zamora *et al.* (2002) and Adegbidi *et al.* (2004). After removing the second soil volume of 0.20 m x 0.20 m x 0.20 m at 20-40 cm depth and placing it on another separate double-folded mosquito net and/or polyester mesh, the root-counting procedure was followed again to obtain $N_r \text{ cm}^{-2}$ for the second exposed 3-D trench face walls (front, f_2 ; side, s_2 ; and bottom, b_2). Total root length (LR, in cm) at each soil depth was estimated as the sum of all N_r per surface area of each grid-mesh for all three trench face walls (face, f ; side, s ; bottom, b):

$$LR = 2 \{ [N_{r1}/\text{cm}^2]f + [N_{r2}/\text{cm}^2]s + [N_{r3}/\text{cm}^2]b \},$$

where the subscript 1 is for the 0-20 cm depth and 2 is for the 20-40 cm depth. The volumetric total root length density (DLR, $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$) is obtained by dividing the LR by the related soil depth (Lopez-Zamora *et al.*, 2002; Lopez-Zamora *et al.*, 2004).

The soil volumes were immediately washed in a pail with the Tlaloc canal water to extract the living roots and to remove impurities (dead roots, organic matter, soil particles). After washing, the living roots were dried by placing them over the blotting paper towels and then immediately transferred into small paper bags for transporting to the laboratory. Plant shoot was also cut by scissors at the ground level and immediately placed in small paper bags for transporting to the laboratory. Plant shoot (stem and leaves) and root samples were weighed at fresh and oven-dried (OD, at 80°C for 72 hours) to obtain the total dry weight of the fresh and OD weights for the shoot and root biomass (BMR).

4.2.5 Bulk density (ρ_b) and antecedent field water content (AFWC)

The bulk density (ρ_b) was measured at 0-20 cm and 20-40 cm soil depth using the soil core method (Blake and Hartge, 1986). Antecedent field water content (AFWC) was

determined only at 0-20 cm depth for each of the young and mature plants, using a gravimetric method, as described by Gardner (1986).

4.2.6 Structural aggregation, particle size distribution and chemical analysis

The aggregate size distribution (ASDd) was determined by dry-sieving method (Kemper and Rosenau, 1986; Sainju, 2006). The 550g of air-dried bulk soil samples was placed on a stack of seven sieves (>11.5, 4.76, 3.36, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25, and <0.25 mm in a soil collector) and were dry-sieved at 200 oscillations min^{-1} for 15 minutes with a Tyler rotary-tap sieve shaker (Combustion Engineering, Inc., Mentor, OH.) and the soil retained on each sieve was weighed. The mean weighted soil aggregates diameter (MWD) was calculated by the method of (Kemper and Rosenau, 1986). The remaining bulk soil was directly sieved through a 2-mm sieve to be used for determining: (i) particle size distribution by the hydrometer method (Gee and Bauder, 1986). The soil pH was determined from a 1:2.5 soil:water solution, while electrical conductivity (EC) was measured from a 1:5 soil:water solution, according to Thomas (1996). The potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) oxidizable total organic carbon content (TOC) was determined by a method of Walkley and Black (1934). The potassium permanganate (KMnO_4) oxidizable labile organic carbon (LC) was also determined using the method of Weil *et al.* (2003). The carbon management index (CMI) was calculated for all cropping management practices according to the method of Blair *et al.* (1995).

4.2.7 Soil-water retention

The characteristics soil-water retention capacities (SWRC) for the 0-20 cm and 20-40 cm soil layers were measured using the ceramic pressure plate apparatus (Soil Moisture Equipment Co., Santa Barbara, California, USA) according to Klute (1986). The 1-cm thick plastic rings were placed on the previously wetted ceramic plates, and were filled with a dry-sieved <2-mm soil samples. The soil sample rings were allowed to saturate with distilled water overnight through capillary flow into the ceramic plates. The SWRC were determined by equilibrating three sets of the soil sample rings for one-week at the soil-air matrix suction pressures of 6, 33 and 1500 kPa.

The equivalent depth of soil-water retention (D_{wr} , in cm) for each matrix suction pressure level (6, 33 and 1500 kPa) at each soil depth was adjusted from the bulk density.

4.2.8 Water transmission properties

The water infiltration rate was measured in February, 2006 using Tlaloc canal water at each of the sampling locations with two sets of double-ring infiltrometers of 15 cm height, 27.2 cm inner and 32.2 cm outer diameter using a method described by Bouwer (1986). The double-ring infiltrometers were centered over the rooting zone for young plants located in between other larger plant canopy and for mature plants after cutting the bunch shoots to the ground level using a pair of large scissors for the BL, SDL, BRDL, PP, and PL practices. The double ring infiltrometers were pushed at least 3-4 cm depth into the ground to establish a good soil contact by placing a flat metal plate or a thick wooded board on top of the rings and pounding with a solid tyre hammer. A transparent plastic sheet was placed in the inner ring, to minimize soil disturbance when ponding the rings, and then the plastic was gently pulled out at time zero. The ponded falling water level measurements were obtained using a measuring ruler inside the inner ring after every 1 or 2 minutes intervals for the initial 30 minutes of the infiltration tests. Swartzendruber and Hogarth (1991) stated that the pressure head of ponded water on the soil surface can increase the water infiltration into soil. Therefore, the water level was allowed to drop from 12 to 7 cm height inside the inner ring, and then gently refilled manually to the initial level using a bucket. The water level inside the outer ring was maintained at least 1 cm below the water level inside the inner ring.

Two sets of infiltration tests for the young and mature plants were conducted for approximately 1- to 2-hours to sufficiently achieve a steady-state infiltration depending on the soil dryness in every experimental unit for all the management practices. The infiltration rate was determined by calculating the change in the falling water level ($\bar{d}w$, cm) over cumulative time (t , hours) and were adjusted to a close fit as described by the Kostiakov log-transformation model. The observations made (i) 5-minutes after the

commencement of the infiltration test were recorded as 5-minutes water infiltration rate ($i_{-5 \text{ min}}$, cm hr^{-1}) and cumulative water infiltration ($Z_{c-5 \text{ min}}$, cm); and those made (ii) 2-hours after equilibrium steady-state water flow through the soil was recorded as 2-hours infiltration rate ($i_{-2\text{hr}}$, cm hr^{-1}) and cumulative water infiltration ($Z_{c-2\text{hr}}$, cm) for each cropping management practice.

The saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) tests were measured on another set of core samples using the constant head method with tap water (Klute and Dirksen, 1986).

4.2.9. Statistical analysis

The data were analyzed by the SAS statistical package for the analysis of variance (ANOVA). The F -test ($P < 0.05$) was applied to determine the significance of main effects (Statistical Analysis System for Windows Version 8.1-(8e)) (SAS Institute, 2002). A split block design was suitable as it considered the interactive treatment effects between the soil depth and plant age among different cropping management practices, and therefore, had an additional error terms. The variables that were significant had means of treatment effects separated using the Tukey's (LSD) test at $P < 0.05$ according to plant ages and soil depth. Data were also subjected to simple linear regression analyses.

4.3. RESULTS

4.3.1. Soil organic carbon relations

4.3.1.1 $K_2Cr_2O_7$ -oxidizable total organic carbon (TOC) and Non-labile, less-oxidizable organic carbon (NLC)

The effects of MGT, Dz and the interaction of MGT x Dz on total organic carbon (TOC) and non-oxidizable organic carbon (NLC) were significant (C.V. = 24.38% and 25.27%; $P < 0.0001$, 0.0001 and 0.0001 , respectively), but not by the Age (Table 3.2.A). The mean TOC and NLC contents decreased with increasing soil depth (Table 3.7.A), and showed similar trend at both soil depths among the cropping management practices (Table 3.2). The TOC and NLC levels at both depths were significantly the highest for the VN soil and the lowest for the CA soil (Table 3.2).

4.3.1.2 $KMnO_4$ -oxidizable labile organic carbon (LC)

Diluted potassium permanganate oxidation ($KMnO_4$) procedure described by Weil *et al.*, (2003) was used for the characterization of labile organic carbon (LC) content resulting from different management practices. The LC differed significantly ($P < 0.0001$, < 0.0001 , 0.0134 and 0.0017) among the MGT for both plant ages and interactions between the MGT x Age and MGT x Dz, but was independent of the soil depth and of the Age x Dz interactions (C.V = 15.02%; Table 3.1.A). The mean LC ranged between 1.383 and 2.577 Mg ha⁻¹ among cropping management practices, and was significantly higher ($P < 0.05$) for young plants than for mature plants (Table 3.7.A). The mean LC content was the highest at both depths for the VN soil, while it was the lowest for the BL soil at both depths and also for the BRDL soil at 20-40 cm depth (Table 3.2).

4.3.1.3 Lability of organic carbon reserve pool-size (LCI = LC/NLC)

Lability of organic carbon represents the potential labile carbon release rate from the humified, less-hydrolysable, less-oxidizable organic carbon reserve pool size, and can thus predict the labile carbon release rate from the organic carbon reserves.

The LCI was influenced significantly ($P = 0.0003, 0.0002, <0.0001, 0.0150$ and 0.0060) by the cropping management practices (MGT), plant (Age), soil depth (Dz), and the interactions of MGT x Dz and Age x Dz, respectively (Table 4.2.A). The strong interaction of Age x Dz could indicate that differences in LCI was mostly a function of spatial distribution of roots because (labile C storage) along soil depth levels is affected by the duration of plant growth. The higher LCI was associated with young plants than with mature plants, and ranged from 0.0276 (w/w) for the BL soil to 0.060 (w/w) for the CA soil among the cropping management practices, also was higher at 20-40 cm depth than at 0-20 cm depth ($P < 0.05$; Table 4.5.A). The higher mean LCI at 0-20 cm depth was found in the CA and BRDL soils that had been under tillage compared with those under permanent fallow with lower soil disturbance, and was the lowest for the BL soil ($P < 0.05$; Table 4.2). The higher LCI values indicated greater losses of the readily oxidizable C reserves, and decreased in the order: CA = BRDL > PP = PL =SDL = VN > BL at 0-20 cm depth ($p < 0.05$; Table 4.2).

These results supported the previous studies of Janzen (1987), who indicated that the more oxidizable organic C reserve may be associated with the decaying of light fraction, and largely comprised of easily-mineralizable organic matter under actively growing young plant roots, fungal and actinomycetes hyphae, and their polysaccharide exudates (Tisdall and Oades, 1982).

4.3.1.4 Lability index (LI = LCI-sample/LCI-reference)

The LI represents the relative proportion of labile carbon reserves capacity for the soil sample in relation to that for the reference soil.

The analysis of variance showed that the LI was not significantly ($P > 0.05$) affected by any of the treatment factors examined in the present study (Table 4.2.A). Among different cropping management practices, the LI ranged from 0.862 (w/w) for the BL soil to 1.824 (w/w) for the VN soil (Table 4.5.A). The young plants, in general, had contributed the lower proportion of labile carbon (LI = 1.219 w/w) than the mature plants (LI = 1.556 w/w) in relation to the reference soil (Table 4.5.A). The higher proportion of LI (2.293 w/w) was estimated at 20-40 cm depth than (LI = 1.482 (w/w) at 0-20 cm depth (Table 4.5.A). The LI was independent of the cropping management effects at both soil depths, but the BRDL and CA soils appeared to have exceptionally higher LI values at 0-20 cm than at 20-40 cm depth ($P > 0.05$; Table 4.2).

4.3.1.5 Total oxidizable carbon reserve pool size index (CPI = TOC-sample/TOC-reference)

This represents that amount of total organic carbon reserve capacity for a certain soil management system as related to that for the soil environment from the natural oak forest ecosystem (reference soil).

The analysis of variance showed that only the cropping management practices (MGT) and soil depth (Dz) had significant ($P = 0.0252$ and < 0.0001 , respectively) influences on CPI (Table 4.2.A). The soil depth impacted CPI significantly, which was lower at 0-20 cm than at 20-40 cm depth, and ranged from 1.110 (w/w) for the CA soil to 2.626 (w/w) for the BL soil ($P < 0.05$; Table 4.5.A). The mean CPI was significantly different at 0-20 cm depth only, and was the highest for the BL soil and was the lowest for the CA soil ($P < 0.05$; Table 4.2).

4.3.1.6 Carbon management index (CMI = LI * CPI * 100)

The sustainable cropping management systems will be those that maintain a higher overall proportion (percentage) of organic carbon reserves nearer to that for the reference soil. The CMI represents a measure of the widespread decline in organic carbon reserves, in which of particular concern, is the decline in the more labile C

fraction, which may be associated with nutrient dynamics, and have a role in the stabilization of structural aggregates.

The analysis of variance showed that both cropping management practices (MGT) and soil depth (Dz) had significant influence on the CMI with $P < 0.0001$ and 0.0036 , respectively (Table 4.2.A). Among the cropping management practices, the CMI ranged from 58.628% for the BL soil to 100.00% for the VN soil, and in general, was higher at 20-40 cm depth than at 0-20 cm depth ($P < 0.05$; Table 4.5.A). The average CMI was the higher in the order: VN > BRDL > SDL = PP > PL = CA > BL at 0-20 cm depth; and PP > VN = SDL = PL = CA > BRDL = BL at 20-40 cm depth ($p < 0.05$; Table 4.2).

4.3.2. Dry-sieved soil aggregate stability (MWDd)

Dry-sieving and wet-sieving methods can be used to determine aggregate stability, which is measured by the mean weight diameter (MWD) concept. However, Sainju (2006) postulated the indices of aggregate stability obtained from dry-sieving (MWDd), rather than from wet-sieving (MWDw), of a moist soil was a reliable method to explain direct effects of different landuse ecosystems and cropping management practices. The cropping management practices with a more structurally stable soil aggregates were characterized by the larger MWDd values (Table 4.1), for estimating the soil aggregate-size stability (Kemper and Rosenau, 1986).

The analysis of variance showed that the cropping management practices (MGT), soil depth (Dz) and the interaction of MGT x Dz were highly significant effects ($P < 0.0001$, < 0.0001 , < 0.0001 , respectively) on MWDd indices of aggregate size, but the plant age and the interactions of MGT x Age and of Age x Dz were not (Table 4.3.A). In general, the MWDd varied from 0.899 mm for the BL soil to 2.560 mm for the BRDL soil among the MGT, and was higher at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth (Table 4.6.A), presumably due to differences in total organic carbon content along soil depth levels (Table 3.2). The MWDd indices at 0-20 cm depth were statistically similar for the soils at La Era ecosystem, the mean MWDd varied from 2.764 mm for the VN soil to 2.140 mm for the CA soil ($P < 0.05$; Table 4.1). No significant differences in MWDd indices at 0-20

cm depth could be ascribed to similar total clay contents at 0-20 cm depth ($P < 0.05$; Table 3.2). However, the observed differences in MWDd indices between the La Era and La Canoa ecosystems were likely related to the significant differences in total clay content ($P < 0.05$; Table 3.2). The average MWDd index at 20-40 cm depth was the highest (2.563 mm) for the BRDL soil and was lowest for the PP and BL soils (0.844 and 0.591 mm, respectively; $P < 0.05$; Table 4.1).

4.3.3 Electrical conductivity (EC)

The electrical conductivity (EC) was significantly ($P < 0.0001$, 0.0053, < 0.0001 and < 0.0001) influenced by the cropping management practices (MGT), plant (Age), soil depth (Dz) and the interaction of MGT x Dz, respectively (Table 4.3.A). The mean EC ranged from 0.263 dS m⁻¹ for the BRDL soil to 1.053 dS m⁻¹ for the VN soil among the cropping management practices MGT, and was higher for young than plants, while it was also higher at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth ($P < 0.05$; Table 4.6.A). The average soil EC at 0-20 cm depth was significantly the highest for the VN soil and was the lowest for the PL, SDL, BRDL, CA and BL soils ($P < 0.05$; Table 4.1). The average soil EC at 20-40 cm depth was the highest for the PP soil, and was the lowest for the BRDL soil ($P < 0.05$; Table 4.1). The higher EC values for the VN soils than for the BL soils could be a result of increased TOC mineralization rate and rapid recycling of exchangeable K, Mg and Ca (Officer et al., 2004).

4.3.4 Soil water content

4.3.4.1 Soil water retention capacity at near-saturation (SWRC -6 kPa)

The soil water content at -6 kPa (SWRC -6 kPa) was influenced significantly by the cropping management practices (MGT) only; not by either plant age or soil depth (Table 4.4.A). In general, the SWRC -6 kPa ranged from 0.302 to 0.576 g g⁻¹ among the cropping management practices, and was consistently the highest for the BL soil at both depths, but the lowest for the BRDL and CA soils at 20-40 cm depth (Table 4.8.A). There were no significant differences in SWRC -6 kPa at 0-20 cm depth for the soils at

La Era, probably because of their similar total clay contents in the surface soil layer, but significant differences existed in SWRC -6 kPa at 0-20 cm depth between La Era and la Canoa landuse ecosystems, reflecting the influence of differences in topographic position (Table 4.4).

4.3.4.2 Soil water retention capacity at field capacity (SWRC -33 kPa)

The cropping management practices (MGT) and soil depth (Dz) had significant affects ($P < 0.0001$ and 0.0178 , respectively) on SWRC -33 kPa (Table 4.4.A). The SWRC -33 kPa was higher at 0-20 cm than at 20-40 cm depth (Table 4.8.A.), and was the highest for the BL soil at both depths and the lowest for the CA soil at both depths (Table 4.4). Among La Era landuse ecosystem, the SWRC -33 kPa at 0-20 cm depth was in the order: PP > PL = VN = SDL > BRDL > CA.

4.3.4.3 Soil water retention capacity at permanent wilting point (SWRC -1500 kPa)

The SWRC -1500 kPa was influenced significantly ($P = 0.0010$, 0.0011 and < 0.0001) by cropping management practices (MGT), soil depth (Dz) and the interaction of MGT x Dz, respectively, but not by plant (Age), the interaction of MGT x Age and Age x Dz ($P = 0.2115$, 0.7145 and 0.2337 g g⁻¹, respectively; Table 4.4.A). The higher SWRC -1500 kPa at 0-20 cm depth was the highest for the PP, PL and VN soils (0.285, 0.258, 2.53 g g⁻¹, respectively) than for the CA soil (0.146 g g⁻¹) could be a result of higher TOC rather than a large total clay content for the latter (Table 4.4). However, SWRC -1500 kPa at 20-40 cm depth was not significantly different among the MGT, and varied from 0.165 to 0.223 g g⁻¹ (Table 4.4), most likely indicating the influence of the dominant amorphous subsoil clay mineralogy (Rodríguez-Tapia, 2005), that includes allophonic material with hollow structural particles and capable of >18 g g⁻¹ water retention at 1500 kPa (Poudel and West, 1999).

4.3.4.4 Depth of water retention at near-saturation (Dwr -6 kPa)

The Dwr -6 kPa was significantly ($P = <0.0001$, 0.0123 and 0.0017) influenced by cropping management practices (MGT), soil depth (Dz) and the interaction of MGT x Dz, respectively, but not by plant (Age), the interaction of MGT x Age and Age x Dz ($P = 0.0594$, 0.2559 and 0.3162, respectively (Table 4.4.A). In general, the mean Dwr -6 kPa ranged from 6.515 cm H₂O for the CA soil to 9.001 cm H₂O for the BL soil among the MGT systems, but was higher for the 20-40 cm depth than for the 0-20 cm depth (Table 4.8.A). The mean Dwr -6 kPa at 0-20 cm depth was significantly similar for all the MGT systems, whereas Dwr -6 kPa at 20-40 cm depth was higher for the PL and BL soils and was the lowest for the CA soil (Table 4.4).

4.3.4.5 Depth of water retention at field capacity (Dwr -33 kPa)

The cropping management practices (MGT) and the interaction of MGT x Dz had significant effects ($P = <0.0001$ and 0.0083, respectively) on Dwr -33 kPa, but was not influenced ($P = 0.7499$, 0.2318, 0.6697 and 0.7827) by the plant (Age), soil depth (Dz), and the interactions of MGT x Age and Age x Dz, respectively (Table 4.4.A). The Dwr -33 kPa varied from 5.317 cm for the BL soil to between 6.397 and 6.809 for the SDL, VN, PP and PL soils among the MGT systems (Table 4.8.A). The mean Dwr -33 kPa at 0-20 cm depth was the highest for the PL, PP and VN soils, and the lowest for the BL soil; whereas the Dwr -33 kPa at 20-40 cm depth was the highest for the PL, SDL and BRDL soils, but the lowest for the CA soil (Table 4.4).

4.3.4.6 Depth of water retention at permanent wilting point (Dwr -1500 kPa)

All the treatment factors, cropping management practices (MGT), plant (Age), soil depth (Dz), and the interactions of MGT x Age, MGT x DZ and Age x DZ had significant effects ($P < 0.0001$, 0.0044, <0.0001 , <0.0001 , <0.0001 , and 0.0035, respectively) on the Dwr -1500 kPa (Table 4.4.A). The Dwr -1500 kPa was, in general, greater for mature than for young plants, while it was higher at 0-20 cm than at 20-40 cm depth; and it was ranging from 3.340 cm H₂O for the BL soil to between 4.889 and 4.958 cm H₂O for the BRDL

and VN soils among the MGT systems (Table 4.8.A). The mean Dwr -1500 kPa at 0-20 cm depth was the highest for the PP soil and the lowest for the SDL and BL soils, whereas the Dwr -1500 kPa at 20-40 cm depth was the highest for the SDL soil but was the lowest for the PP, CA and BL soils (Table 4.4).

