



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

**MAESTRIA EN AGROECOLOGIA Y DESARROLLO RURAL
SOSTENIBLE**

Tesis previa la obtención del Grado
Académico de Magíster en Agroecología
y Desarrollo Rural Sostenible.

TEMA

**DINAMICA POBLACIONAL DE LOS PRINCIPALES GRUPOS
FUNCIONALES DE MICROORGANISMOS, BAJO
DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO DEL SUELO EN LA
FINCA “LA MARÍA”, CANTON MOCACHE. PROGRAMA DE
CAPACITACIÓN**

AUTOR

Ing. Samir Antonio Zambrano Montes

DIRECTORA

Ing. María Lorena Cadme Arévalo, Ms.C.

Quevedo – Los Ríos - Ecuador

2012

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Ing. Samir Antonio Zambrano Montes como requisito para la obtención del Grado de Magíster en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible.

17 de septiembre del 2012

Ing. María Lorena Cadme Arévalo, Ms.C.

AUTORIA

El trabajo de investigación, los resultados y conclusiones presentadas en la presente tesis de Magister en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible, titulada **DINAMICA POBLACIONAL DE LOS PRINCIPALES GRUPOS FUNCIONALES DE MICROORGANISMOS, BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO DEL SUELO EN LA FINCA “LA MARÍA”, CANTON MOCACHE** son de exclusiva responsabilidad del autor.

Samir Antonio Zambrano Montes

DEDICATORIA

Al Rey de Reyes, inspirador inigualable para conseguir esta meta, por comprender lo mucho que quiero y lo poco que tengo.

A mi Madre, Irma Montes de Zambrano, un pilar importante e incansable luchadora por mi educación.

A mi Padre, Antonio Zambrano Cedeño, por su comprensión incondicional.

A mi Esposa Ruth Flores Tobar, por sus grandes virtudes para conmigo, “Paciencia y Tolerancia”.

A mis Hijos Estíbalys Nahomi, Náyade Antonella y Samir Zaid Zambrano Flores, que son motivo y razón de mi existencia.

A mi Hijo Samir Antonio Zambrano Ganchozo,

A mi Hija Samantha Samira Zambrano Velásquez, que

A mis Hermanos Chennier Gilberto, Náyade Tatiana e Ian Carlos Zambrano Montes, por su apoyo constante.

Agradecimiento

A las autoridades de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo: Ings. Roque Vivas Moreira. Rector; Guadalupe Murillo de Luna, Vicerrectora Administrativa; Williams Burbano Montecé, Vicerrector Académico.

A mis queridos padres y hermanos por su apoyo constante en todas las metas que he emprendido.

Al Dr. Eduardo Díaz Ocampo, Director de la Unidad de Posgrado de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

A la Ing. Ms.C. Lorena Cadme Arévalo, Directora de la Investigación por su valiosa contribución.

De manera especial al Dr. Honoris Causa Manuel Haz Álvarez (+) Ex-Rector de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, insistente personal para conseguir esta meta y por su valioso aporte a la profesionalización al más alto nivel de los docentes investigadores de la UTEQ.

Al Ing. Agr. M.C. Gorki Díaz Coronel, Ex -Director de la Unidad de Investigación Científica y Tecnológica quien además de haber sido jefe, es un gran amigo, por lo que, con admiración y respeto le agradezco su apoyo, orientación y confianza para el desarrollo de esta tesis, así como por su generoso y desinteresado aporte a la formación profesional de los docentes investigadores de la UICYT.

Al Dr. Juan Avellaneda Cevallos, Director de la Unidad de Investigación por su amistad y consejos para que concluya con éxito esta y otras metas emprendidas.

Al Dr. Carlos Zambrano e Ing. Jorge Neira Mosquera Coordinador y ex-Coordinador de la Maestría en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible.

A la Ing. Baldramina Velásquez Gómez, por su valioso apoyo incondicional en todo momento para cumplir esta meta.

A la Ing. Rocío Morales, por su amistad y valiosa colaboración en la fase de laboratorio.

Al Dr. Gustavo Bernal Director de CIPAL – ANCUPA por sus valiosas sugerencias y ayuda incondicional en la planificación de la investigación y entrenamiento en el laboratorio.

A la Ing. Lady Patricia Sánchez Estévez, prima querida que me brindó su apoyo desde el comienzo de esta travesía.

A mis amigos y compañeros de clases: Ings. Emma Torres, Félix Valverde, Carlos Bustamante (+), Wenceslao Beltrán (+) por su compañerismo y por los momentos importantes que pasamos juntos.