4.3.4.7 Plant available soil water content (θ_{pawc})

All the treatment factors, cropping management practices (MGT), plant (Age), soil depth (Dz), the interactions of MGT x Age, MGT x DZ and Age x DZ had significant effects ($P < 0.0001, 0.0127, 0.0128, 0.0001, 0.0001, \text{ and } 0.0001$, respectively) on the θ_{pawc} (Table 4.4.A). In general, the amount of θ_{pawc} ranged between 0.071 and 0.123 g g^{-1} among the MGT, and was higher for young plants than for mature plants and was also higher at 0-20 cm than at 20-40 cm depth (Table 4.8.A). The mean θ_{pawc} was consistently higher for the BL soil at both depths, but was higher for the SDL and CA soils than for the PL, BRDL, PP and VN soils only at 0-20 cm depth (Table 4.4). The mean θ_{pawc} at 20-40 cm depth was the highest for the PL and BL soils but the lowest for the SDL, BRDL, CA and VN soils (Table 4.4).

4.3.4.8 Depth of plant available soil water retention (Dpawc)

Similar to θ_{pawc} , the analysis of variance showed that effects of treatment factors (MGT, Age and Dz) and the interactions of MGT x Age, MGT x Dz, Age x Dz were significant ($P = 0.0015, 0.0419, 0.0413, 0.0138, <0.0001 \text{ and } 0.0064$, respectively; Table 4.4.A). In general, the mean Dpawc was higher for young plants than for mature plants, while was also higher at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth, varying from 1.419 to $2.412 \text{ cm H}_2\text{O}$ among the cropping management practices (Table 4.8.A). The mean Dpawc at 0-20 cm depth was significantly similar for the SDL and CA soils, but was much higher than for the PL, BRDL, PP, VN and BL soils (Table 4.4).

4.3.4.9 Antecedent soil water conditions (AFWC)

The antecedent field water content (AFWC) of the soil before the infiltration testing was not significantly different ($P > 0.05$) along the soil depth gradient (Dz), neither was significant under the plant ages (Age) nor among the cropping management practices (MGT; Table 4.1.A). Among different cropping management practices, the AFWC ranged from 0.183 for the BRDL soils 0.253 for the PP soil at 0-20 cm depth, and from 0.191 g g⁻¹ for the BL soil to 0.265 g g⁻¹ at 20-40 cm depth for the SDL soil (Table 4.3). No significant differences in AFWC could indicate that the variations in water infiltration into the soils studied might be influenced by texture and/or morphological properties, rather than by antecedent field water content.

4.3.5 Water transmission properties

4.3.5.1 Water infiltration

5-minutes water infiltration rate ($i_{-5 \text{ min}}$)

The analysis of variance showed that the cropping management practices (MGT), and plant (Age) had significant ($P < 0.0001$ and < 0.0001 , respectively) influence on $i_{-5 \text{ min}}$ (Table 4.1.A). The average $i_{-5 \text{ min}}$ values varied between 27.47 cm hr⁻¹ for the BL soil to 335 cm hr⁻¹ for the VN soil among the cropping management practices, and the higher $i_{-5 \text{ min}}$ values were largely influence by mature plants (151.19 cm hr⁻¹) than by young plants (78.49 cm hr⁻¹ and 14.46 cm hr⁻¹, respectively; Table 4.5.A).

For the young plants, the mean $i_{-5 \text{ min}}$ values were significantly the lowest for the BL, CA and PP soils (22.49, 28.78, 30.87 cm hr⁻¹, respectively). For mature plants, the mean $i_{-5 \text{ min}}$ values were similar for all the cropping management practices, except for the VN soil in which mean $i_{-5 \text{ min}}$ values were consistently the highest for both young and mature plants (251.21 and 419.30 cm hr⁻¹, respectively; $P < 0.05$; Table 4.3).

In spite of significantly higher bulk density (ρ_b) values at both soil depths for the CA soil than for the BL soil, the mean $i_{-5 \text{ min}}$ values were similarly the lowest for these soils ($\approx < 0.48 \text{ cm min}^{-1}$; $P < 0.05$; Table 4.1 and 4.3). This suggested that the variation in ρ_b value among the volcanic ash soils in the present study is not the only factor controlling the early state of water infiltration rates for dryer antecedent soil water conditions.

2-hours water infiltration rate ($i_{-2 \text{ hrs}}$)

Similar to the $i_{-5 \text{ min}}$, the $i_{-2 \text{ hrs}}$ was significantly ($P < 0.0001$ and < 0.0001) influenced by cropping management practices (MGT), and plant age (Age), respectively, except by the interaction of MGT x Age ($p = 0.5821$; Table 4.1.A). Among the cropping management practices, the $i_{-2 \text{ hrs}}$ ranged from 2.938 cm hr^{-1} for the CA soil to $79.493 \text{ cm hr}^{-1}$ for the VN soil, while the higher $i_{-2 \text{ hrs}}$ values were largely associated with mature plants than young plants ($P < 0.05$; Table 4.5.A). While the mean $i_{-2 \text{ hrs}}$ values were the highest for the VN soil for both plant ages, they were the lowest for the PL and BL soils for young plants and were also the lowest for the CA soil for mature plants (Table 4.3). The latter implied that increased residue mulching and greater spatial root distribution with mature plants, rather than young plants, might have led to accelerated macropore water flow caused by enhanced earthworm activity, increased porosity, and consequently resulting in higher $i_{-2 \text{ hrs}}$ values ($P < 0.05$).

5-minutes cumulative infiltration ($Z_{c-5 \text{ min}}$)

The $Z_{c-5 \text{ min}}$ was influence by cropping management practices (MGT) and plant age (Age) significantly ($P < 0.0001$ and 0.0031 , respectively), but not by the interaction of MGT x Age ($P = 0.1459$; Table 4.1.A). The $Z_{c-5 \text{ min}}$ values among the cropping management practices ranged from $18.292 \text{ cm H}_2\text{O}$ for the BL soil to $51.285 \text{ cm H}_2\text{O}$ for the VN soil, and were higher for mature plants than for young plants ($P < 0.05$; Table 4.5.A). The mean $Z_{c-5 \text{ min}}$ values for both plant ages were similar for all cropping management practices, except for the VN soil which had consistently the highest $Z_{c-5 \text{ min}}$ values at both depths ($P < 0.05$; Table 4.3).

2-hours cumulative infiltration ($Z_{C-2 \text{ hrs}}$)

The effects of cropping management practices (MGT) and plant (Age) on $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ were highly significant ($P < 0.0001$ and < 0.0001), but the interaction of MGT x Age was not ($p = 0.1262$; Table 4.1). The $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values among the cropping management practices ranged between 40.38 cm H₂O for the BL soil to 237.09 cm H₂O for the BRDL soil, and were higher for mature plants than for young plants ($P < 0.05$; Table 4.5.A). The mean $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values for young plants were the lowest for the PP, CA and BL soils, while were the highest for both plant ages for the VN soil, but were similar for all other cropping management practices for mature plants only ($P < 0.05$; Table 4.3).

4.3.5.2 Saturated hydraulic conductivity (K_{sat})

The influence of cropping management practices (MGT), soil depth (Dz) and the interaction of MGT x Dz on K_{sat} were significant ($P < 0.0001$, 0.0472 and < 0.0001 , respectively; Table 4.3.A). In general, the K_{sat} varied from 2.324 cm hr⁻¹ for the CA soil to 11.006 cm hr⁻¹ for the BL soil, and was higher at 0-20 cm than at 20-40 cm depth ($P < 0.05$; Table 4.1.A)., the average K_{sat} values were the highest for the VN soil (14 cm hr⁻¹), followed by the BL soil (10 cm hr⁻¹) at 0-20 cm depth, whereas they were consistently the lowest at both depths for the CA soil (< 2.359 cm hr⁻¹; ($P < 0.05$; Table 4.1).). The highest average K_{sat} values at 20-40 cm depth for the BL soil than for the VN soil could be a result of significant differences in bulk density, which implied greater total volume of pore space ($P < 0.05$; Table 4.1). The higher K_{sat} values at 0-20 cm depth for the VN soil compared with other cropping management practices were consistent with other water transmission properties measured from the infiltration test.

4.4. DISCUSSION

4.4.1. Field Observations

During the field tests and soil sampling, large numbers of earthworms could be seen especially in autumn under VN, BRDL, SDL, PL soils more than under PP soils because the worms pull the softer dead leaves into the pores leaving petioles lying on the surface, but were not seen under BL soils (personal observation). The measured lower pH for the BL soils than for the VN soils may be responsible for the absence of earthworms activity, since the earthworm casts were conspicuous in the VN soils but not in the BL soils during the field tests. No earthworm casts were found in the litter or in any part of the BL soils under the pine forest canopy, and very occasionally encountered earthworms in the CA soils, but were found everywhere in other soils, while there were essentially all earthworm casts in the surface soil layers under oak forest, as it was observed by Graham *et al.* (1995). The earthworm activity can stimulate fungi and actinomycetes proliferation, which subsequently promote aggregate stabilization by producing organic cementing extracellular polysaccharides (Shipitalo and Protz, 1989).

4.4.2 Relation between soil pH, total organic carbon, total clay content

The lowest soil pH at 0-20 cm than at 20-40 cm depth for the BL soils suggested that the weathering environments was mostly dominated by the influence of organic acid than carbonic acid in the oxide-rich pine forest soils with a medium-TOC levels. By contrast, the SDL soils had a significant peak in soil pH with the corresponding increase in total clay content at 0-20 cm than at 20-40 cm depth (Table 4.2). This could indicate a similar buffering situation, which was also reported by Ugolini and Dahlgren (2002) at Mt. St. Helens under lupines patches than in the nearby barren areas. The *Lupinus* have a relatively high demand for P and K nutrients uptake (Robson *et al.*, 2002). These suggestions could be a possible explanation for the higher soil pH at 0-20 cm than at 20-40 cm depth in SDL soils than in other remaining practices, there could be active uptake and redistribution of the base-forming cations bounded to phosphorus compounds from their deep rooting zone to the lupine foliage. A rise in soil pH could also lead to

increased amounts of variable electronegative charge (cation exchange capacity) for some 1:1-type clays, humus and amorphous clay constituents (allophane, imogolite and some Fe/Al oxides) (Brady and Weil, 1999).

Secondly, lupines roots are well known to secrete large amounts of exudates (Johnson *et al.*, 1996b) and to stimulate elevated microbial activity than wheat (Haynes and Beare, 1994). According to Ugolini and Dahlgren (2002), the higher pH values in volcanic soils were related to a dominant carbonic acid dissociation ($\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$) environment under the rooting zone beneath the *Lupinus* canopy than under the barren areas, and was caused by the elevated biological (roots and microbial) CO_2 respiration, that led to optimum conditions for enhancing soil pH levels >5.6 and favoring in situ formation of allophane/imogolite. The formation of allophane/imogolite compounds were shown to be prominent in environments dominated by the soil pH varying from 5 to 7 and low-TOC content (Ugolini and Dahlgren, 1991; Nizeyimana *et al.*, 1997). While the results in Table 4.2 showed that the maximum total clay content at 0-20 cm depth was similar for the VN and SDL soils, and yet, the observed neutral soil pH level for the VN soil was probably necessary to compensate for the higher-TOC content, which led to greater MWDd values at 0-20 cm depth for the VN soil than for the SDL soil. By contrast, the lower pH level for the BL soils than for the VN soils agreed with the lower total clay content at both depths for the BL soils than for the VN soils (Table 4.2). This suggested that a weathering environment in the BL soils might be dominated by the humic organic acid than carbonic acid concentration, which probably inhibited the clay formation by preferential formation of humus-Al/Fe complexes (Ugolini and Dahlgren, 2002). However, negative relationship between the MWDd and TOC was observed at 20-40 cm depth, despite the greater rise in soil pH at 20-40 cm depth than at 0-20 cm depth for the soils studied.

Increasing soil pH led to increased allophanic clay materials with increasing soil depth (Nizeyimana, 1997; Campos-Cascaredo *et al.*, 2001; Huygens *et al.*, 2005). Therefore, is it not surprising that total clay content followed a similar pattern in the present study (Table 4.2). When isolating the pine forest ecosystem, positive relationships between

total clay content and soil pH ($r^2 > 0.59$ and 0.62 at 0-20 and 20-40 cm depth) supported these results.

4.4.3. Soil aggregate stability

4.4.3.1. Relations with soil pH, soil texture and total organic carbon

The MWDD indices obtained by dry-sieving method for each cropping management practice and soil depth are presented in Table 4.2. The higher MWDD indices of a dry-sieved soil aggregates indicate that the aggregate stability of a tested soil is higher (Le Bissonnais, 1996), and a reduction in the total organic carbon content decreases aggregate stability (Le Bissonnais and Arrouays, 1997). Comparison between the pine (BL) and oak (VN) forest ecosystems indicated that, the MWD indices were higher for the latter with a higher-TOC input level than for the former with a medium-TOC input level, implying that the differences in an increase in aggregate stability between these ecosystems can be related to the ease of microbial decomposition of added organic material (Lynch and Bragg, 1995). As mentioned earlier, the lowering of soil pH led to lower total clay formation for the BL soil than for the VN soil. This results indicated that clay formation could be inhibited by the increasing organic acid concentration (Ugolini and Dahgren, 2002), which in turn, enhances acidification as organic matter accumulates under the pine forest, rather than under oak forest ecosystem. Subsequently, the differences in the contribution of clay content on aggregate stability could not be easily compared. Therefore, the impacts of the pine forest landuse ecosystem, in the present study, on soil structural and water transmission characteristics were treated separately.

The soil pedon under natural oak forest landuse ecosystem (*Quercus* sp. and *Abies religiosa*) at <2700 m asl, has recently been described by Rodriguez-Tapia (2005, Ph.D. thesis). The author reported that a dominant clay mineralogical composition was fine oriented, mixed plagioclase, cristobalite and 2:1-type integrated clays in the A-(0-22 cm) horizon, parting to fine and coarse oriented, mixed crystalline, 2:1-expandible integrated clay forms in the B1 (22-58 cm) horizon, and coarse clay, mixed, a little appreciable

crystalline, predominant amorphous clay forms in the B1-B2 (22-76 cm) horizons, and abundant fine and coarse oriented, mixed crystalline silicates, expandable 2:1-forms, montmorillonite clays in the B2 and B3 (58-94 cm) horizons. In the present study, the dark yellowish brown Ap-horizons, showed a clay loam texture in the soil at 0-20 cm depth and also at 20-40 cm depth. No change in textural class could demonstrate that the effect of long-term soil disturbance by intensive cultivation and extensive mole perturbations have partially or thoroughly mixed the B1 horizon into the plough layer (personal observation). Earthworm activity in the 0-20 cm depth was best developed by organic-matter (moderate to strong, medium, sub-angular-blocky) for all the soils under oak forest ecosystem compared to those at 0-20 cm depth (weak, fine, granular ones) for the pine forest ecosystems. The aggregate stability of the 20-40 cm depth may be largely due to inorganic binding mechanisms. The aggregate size produced by oak leaf were twice more stable than that those under pine forest.

Allophane content increased with increasing soil pH, while in turn, both were found to increase with soil depth (Campos-Cascaredo *et al.*, 2001), it is not surprising that the relationship between total clay content and soil pH followed the similar patterns in the present study. Previous studies by Rodriguez-Tapia (2005) showed that the natural forest soil pedon was dominated by integrated 2:1-type clays in the A- (0-22 cm depth) horizons, whereas in the B1- to B2- (22-58 cm depth) were dominated by amorphous materials. In the present study, we observed that: (i) the MWDd indices were negatively correlated with total clay content at 0-20 cm depth with dominant integrated 2:1-type clays; whereas, (ii) the MWDd indices increased with increasing total clay content at 20-40 cm depth with dominant amorphous materials (Fig. 4.3b). In the first observation, the CA and VN soils had the similar highest total clay content at 0-20 cm depth, but the largest MWDd indices at 0-20 cm depth were observed in the VN soils with a high-TOC input level rather than in the CA soils with a very low-TOC input level (Table 4.1). By contrast, in the second observation, the MWDd indices at 20-40 cm depth were higher for the BRDL soils with low-TOC input level rather than for the VN soils with high-TOC level (Table 4.2).

These results implied that, the increases in total clay content for the soils at 20-40 cm depth led to binding large MWDd indices through abiotic forces, rather than through organic cementing agents where low-charge (oxides and 1:1-type halloysite) clays were predominant; whereas, the increases in total clay content for the soils at 0-20 cm depth required the residues and root inputs for binding even much larger MWDd indices where high-charge (integrated 2:1-type clays) were predominant. Earlier studies showing that clay content had positive correlations with macroaggregates (Franzluebbers and Arshad, 1996) and aggregate stability (Kemper and Koch, 1966) have some contradiction to the results of this study. The reason for this discrepancy could be that, although similarly large amount of total clay content and MWDd indices at 0-20 cm depth were observed for all the soils from the TCM and VN ecosystems, the lower amount of MeMag at 0-20 cm depth for the CA soil corresponds to a very-low TOC input levels and a higher-moderate acid pH values, as compared with high-TOC input levels and neutral soil pH values for the VN soil. These results suggest that since the high-charge 2:1-type clays were predominant at 0-20 cm depth, the depletion of TOC input and a higher-moderate acid pH for the CA soil may be the limiting factors for enhancing the formation of MeMag. Furthermore, while the increases in TOC input level were observed with increasing mass or amount of MeMag at 0-20 cm depth only, and the closest absolute occurred 0-20 cm depth when data from the BL ecosystem was isolated ($r^2 > 0.629$; Table 3.6). These result are in agreement with Deneff and Six (2005) and Deneff *et al.* (2002), who also observed that macroaggregate formation was induced by abiotic binding forces in soils dominated by 1:1-type clays and oxides without accumulating organic matter inputs; whereas, no large macroaggregates were formed in illitic soil without organic inputs from residues and roots.

The LC was correlated positively with MWDd indices at 0-20 cm depth only ($r^2 = 0.453$) indicating that macroaggregates were formed by labile C fraction of TOC input in soils that were dominated by the constant charged clays, rather than by the variable charged clays at 20-40cm depth with dominant amorphous clay forms (Fig 4.3c). This predicts that raising soil pH can not promote large macroaggregate formation for soils dominated by amorphous clay forms with limited TOC inputs at 20-40 cm depth, as compared to those dominated by 2:1-type clays with high-TOC inputs. An increase in larger MWDd

indices at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth (Fig. 4.3 a and b) was likely a result of the presence of higher electronegative charge clays, rather than just larger total clay content at 20-40 cm than at 0-20 cm depth (Table 3.2). This demonstrated that MWDd was mainly influenced by the quality of clay minerals rather than by the quantity of total clay content. At 0-20 cm depth, soils were found to be dominated by 1:1 and 2:1-type integrated clays, at 20-40 cm depth with soils were dominated by amorphous clay forms (Rodríguez-Tapia, 2005; Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2007). The positive effects of organic binding agents derived from the decomposing residues and actively growing roots appeared to be less effective in the formation of macroaggregates at 20-40 cm depth dominated with the amorphous materials. Lower MWDd indices at both depths for the BL soils than for the VN and other soils studied may be attributed to their differences in soil pH and total clay content. The MWDd indices of aggregate size increased with increasing total clay content (Table 4.3a and b), since an increase in soil pH was observed with increasing total clay content (Table 3.5; Molumeli *et al.*, 2008).

McLauchlan and Hobbie (2004) found that larger MWDw indices of wet aggregate size class were associated with increasing hydrolysable organic carbon levels. The higher amount of particulate organic-C (POC) was also associated with dry-sieved macroaggregates of a 2.00-4.75 mm size where the soils had higher total clay content (Sainju, 2006). Soil aggregate stability is usually increased with increasing organic matter content (Tisdall and Oades, 1982; Chenu *et al.*, 2000), more especially in the Mollisols and Inceptisols (McLauchlan and Bobbie, 2004). In the present study, despite similar TOC and NLC contents for the BL, PL, SDL and PP soils, the greater MWDd indices for the PL, SDL and PP soils than for the BL soils could be a result of their large differences in the amount of labile organic carbon (LC), soil pH and total clay content (Tables 3.2, 4.1 and 4.2). Furthermore, positive relationship between the MWDd and the TOC and LC at 0-20 cm depth only (Table 4.3c and d) suggested that the differences in clay mineralogical composition between the soil horizons studied (Rodríguez-Tapia, 2005) tend to partition organic matter differently, resulting in differences in MWDd indices of aggregate size. This demonstrates that with an increase in TOC inputs in soils dominated by 2:1-type clays at 0-20 cm depth, would result in more TOC enrichment of larger macroaggregate than smaller macroaggregates, whereas an increase in TOC

inputs would be retained in progressively smaller macroaggregates in soils dominated by oxides and 1:1-type clay minerals at 20-40 cm depth. These results indicated that aggregate size, rather than mass or amount of aggregates, is important for influencing the amount of TOC sequestration in larger macroaggregates than smaller macroaggregates.

Since the VN, CA, and SDL soils had a similar large total clay content at 0-20 cm depth, the higher MWDd indices at 0-20 cm depth for the VN soils than for the SDL and CA soils was attributed to a higher-TOC levels and a neutral pH level. This indicates that large MWDd indices at 0-20 cm depth were, not only dependent upon a large total clay content, but were rather dependent upon the a rise in soil pH and high-TOC inputs. The long-term tillage in the CA soils has led to the depletion of TOC content, while at the same time, it could have mixed the clay-rich subsurface soil horizons into the plough layer. Franzluebbbers (2002) and Six *et al.* (2000) also reported a decrease in macroaggregates with an increase in cultivation intensity. According to Brady and Weil (1999), raising the soil pH to a neutral level can increase the cation exchange capacity by freeing the variable or electronegative charges of pH-dependent amorphous soil colloids, while it can also remove amorphous clay coatings from the constant or permanent charge sites on the surfaces of 2:1-type clays for participating in, especially in humus- and oxide-enrich soils. This could be an explanation for the observed greater MWDd indices at 0-20 cm depth for the VN soils than for the SDL soils indicates that organic cementing process were most effective in the binding of large macroaggregates at higher-TOC content with a rise in pH to a neutral level for the VN soils than at low-TOC content with the pH at a higher moderate acid level for the SDL soils. Whereas, the higher MWDd indices at 0-20 cm depth for the PL than for the BRDL soils suggested that greater macroaggregate formation was enhanced by the organic cementing agents induced by living plant root growth rather than by the decomposing fresh residues, in agreement with the study of Deneff and Six (2005). The adsorption reactions at lower soil pH levels for the PL soils than for the BRDL soils were most likely dominated by the constant charges associated with 2:1-type clays more than by some pH-dependent 1:1-type clays, humus and amorphous clay materials, as postulated by Brady and Weil (1999).

Furthermore, the studies of Campos-Cascaredo *et al.* (2001) indicate that the allophane content was increasing at deeper soil layers (A13h-horizons) than in the shallower horizons of udic soil moisture pedons that occupied similar altitudes of 2700-3300 m asl as those at our study site. Many studies also indicate that higher-TOC levels in the surface horizons lead to lower soil pH levels in volcanic ash-derived soils, which favour 2:1- (smectite, chlorite, mica) and some 1:1-type (kaolinite) clay minerals, while the subsurface horizons are mainly dominated by oxy-hydroxides and oxides of Al and Fe, allophane and halloysite at high soil pH levels (Nizeyimana *et al.*, 1997; Liu and Chen, 2004). Since the higher MWDd indices were more dominant at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth (Table 4.7.A), could support the idea that, as such soil aggregates were formed, they physically protected TOC against biological attack through the adsorption reactions of the metal-humus complexes onto clay minerals (Baldock and Skjemstad, 2000) at 0-20 cm depth where the crystalline 2:1-type clay minerals were more dominant than at 20-40 cm depth, rather than where non-crystalline, pH-dependent 1:1-type clay minerals and oxides were dominant. However, this warrants further investigation since the characteristics of the clay mineral composition involving such adsorption mechanisms for the formation of small and large macroaggregates is not well understood. However, this was only based on extrapolation from single natural soil pedon information; therefore, it was limited for other different cropping management practices specified in this study.

4.4.3.2. Influence of differences in soil drying on aggregate stability

The frequency of drying and wetting cycles through both surface soil evaporation and subsurface soil transpiration losses through roots water uptake can favour the formation of well-defined crystalline clay minerals, such as kaolinite, smectite and vermiculite at the expense of the amorphous materials (Ugolini and Dahlgren, 2002). In spite of similar MWDd indices at 0-20 cm depth for the PL, SDL and PP soils, the higher soil water retention capacity at permanent wilting point (SWRC -1500 kPa) at 0-20 cm depth for the PL and PP soils than for the SDL soil could indicate that a more limited extent of soil drying exists for the former treatments (Table 4.4). Consequently, the lower $i_{-5 \text{ min}}$ and

$Z_{C-2 \text{ hrs}}$ at 0-20 cm depth for the PP soil than the PL and SDL soils suggested that the mechanisms that formed and stabilized macroaggregates, such as soil drying to encrust dissolved chemical and organic materials (solutes and exudates) onto the mineral fractions, physical entanglement and compression by root growth onto soil particles, and production of polysaccharides by microbial activity and root exudation), might be diminished under high depth of water retention for all the suction pressure levels studied. Such unstable macroaggregates became more susceptible to seal formation through slaking and clay dispersion, upon wetting could be indicated by the lower $i_{-5 \text{ min}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ at 0-20 cm depth for the PP soil than the PL and SDL soils. Moreover, such an impact of limited soil drying on $i_{-5 \text{ min}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ at 0-20 cm depth might be significantly frequent when the proportion of total carbon pool size index (CPI) is lower (Table 4.2 and 4.3), making the comparisons between the management practices (MGT) within the TCM ecosystem more distinct and easier for the initial infiltration rate and depth of accumulated infiltrating water ($i_{-5 \text{ min}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$, respectively) when the CPI, rather than the LCI, is increasing or high (such as in natural ecosystem for the VN soil and in long-term no-tillage systems for the PL and SDL soils) than the comparisons where the CPI is decreasing or depleted (such as in cultivated agricultural systems for BRDL and CA soils).

In spite of the higher amount of LC fraction at both depths for the SDL soils than for the PL soils, the higher D_{pawc} only at 0-20 cm depth for the SDL soils, accompanied by higher CMI values, could indicate the positive association between LC fraction and total clay fraction dominated by 2:1-type clay minerals at 0-20 cm depth, while the inverse was true at 20-40 cm depth where the interaction between LC fraction and total clay fraction was dominated by non-crystalline and oxides. These results indicate that, the influence of increased D_{pawc} at 20-40 cm depth appeared to prevent for dry macroaggregate stabilization (MWDd), while an increase in CMI at 20-40 cm depth was just a futile interaction with non-crystalline clay materials that are mostly dominant at this depth, because no increase in MWDd indices was observed with increasing D_{pawc} at 20-40 cm depth ($r^2 = 0.385$). Positive relationship between the MWDd and $D_{wr -1500 \text{ kPa}}$ ($r^2 = 0.357$ and 0.594), but negative correlation between MWDd and $D_{wr -6 \text{ kPa}}$ ($r^2 = 0.436$ and 0.386) at 0-20 cm and 20-40 cm depths, respectively) could indicated that

soil drying may be the most important mechanism for dry macroaggregate stabilization (MWDD). However, the rate of dry macroaggregate stabilization could be greater at 20-40 cm than at 0-20 cm depth, probably because of greater variability in quality and quantity of the clay-mineral composition appeared to be governed by pH more than EC dynamics and by the input level of LC fraction more than TOC fraction. Positive relationship between MWDD and LC fraction at 0-20 cm depth only ($r^2 = 0.453$) showed that macroaggregate stability is dependent on labile forms of organic carbon fraction at 0-20 cm depth where crystalline 2:1-type clays are dominant, consistent with Tisdall and Oades (1982).

On the other hand, the Ksat at both depths was higher for the PP soil than for the PL and SDL soils, probably because an increase in Ksat at both depths was observed with increasing SWRC -1500 kPa ($r^2 > 0.113$) and increasing electrolyte concentration (EC, $r^2 > 0.240$).

The higher silica enrichment through percolating waters into the subsurface soil solution can favour the formation of halloysite than allophane (Nizeyimana *et al.*, 1997). This could be a possible explanation for the observed the lower MWDD indices at 20-40 cm depth for the PL soils, to an even greater extent than the clay-rich SDL soils, and to a similar extent as the neutral, clay-rich VN soils (Table 4.1).

The similarly higher MWDD indices at 0-20 cm depth for all the cropping management practices at the La Era for the VN and TCM landuse ecosystem than in the BL soils for the CFM landuse ecosystem could be result of similarly large amount of total clay content (Table 3.2 and 4.4). In contrast, the lowest MWDD indices at 20-40 cm depth for the PP soil than for the BRDL soil could be due to the higher LC fraction accompanied by lower total clay content, indicating that the oxide-rich subsoil layers may favour more dispersion of allophanic clay and formation of organic-Al complexes when LC increases at 20-40 cm depth (Table 4.2). The organic matter accumulation in volcanic ash soils led to increased organic acid concentration, and resulted in increased Al release from allophane compounds (Farmer and Lumsdon, 2002). In addition, the lower Dwr at 1500 kPa at 20-40 cm depth for the PP soil than for BRDL soil implied a major limitation for

the spatial root distribution, besides the higher SWRC at both -6 and -33 kPa) for the PP soil than for the BRDL soil suggested that the PP soil may remain wetter much longer with the potential for excessive leaching of soluble cations (Table 4.4). Greater macroaggregate formation through biologically-active processes was dependent mostly on more frequent soil drying by roots water uptake and on the dominant presence of 2:1-type smectite clay, rather than oxides and allophane (Rodriguez-Tapia, 2005). These conclusions could be support by the observed strong positive relationship between LC and MWDd only at 0-20 cm depth.

Less aggregation has also been observed in soils kept at continuously high soil-water contents than in soils where growing plants allowed for periodical soil drying through water uptake induced alternating wet-dry cycles (Reid and Goss, 1982, Deneff and Six, 2005). Similarly high SWRC at -1500 kPa (>18.5%) have been reported elsewhere in other volcanic ash soils and limited soil drying may favour the formation of halloysite more than allophane (Poudel and West, 1999). Perhaps, the positive effects of roots growth (physical entanglement of soil particles, production of organic cementing agents and soil drying) were weaker in the PP soils than in the PL soils, which could be linked to limited drying due to high SWRC at -1500 kPa. Several authors demonstrated that repeated wet-dry cycles were necessary for increasing macroaggregate stabilization (Deneff *et al.*, 2001; Deneff and Six, 2005).

4.4.4 Water transmission characteristics

4.4.4.1 Soil-water retention capacity (SWRC) and antecedent soil-water content (AFWC).

The infiltration tests were conducted during a dry-season in February 2007 after harvesting period. The AFWC values were much closer to the estimates of SWRC at -1500 kPa than to those at -33 kPa (Table 4.4). The AFWC was also higher than the soil-water retention capacity at -1500 kPa (SWRC @ -1500 kPa) for the SDL and CA soils for both plant ages, and also for the VN, PL, BRDL, PP soils for mature plants, and for the BL soils for young plants (Table 4.4).

Water transmission through the soil depends upon the antecedent water content (AFWC) of the soil profile, porosity, aggregation, and the presence of macropore channels (Shaver *et al.*, 2002). The infiltration rates and the hydraulic conductivity were influenced by initial soil-water content, soil aggregation, total organic carbon, texture, electrical conductivity (Table 4.5).

The $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$ were negatively related with the SWRC at -6 kPa (Fig. 4.4a, b, c, and d), while were positively related with the SWRC at -1500 kPa (Fig. 4.5a, b, c, and d) and also the AFWC (Fig. 4.6a and b). These partly supported the prediction that the wetter initial soil-water conditions of SWRC at -6 kPa would lead to lower infiltration rates ($i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$), whereas dryer initial soil-water contents of SWRC at -1500 kPa would result in increased infiltration rate. By contrast, a decreasing tendency for the $i_{-2 \text{ hrs}}$ values at 0-20 cm depth with SWRC at -1500 kPa implied that soil aggregate disintegration occurred that led to surface seal development, and could be caused by inadequate surface soil cover and lack of root death channels particularly for young plants more than for mature plants. This supported the idea that the $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$ are the functions of the initial soil-water conditions (Philip, 1957). Similar results have been reported in other studies with double-ring and sprinkling infiltrometer data, and have been attributed to more rapid aggregate breakdown and seal development under (Wangemann *et al.*, 2000). The higher SWRC at -6 kPa at both depths for the BL soils than for all the other soils (VN, CA, SDL, BRDL PL and PP) demonstrated that the presence of the largest volume of water-filled pores at near-saturated soil-water content and could be ascribed to lower pb, medium-TOC level, high silt and sand contents for the BL soils (Table 4.4).

4.4.4.2 Interactive effects of soil properties on infiltration and hydraulic conductivity .

Greater $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values at 0-20 cm depth in the VN soils was probably a result of the interactive effect of their higher-TOC, neutral pH and higher-EC levels in enhancing a more pronounced aggregates stability with larger MWDD indices of

aggregate size class for the VN soils than in all the other soils. Surface soil materials for the VN soils, consisting nearly entirely of earthworm casts and bio-macropores channels, may be direct result of the observed highest infiltration and K_{sat} values at 0-20 cm depth. In general, the higher the TOC and EC levels, the more stable and larger was the aggregate size (MWDd indices); and the lower was the rates of seal formation and the greater the infiltration and K_{sat} rates (Table 4.2 and 4.4; Fig. 4.2 and 4.7a). Thus, the effect of large aggregate size on reducing the rates of seal formation and increasing the rates of infiltration and K_{sat} were more pronounced in the VN soils with higher-TOC and higher-EC level than in the other soils studied with low-TOC and lower-EC level.

In very low-TOC level and lower-EC level for the CA soils, resulted in high-pb levels that led to significant reduction in K_{sat} rates and $Z_{C-2\text{ hrs}}$ values. In the CA soils, removal of residues by harvesting was ascribed to very-low TOC and low-EC levels, and high pb levels. The smaller MWDd indices of aggregate size at 20-40 cm depth for the VN and PL soils than for the BRDL soil could be a consequence of abiotic bonding of the oxides and total clay content, rather than of the organic bonding, since the increase in total clay content was observed with increasing soil pH at 20-40 cm depth, rather than with increasing TOC content and EC levels at 0-20 cm depth.

The lowest infiltration rates ($i_{-5\text{ min}}$ and $i_{-2\text{ hrs}}$), saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) and cumulative infiltration ($Z_{C-2\text{ hrs}}$) values for the CA soils than for the VN soils confirmed the lack of conducting bio-macropores at high-pb values and the occurrence of the most pronounced rates of seal formation (due to aggregate slaking and clay dispersion; Table 4.3; Fig. 4.2a, b, c, and 4.7b) at lower-TOC and LC content and lower-EC. On the other hand, the $i_{-5\text{ min}}$, $i_{-2\text{ hrs}}$ and $Z_{C-2\text{ hrs}}$ values for both plant ages were similar for the PL soils and for the SDL soils, and the $i_{-2\text{ hrs}}$ values were higher for mature plants for the SDL soils than for the PL soils, indicating that greater bio-macroporosity for the SDL soil could be associated with pronounced fine root death for the *Lupinus* than for grasses (Table 4.3). The PL soils seemed to have improved macroporosity for active- water flow (sorptivity) through long-term mature plant root growth effects, but were similar in steady-state drainage rates after 2-hours, while a greater water storage pore capacity

went again for the PL soils. Greater spatial distribution of root growth may have led to better active-flow pores in the PL soils than SDL soils. The higher Ksat values for the PL soils than for the SDL soils could indicate the negative effects of higher pb values for the SDL soils than for the PL soils. The lower $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values indicates that there were higher rates of seal formation for the SDL soils than for the PL soils, probably because organic cementing agents had a less impact for stabilizing the large macroaggregate size classes under low-TOC input and low EC levels in the SDL soils than for the PL soils. The seasonal re-form of bio-pore channels through fine root death and root-dwelling microbial activity, might be enhanced by lupines foliage and roots more than by grasses (Haynes and Beare, 1997).

The BRDL practice, converting SDL to CA, in which, the freshly incorporating lupines foliage and dead roots was followed by the oats forage crop. Then, in spite of tillage, the large MWDD indices at both depths in the BRDL soils indicated the freshly incorporating lupines foliage and dead roots were more effective in stimulating microbial proliferation to greater depths and consequently produced extracellular polysaccharides that are effective binding compounds (Tisdall and Oades, 1982). Therefore, it can be suggested that although there were larger MWDD indices and higher TOC content for the PL soils than for the BRDL soils:

- infiltration ($i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values) for young plants and the $i_{-2 \text{ hrs}}$ values for mature plants and Ksat values at 20-40 cm depth were lower for the PL soils than for the BRDL soils (Table 4.4), because
- the effects of larger aggregate size (MWDD index) induced by dead grass+lupine residues were lesser effective at the surface of the PL soils for reducing the rates of seal formation (extensive clay dispersion and aggregate slaking), than those for the BRDL soils since its freshly-incorporated lupine foliage were more effective promoting microbial activity that form macropore channels and more pronounced aggregate stability for reducing seal formation even at lower TOC content, so that more crusts were probably formed on the former;

- infiltration ($I_{-5 \text{ min}}$, and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$) for mature plants and K_{sat} values at 0-20 cm depth were similar in both PL and BRDL soils (Table 4.4), because
- there was mostly positive effects of the surface cover from long-term lupines+grass residues at the surface of the PL soils and from oats stubble mulch and freshly-incorporated lupines foliage on the surface of the BRDL soils, which could be equally stimulating microbial activity, so that continuous dead root and bio-macropore channels were open to the surface for active-flow rates. However, the effects of biological cementing processes on the stabilization of macroaggregate with large MWDd indices of aggregate size were not sufficiently pronounced to resist aggregate breakdown and seal formation under low-TOC and low-EC levels for the PL soils than for the BRDL soils.

Previous tillage effects in the CA soil seemed to be diminished between the *Lupinus*-based scrubland treatments. In spite of similar MWDd at 0-20 cm depth for the BRDL, SDL and PL soils, the higher $I_{-5 \text{ min}}$, $I_{-2 \text{ hrs}}$, and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values under young plants, as well as higher K_{sat} values for the BRDL soil treatments than for the SDL and PL soils maybe caused by *Lupinus* residue incorporation and the subsequent oats stubble mulching (Table 4.1 and 4.3). By contrast, similar $I_{-5 \text{ min}}$, $Z_{C-5 \text{ min}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values, but an exceptionally greater $I_{-2 \text{ hrs}}$ under mature plants for the BRDL soil treatments than for the SDL and PL soils could demonstrate that the BRDL soil treatments maybe the most preferred management system for promoting continuous active water flow through freshly reformed bio-macropore channels in the study area. The latter observation seemed to contradict previous studies of McGarry *et al.* (2000) showing that, the macropores under long-term low disturbance by no-tillage (in the case of the SDL and PL soils) can be more effective in water transmission than under cultivated soils (in the case of the BRDL soils). Lipiec *et al.*, (2006) also observed highest infiltration under hand ploughed (CT) than under direct-sowing (NT) soils treatments, and it was ascribed to high soil organic matter content and high inter-aggregate flow-active porosity. In agreement with Haynes and Naidu (1998), the higher mean $I_{-5 \text{ min}}$ for young plants for the BRDL soil than for the PL and SDL soils indicated that practices that included stubble mulching and *Lupinus* residues incorporation seemed to have favoured improved structural aggregate stability and biotic activities (especially fauna) that le to

the opening of flow-active bio-macropore channels. The latter attributes were not present for the CA soils, since the lowest $I_{-2 \text{ hrs}}$ values under mature maize-faba intercropped plants treatments were accompanied by lowest K_{sat} at both depths. Low disturbances by no-tillage practices and use of residue mulching resulted in increased aggregation and greater proportions of interconnected and continuous macropores, and the corresponding increase in $i_{-5 \text{ min}}$ than under intensive cultivations was also reported by Shukla *et al.* (2003a) and by Wuest (2001). Higher $i_{-5 \text{ min}}$ values can be indicative of increased sorptivity which represents unsaturated hydraulic conductivity; and have been considered to occur through bio-macropores as a function of earthworm activity, bio-macropores continuity and density of dead root channels (Hangen *et al.*, 2002).

4.4.4.3 Hydraulic conductivity and water repellency properties

Before the percolation tests, intact soil cores were covered with a nylon mesh at the base and were placed in a water-bath to obtain a saturated initial water content. Whereas < 48-hours was required to reach a saturated state by a 5-cm deep water bath through capillary wetting for all soil cores, > 60-hours was needed to saturate the BL soil core samples from the pine forest ecosystems.

The higher K_{sat} values at 0-20 cm depth only for the VN soils than for the BL soil corresponded to high-TOC level, high clay, EC, pH and MWDd for the VN soil, despite the lower p_b values for the BL soil than for the VN soil (Table 3.2 and 4.1). On the contrary, the higher K_{sat} values at 20-40 cm depth for the BL soil than for the VN soil might be a direct consequence of the large depth of water retention capacity at near-saturation ($D_{\text{wr}} -6 \text{ kPa}$). Besides the similar organic carbon pool size (CPI) index for the VN and BL soils (Table 4.2), the lower pH values for the BL soil than for the VN soil could promote the formation of larger amounts of clay mineral-humus complexes, which seemed to lead to p_b values and to prevent seal formation.