A mis compadres, Ings. Edgar Pinargote M., Hernán Cujano F., José Tipantuña U., Juan Avellaneda C.

A mis amigos y compañeros de la UICYT: Gorki Díaz, Emma Torres, Ximena Cervantes, Ximena Reyes, Daysi Tello, Betty González, Silvia Saucedo, Mercedes Carranza, Magdalena Herrera, Alexandra Barrera, Tanya León, Malena Martínez, Rodolfo Sánchez, , Kléber Estupiñán, Carlos Calderón, Luis Godoy, Gabriel Liu-ba, Daniel Vera, Freddy Sabando, Luis Ramos, Jaime Morante, Enrique Nieto, Ariel Escobar, Fernando Cabezas, Nicolás Cruz, Hyron Canchignia, Carlos Sánchez, Fernando Sánchez, Carlos Belezaca, Washington Mora, Orly Cevallos, Carlos Calderón, Pedro Suatunce, Germán Jácome, Pedro Cedeño, Tito Solís, Gary Meza, Ricardo Luna, Luis Vallejo, Carlos Tapia, Germán Cercado, Juan Reyna, Eduardo Solís, Paola Cedeño, Oscar Prieto, Pedro Cedeño, Luz Cruzatty, Gregorio Vásconez, Pablo Ramos, Malena Martínez, Ronald Cabezas, Ronald Villamar y Antonio Montoya.

PRÓLOGO

La presente investigación de la autoría del Ingeniero Samir Zambrano Montes, trata sobre la **Dinámica poblacional de los principales grupos funcionales de microorganismos, bajo diferentes condiciones de manejo del suelo en la Finca “La María”, cantón Mocache**, cuyo objetivo principal fue: determinar la diversidad y población de los principales grupos funcionales de microorganismos, bajo diferentes condiciones de manejo del suelo.

El tema de investigación persigue seguir con los estudios de la microfauna de suelo, ya que la práctica de la agricultura se justifica desde, por lo menos, una docena de consideraciones de impacto social, salud con base en alimento sano, eliminación de la contaminación ambiental química, seguridad para la salud del operario rural, elaboración en la finca de los insumos agrícolas, soberanía alimentaria, conservación y desarrollo de recursos locales, aportes desde el sector civil a la investigación agrícola a la docencia y a la conservación de la naturaleza. Se ha realizado entonces a través de este estudio un significativo aporte científico mediante la determinación de la diversidad microbiana con diferentes usos del suelo en la localidad de Mocache, provincia de los Ríos. Resultados que le van a permitir a la UTEQ preparar un programa de capacitación para agricultores de esta zona agrícola, de esta manera ofrecer a los pequeños y medianos productores de la provincia de Los Ríos y el país una alternativa en la cual sigan aplicando las técnicas de manejo del suelo para la explotación de sus cultivos, pero de una forma razonable para así favorecer el equilibrio ecológico, y mantener la dinámica poblacional de los microorganismos en el suelo.

Los resultados de la investigación demuestran que los agricultores de la zona objeto de estudio utilizan mayoritariamente como técnica de manejo del suelo la quema de rastrojos, así como, que tienen mucho interés en recibir

capacitación referente al uso, manejo y control de la biodiversidad microbiana.

Tengo la seguridad que, mediante este trabajo la UTEQ ha sentado las bases para continuar en la planificación de programas de capacitación que permitirán obtener resultados favorables para el productor campesino, además de disminuir el uso y aplicación inadecuada de fertilizantes químicos y mejorar la nutrición de los cultivos, así como a incentivar a más productores en el uso de la mucuna como cultivo de cobertura, actividad que bien se podría convertir en una de alternativa económica para recuperar suelos degradados y contribuir de esta manera a la conservación y al incremento de la fertilidad del suelo.

Es así que la propuesta “Programa de capacitación para promover el manejo adecuado de los suelos agrícolas con fines de mantener y mejorar la calidad de los suelos e incrementar la productividad de los cultivos”, permitirá promover el manejo adecuado de los suelos agrícolas a fin de mantener la diversidad y población microbiana que mejoren la calidad de los suelos e incremente la productividad de los cultivos.

Ing. Ricardo Luna Murillo, M. Sc.