The higher K_{sat} values at both depths for the PP soils than for the CA soils, to an even greater extent than for the clay-rich SDL, BRDL, and PL soils could suggest that soil structure improves when the cultivated soil is converted to longterm grass meadows

than to *Lupinus* fallows, and could be ascribed to increased spatial distribution of the grass root. Because there were no observed significant differences in total clay content and MWDd indices at 0-20 cm depth between the PP and CA soils, the greater pb values might have caused the lower Ksat values for the CA soil than for the PP soil. This indicates that, the MWDd indices for the CA with very-low TOC were less stable than under low TOC input levels (Table 4.1 and 4.2). Soil aggregation, air permeability, and hydraulic conductivity improve with time in a grass culture (Lindstrom *et al.*, 1998).

The lower Ksat values at for the CA soils than for the VN soils were ascribed to their very-low-TOC level, lower MWD indices and high pb. This indicates that, as pH rise from higher-moderate acid to neutral pH in the VN soil probably allowed for its higher-TOC and higher-EC levels to interact as a fabric network with base-forming cationic bridges that held large amounts of clay minerals and humus together into stable aggregates against the aggregate slaking and clay dispersion. In spite of a large total clay content at 0-20 cm depth for both the CA and VN soils, the high-TOC and higher electrolyte (EC = 1.45 dS m⁻¹) concentrations for the VN soils could have resulted in decreasing clay dispersion when clay swells during the wetting process for the latter, whereas very-low-TOC levels and low-EC levels were too low to prevent the disruptive forces of seal formation. After the percolation tests, most of the soil aggregates with high-TOC level were not slaked in the soil cores for the VN soils, whereas those with very-low TOC level for the CA soil were extensively broken.

Although the pb values were higher for the CA soils than for the PP soils, the $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values for young plants and $i_{-2 \text{ hrs}}$ for both plants were similar in the PP and CA soils, while $i_{-5 \text{ min}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values for mature plants and Ksat values at both depths were lower for the CA soils in a traffic zone than for the PP soils. However, such low $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and higher Ksat values at both depths for the PP soils than for the CA soils, was demonstrating a behaviour typical of water repellent characteristics of volcanic ash soils, similar to those for the BL soils (Table 4.3; Fig. 4.2 and 4.7). In addition, the higher SWRC at all suctions, which promotes clay swelling and dispersion, might have resulted in more weaker aggregate stability of the larger aggregate size MWDd indices at 0-20 cm depth for the PP soils than for the CA soils. Few studies have

associated the occurrence of water repellency with soil drying in volcanic ash Andisols under grasslands (Poulenard *et al.*, 2001), and was related to the abundant long-chain fatty acid and lipid compounds in the fine topsoil aggregates from bare fallows of the high-altitude grasslands in Ecuador (Poulenard *et al.*, 2004).

The higher Ksat values at both depths for the BL soils than in the CA soils was ascribed to medium-TOC level and very low pb values in the BL soils, as compared to very low-TOC level and very high pb values in the CA soils (Table 4.1 and 4.3). Interestingly, however, the BL soils had the lower infiltration rates ($i_{-5 \text{ min}}$, and $i_{-2 \text{ hrs}}$) for young plants and also the lower $Z_{c-2 \text{ hrs}}$ for both plants, to an even a similar extent with the PL, CA, PP soils which had a higher pb values and low-TOC input levels (Table 4.4) indicating that the lower pb is not the only factor controlling the infiltration rates in these pine forest plantations. However, the slow rate of decline within the first 5-minutes of the infiltration curve (Fig. 4.7a) for the BL soils was indicative of the retarded water sorptivity, because it appeared to have almost the same gradient as for the steady-state infiltration rate, which could imply the existence of water repellency in the pine forest plantation for the BL soils. These results showed the opposite tendency, in that, the infiltration rates ($i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$) were lower when the measurements were taken at near wilting point and the Ksat values were higher when measured under saturated conditions for the BL soils (Table 4.4). This could suggest that the wetter initial soil-water conditions during percolation tests would always result in higher Ksat rates, while the dryer initial soil-water contents during infiltration tests would always result in lower $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$, as was previously postulated by Wangemann *et al.* (2000).

The Ksat was negatively correlated ($r^2 = >0.52$ and 0.83) with the pb values, whereas it was positively correlated with TOC content ($r^2 >0.75$ and 0.33), at 0-20 cm and 20-40 cm soil depths, respectively. No surface seal developments were observed from the percolation test for the BL soils. However, knowledge of water repellency at this site affecting water infiltration is limited. The previous slash-burn disturbances in the pine forest plantations were observed. Subsequently, the lowest infiltration rates for the BL soil were obtained at the 0.24 g.g^{-1} AFWC, which was similar to that of the SWRC (0.23 g g^{-1} at -1500 kPa) (Table 4.3 and 4.4). Since the medium-TOC levels and lower pb

values for the BL soils than prevailed, could not be ascribed to seal formation, as for the CA soils with very-low TOC levels, but rather was attributed to increased adsorption of model humic substances to clay particles that might have favoured hydrophobic characteristics in the BL soils (Buzcko and Bens, 2006). The hydrophobic characteristics are often persistent at or near the soil surface where dissolved hydrophobic compounds would become fractionated and retained by the preferential sorption on sesquioxides. This could suggest that the hydrophobic characteristics tend to disappear at lower soil-water content, and reappear again at lower soil-water conditions.

These results are consistent with the studies of Dekker and Ritsema (1994) who observed that volcanic soils were exhibiting water repellent (hydrophobic) characteristics when dry during distinct dry season, and they were least water repellent (hydrophilic) when wet after several rainfall events. Furthermore, the pattern of hydrophobicity might be altered by the presence of microbial abundance and activity within the forest litter-soil contact, because the water-repellency is induced differently by the type of the organic matter (Grundmann and Debousie, 2000). Graham *et al.* (1995) noticed advanced morphological differences that, the oak forest had substantial amounts of earthworm casts that were wrapped with abundant filamentous range of actinomycetes and fungal hyphae, but these were absent under pine forest. The latter supports the results in this study and could indicate that the organic matter mineralization products from the biological respiration and exudation processes were more likely contributing to larger macroaggregate formation rather than those from the mineralization of plant residues, which (e.g. cellulose) produces resistant, non-soluble, less-decomposable organic carbon (Tisdall and Oades, 1982).

The percolation studies, on the other hand, are concerned with the water conduction through the whole volume of soil pores, driven by the water potential gradient, so that, pore continuity and pore plugging are the limiting factors for hydraulic conductivity (Wangemann, 2000). The macropore plugging occurs from the washing-in of soil particles from the slaking aggregates, worm casts, and air entrapment within the pores and the latter was suggested as the most significant parameter affecting percolation (Wangemann *et al.*, 2000).

4.4.4.4 Aggregate size, total organic carbon and electrical conductivity

The results for water transmission properties are presented in Figure 4.7 and Table 4.4. The decrease of the infiltration rate into exposed soil surface appeared to be mainly controlled by a quick surface seal formation for wetter initial soil-water content than for a dryer initial soil-water condition (Wangemann *et al.*, 2000). According to Stern *et al.* (1991), surface seal formation is a result of soil structural disintegration due to weakening of aggregate bonds (slaking) and clay dispersion (% clay in runoff/% clay in soil of origin). The lower cumulative infiltration ($Z_{C-2 \text{ hrs}}$) indicated the quicker rate of seal formation during a rainfall event (Lado *et al.*, 2004b).

The higher $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values confirmed the lack of clay dispersion and aggregate breakdown for the largest MWDD indices in the VN soils, and this could be ascribed to the interactive effects of a large total clay content with high-TOC levels at high-EC (1.45 dS m^{-1}) and neutral pH levels (Fig. 4.2c and d and 4.7; Tables 4.1). The higher $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values were accompanied by higher-EC and neutral pH levels for the VN soils than for the SDL soils, in spite of similar large total clay contents. This demonstrated that the high-TOC from residues and roots-induced biological process had prevented clay dispersion for the VN soil than for the SDL soils in the presence of higher-EC and neutral pH levels, which were the most effective to prevent slaking of the large macroaggregates during wetting. Regression equations predicted that the lower $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$ values for the surface soil (0-20 cm depth) were associated with the lower MWDD indices ($r = 0.67$), lower pH level ($r > 0.72$), lower EC ($r > 0.54$), lower TOC ($r > 0.41$) and lower total clay content ($r > 0.35$).

The lowest $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values for the CA soils than for the VN soils, corresponded with their lower MWDD indices, very low-TOC and low-EC levels, and higher pb levels could indicate the possibility for rapid rates of seal formation. The lowest K_{sat} and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ indicated that slaking was stronger of macroaggregates formed through inorganic binding agents at for the CA soils than for those in the VN soils formed through organic bonding at high-TOC and high-EC levels. These results confirmed the

previous studies (Lado *et al.*, 2004a and b), showing that, soil macroaggregates in the low-TOC and low-EC level environment, exhibited low structural stability, high aggregate slaking and high clay dispersion during wetting, and led to extensive structural degradation and to a sharp decrease in the Ksat. As demonstrated earlier, tillage effects seemed to diminish soils the interactive effects of a large total clay content with very low-TOC level at a higher moderate soil pH level did not increase the MWDD indices for the, whereas with low-TOC level interactive effects of a similarly large total clay content with high-TOC levels at a neutral soil pH led to more stable, larger MWDD indices for the VN soils.

Although the MWDD indices at 0-20 cm depths were similarly the highest for both VN and PL soils, the lower $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and Ksat values were observed for the PL soils than for the VN soils (Table 4.1, Fig. 4.2 and 4.7). This demonstrated that, as, the stabilization of these large MWDD indices at 0-20 cm depth induced by biological cementing agents were lesser effective for sufficiently reducing the impacts of clay swelling and dispersion at low-TOC and lower-EC levels for the PL soils than those for the VN soils with high-TOC and high-EC levels. Another reason may be that greater SWRC at -6 and -330 kPa for the PL soils than for the VN soils probably diminished macroaggregate stabilization (MWDD) indices at 0-20 cm depth, which could delay soil drying and allow for swelling of clay minerals. The impacts of clay swelling and dispersion on aggregate stability have been reported to decrease with increasing organic matter content and the electrolyte concentration in the soil (Lado *et al.*, 2004a and b). This could help to explain, in spite of the similarity of initial aggregate size, the observed lower $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and Ksat values could indicate greater rates of seal formation (clay dispersion and aggregate slaking) upon rewetting for the PL soils with a low-TOC and lower EC levels than for the VN soils with high-TOC and high-EC levels. Knowledge about the characteristics of such clay minerals for the disturbed soils under the specific management practices studied is limited.

The PP soils which exhibited the high SWRC at all measured suction levels had probably promoted limited drying, and led to most extensive clay swelling and dispersion, hence, the initial small MWDD indices were observed for the PP than for the

PL soils. The $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{c-2 \text{ hrs}}$ values for young plants were similar for both PP and PL soils, and Ksat values at both depths were lower for both PP soils than for the PL soils, whereas the $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{c-2 \text{ hrs}}$ values for mature plants were lower for the PP soils than for the PL soils. According to Ismail (1970), the lower mean pH values for the PL soil (6.23) at 20-40 cm depth could indicate that higher free Al concentration may favour the transformation of the biotitic micas to vermiculite and hydroxyl-interlayer minerals. By contrast, the higher mean pH values (6.32, 6.40 and 7.02) for the CA, VN and BRDL soils, respectively, could indicate that lower free Al-concentration may favour the transformation of micas to smectite (Ismail, 1970). This could be a possible explanation for the significantly higher mean D_{pawc} at 20-40 cm depth for the PL soil than for the clay-rich BRDL, CA and VN soils, because of the greater hydration potential in the interlayer spaces for the vermiculite than for smectite (Brady and Weil, 1999). However, this trend warrants further investigation in clay mineralogy since the differences in soil pH among different cropping management practices could imply significant differences in clay mineral composition.

The high clay dispersion in weathered soils has been associated with the dominance of kaolinitic clay more than mixed smectite + kaolinite clay in the Ap-horizons of Georgia soils, and may be due to the low electrolyte concentration commonly found in the kaolinitic soils (Miller *et al.*, 1990). Halloysite is converting to kaolinite as the horizons become more weathered (Poudel and West, 1999). These suggestions give a clear reason for extensive clay dispersion and lower water transmission characteristics observed in the soils studied, especially for the intensive annual cultivated (CA) soils. However, this warrants further investigations on clay mineral composition as it implies that aggregate stability was governed by the clay mineral types for the various EC, pH and TOC levels among the 7 cropping management practices under respective landuse ecosystems. Positive correlations between EC at 0-20 cm depth and $i_{-5 \text{ min}}$ ($r = 0.74$), $i_{-2 \text{ hrs}}$ ($r = 0.56$), $Z_{c-2 \text{ hrs}}$ ($r = 0.72$), Ksat ($r = 0.77$), total clay content ($r = 0.26$), TOC ($r = 0.057$) and MWDd indices ($r = 0.39$) supported the idea that, clay dispersion was highly significant at low EC ($< 0.5 \text{ dS m}^{-1}$) levels in the soil suspension, while increasing TOC content in the soil decreased clay dispersion (Lado *et al.*, 2004a).

In grass pastures, although the p_b values at 20-40 cm depth were similar for the PL and PP soils, the lower p_b values at 0-20 cm depth for the PL soil than for the PP soil, could indicate that greater root diameter of the *Lupinus* + grass had influences bio-macropore channels with greater aeration/porosity for the PL soil, rather than the greater spatial root distribution of finer grass alone for the PP soil. In autumn, most of the finer roots of *Lupinus* had died after fruit-setting, to the extent that there were no living fine roots under mature lupines plants in spring, whereas the fibrous grass roots for the PP soil were still on alive, which resulted in lesser living roots in the PL soils than in the PP soils (*data not shown, personal observation*).

Root density declines during the autumn due to root death, and that leads to the opening of flow-active bio-macropore channels in the spring (Tufekcioglu *et al.*, 1999). Although the MWDd indices at 0-20 cm depth were similar for the PP and PL soils, the infiltration tests showed the lower $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ values for the PP soil than for the PL soil. This could be a result of accelerated flow through open bio-macropore channels, which were probably caused by the lower root density in spring owing to *Lupinus* root death during autumn for the PL soil than for the PP soil. It could, therefore, be concluded that increased water infiltration rates and cumulative depth of water infiltration were mostly dependent upon the decline in root density due to perennial *Lupinus* roots death, which was more effective in opening the flow-active bio-macropores, rather than in the formation of larger aggregate size (MWDd indices). Although these results could suggest that the living grass roots for the PP soil may obstruct the existing flow conducting macropores because of their preferential growth through the existing bio-macropores and shrinkage-cracks, but the effects of living roots on macropore flow is still not clear. More research is needed on the rates of change in macropore size distribution after implementing the long-term conservation tillage practices with planted pastures and *Lupinus* invasion in fallows and meadows.

The high state of compaction for both the SDL and CA soils is characterized by the highest p_b values at both depths. However, the higher $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values for the SDL soils than for the CA soils could be a result of the higher TOC content that prevented seal formation through clay dispersion and aggregate slaking for the

former. In spite of similar MWDD indices and total clay content for the CA and SDL soils, the higher $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values could indicate that more aggregates were stabilized against the crust forming processes in the presence of root-induced biological processes for the SDL soils, which were absent for the CA soils. On the contrast, the decrease in amount of large macroaggregates with an increase in cultivation intensity than low soil disturbance with no-tillage has been reported in other studies (Franzluebbers, 2002). In the present study, similar MWDD indices at 0-20 cm depth corresponded to the similar total clay content, and most likely similar kind of clay mineral composition at 0-20 cm depth for the soils from the TCM and VN ecosystems (Table 3.2 and 4.1). By contrast, greater MWDD indices at 20-40 cm depth could indicate that the subsurface horizons of volcanic ash soil enriched with oxides and amorphous clay can bind large-macroaggregates without accumulating organic matter for the low-TOC input CA soils than for the high-TOC input VN soils (Table 4.1 and 4.2). These results are consistent with the studies of Deneff *et al.* (2002) and Deneff and Six (2005), who indicated that clay minerals tend to be more important than total clay content in macroaggregates formation and stabilization.

Besides the improved soil aggregate stability, the higher water transmission properties in the SDL soils than in the CA soils was probably a result of the newly reformed bio-macropore channels through which the root growth of re-generating *Lupinus* sprouting and frequent root death could enhance microbial activity, because of long-term lupines invaded fallows. Similar observations were made in other studies (Meek *et al.*, 1992; Czarnes *et al.*, 2000), who reported that alfalfa roots were important for reforming macropores that were otherwise destroyed by cultivations. Low soil disturbances by the long-term lupines invaded fallows and meadows can promote earthworm activity and increased continuous bio-macropores in the soil matrix, with corresponding improvement in soil aggregation, water infiltration and decreased pb level. Wuest (2001) also reported that increased infiltration rate with a reduction in tillage intensity and the corresponding increase in earthworm activity. The success of *Lupinus* invasion could demonstrate that introducing the grain lupines genotypes as the main cultivated fallow “break” crop, instead of just scrubland invasion with the wild lupines, would bring both environmental and economic benefits for the farmer in the TMVB region because it reduces pb (soil

compaction), increases MWDd index of aggregate size to greater soil depths, and maintains continuous bio- macropores or channels induced by long-term plant growth.

4.5 CONCLUSIONS

In the studied soils, long-term intensive cultivations had depleted TOC content and resulted in lower MWDd indices for the CA soils than for the SDL soils. In spite of similar large total clay content for the VN soils and SDL soils, the higher macroaggregates formation and stabilization (MWDd) indices for the VN soils than for the SDL soils were induced by biological processes at higher-TOC content where the neutral pH and higher-EC levels were most dominant. These results could indicate that the contribution of a large total clay content on the large MWDd indices was mostly depended upon raising the TOC content from a low-input level (2.38 to 3.45%) to a high-input level (6.38 to 9.99%) and soil pH from the prevailing higher-moderate acid to neutral levels, and also the EC from low (0.31-0.42 dS m⁻¹) to high (1.45 dS m⁻¹) level.

The similarly largest MWDd indices at 0-20 cm depth for the PL and VN soils suggested that macroaggregate formation were induced by the positive effects of aggregate forming and stabilizing biological processes due to greater spatial distribution of roots, frequent rootzone drying, enhanced microbial activity, that promote roots-derived organic cementing agents and soil entanglement. However, the lower 2-hrs infiltration rates for the PL soils than for the VN soils indicated that long-term aggregate stabilization effects were more pronounced at neutral pH, high-TOC, high-EC levels and higher total clay content for the VN soils, rather than at higher-moderate acid pH, low-TOC, low-EC levels and lower total clay content for the PL soils. In spite of the relatively larger MWDd (2.68 and 2.76 mm) indices of aggregate size for the PL and VN soils, the lower 2-hrs infiltration rates for the PL soils than for the VN soils suggested that the effects of the dead grass+lupine roots and residues were lesser effective for reducing the rates of seal formation (clay dispersion and aggregate slaking) at low clay content, lower pH and lower EC. The lowering of pH levels could suggest dominant activity of metallic oxides and organic acids (Farmer and Lumsdon, 2002). By contrast, the higher $i_{-2 \text{ hrs}}$ values for the BRDL soils than for the PL soils was likely a result of enhanced microbial activity caused by the freshly-incorporated lupine foliage and dead root and bio-macropore channels from the standing *Avena veza* stubble for the BRDL soils. The greatest $i_{-2 \text{ hrs}}$ values for the VN soil than for the BRDL soil could indicate that the flow

active bio-macropore channels under the oak-leaf residues were likely more open to the surface and greater MWDd indices had mostly limited seal formation upon wetting the soil surface.

At the natural oak forest ecosystem, linear regression analysis showed that an increase in the TOC input levels would result in increasing MWDd indices at 0-20 cm depth dominated by 2:1-type smectite clay minerals, whereas the TOC did not increase with increasing MWDd indices at 20-40 cm depth amorphous clay materials. This pattern warrants further investigations on clay mineralogy for the soils studied, as it implies that the clay mineral constituents at 0-20 cm depth were probably fractionating TOC differently from that at 20-40 cm depth and different macroaggregate size classes may be dependent on the type of the prevalent clay mineral composition.

In spite of the lowest MWDd indices and the lowest pb at 0-20 cm depth for the BL soil than for the VN soil, the latter resulted in much higher Ksat rates at 0-20 cm depth, probably because of the higher-TOC level and higher MWDd indices for the VN soils than for the BL soils (Table 4.1 and 4.2). However, the higher Ksat values at 20-40 cm depth for the BL soil than for the VN soil could be a result of the higher sand fraction than clay fraction for the BL soil than for the VN soil (Table 4.1 and 4.2). The similar Ksat rates at 20-40 cm depth for the VN and PP soils could be a result of similar amount of labile organic carbon (Table 4.1 and 4.2). Despite of the higher MWDd indices at 20-40 cm depth, but similar at 0-20 cm depth for the PP and CA soils, the higher Ksat at both depths for the PP soils than for the CA soils could suggest that the soil macroaggregates with lower-TOC level for the CA soils were more vulnerable to clay dispersion and aggregate slaking than the soil macroaggregates with higher-TOC content for the PP soils (Table 4.2).

The higher soil pH values for the VN soil than for the BL soil resulted in higher Ksat rates at both depths for the VN soil than for the BL soil, which indicates that, raising soil pH from lower-moderate acid to neutral values provides an opportunity for the formation of large amount of total clay minerals, that were most likely suitable to interact strongly with higher-TOC input level for binding of microaggregates and small-macroaggregates

together into more stable and larger MWDD indices. However, the differences in clay mineral composition between the VN and BL soils are still not well known. The lower pb values for the BL soil than for the VN soil could be attributed to large amounts of either TOC or non-crystalline clay minerals, which is typical of Andisols (Shoji *et al.*, 1993). On the other hand, the similarly lowest infiltration rates ($i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$) at the lower pb levels for both the BL and PP soils indicated water repellent properties, because the saturated initial soil-water conditions led to high Ksat rates, while the dryer initial soil-water contents result in lower $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$ and $Z_{C-2 \text{ hrs}}$.

The infiltration and hydraulic conductivity rates were affected by the interactions of aggregate stability, pb, EC, TOC levels and antecedent soil water content. In the VN soils, the higher $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and Ksat rates indicated that the higher MWDD indices, lower pb, high-EC and higher-TOC had limited the clay dispersion and slaking of aggregates. In the CA soils, the lower $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{C-2 \text{ hrs}}$ and Ksat rates indicated that low-EC and very-low TOC levels when their macroaggregates were formed by clay and oxides interactions without accumulating organic matter, resulted in lesser stable MWDD indices and high pb. In spite of similar MWDD indices at 0-20 cm depth, the stability of such macroaggregates formed without accumulating TOC led to the least pronounced stable MWDD indices, which were more susceptible to greater risk of seal formation through higher rates of clay dispersion and aggregates slaking for the CA soil than for the SDL soil. These results indicated that, the wetter initial soil-water content of SWRC at -6 kPa was correlated negatively to the $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$, because aggregate breakdown rates were more extensive under wet conditions. By contrast; however, a dryer initial soil-water content of SWRC at -1500 kPa was correlated positively with the $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$ values, perhaps the rates of aggregate slaking were much slower because wetting is a time dependent process. Therefore, the BRDL soils is the preferred soil management system for the study area, because the previous tillage effects affecting macroporosity and aggregate stability seemed to be diminished under the BRDL soil treatments more than under the PL soil treatments since the $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$ were lower for the PL soils and Ksat was similar for mature plants for both soils.

4.6 LITERATURE CITED

- Adegbidi, H.G., Comerford, N.B., Jokela, E.J., and Barros, N.F., 2004. Roots development of young loblolly pine in Spodosols in Southeast Georgia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 596-604.
- Alderete-Chavez, A., V. Espinosa-Hernández, E. Ojeda-Trejo, M. Ehsan, J. Perez-Moreno, V.M. Cetina-Alcalá, D.A. Rodriguez-Trejo, N. De la Cruz-Landero, 2008. Natural distribution and principal characteristics of *Lupinus* in the oriental face of Tlaloc mountain in Sierra Nevada, México. *Journal Biol. Sci.* 8 (3): 604-609.
- Aoyama, M., D.A. Angers, and A. N'Dayegamiye, 1999. Particulate and mineral associated organic matter in water stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure application. *Can Soc Soil Sci.* 79: 295-302.
- Baldock, J.A., and J.O. Skjemstad, 2000. Role of the soil matrix and minerals in protecting organic materials against biological attack. *Org. Geochem.* 31: 697-710.
- Blair, G.J., R.D.B. Lefroy, and L. Lisle, 1995. Soil carbon fractions based on their oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Austr. J. Agric. Res.* 46: 1459-1466
- Blake, G.R. and K.H. Hartge, 1986. Bulk density. pp.363-376. In: A. Klute (ed). *Methods of soil analysis, Part 1.* 2nd ed. Agron. Monograph No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Bouwer, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometers. pp. 825-843. In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Agron. Monograph 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
- Box, J.E. Jr., 1996. Modern methods of roots investigation, pp.193-237. In: Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi (eds.). *Plant roots: The hidden half.* 2nd ed. Marcel Dekker, New York.
- Brady, N.C., and R.R. Weil, 1999. *The nature and properties of soils.* Twelfth edition. Printice-Hall,.Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Buzcko, U., and O. Bens, 2006. Assessing soil hydrophobicity and its variability through the soil profile using two different methods. *Soil Sci Soc. Am J.* 70: 718-727.

- Campos-Cascaredo, A., K. Oleschko, L. Cruz-Huerta, J.D. Etchevers-B, C. Hidalgo-M., 2001. Estimation of allophane and its relationship with other chemical parameters in Mountain Andisols of the volcan Cofre de Perote. *Terra* 19: 105-116.
- Chenu, C., Y. Le Bissonnais, and D. Arrouays., 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci Soc. Am. J.* 64: 1479-1486.
- Czarnes, S., PD. Hallett, AG. Bengough, IM. Young. 2000. Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. *Euro. J. Soil Sci.* 51: 435-443.
- Dekker, L.W., and C.J. Ritsema, 1994. How water moves in a water repellent sandy soil 1 : Potential and actual water repellency. *Water Resource Res.* 30 (9): 2507-2517.
- Denef, K., and J. Six, 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. *Euro. J. Soil Sci.* 56: 469-479.
- Denef, K., J. Siz, H. Bossuyt, S.D. Frey, E.T. Elliott, R. Merckx, and K. Paustian, 2001. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1599-1611.
- Etchevers, J.D, C. Hidalgo, C. Prat, P. Quantin. 2004. Tepetates of Mexico. *Encyclopedia of Soil Science.* pp 1-4.
- FAO-ISRIC-ISSS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports No. 84, FAO, Rome, Italy, 88pp.
- Farmer, V.C., and D.G. Lumsdon, 2002. A re-interpretation of aluminum solubility mechanisms in moderately acid Bs-horizons of podsolized soils by Gyfstaþsson et al., *Euro. J. Soil Sci.* 53: 671-673.
- Franzluebbers, A.J. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Till. Res.* 66:197-205.
- Franzluebbers, A.J. and M.A. Arshad, 1996. Water-stable aggregation and organic matter in four soils under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.* 76: 387-393.
- Gardner, W., 1986. Water content. p. 493-544. In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis, Part 1.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and CSSA, Madison, WI.

- Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1996. Particle size analysis. p.383-411. In: A. Klute (ed). Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical methods, SSSA book 5, ASA-SSSA, Madison, WI. USA.
- Graham, R.C., Ervin, J.O., Wood, H.B., 1995. Aggregate stability under oak and pine after four decades of soil development. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 59: 1744-1744.
- Grundmann, G.L., and D. Debousie, , 2000. Geostatistical analysis of the distribution of NH^+ and NO^{3-} oxidizing bacterial and serotypes at the millimeter along a soil transect. *FEMS Microbial. Ecol.* 34: 57-62.
- Gutiérrez-Castorena, Ma del C., C.A. Ortiz, P. Sanchez-Guzman, 2007. Clay coatings formation in tepetates from Texcoco. *Catena* 71(3): 411- 424.
- Hangen, E., U. Buczko, O. Bens, J. Brunotte, and R.F. Huettle. 2002. Infiltration patterns into soils under conventional tillage: Influence of spatial distribution of plant roots structures and soil animal activity. *Soil Tillage Res* 63: 181-186.
- Haynes, R.J. and R. Naidu, 1998. Influence of lime, fertilizer, and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. *Nutr.Cycl. Agroecosyst.* 51: 123-127.
- Haynes, R.J., and M.H. Beare, 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1647-1653.
- Ismail, F.T., 1970. Biotite weathering and clay formation in arid and humid region, California. *Soil Sci.* 109: 257-261.
- Kemper, W.D., and E.J. Koch, 1966. Aggregate stability of Soils from Western United States and Canada. Technical Bulletin 1355, ARS-USDA, Colorado Agr. Exp. Sta., Fort Collins, Co.
- Kemper, W.D., and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp 425-441. In: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI.: ASA and SSSA.
- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods. In: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis, Part 1, 2nd Edition. Agron. Monogr. No. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Klute, A., and C. Dirksen, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. p.687-734. In: A. Klute. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI.

- Lado, M., A. Paz, and M. Ben-Hur, 2004a. Organic matter and aggregate size interactions in saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 234-242.
- Lado, M., A. Paz, and M. Ben-Hur, 2004b. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am J.* 68: 935-942.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crusting and erodibility: I. Theory and methodology. *Euro. J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Le Bissonnais, Y., and D. Arrouays, 1997. Aggregate stability and assessment of soil crusting and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Euro. J. Soil Sci.* 48: 39-48.
- Lindstrom, M.J., T.E. Schumacher, N.P. Cogo, and M.L. Blecha, 1998. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. *J. Soil Water Conserv.* 53: 59-63.
- Lipiec. J. J. Kuś, A. Slowińska-Jurkiewicz, and A. Nosalewicz, 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Till. Res.* 89: 210-220.
- Lopez, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velásquez, J.R. Aguirre-Rivera, 2006. Peasant emigration and landuse change at the watershed level: a GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems* 90: 62-78.
- Lopez-Zamora, I., N. Falcão, N.B. Comerford, and N. Barros, 2002. Root isotropy and an evaluation of a method for measuring root distribution in soil trenches. *Forest Ecology and Management* 166: 303-310.
- Lopez-Zamora, I., NB. Comerford, and RM. Muchovej. 2004. Root development and competitive ability of the invasive species *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) S.T. Blake in the South Florida Flatwoods. *Plant and Soil* 263: 239-247.
- Lynch, J.M., and E. Bragg, 1995. Microorganisms and soil aggregate stability. *Adv. Soil Sci.* 2: 134-170.
- Materechera, SA., AR. Dexter, and AM. Alston. 1992. Formation of aggregates by plant roots in homogenized soils. *Plant and Soil* 142: 69-79.
- Materechera, SA., AR. Dexter, and AM. Alston. 1993. Field evaluation of laboratory techniques for predicting the ability of roots to penetrate strong soil and the influence of roots on water sorptivity. *Plant and Soil* 149: 498-518.

- McGarry, D., B.J. Bridge, B.J. Radford, 2000. Contrasting soil properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semiarid subtropics. *Soil Till. Res.* 53: 105-115.
- McLauchlan, K.K., and S.E. Hobbie, 2004. Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1616-1625.
- Medina-Garcia, C., F. Guevara-Féver, MA. Martinez-Rodriquez, P. Silva-Sáenz, y Ma. A. Chavez-Cabajal. 2000. Estudio florístico en el área de la comunidad indígena de nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana* 52: 5-41.
- Meek, B.D., E.R. Rechel, L.M. Carter, W.R. Detar, and A.L. Urie, 1992. Infiltration rate of a sandy loam soil: effects of traffic, tillage, and plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 908- 913.
- Miller, W.P., H. Frenkel, and K.D. Newman, 1990. Flocculation concentration and sodium/calcium exchange of kaolinitic soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 346-351.
- Molumeli, P.A., V. Espinosa-Hernández, M. Ehsan, S. Benedicto-Valdéz, E. Ojeda-Trejo, V.M. Cetina-Álcala, A. Alderete-Chavez, N. De la Cruz-Landero, and K. Santamaria-Delgado, 2008. Lupines-invaded pine forest and cultivated scrublands in volcanic ash soils in México: Dry-sieved aggregation and instability indices. *International J. Botany* 4 (4): 390-405. ISSN 1811-9700.
- Nizeyimana, E., 1997. A toposequence of soils derived from organic materials in Rwanda: Morphological, chemical and physical properties. *Soil Science*, 162(5): 350-360.
- Nizeyimana, E., T.J. Bicki, and P.A. Agbu, 1997. An assessment of colloidal constituents and clay mineralogy of soils derived from volcanic materials along a toposequence in Rwanda. *Soil Sci.* 162(5): 361-371.
- Officer, S.J., A. Kravchenko, G.A. Bollero, K.A. Sudduth, N.R. Kitchen, W.J. Wiebold, H.L. Palm, and G. Bullock, 2004. Relationships between soil bulk electrical conductivity, and the principal component analysis of topography and soil fertility values. *Plant and Soil*, 258: 260-280.
- Philip, J.R., 1957. Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil sci.* 84: 257-264.

- Poudel, D.D., and L.T. West, 1999. Soil development and fertility characteristics of a volcanic slope in Mindanao, The Philippines. *Soil Sci Soc. Am. J.* 63: 1258-1273.
- Poulenard, J., J. Poswojewski, J.L. Janeau, and J. Collinet, 2001. Effects of tillage and burning on hydrodynamic properties of volcanic ash soil in Ecuadorian páramos. *Catena* 45 : 145-207
- Poulenard, J., J.C. Michel, F.Bartoli, J.M. Portal, and J. Poswojewski, 2004. Water repellency of volcanic soils from Ecuadorian páramo: Effects of water content and characteristics of hydrophobic organic matter. *Euro. J. Soil Sci.* 55: 487-496.
- Pulido, J.S., and G. Bocco, 2003. The traditional farming system of a Mexican indigenous community: The case of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Geoderma.* 111: 249-265.
- Reid, J.B. and M.J. Goss, 1982. Interactions between soil drying due to plant water use and decreases in aggregate stability caused by maize roots. *Journal Soil Sci.* 33: 47-53.
- Robson, M.C., S.M. Fowler, C. Leifert, M. Leitch, D. Robinson, C.A. Watson, and A.M. Litterick, 2002. The agronomic and economic potential of break crops for ley/arable rotations in temperate organic agriculture. *Advances in Agronomy* 77: 369-427.
- Rodríguez-Tapia, S.A., 2005. Genesis and evolution of the clay soils of the eastern foothills of the Tlaloc volcano mountain (Ph.D. thesis, *in spanish*). Colegio de Postgraduados, Department of Soil Science, Montecillo campus, Texcoco, Estado de México.
- Sainju, U., 2006. Carbon and nitrogen pools in soil aggregates separated by dry and wet sieving methods. *Soil Science* 171 (12): 937-949.
- Sainju, U.M., B.P. Singh, and W.H. Whitehead, 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90: 511-518.
- Sanchez-Gonzalez, A., and L. Lopez-Mata, 2003. Classification and arrangement of the vegetation in the northern Sierra Nevada, along an altitudinal gradient. *Anales Instituto Biol. UNAM* 74 (1): 47-71.
- SAS (Statistical Analysis System). Statistical Analysis System Institute, Inc. 2002. Introduction to SAS methods. Version 8.1-(8e). Cary, NC, USA. 117 p.

- Shaver, T.M., G.A. Peterson, L.R. Ahuja, D.G. Westfall, L.A. Sherrod, G. Dunn, 2002. Surface soil physical properties after twelve years of dryland no-till management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1296-1303.
- Shipitalo, M.J., and R. Protz, 1989. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Can. J. Soil Sci.* 67: 445-456.
- Shoji, S., M. Nanzyo, and R.A. Dahlgren, 1993. Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization. *Development in Soil Science*, vol. 21, Elsevier, Amsterdam.
- Shukla, M.K., R. Lal, L.B. Owens, and P. Unkefer, 2003a. Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio. *Soil Sci.* 168 (3): 167-177.
- Six, J., K. Paustian, E.T. Elliott, and C. Combrink, 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- Stern, R., M. Ben-Hur, and I. Shainberg, 1991. Clay mineralogy effects on rain infiltration, seal formation and soil losses. *Soil Sci.* 152: 455-462.
- Swartzendruber, D., and W.L. Hogarth, 1991. Water infiltration into soil in response o ponded water head. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1151-1515.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and liming requirements. p.475-490. In: A. Klute (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical methods*, SSSA book 5, ASA-SSSA, Madison, WI. USA.
- Tisdall and Oades, 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Tufekcioglu, A., J.W. Raich, T.M. Isenhardt, and R.C. Schultz, 1999. Fine root dynamics, coarse root biomass, root distribution, and soil respiration in a multispecies riparian buffer in Central Iowa, USA. *Agroforestry systems* 44: 163-174.
- Ugolini, F.C. and R.A. Dahlgren, 1991. Weathering environments and occurrence of imogolite/allophane in selected Andisols and Spodosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1166-1171.
- Ugolini, F.C., and R.A. Dahlgren, 2002. Soil development in volcanic ash. *Global Environment Research* 6: 1-69.

- Wada, K., 1989. Allophane and imogolite. p.1051-1087. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds). Minerals in soil environments. 2nd ed. SSSAm Book series I, SSSAm, Madison, WI.
- Wangemann, S.G., R.A. Kohl and P.A. Molumeli, 2000. Infiltration and percolation influenced by antecedent soil water content and air entrapment. Trans. of the ASAE 43 (3): 1517-1523.
- Weil, R.R., K.R. Islam, M.A. Stine, J.B. Gruver, and S.E. Samson-Leibig, 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. Am. J. Altern. Agric. 18: 3-17.
- Wright, S.F., J.L. Starr, and I.C. Paltineanu, 1999. Change in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition: Soil Sci. Soc. Am J. 63:1825-1829.
- Wuest, S.B., 2001. Earthworms, infiltration, and tillage relationships in a dryland pea-wheat rotation. Appl. Soil Ecol. 18: 187-192.
- Yunusa, I.A.M., and Newton, P.J. 2003. Plants for amelioration of subsoil constraints and hydrological control: the primer-plant concept. Plant and Soil 257: 261-281.

4.7

APPENDIX

OF

TABLES

Table 4.2: Comparison of means for parameters of oxidizable organic carbon concentration and their indices determined at two soil depths (0-20 and 20-40 cm) in the rootzone of young and mature plants in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

Soil organic carbon parameters	Landuse ecosystems										LSD (p<0.05)
	La Era 2750-2920 m asi TCM					La Canoa 2920-3300 m asi CFM					
	PL	SDL	BRDL	PP	CA	VN	BL	Means			
	<u>0-20 cm soil depth</u>										
TOC, Mg ha ⁻¹	53.512 b	69.410 b	48.92 bc	57.978 b	31.830 c	108.11 a	66.803 b	62.366		21.096	
LC, Mg ha ⁻¹	1.605 bc	2.043 ab	1.918 bc	2.018 ab	1.558 bc	2.577 a	1.383 c	1.872		0.600	
NLC, Mg ha ⁻¹	51.902 b	67.368 b	47.01 bc	55.957 b	30.270 c	105.53 a	65.417 b	60.493		20.993	
LCI, mass fraction	0.032 ab	0.031 ab	0.051 a	0.036ab	0.052 a	0.025 ab	0.021 b	0.035		0.0273	
LI, mass fraction	1.285 a	1.324 a	2.281 a	1.475 a	2.130 a	1.000 a	0.881 a	1.482		1.490	
CPI, mass fraction	0.79 abc	0.84 abc	0.650 bc	0.696 bc	0.485 c	1.000 ab	1.162 a	0.804		0.3713	
CMI, %	64.04 bc	81.08 ab	77.655 b	80.22 ab	62.99 bc	100.00 a	54.313 c	74.329		21.241	
	<u>20-40 cm soil depth</u>										
TOC, Mg ha ⁻¹	35.76 ab	31.03 ab	27.84 ab	32.57 ab	24.628 b	47.318 a	40.933 ab	34.297		21.807	
LC, Mg ha ⁻¹	1.887ab	2.138 ab	1.322 b	2.205 a	1.562 ab	2.167 a	1.300ab	1.797		0.839	
NLC, Mg ha ⁻¹	33.87 ab	28.89 ab	26.52 ab	30.36 ab	23.067 b	45.153 a	39.633 ab	32.500		21.789	
LCI, mass fraction	0.058 ab	0.078 a	0.052 ab	0.074 ab	0.069 ab	0.061 a	0.034 b	0.061		0.041	
LI, mass fraction	1.291 a	1.721a	1.171 a	1.510 a	1.517 a	1.000 a	0.844 a	1.293		1.5743	
CPI, mass fraction	2.194 a	1.660 a	2.595 a	1.63 a	1.735 a	2.000 a	4.090 a	2.272		2.754	
CMI, %	91.21 ab	103.3 ab	62.77 b	105.13 a	79.91 ab	100.0 ab	62.94 b	86.473		41.793	

Means followed by the same letter within the row for an individual parameter are not significantly different at the probability level, $p < 0.05$ and $n = 3$. TOC = total oxidizable organic carbon fraction by $K_2Cr_2O_7$; LC = readily-oxidizable (labile) organic carbon fraction by $KMnO_4$; NLC = less-oxidizable (humified) organic carbon fraction; LCI = liability of organic carbon index; LI = liability index; CPI = carbon pool index; CMI = carbon management index PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-filled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. LSD = least significant difference. MGT = Cropping management practice. CFM = industrial community forest landuse management ecosystem. TCM = rain-fed traditional cultivated-agriculture landuse management ecosystem.