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo fue dirigido al estudio de la dinámica poblacional de los principales grupos funcionales de microorganismos, establecido con diferentes condiciones de manejo del suelo en la finca “La María”, cantón Mocache. La presente investigación constó de dos fases: la primera fase comprendió una encuesta dirigida a los pequeños productores del cantón Mocache a fin de conocer las técnicas de manejo aplicadas a los suelos agrícolas y relevar aspectos de importancia como la tenencia y uso de la tierra, entre otros. Además, se establecieron los ensayos en la finca “La María” propiedad de la UTEQ y se realizó la toma de muestras de suelo antes, durante y después del establecimiento del cultivo. La segunda fase consistió en el análisis de la dinámica poblacional de los microorganismos existentes en los suelos agrícolas estudiados y se ejecutó en el laboratorio de Microbiología de ANCUPA (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera) en el CIPAL (Centro de Investigaciones de Palma), ubicado en la Ciudad de La Concordia, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, esta investigación tuvo una duración de ocho meses. Los resultados de las encuestas realizadas a los pequeños productores del cantón Mocache (muestra seleccionada de 94 personas), ponen en relieve que el 83% de la población encuestada son propietarios de sus tierras, mientras que el 17% son arrendatarios. El 100 % cultivan maíz y adicionalmente, realizan la siembra de arroz (55%), fréjol (13%), cacao (84%), plátano (87%) y otros cultivos (95%) en los que se encuentran incluidos los frutales, árboles y hortalizas. El nivel de estudio, el 26,6% no ha culminado, el 18,09 % si ha terminado el bachillerato, el 4.25 % de analfabetismo, el 4,26 % no han culminado sus estudios universitarios y un 2,13 % que no han logrado profesionalizarse. En cuanto a pertenecer a agrupaciones agropecuarias, el 82,98% no pertenecen a ninguna organización y el 17,02% está afiliado al centro agrícola de Mocache. Los agricultores utilizan la quema del rastrojo (61,70%), seguido de la siembra de maíz solo (14,89%), siembra de maíz asociado a mucuna (8,51%), dejan el rastrojo para su descomposición y aporte al suelo (6,38%), siembra de mucuna sola (4,26%) y, suelos en

barbechos (4,26%), es decir que la quema de rastrojo es la práctica de manejo del suelo más utilizada por los pequeños productores del cantón Mocache. Un 100% de los encuestados no realizan ningún tipo de análisis de suelos. El 84 % de los productores encuestados informa que no ha recibido ninguna clase de capacitación. Un 92,55% está consciente que su tierra poco a poco se va desgastando. Los resultados obtenidos en el laboratorio refieren la presencia de los grupos funcionales de microorganismos: actinomicetos, hongos, bacterias celulolíticas, bacterias solubilizadoras de fósforo, bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas; y reporta al grupo de los actinomicetos con mayor presencia en cinco de los seis tratamientos estudiados, demostrando diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en la fase final de experimento. En cuanto al tratamiento de mucuna sola, el grupo de las bacterias fijadoras de nitrógeno fue la que predominó con población, tanto en la fase inicial con 1.29×10^7 , y en la final, 4.90×10^7 presentando diferencias estadísticas ($P < 0.05$).

SUMMARY

This work was conducted to study the population dynamics of the main functional groups of microorganisms, established with different soil management conditions on the farm "La Maria" Mocache canton. This research consisted of two phases: the first phase involved a survey of small farmers in the canton Mocache to learn management techniques applied to agricultural soils and relieve areas of importance as tenure and land use, among others. In addition, trials were established on the farm "La Maria" UTEQ owned and conducted sampling of soil before, during and after the establishment of the crop. The second phase consisted of the analysis of the population dynamics of microorganisms in agricultural soils studied and implemented in the laboratory of Microbiology ANCUPA (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera) in CIPAL (Centro de Investigaciones de Palma), located in the City of La Concordia, Province of Santo Domingo de los Tsáchilas, this investigation lasted eight months. The results of the surveys of small farmers in the canton Mocache (selected sample of 94 people), underscore that 83% of the surveyed population own their land, while 17% are tenants. 100% and further cultivated corn, rice planting performed (55%), beans (13%), cocoa (84%), bananas (87%) and other crops (95%) in which the fruit are included trees and vegetables. The level of study, 26.6% have not completed the 18.09% if you have finished high school, illiteracy 4.25%, 4.26% have completed college and not 2.13% have been professionalized. Regarding agricultural groups belong to the 82.98% do not belong to any organization and is affiliated with 17.02% of Mocache agricultural center. Farmers use of stubble burning (61.70%), followed by the planting of corn alone (14.89%), corn planting associated with mucuna (8.51%), leaving the stubble to decay and contribution to soil (6.38%), planting mucuna alone (4.26%) and fallow soil (4.26%), ie stubble burning is the practice of most used soil management by smallholders Mocache canton. 100% of respondents do not perform any analysis of soils. 84% of respondents reported that producers have not received any kind of training. A 92.55% aware that their land is slowly decaying. The results obtained in the