Table 4.3: Comparison of means for parameters of water infiltration and antecedent field water content of the soils before infiltration testing over the rootzone of young and mature plants under seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

Water infiltration parameters	Landuse ecosystems										Means	LSD (p<0.05)
	La Era 2750-2920 m asl TCM					La Canoa 2920-3300 m asl CFM						
	PL	SDL	BRDL	PP	CA	VN	BL					
<u>Young plants</u>												
$i_{5 \text{ min}}$, cm hr ⁻¹	45.78 bc	67.73 bc	102.59 b	30.87 c	28.78 c	251.2 a	22.49 c	78.491	66.659			
$i_{2 \text{ hrs}}$, cm hr ⁻¹	14.96 bc	26.27 bc	32.587 ab	14.35 bc	12.877 c	45.19 a	13.313 c	22.793	18.403			
ZC-5 min, cm	7.577 b	9.283 b	15.683 b	4.617 b	4.150 b	57.27 a	2.637 b	14.460	14.377			
ZC-2 hrs, cm	47.89 bc	77.93 bc	111.93 b	38.30 c	39.91 c	195.5 a	32.84 c	77.752	69.64			
AFWC, g g ⁻¹	0.216 a	0.239 a	0.183 a	0.253 a	0.216 a	0.249 a	0.242 a	0.228	0.137			
<u>Mature plants</u>												
$i_{5 \text{ min}}$, cm hr ⁻¹	169.94 b	127.07 b	170.75 b	95.09 b	43.72 b	419.30 a	32.45 b	151.19	163.8			
$i_{2 \text{ hrs}}$, cm hr ⁻¹	35.97 bc	39.847 abc	43.647 ab	26.007 bc	21.623 c	57.380 a	23.917 bc	35.484	20.326			
ZC-5 min, cm	30.19 b	18.10 b	26.63 b	14.68 b	5.41 b	101.71 a	3.24 b	28.566	53.725			
ZC-2 hrs, cm	149.55 b	131.71 b	162.26 b	93.43 b	60.34 b	320.67 a	47.92 b	137.98	125.03			
AFWC, g g ⁻¹	0.202 a	0.265 a	0.232 a	0.249 a	0.228 a	0.252 a	0.191 a	0.231	0.099			

Means followed by the same letter within the row for an individual parameter are not significantly different at the probability level, $p < 0.05$ and $n = 3$. $i_{5 \text{ min}}$ and $i_{2 \text{ hrs}}$ = the infiltration rate after 5-minutes and 2-hours, respectively, from the start of infiltration testing. ZC-5 min and ZC-2 hrs = cumulative infiltration after 5-minutes and 2-hours, respectively, from the start of infiltration testing. AFWC = antecedent field soil water content before the infiltration test. PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. LSD = least significant difference. MGT = Cropping management practice. CFM = industrial community forest landuse management ecosystem. TCM = rain-fed traditional cultivated-agriculture landuse management ecosystem.

Table 4.4: Comparison of means for parameters of soil water retention properties determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) from seven landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

Soil water retention properties	Landuse ecosystems										Means	LSD (p<0.05)
	La Era					La Canoa						
	2750-2920 m asl					2920-3300 m asl						
	PL	SDL	BRDL	PP	CA	VN	BL					
	<u>0-20 cm soil depth</u>											
SWRC -6 kPa, g g ⁻¹	0.370 b	0.356 b	0.330 b	0.379 b	0.307 b	0.342 b	0.545 a	0.37	0.132			
SWRC -33 kPa, g g ⁻¹	0.32 abc	0.297 abc	0.272 bc	0.33 ab	0.266 c	0.31abc	0.347 a	0.30	0.064			
SWRC -1500 kPa, g g ⁻¹	0.258 a	0.167 bc	0.21abc	0.285 a	0.146 c	0.253 a	0.235 ab	0.22	0.073			
Dwr -6 kPa, cm	7.415 a	7.392 a	7.417 a	7.810 a	7.113 a	7.567 a	8.246 a	7.56	1.977			
Dwr -33 kPa, cm	6.574 a	6.164 ab	6.122 ab	6.899 a	6.16 ab	6.964 a	5.302 b	6.31	1.179			
Dwr -1500 kPa, cm	5.094 bc	3.417 d	4.748 c	5.880 a	3.358 d	5.536 ab	3.548 d	4.51	0.767			
pawc, g g ⁻¹	0.071 b	0.131 a	0.059 b	0.050 b	0.119 a	0.062 b	0.112 a	0.08	0.037			
Dpawc, cm	1.480 b	2.747 a	1.375 b	1.019 b	2.802 a	1.427 b	1.755 b	1.80	0.946			
	<u>20-40 cm soil depth</u>											
SWRC -6 kPa, g g ⁻¹	0.415 b	0.358 bcd	0.303 d	0.41 bc	0.298 d	0.338 cd	0.607 a	0.39	0.075			
SWRC -33 kPa, g g ⁻¹	0.347 a	0.286 abc	0.253 bc	0.30ab	0.251 c	0.29 abc	0.332 a	0.29	0.055			
SWRC -1500 kPa, g g ⁻¹	0.165 a	0.223 a	0.192 a	0.176 a	0.179 a	0.213 a	0.198 a	0.19	0.070			
Dwr -6 kPa, cm	9.369 a	8.289 abc	7.789 bc	8.56 ab	5.917 d	7.020 cd	9.757 a	8.10	1.548			
Dwr -33 kPa, cm	7.044 a	6.630 a	6.494 a	6.40 ab	4.972 c	6.09 abc	5.333 bc	6.13	1.129			
Dwr -1500 kPa, cm	3.700 bc	5.124 a	5.030 ab	3.642 c	3.498 c	4.380 ab	3.133 c	4.07	1.357			
pawc, g g ⁻¹	0.147 a	0.063 c	0.061 c	0.13ab	0.072 c	0.080 bc	0.134 a	0.09	0.050			
Dpawc, cm	3.344 a	1.506 b	1.464 b	2.76 ab	1.474 b	1.716 b	2.200 ab	2.06	1.422			

Means followed by the same letter within the row for an individual parameter are not significantly different at the probability level, $p < 0.05$ and $n = 3$. SWRC = soil-water retention capacity and, Dwr = Depth of soil water retention determined at three suction pressure levels; pawc = mass fraction of plant available water content in the soil; Dpawc = depth of plant available water content. PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-filled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. LSD = least significant difference. MGT = landuse and cropping management practice. CFM = industrial community forest landuse management ecosystem. TCM = rain-fed traditional cultivated-agriculture landuse management ecosystem.

4.8

APPENDIX

OF

FIGURES



Young plants



Mature plants with new biennial sproutings

Lupinus leptophyllus (Schlecht and Cham)



Young plants



Mature plants

Lupinus uncinatus (Schlecht)

Figure 4.1: Young and mature *Lupinus* plants in the high altitudes on the foothill slopes of the Tlaloc volcano in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

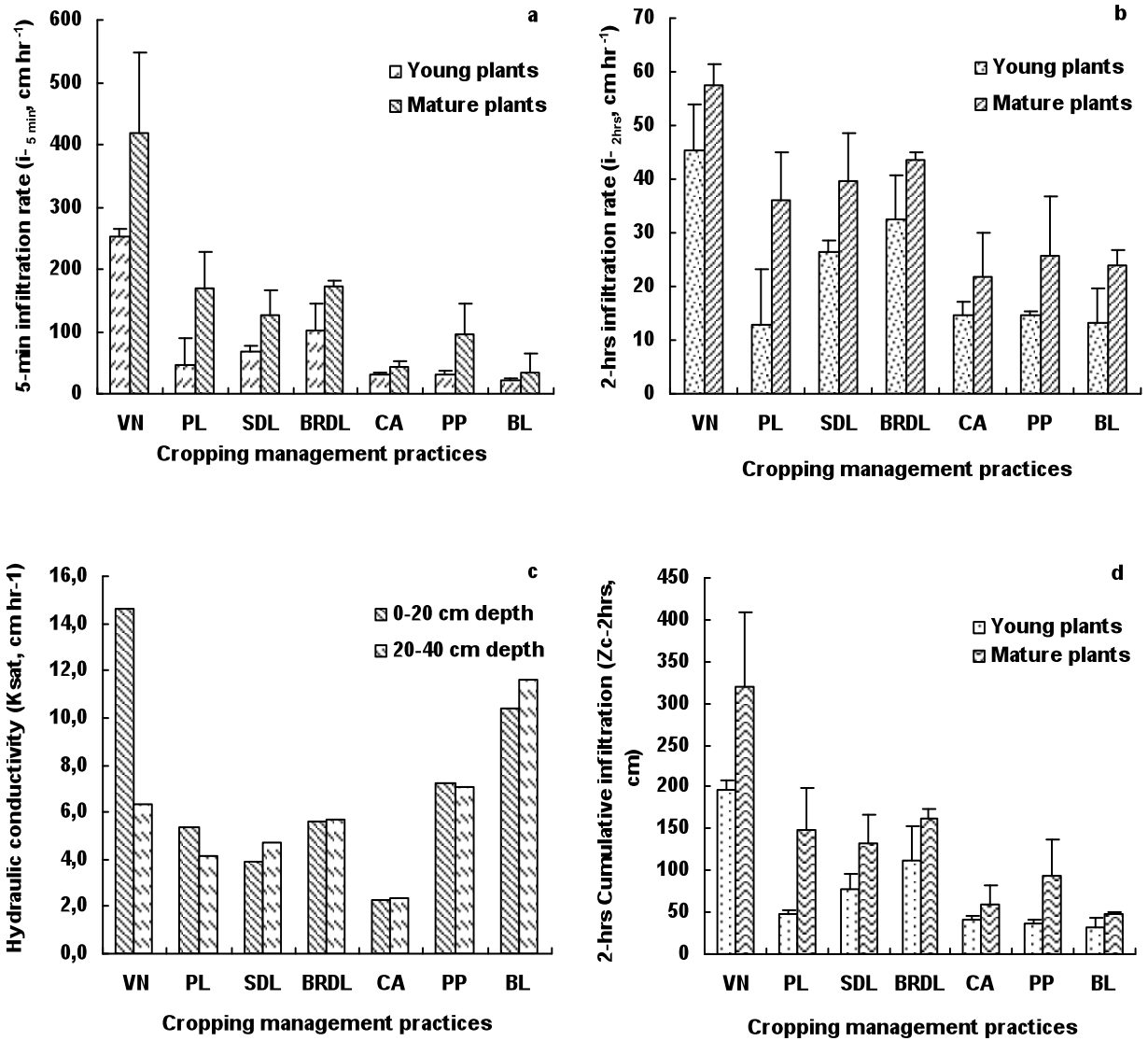


Figure 4.2: Comparison of the five-minutes infiltration rate (a), two-hours infiltration rate (b), saturated hydraulic conductivity (c) and two-hours cumulative infiltration (d) in volcanic ash soils under different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

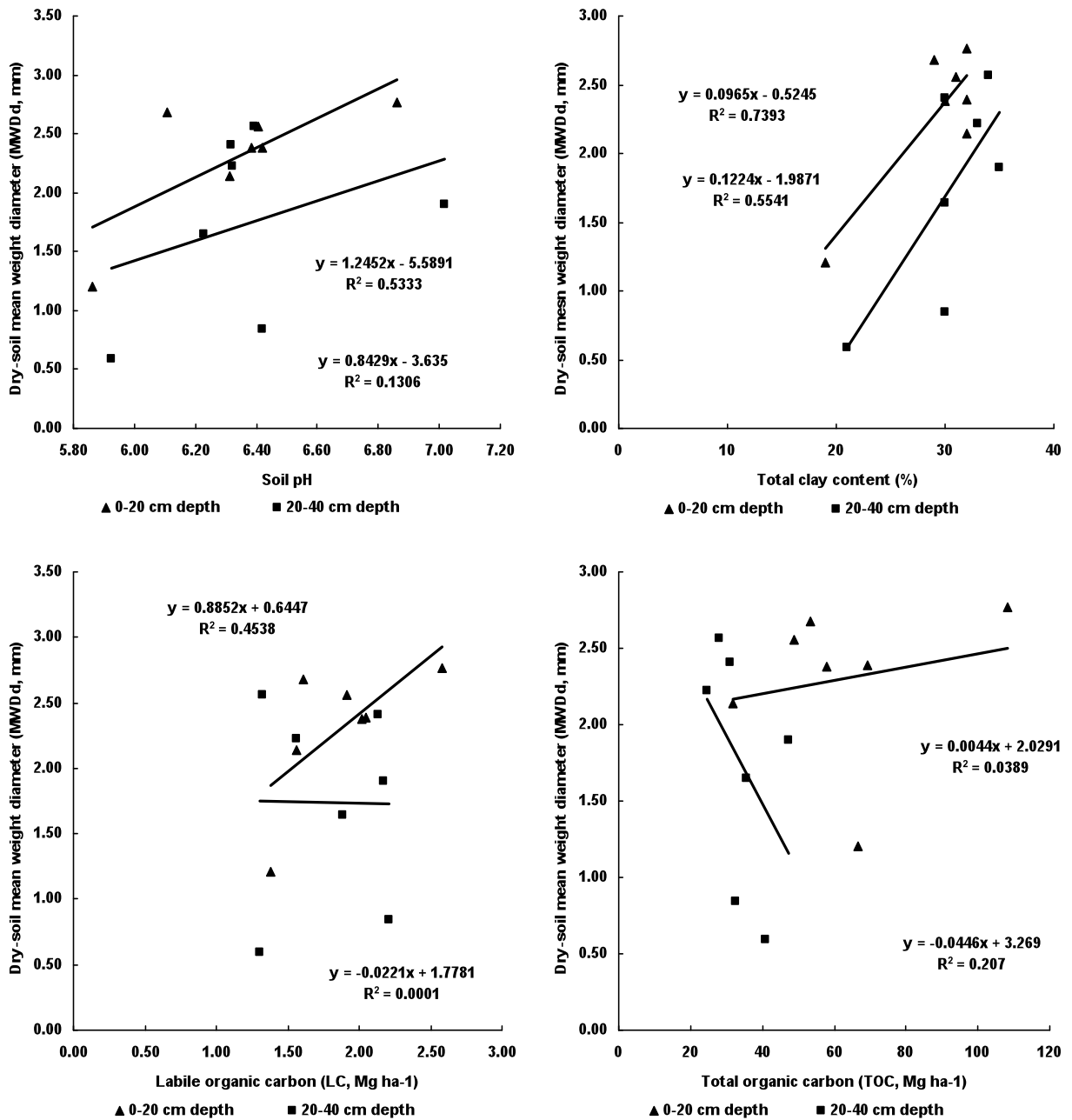


Figure 4.3: Mean weight diameter (MWDd) indices of dry soil aggregate size as function of soil pH (a), total clay content (b), labile organic carbon content (c), and total organic carbon content (d) under different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

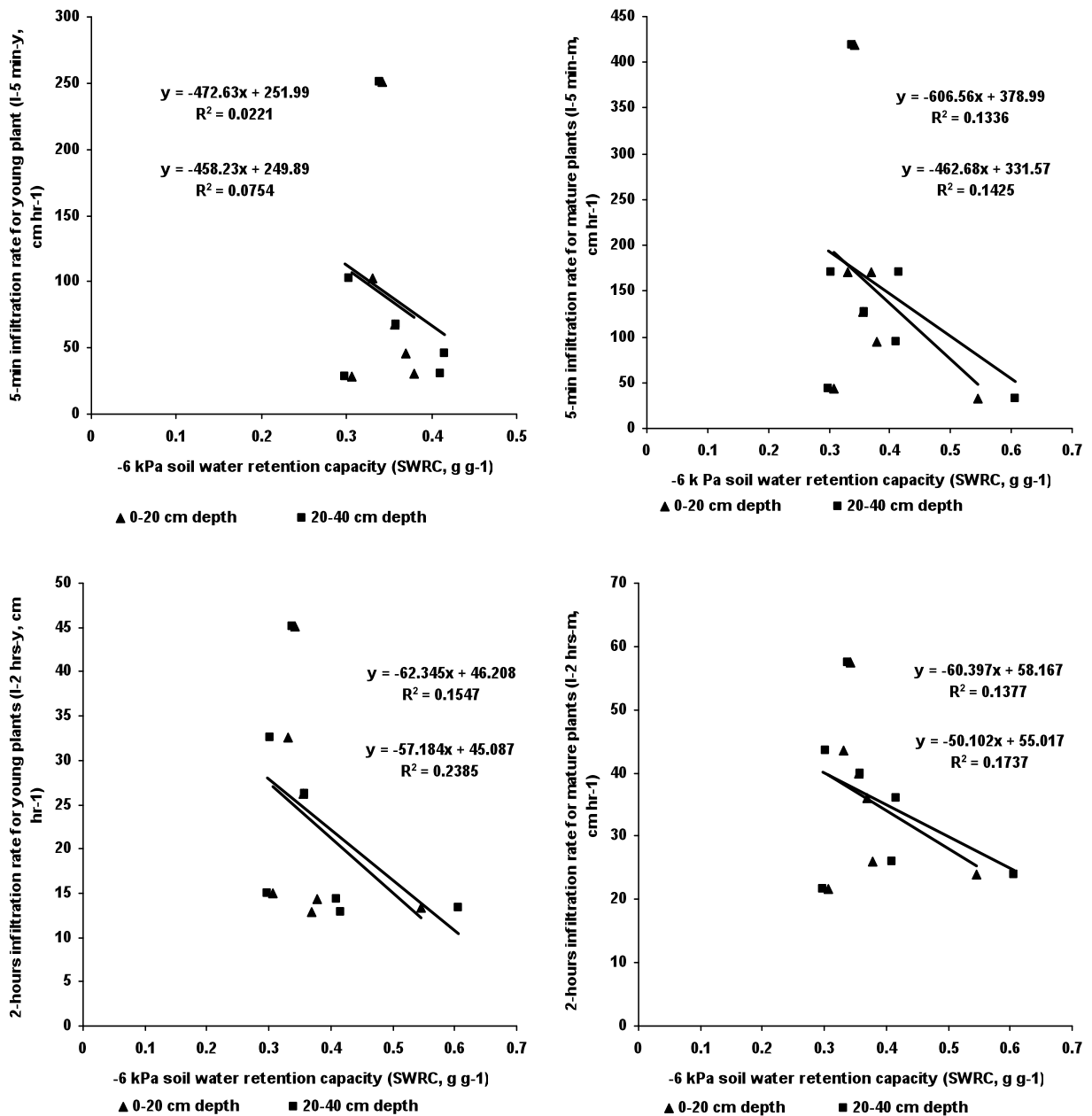


Figure 4.4: Five-minute and two-hour infiltration rates ($i_{-5 \text{ min}}$, a and b; and $i_{-2 \text{ hrs}}$, c and d, respectively) in response to soil-water retention capacity at -6 kPa for the volcanic ash soils under different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

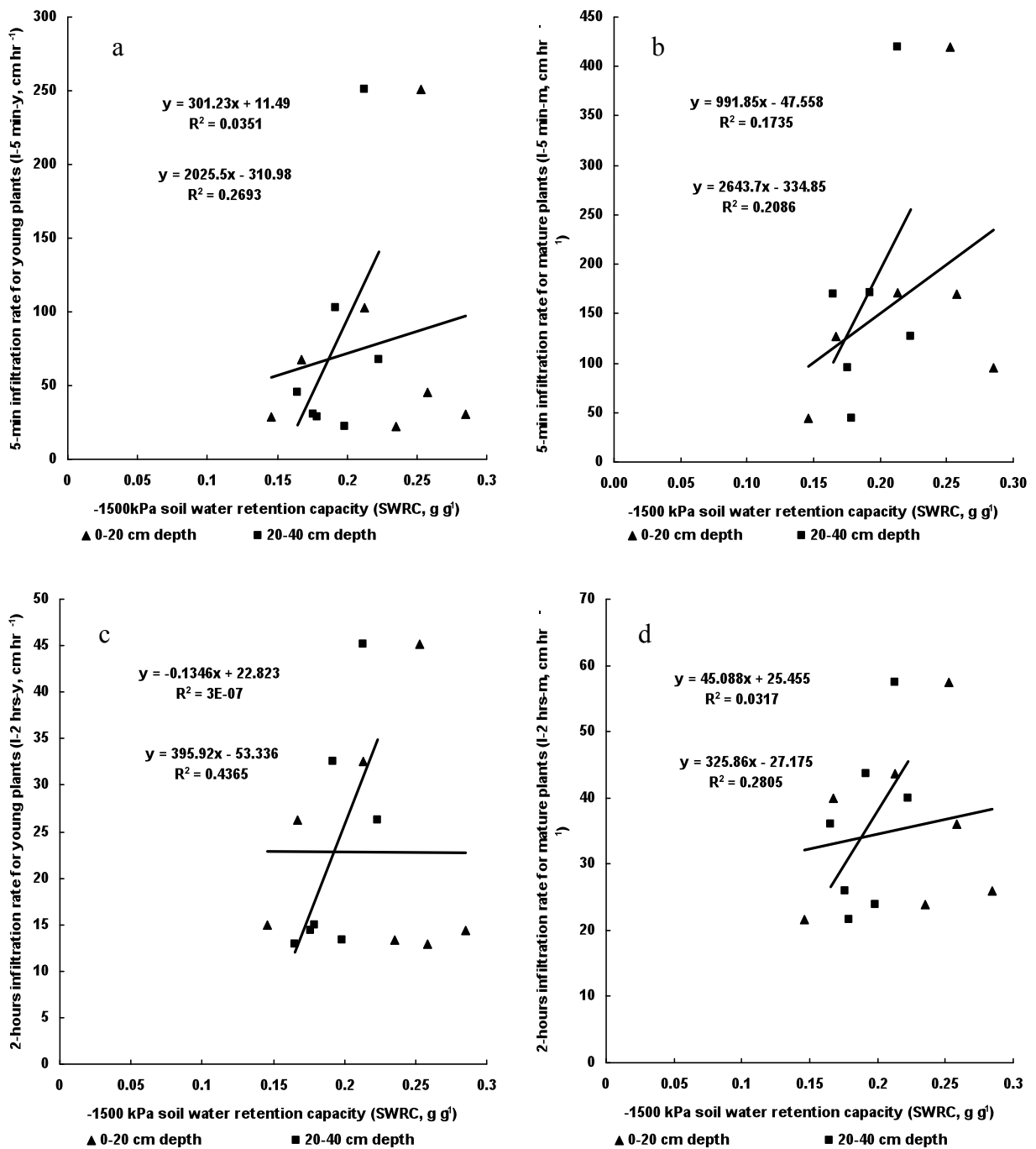


Figure 4.5: Five-minute and two-hour infiltration rates ($i_{-5 \text{ min}}$, a and b; and $i_{-2 \text{ hrs}}$, c and d, respectively) in response to soil-water retention capacity at -1500 kPa for the volcanic ash soils under different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

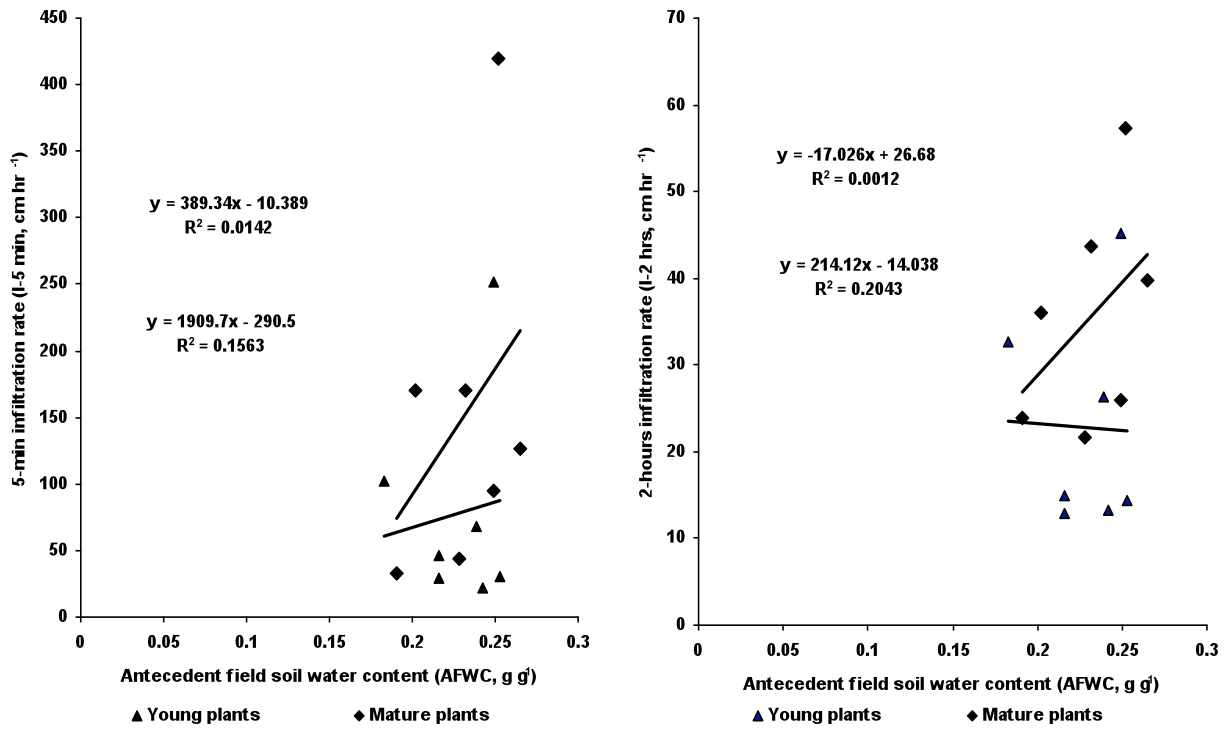


Figure 4.6: Infiltration rates of water after five-minutes (i^{-5 min}, a) and after two-hours (i^{-2 hrs}, b) into volcanic ash soil as a function of antecedent soil-water content (AFWC) for young and mature plants under different cropping management practices in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

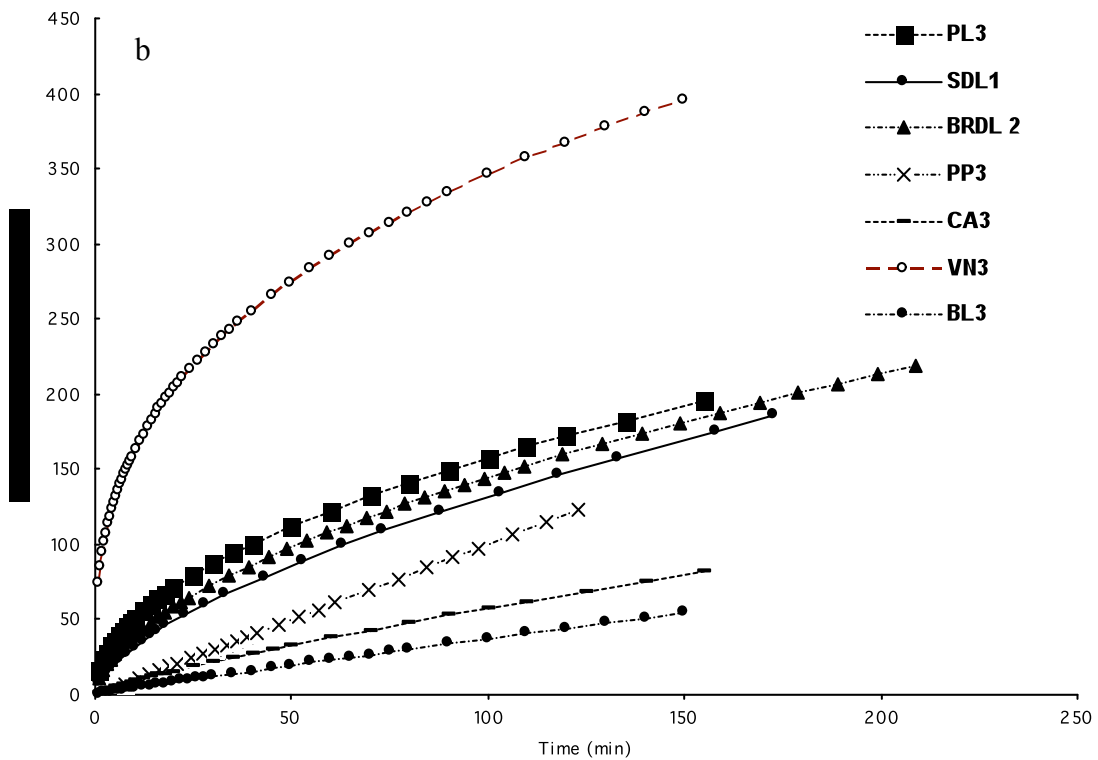
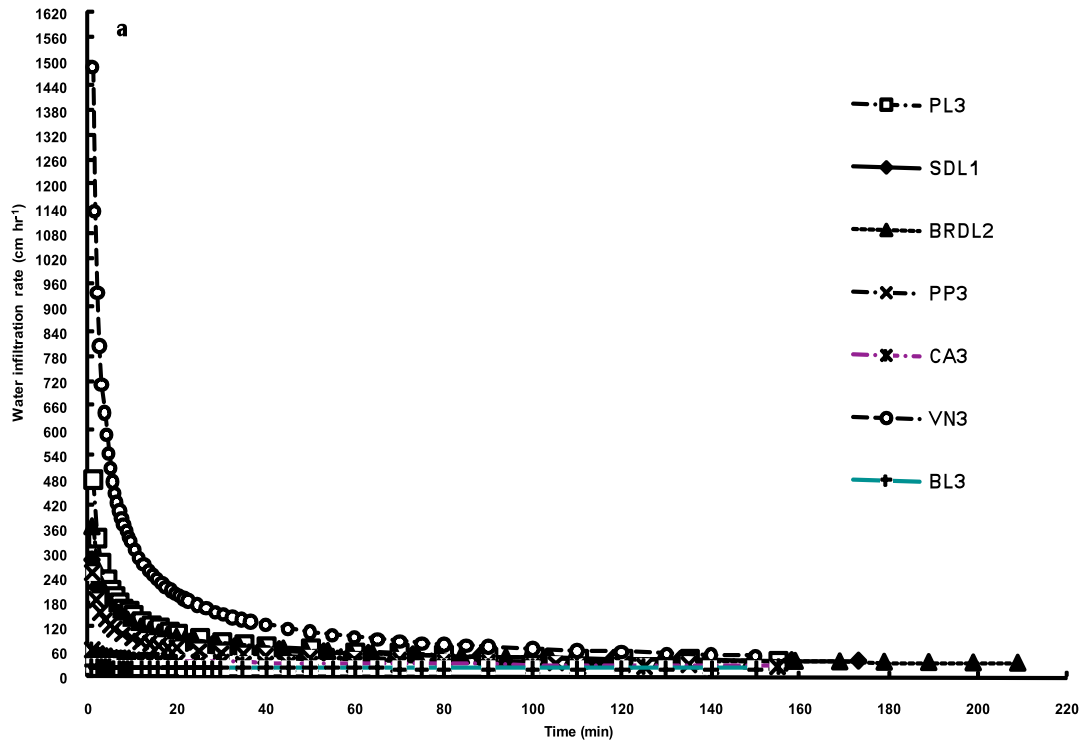


Figure 4.7: Two-hours infiltration rate (i^{-2} hrs, a) and cumulative infiltration depth (Z_c^{-2} hrs, b) of water into a volcanic ash soil for selected sampling plot numbers under various cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

4.9

APPENDIX

OF

TABLES FOR STATISTICAL ANALYSIS

Table 4.1.A: Analysis of variance showing the significance levels for parameters of water infiltration and antecedent field soil water content (AFWC) determined over the rootzone of two plant ages (young and mature) in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

S.V.	df	Water infiltration rate (I-)		Cumulative infiltration (Zc-)		AFWC g g ⁻¹
		I-5 min cm hr ⁻¹	I-2-hrs cm hr ⁻¹	Zc-5-min cm hr ⁻¹	Zc-2-hrs cm hr ⁻¹	
MGT	6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.2612 ^{ns}
Age	1	<0.0001	<0.0001	0.0031	<0.0001	0.8315 ^{ns}
MGT x Age	6	0.0538 ^{ns}	0.5821 ^{ns}	0.1459 ^{ns}	0.1262 ^{ns}	0.5629 ^{ns}
Error	28	2011.697	48.363	195.975	1317.606	0.0018
R²		0.895	0.846	0.840	0.872	0.320
C.V. (%)		39.056	23.867	65.57	33.65	18.688
Means		151.189	28.566	21.513	35.484	0.230

ns = not significant. S.V. = Sources of variance. df = degrees of freedom. C.V. = coefficient of variation. I-5 min and I-2 hrs = initial accelerated and steady-state flow of water infiltration rate after five-minutes and two-hours, respectively, since the start of infiltration test. Ic-5-min and Ic-2-hrs = cumulative water infiltration after five-minutes and two-hours, respectively, since the start of infiltration test. AFWC = antecedent field-soil water content before the infiltration test.

Table 4.2.A: Analysis of variance showing the significance levels for organic carbon, and their quality indices determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (young and mature) from three randomly selected experimental units in seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

S.V.	df	TOC Mg ha ⁻¹	LC Mg ha ⁻¹	NLC Mg ha ⁻¹	LCI (LC/NLC)	LI (LCI-MGT/LCI-Ref)	CPI (TOC-MGT/TOC-Ref)	CMI (CPI*LI*100)
MGT	6	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	0.0641 ^{ns}	0.0252	<.0001
Age	1	0.995 ^{ns}	<.0001	0.850 ^{ns}	0.0002	0.0745 ^{ns}	0.1556 ^{ns}	0.7890 ^{ns}
Depth (Dz)	1	<.0001	0.2183 ^{ns}	<.0001	<.0001	0.3137 ^{ns}	<.0001	0.0036
MGT x Age	6	0.277 ^{ns}	0.0134	0.283 ^{ns}	0.1900 ^{ns}	0.6910 ^{ns}	0.9147 ^{ns}	0.4316 ^{ns}
MGT x Dz	6	<.0001	0.0017	<.0001	0.0159	0.4067 ^{ns}	0.2431 ^{ns}	0.0682 ^{ns}
Age x Dz	1	0.221 ^{ns}	0.4044 ^{ns}	0.213 ^{ns}	0.0060	0.6588 ^{ns}	0.1906 ^{ns}	0.1742 ^{ns}
Error	62	138.846	0.076	138.051	0.0003	0.7276	1.223	337.484
R²		0.824	0.796	0.822	0.677	0.306	0.518	0.555
C.V. (%)		24.380	15.018	25.270	34.520	61.479	71.908	22.849
Means		48.331	1.835	46.496	0.048	1.387	1.538	80.401

ns = no significant differences. S.V. = Sources of variance. TOC = total oxidizable organic carbon fraction by K₂CrO₄; LC = readily-oxidizable (labile) organic carbon fraction by KMnO₄; NLC = less-oxidizable (humified) organic carbon fraction; LCI = labile carbon index; potential labile carbon release rate from the humified, less-hydrolysable, less-oxidizable organic carbon pool; LI = lability index, the labile carbon reserves in relation to those for the reference soil; CPI = carbon pool index refers to total organic carbon reserves in relation to those for the reference soil, CMI = carbon management index, an overall proportion of organic carbon reserves; MGT = Cropping management practice.

Table 4.3.A: Analysis of variance showing the significance levels for saturated hydraulic conductivity (Ksat), electrical conductivity (EC) and mean weight diameter (MWD), pH, and Bulk density (ρ) determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm) under two plant ages (young and mature) from three randomly selected experimental units in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.

S.V.	df	pb Mg m ⁻³	pH	Ksat cm hr ⁻¹	EC dS m ⁻¹	MWDd mm
Cropping management practice						
(MGT)	6	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Plant (Age)	1	0.5851 ^{ns}	<0.0003	0.7551 ^{ns}	0.0053	0.7004 ^{ns}
Soil depth (Dz)	1	0.0347	0.1686 ^{ns}	0.0472	<0.0001	<0.0001
MGT x Age	6	0.8129 ^{ns}	<0.0001	0.6710 ^{ns}	0.2541 ^{ns}	0.0763 ^{ns}
MGT x Dz	6	0.1306 ^{ns}	0.3093 ^{ns}	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Age x Dz	1	0.4263 ^{ns}	0.8058 ^{ns}	0.5866 ^{ns}	0.5199 ^{ns}	0.2871 ^{ns}
Error	62	0.0049	0.015	5.901	0.0068	0.1393
R²		0.895	0.894	0.735	0.958	0.821
C.V. (%)		7.386	1.95	37.119	14.99	18.474
Means		0.950	6.36	6.545	0.551	2.0199

EC = electrical conductivity, Ksat = saturated hydraulic conductivity, MWDd = dry-sieved soil mean weight diameter; pb = soil bulk density. MGT = Cropping management practice.

Table 4.4 A: Analysis of variance showing the significance levels for the mass-fractions of soil water retention capacity (SWRC) and depth of water retention (Dwr) obtained at three suction levels (-6, -33, and -1500 kPa), mass-fractions of plant available water content (θ_{pawc}), and depth of plant available water content (Dpawc) determined from two soil depths (Dz: 0-20 and 20-40 cm) under two plant ages (Age: young and mature) from three randomly selected experimental units within each of the seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of México, México.

S.V.	df	Soil water retention capacity (SWRC)			Depth of soil water retention (Dwr)			θ_{pawc} g g ⁻¹	Dpawc cm
		-6 kPa g g ⁻¹	-33 kPa g g ⁻¹	-1500 kPa g g ⁻¹	-6 kPa cm	-33 kPa cm	-1500 kPa cm		
MGT	6	<0.0001	<0.0001	0.0010	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0015
Age	1	0.0613 ^{ns}	0.8668 ^{ns}	0.2115 ^{ns}	0.0594 ^{ns}	0.7499 ^{ns}	0.0044	0.0127	0.0419
Depth (Dz)	1	0.2322 ^{ns}	0.0178	0.0011	0.0123	0.2318 ^{ns}	<0.0001	0.0028	0.0413
MGT x Age	6	0.0228	0.6360 ^{ns}	0.7145 ^{ns}	0.2559 ^{ns}	0.6697 ^{ns}	<0.0001	<0.0001	0.0138
MGT x Dz	6	0.3996 ^{ns}	0.9975 ^{ns}	<0.0001	0.0017	0.0083	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Age x Dz	1	0.1085 ^{ns}	0.4909 ^{ns}	0.2337 ^{ns}	0.3162 ^{ns}	0.7827 ^{ns}	0.0035	<0.0001	0.0064
Error	62	0.003	0.0011	0.0016	0.907	0.433	0.232	0.00031	0.341
R²		0.794	0.534	0.579	0.605	0.557	0.845	0.857	0.698
C.V. (%)		14.18	11.25	19.34	12.16	10.57	30.22	19.101	30.216
Means		0.383	0.300	0.207	7.833	6.225	4.292	0.092	1.933

ns = not significant. S.V. = Sources of variance. df = degrees of freedom. SWRC = soil water retention capacity; Dwr = depth of soil water retention; θ_{pawc} = mass fraction of plant available water content, Dpawc = depth of plant available water content. MGT = Cropping management practice.

Table 4.5.A: Comparison of the overall means for the parameters of water transmission properties measured from infiltration testing in the field for two plant ages (young and mature) in seven different landuse and cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, State of Mexico, Mexico.

Treatment factors	Water infiltration rate (I-)			Cumulative infiltration (Ic-)		AFWC g g^{-1}
	$i_{-5 \text{ min}}^{-1}$ cm hr ⁻¹	$i_{-2 \text{ hrs}}^{-1}$ cm hr ⁻¹		ZC-5-min cm	ZC-2-hrs cm	
Management practices (MGT) :						
PL	107.86 bc	18.883		24.422 cd	98.72 bc	0.209 a
SDL	97.40 bc	13.692 b		33.060 bc	104.82 bc	0.252 a
BRDL	136.67 b	21.157 b		38.117 b	137.09 b	0.208
PP	62.98 bc	9.647 b		20.178 d	65.87 c	0.251 a
CA	36.25 bc	4.780 b		18.292 d	50.13 c	0.222 a
VN	335.26 a	79.494 a		51.285 a	258.06 a	0.251 a
BL	27.47 c	2.938 b		18.615	40.38 c	0.217 a
LSD(p<0.05)	82.144	25.833		12.736	66.477	0.079
Plant (Age):						
Young	78.49 b	14.460 b		22.792 b	77.75 b	0.229 a
Mature	151.19 a	28.566 a		35.483 a	137.98 a	0.231 a
LSD(p<0.05)	28.354	8.917		4.396	22.946	0.027
Overall means	114.840	29.138		21.513	107.868	0.230

Means with the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$ and $n = 3$. AFWC = Antecedent field water content; PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. MGT = Cropping management practice. LSD = least significant difference.

Table 4.6.A: Comparison of means for different parameters of soil organic carbon fractions and for the indices of carbon sustainability determined at two soil depths under two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.

Treatment factors	TOC Mg ha ⁻¹	LC Mg ha ⁻¹	NLC Mg ha ⁻¹	LCI (LC/NLC _{NL})	LI (LCI-MGT/LCI-Ref)	CPI (TOC-MGT/TOC-Ref)	CMI (CPI*LI*100)
Management practices (MGT) :							
PL	44.637 bc	1.746 b	42.888 bc	0.045 ab	1.288 a	1.495 ab	77.624 abc
SDL	50.219 bc	2.091 a	48.131 bc	0.055 a	1.522 a	1.251 ab	92.212 ab
BRDL	38.381cd	1.620 bc	36.762 cd	0.051 a	1.726 a	1.622 ab	70.213 bc
PP	45.273 bc	2.112 a	43.158 bc	0.055 a	1.492 a	1.163 b	92.676 ab
CA	28.229 d	1.560 bc	26.668 d	0.060 a	1.824 a	1.110 b	71.452 bc
VN	77.712 a	2.372 a	75.343 a	0.043 ab	1.000 a	1.500 b	100.000 a
BL	53.868 b	1.342 c	52.525 b	0.0276 b	0.862 a	2.626 a	58.628 c
LSD(p<0.05)	14.659	0.3427	14.617	0.021	1.061	1.376	22.854
Plant age (Age):							
Young	48.340 a	2.086 a	46.253 a	0.055 a	1.219 a	1.712 a	79.862 a
Mature	48.323 a	1.583 b	46.740 a	0.041 b	1.556 a	1.365 a	80.939 a
LSD(p<0.05)	5.140	0.120	5.125	0.007	0.372	0.483	8.0138
Soil depth (Dz):							
0-20 cm	62.366 a	1.872 a	60.493 a	0.035 b	1.482 a	0.804 b	74.329 b
20-40 cm	34.297 b	1.797 a	32.500 b	0.061 a	1.293 a	2.272 a	86.473 a
LSD(p<0.05)	5.140	0.120	5.125	0.007	0.372	0.483	8.014
Overall means	48.331	1.835	46.496	0.048	1.387	1.538	80.401

Means for an individual variable with the same letters within a column are not significantly different at p<0.05 and n = 3. TOC = total oxidizable organic carbon fraction by K₂CrO₄; LC = readily-oxidizable (labile) organic carbon fraction by KMnO₄; NLC = less-oxidizable (humified) organic carbon fraction; LCI = labile carbon index; LI = lability index; CPI = carbon pool index; CMI = carbon management index; PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. MGT = cropping management practice. LSD = least significant difference.