laboratory relate the presence of functional groups of microorganisms: actinomycetes, fungi, bacteria cellulolytic phosphorus solubilizing bacteria, nitrogen fixing bacteria and mycorrhizae, and reports to the group of actinomycetes greater presence in five of the six treatments studied, showing statistical differences ($P < 0.05$) in the final phase of the experiment. Regarding the treatment of mucuna alone, the group of nitrogen-fixing bacteria which was predominant in population, both in the initial phase with 1.29×10^7 , and in the final, 4.90×10^7 presenting statistical differences ($P < 0.05$).

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pág
PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
PRÓLOGO.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	ix
SUMMARY.....	xi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1. UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	6
1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA.....	7
1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.3.1. Formulación del problema.....	8
1.3.2. Planteamiento del problema.....	9
1.3.3. Problemas derivados.....	9
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	10
1.6. CAMBIOS ESPERADOS CON LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.7. OBJETIVOS.....	11

1.7.1.	General.....	11
1.7.2.	Específicos.....	11
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....		13
2.1.	ANTECEDENTES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
2.2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	16
2.2.1.	La biodiversidad de suelo.....	16
2.2.2.	Variabilidad en el suelo.....	17
2.2.3.	Importancia de los microorganismos en el suelo.....	17
2.2.4.	Importancia de la rizósfera.....	19
2.2.5.	Principales grupos microbianos del suelo.....	21
2.2.5.1.	Los hongos.....	21
2.2.5.2.	Las bacterias.....	23
2.2.5.3.	Actinomicetos.....	25
2.2.6.	Factores que afectan la diversidad microbiana del suelo.....	26
2.2.6.1.	Vegetación.....	26
2.2.6.2.	pH.....	27
2.2.6.3.	Temperatura.....	28
2.2.6.4.	Humedad.....	28
2.2.6.5.	Aireación.....	29
2.2.7.	Principales ciclos de nutrientes.....	30
2.2.7.1.	Ciclo del nitrógeno.....	30
2.2.7.2.	Ciclo del fósforo.....	33
2.2.7.3.	Ciclo del carbono.....	33
2.2.7.4.	Ciclo del azufre.....	35
2.2.7.5.	Ciclo del potasio.....	36

2.2.8.	Efectos de las plantas sobre los microorganismos del suelo.	36
2.2.9.	Efectos de los microorganismos de suelo en el crecimiento vegetal.....	37
2.2.9.1.	Rizobacterias (PGPRs).....	38
2.2.9.2.	Influencia de la rizobacterias en el crecimiento vegetal.....	39
2.2.9.3.	Las rizobacterias como control natural de agentes patógenos.....	40
2.2.9.4.	Micorrizas.....	41
2.2.10.	Efectos de los sistemas de manejo del suelo en la diversidad microbiana.....	42
2.2.10.1.	La mucuna.....	44
2.2.10.2.	El maíz.....	45
2.2.10.3.	Suelos con rastrojos quemados.....	45
2.2.10.4.	Suelos con rastrojos en descomposición.....	48
2.2.10.5.	Asociación maíz-mucuna.....	52
2.2.10.6.	Barbechos.....	53
2.3.	FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL.....	54
2.4.	FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	57
2.5.	HIPÓTESIS.....	57
2.6.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	57
2.6.1.	Variable independiente.....	57
2.6.2.	Variable dependiente.....	57
2.7.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	58
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		61
3.1.	MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	62
3.1.1.	Métodos.....	62

3.1.2.	Técnicas.....	64
3.2.	CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.2.1.	Condiciones meteorológicas del lugar experimental.....	65
3.3.	ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO.....	67
3.4.	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA.....	68
3.4.1.	Población y muestra.....	68
3.4.2.	Encuesta.....	69
3.4.3.	Manejo del experimento.....	71
3.4.3.1.	Manejo del experimento en el campo.....	71
3.4.3.2.	Manejo del experimento con medios de cultivo en laboratorio	71
3.4.4.	Población y diversidad microbiana.....	71
3.4.4.1.	Bacterias fijadoras de nitrógeno.....	71
3.4.4.2.	Bacterias celulolíticas.....	72
3.4.4.3.	Bacterias solubilizadoras de fósforo.....	73
3.4.4.4.	Población total de actinomicetos.....	73
3.4.4.5.	Población total de hongos.....	74
3.4.4.6.	Población total de bacterias.....	74
3.4.4.7.	Micorrizas.....	75
3.4.5.	Materiales y equipos.....	75
3.5.	DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	76
3.6.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	76
3.6.1.	Tratamientos.....	77
3.6.2.	Unidad experimental.....	78
3.6.3.	Análisis estadístico.....	78
3.7.	CONSTRUCCIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN.....	78