Table 4.7 A: Comparison of means for soil bulk density (pb), soil pH, electrical conductivity (EC), saturated hydraulic conductivity (Ksat), mean weight diameter (MWD) determined at two soil depths (0-20 cm and 20-40 cm depth) from two plant ages (young and mature) in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.

Treatment factors	pb Mg m ⁻³	pH	EC dS m ⁻¹	Ksat cm hr ⁻¹	MWD mm
Management practices (MGT):					
PL	0.970 bc	6.169 c	0.393 b	4.721 bc	2.160 a
SDL	1.026 b	6.349 b	0.393 b	4.280 bc	2.396 a
BRDL	1.022 b	6.402 b	0.263 c	5.638 b	2.560 a
PP	1.022 b	6.420 b	0.980 a	7.262 b	1.610 b
CA	1.152 a	6.317 bc	0.427 b	2.324 c	2.181 a
VN	0.896 c	6.940 a	1.053 a	10.581 a	2.332 a
BL	0.563 d	5.893 d	0.348 bc	11.006 a	0.899 c
LSD(p<0.05)	0.087	0.154	0.103	3.022	0.464
Plant age (Age):					
Young	0.946 a	6.304 b	0.577 a	6.462 a	2.036 a
Mature	0.954 a	6.408 a	0.525 b	6.628 a	2.004 a
LSD(p<0.05)	0.031	0.054	0.036	1.060	0.163
Soil depth (Dz):					
0-20 cm	0.934 b	6.337 a	0.609 a	7.081 a	2.302 a
20-40 cm	0.967 a	6.375 a	0.493 b	6.008 b	1.738 b
LSD(p<0.05)	0.031	0.054	0.036	1.060	0.163
Overall means	0.950	6.337	0.609	6.545	2.020

Means for an individual variable with the same letters within a column are not significantly different at p<0.05 and n = 3. EC = electrical conductivity. Ksat = saturated hydraulic conductivity, pb = soil bulk density, MWD = mean weight diameter. PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. LSD = least significant difference. MGT = Cropping management practice.

Table 4.8 A: Comparison of the overall means in combined analysis form for mass fraction of soil water retention capacity (SWRC) and depth of water retention (Dwr) determined at three suction levels for near-saturation, field capacity and permanent wilting point (-6, -33 and -1500 kPa, respectively), mass fraction of plant available water content (θ_{pawc}) and depth of available water content (Dpawc) determined at two soil depths under two plant ages in seven different cropping management practices (MGT) in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México.

Treatment factors	Soil water retention capacity (SWRC)			Depth of soil water retention (Dwr)			θ_{pawc} g g ⁻¹	Dpawc cm
	-6 kPa g g ⁻¹	-33 kPa g g ⁻¹	-1500 kPa g g ⁻¹	-6 kPa cm	-33 kPa cm	-1500 kPa cm		
Management practices (MGT) :								
PL	0.393 b	0.320 ab	0.212 ab	8.392 ab	6.809 a	4.397 ab	0.109 ab	2.412 a
SDL	0.357 bc	0.291 bcd	0.195 ab	7.841 ab	6.397 a	4.270 b	0.097 b	2.127 ab
BRDL	0.316 c	0.262 cd	0.203 ab	7.603 bc	6.308 ab	4.889 a	0.060 d	1.419 b
PP	0.395 b	0.321 ab	0.231 a	8.189 ab	6.650 a	4.761 ab	0.090 bc	1.889 ab
CA	0.302 c	0.258 d	0.162 b	6.515 c	5.566 bc	3.428 c	0.096 b	2.138 ab
VN	0.340 bc	0.304 abc	0.233 a	7.293 bc	6.530 a	4.958 a	0.071 cd	1.571 b
BL	0.576 a	0.340 a	0.217 a	9.001	5.317 c	3.340 c	0.123 a	1.977 ab
LSD(p<0.05)	0.068	0.042	0.050	1.185	0.818	0.599	0.0219	0.727
Plant (Age):								
Young	0.371 a	0.299 a	0.202 a	7.634 a	6.202 a	4.137 b	0.097 a	2.066 a
Mature	0.394 a	0.300 a	0.213 a	8.033 a	6.248 a	4.447 a	0.087 b	1.801 b
LSD(p<0.05)	0.024	0.015	0.018	0.415	0.287	0.210	0.008	0.255
Soil depth (Dz):								
0-20 cm	0.376 a	0.308 a	0.222 a	7.566 b	6.312 a	4.512 a	0.086 b	1.801 b
20-40 cm	0.390 a	0.291 b	0.192 b	8.101 a	6.139 a	4.072 b	0.098 a	2.066 a
LSD(p<0.05)	0.024	0.015	0.018	0.415	0.287	0.210	0.008	0.255
Overall means	0.383	0.300	0.207	7.833	6.225	4.292	0.0922	1.933

Means with the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$ and $n = 3$. PL = lupines invaded meadows; SDL = lupines invaded fallows; BRDL = freshly-tilled lupines invaded fallows; PP = planted grass pastures; CA = intensive annual cultivations; VN = natural oak forest ecosystem; BL = lupines invaded disturbed pine forest plantations. MGT = Cropping management practice. LSD = least significant difference.

CHAPTER V

5.0. GENERAL DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

5.1 General discussion

In the present study, the ability of a relatively dry soil to resist mechanical stress by tillage activity was simulated by dry-sieving method after air-drying the soil sample under the shade in the warehouse. For the soils from the TCM and VN ecosystems, similar mean weight diameter (MWDd) indices at 0-20 cm soil depth corresponded with their similar total clay content, and most likely with similar kind of clay mineral composition, at 0-20 cm depth. By contrast, greater MWDd indices at 20-40 cm depth for the low-TOC input CA soils than for the high-TOC input VN soils could indicate that the subsurface horizons of volcanic ash soil enriched with oxides and amorphous clay can bind large-macroaggregates without accumulating organic matter. The two main classes of dry-sieved soil aggregate size distribution (ASDd) comprised of microaggregates (MicAg) with diameters less than 0.25 mm, and macroaggregates (Mag) with aggregate diameters ranging from 0.25 mm to 11 mm. Whereas the MicAg (<0.25 mm) and small-macroaggregate (SmMag, 0.25-2.00 mm) size classes were mostly prominent in the subsurface soil layers, the medium macroaggregate (MeMag, 2.00-4.76 mm) and large-macroaggregate (LaMag, 4.76-11.5 mm) size classes were more abundant in the surface soil layers.

The lower amount of MicAg corresponds to a higher value of the dry soil mean weight diameter (MWDd), as an index of the stability of the aggregates, and consequently resulting in a lower value of macroaggregate instability index (CoES). The average amount of MicAg decreased in the order from the BL > PP > CA > PL > VN > BRDL = SDL, indicating that the planted grass meadows (PP) and pine forest plantations may play an important role in increasing MicAg than *Lupinus* invaded fallows and meadows. However, following long-term cultivation of previously forested lands, total organic carbon (TOC) can be lost rapidly as a result of enhanced organic matter decomposition by microorganisms. Positive relationship between MicAg and total organic carbon

(TOC), while, on the other hand, the increasing labile organic carbon (LC) and total clay content decreases the amount of MicAg supported this, suggesting that TOC may be stabilized for a relatively long-term within microaggregates formed in planted grass and forested lands.

The mean MWDd indices at 0-20 cm depth ranged within the MeMag size class for all the soils from the TCM and VN ecosystems. Interestingly, the MWDd indices at 20-40 cm depth for the SDL and BRDL soils also corresponded within the 2-00-4.76 mm size class, and to a similar extent as for the CA soil with a very-low-TOC input level than for the SDL and BRDL soils with a low-TOC input level. This suggests that the formation of MeMag under very-low TOC input level for the CA soil occurred through the mineral x mineral interactions between the clay fractions and oxides without significant accumulation of organic matter. The SmMag increased with increasing LC, while decreased with increasing TOC, and the amount of SmMag was the highest for the CA soil at both depths, but the lowest for the PL soil at 0-20 cm depth and for the BL soil at 20-40 cm depth. The amount of LaMag at both depths declined in response to the increases in both organic carbon fractions.

The increases in MWDd indices of stable aggregate size and MeMag were correlated positively with total clay content, labile organic carbon (LC) and soil pH at both soil depths, while they were positively correlated with total organic carbon (TOC) only at 0-20 cm depth. The best relationship was between MeMag and LC ($r^2 = 0.598$) than between TOC ($r^2 = 0.261$) at 0-20 cm depth, and the absolute values of the MWDd indices followed the same pattern. This meant that the formation of large amount of MeMag may physically protect LC and TOC fractions mainly at 0-20 cm depth from decomposition, although the mechanisms with which these carbon fractions were protected are unclear.

A closer association between the two soil organic matter fractions and the MeMag and MWDd at 0-20 cm depth than at 20-40 cm depth, was likely because, soil organic carbon was more sensitive to the prevalent 2:1-type clay mineral components at 0-20 cm depth, rather than to the large amount of pH-dependent 1:1-halloysite, allophanic

clay materials and Al/Fe oxides dominating at 20-40 cm depth. Additionally, because the slopes of the relationships were greater for LC than for TOC, the differences between measured amounts of MeMag and sizes of stable macroaggregates (MWDD) were increased rapidly as with increased LC rather than with increased TOC. The higher mean LC at 0-20 cm depth for the SDL soil than for the CA soil implies that, in annually cultivated lands (CA), the physical disturbance by tillage reduced LC, and cessation of tillage under *Lupinus* invasion promoted the increases in LC during the long-term fallow cycles.

Increased MWDD led to increased depth of water retention at both field capacity and permanent wilting point (Dwr -33 and -1500 kPa). As LC and TOC increased, the Dwr -33 kPa increased linearly with both LC and TOC at both depths. By contrast, however, Dwr -1500 kPa increased sharply at both depths as LC accumulates in soils, while an increase in Dwr -1500 kPa occurred as TOC increased only at 0-20 cm depth. This implies that Dwr -1500 kPa increased in surface soil layers where labile carbon (LC) accumulates in MeMag, since a greater increase in MeMag was observed with increasing LC at 0-20 cm depth. The higher depth of plant available water content (Dpawc) at 0-20 cm depth for the SDL soil was likely a result of greater capacity for LC under *Lupinus* invasion to interact with total clay constituents, and even to a greater extent than for the VN soil. This conclusion was supported by a positive relationship between LC and Dpawc. The depth of water retention at permanent wilting point (Dwr -1500 kPa) increased with increasing TOC at 0-20 cm depth only, while it increased with increasing LC at both depths possibly because increasing total clay content led to increased LC, which in turn, was positively correlated with MWDD.

The similarly lower CoES-TMag at 0-20 cm depth for the soils from the TCM and VN ecosystems than for those from the CFM ecosystem for the BL soil was consistent with the larger amount of total clay content for the former ecosystems.. The lower CoES-SmMag, CoES-MeMag and CoES-LaMag at 0-20 cm depth for the SDL soil than for the BL soil, was likely caused by large amount of labile organic carbon (LC) in SDL soil than in BL soil. On the other hand, the higher CoES-SmMag at 20-40 cm depth for the BRDL, CA and VN soils than for the SDL soil was probably a result of large total clay

content, since total clay content may be caused by a rise in pH values. It is possible that a larger total clay content at 20-40 cm depth for the BRDL, CA and VN soils than for the SDL soil led to a significant reduction in CoES-MeMag. The similarly lower CoES-MeMag at 0-20 cm depth for the SDL, BRDL and VN soils than for the PL, PP and BL soils demonstrated that *Lupinus* invaded fallows and planted grasses have the ability to enhance positive binding mechanisms for stabilizing MeMag through the roots-derived biological agents. The lower CoES-SmMag and CoES-LaMag at 0-20 cm depth for the SDL soil than for the PL, BRDL PP and VN soils is indicative of the successful sustainability of lupinus invaded fallows. The CoES-TMag, CoES-SmMag, CoES-MeMag and CoES-LaMag were correlated negatively with total clay content, soil pH and LC, while it was correlated positively with TOC.

The water transmission properties were influenced by antecedent soil water content. The initial water infiltration after 5-minutes ($i_{-5\text{-min}}$) and equilibrium steady-state water infiltration after 2-hours ($i_{-2\text{ hrs}}$) were correlated negatively with wetter initial soil water retention at near-saturated conditions ($D_{wr} -6\text{ kPa}$), while they were positively correlated with dryer initial soil water retention at field capacity and permanent wilting point ($D_{wr} -33\text{ kPa}$ and -1500 kPa), indicating that wetter antecedent soil water conditions may decrease the amount or mass of the initially stable macroaggregates (MWDd). It seems that, the initially wetter aggregates can disintegrate more rapidly than dryer aggregates upon wetting. Perhaps the strong dipole molecules of water attack organic and mineral bonds over a longer period (hours), rather than a few minutes, may cause dispersion of clays, resulting in soil aggregate disintegration process which may be as time dependent as the infiltration rate. Since no significant differences were observed in cumulative infiltration ($Z_{c-5\text{ min}}$) at both depths among the soils from the TCM ecosystem, then the cumulative infiltration ($Z_{c-2\text{ hrs}}$) seemed to be a suitable parameter to distinguish significant differences between these soils. Although the PL and SDL soils had a higher-TOC input level at 0-20 cm depth than the BRDL soil, the higher $i_{-5\text{ min}}$, $i_{-2\text{ hrs}}$, and $Z_{c-2\text{ hrs}}$ at 0-20 cm depth for the BRDL soil than for the PL and SDL soils could indicate that the quality, rather than the a large amount or mass, of organic carbon from freshly incorporated *Lupinus* plant residues and roots death may be important for stimulating microbial activity, which in turn, could form more stable

aggregates by encrusting mucilage between soil mineral surfaces and creating a high volume of flow-active open bio-macropores.

By contrast, the saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), which measured the percolation rates of water through soil at saturated initial conditions, tended to increase as depth of antecedent soil-water retention (D_{wr}) increases. The K_{sat} and D_{wr} -1500 kPa were correlated positively at 0-20 cm depth, but were correlated negatively at 20-40 cm depth. However, it had not been demonstrated that, an increase in D_{wr} -1500 kPa for the soils obtained at 20-40 cm depth would cause a decline in K_{sat} values. The D_{wr} -1500 kPa at 0-20 cm depth increased as TOC increases, except at 20-40 cm depth. The ecosystem with high TOC input level at 0-20 cm depth for the VN soil led to higher D_{wr} -1500 kPa and higher K_{sat} values than for the CA soil. The result showed that D_{wr} -1500 kPa at both soil depths increased as LC fraction increases, while D_{wr} -1500 kPa declined only for the soil at 20-40 cm depth as TOC fraction increases. It could be noticeable that this pattern warrants further investigation, as it implies that, different organic fractions may be partitioned by changes in clay mineral composition with soil depth. For the soils studied, any wetter antecedent water content, as in the case of D_{wr} -6 kPa, would always result in higher percolation rates. Additionally, the tendency for K_{sat} is opposite to that for $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$ as related to antecedent soil water content. Furthermore, increasing D_{wr} -1500 kPa led to increases in K_{sat} values only for soils at 0-20 cm depth with higher TOC and EC levels than at 20-40 cm depth with lower TOC and EC levels. This could be the possible explanation for the lower K_{sat} values at both depths for the CA soil, as compared to those for other soils within the TCM ecosystem. It can be concluded that very-low TOC input level (showing depletion of organic matter), higher p_b values, and the potential plough-mixing of a subsoil containing the massive structural units at 20-40 cm depth.

Whereas the carbon management indices (CMI) for the PL and CA soils were similar, the higher labile carbon indices (LCI) for the CA and BRDL soils than for the PL soil implies that, upon tillage, the relatively large proportion of the labile carbon fraction (LC) in the non-labile carbon fraction (NLC) may be lost through microbial decomposition. The conversion from native forest ecosystems to intensive cultivation has led to a dramatic depletion of the total organic carbon (TOC). The higher LCI values at 0-20 cm

depth for the CA and BRDL soils than for the PL, SDL, and VN soils indicates that greater proportion of LC losses from the NLC fraction were associated with tillage, irrespective of time since the commencement of cultivated agricultural activity. Note the higher LCI values at 0-20 cm depth for the CA soil than for the BRDL soil, with the corresponding lower total carbon pool indices (CPI) at this depth for the CA soils than for the PL and SDL soils, even to a lower extent than for the BRDL soils, accounted for >75% loss of the TOC pool size, which was ascribed to the long-term annual cultivations.

In the studied soils, an increase in soil pH from a lower moderate acid to neutral level led to increased total clay content, with the corresponding increase in MWDd indices. Total organic carbon (TOC) was higher at 0-20 cm depth in all the cropping management practices studied.

The higher amounts of medium macroaggregate (MeMag, 2.00-4.76 mm), with the corresponding MWDd, were observed at 0-20 cm than at 20-40 cm depth, probably because of the positive interaction between higher total organic carbon (TOC) and the predominant presence of crystalline 2:1-type clay minerals for all the soils studied. It is possible Additionally, raising soil pH from the lower-moderate acid for the BL soil to neutral for the VN soil might have enhanced the amounts of electro-negative charges on the surfaces of: (i) humus (characterized as a non-labile organic carbon, NLC), and (ii) typically large amounts non-crystalline allophanic clay materials, oxides and 1:1-type clay materials, whose pH-dependent charge increases with increasing pH in volcanic ash soils.

The results of this study revealed that raising pH to neutral can enhance the interaction between high TOC input level and higher electronegative-charge of the total clay components, leading to an increase in the aggregate size (ASD) class and reduction in macroaggregate instability (CoES) indices. In spite of similar total clay content and MWD indices at 0-20 cm depth for all the soils from the TCM and VN ecosystem, the lower $i_{-5 \text{ min}}$ and $i_{-2 \text{ hrs}}$ values for the CA soil than for the SDL and VN soils were, mainly a result of extensive seal formation through aggregate slaking and clay dispersion. It is thought that extensive seal formation occurred under very-low-TOC input level for the

CA soil than under low-TOC input level for the SDL soil. Although the MWDd indices were similar at 0-20 cm depth for all soils from the TCM and VN ecosystems, the higher $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{c-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values for the VN soils than for the PL and SDL soils, could indicated that bio-organic aggregates formed under high-TOC input and high-EC level were relatively more stable and to resist clay dispersion and aggregates slaking than abiotic-aggregates formed under low-TOC and low-EC level for the PL soils.

5.2 Conclusions and Recommendations

The volcanic ash soils in Trans-Mexican volcanic belt (TMVB) have been deforested and converted to intensive arable production, resulted in land/soil degradation during the last 19 century. The depletion of TOC and LC inputs under long-term intensive cultivation resulted in lower $i_{-2 \text{ hrs}}$ and K_{sat} values for the CA soil than for the SDL soils.

Conversion from intensive cultivation (CA) to the long-term *Lupinus* invaded fallows (SDL and BRDL) and meadow (PL and PP) were considered to be successful for reducing pb (soil compaction), increase total organic carbon (TOC) and enhance MWDd index for stable dry soil aggregate size, even to greater soil depths, and maintaining continuous bio-macropores induced by the long-term plant growth that stimulate greater microbial activity and frequent lateral roots death, especially by young plants than for mature plants.

The results from the reference soil permitted to establish that the contribution of a large total clay content, which could lead to the large MWDd indices, was mostly dependent upon raising the TOC content from a low-input level (2.38 to 3.45%) to a high-input level (6.38 to 9.99%) upon raising soil pH from the prevailing higher-moderate acid to neutral levels and also raising the electrical conductivity (EC) from low (0.31-0.42 dS m⁻¹) to high (1.45 dS m⁻¹) level.

Compared with the CA soil, the SDL, PL and BRDL soils demonstrated the higher values in TOC, MWDd indices even to greater soil depths, $i_{-5 \text{ min}}$, $i_{-2 \text{ hrs}}$, $Z_{c-2 \text{ hrs}}$, D_{pawc} , $D_{\text{wr-33 kPa}}$, LC, LCI, and CMI, as well as the lower values in pb, CoES-TMag, CoES-

SmMag, CoES-MeMag, CoES-LaMag at 0-20 cm depth, which indicates that the long-term *Lupinus* invasion during fallows and meadows would be the best alternative cropping management practices. Therefore, it can be recommended that introducing the production of the grain *Lupinus* genotypes during long-term fallow “break” crop period could be a possible replacement for the non-economic, non-profitable scrubland fallows, since it would bring both environmental and economic benefits for the farmers in the TMVB region.