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LAS HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	80
4.1. ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS.....	81
4.2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA PERTINENTE A LA HIPÓTESIS.....	81
4.2.1. Variable independiente: Uso del suelo con diferentes técnicas de manejo.....	81
4.2.2. Variable dependiente: Diversidad y población de microorganismos en el suelo agrícola.....	86
4.3. DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN RELACIÓN A LA NATURALEZA DE LA HIPÓTESIS.....	93
4.3.1. Variable independiente: Uso del suelo con diferentes técnicas de manejo	93
4.3.2. Variable independiente: Diversidad y población de microorganismos en el suelo agrícola.....	96
4.3.3. Comprobación / desaprobación de la hipótesis.....	104
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
5.1. CONCLUSIONES.....	106
5.2. RECOMENDACIONES.....	107
CAPÍTULO VI. PROPUESTA ALTERNATIVA.....	108
6.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA.....	109
6.2. JUSTIFICACIÓN.....	109
6.3. FUNDAMENTACIÓN.....	110
6.4. OBJETIVOS.....	113
6.4.1. Objetivo general.....	113
6.4.2. Objetivos específicos.....	113
6.5. IMPORTANCIA.....	114

6.6.	UBICACIÓN SECTORIAL Y FÍSICA.....	115
6.7.	FACTIBILIDAD.....	115
6.8.	PLAN DE TRABAJO.....	115
6.9.	ACTIVIDADES.....	116
6.9.1.	Proceso cronológico de las actividades.....	116
6.9.1.1.	Difusión y socialización de proyecto a los pequeños y medianos agricultores.....	116
6.9.1.2.	Programa de formación y manejo de técnicas agroecológicas.....	116
6.9.1.3.	Implementación de prácticas culturales, agronómicas y mecánicas en parcelas demostrativas de propiedades de los pequeños y medianos productores.....	117
6.9.1.4.	Contenidos de los temas de capacitación.....	117
6.10.	RECURSOS ADMINISTRATIVOS, FINANCIEROS Y TECNOLÓGICOS.....	118
6.10.1.	Recursos administrativos.....	118
6.10.2.	Recursos financieros.....	118
6.10.3.	Recursos materiales y tecnológicos.....	118
6.11.	IMPACTO.....	119
6.12.	SEGUIMIENTO, CONTROL, EVALUACIÓN Y MEDIDAS CORRECTIVAS.....	120
6.13.	PRESUPUESTO DE LOS RECURSOS FINANCIEROS.....	121
	BIBLIOGRAFÍA.....	122
	ANEXOS.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

DESCRIPCIÓN	Página
Tabla 2.1. Variable independiente (encuestas).....	58
Tabla 2.1.1. Variable independiente (uso del suelo).....	59
Tabla 2.2. Variable dependiente.....	60
Tabla 3.1. Condiciones meteorológicas del Cantón Mocache, 2008.....	66
Tabla 3.2. Herramientas, equipos y reactivos utilizados en el experimento.....	75
Tabla 3.3. Esquema de los tratamientos en estudio.....	77
Tabla 3.4. Esquema del análisis de varianza para el estudio de la diversidad y población microbiana.....	78
Tabla 4.1. Tenencia de la tierra de los pequeños productores del catón Mocache.....	81
Tabla 4.2. Principales cultivos que manejan los productores en su finca.....	82
Tabla 4.3. Nivel de escolaridad de los pequeños productores del cantón Mocache.....	83
Tabla 4.4. Pertenencia a organizaciones agropecuarias.....	83
Tabla 4.5. Tipo de manejo del suelo	84
Tabla 4.6. Realiza análisis microbiológico del suelo.....	84
Tabla 4.7. Ha recibido capacitación sobre técnicas de manejo del suelo?.....	85
Tabla 4.8. Le gustaría recibir capacitación en técnicas de manejo del suelo?.....	85
Tabla 4.9. Considera usted que su suelo está desgastado?.....	86
Tabla 4.10. Diversidad de microorganismos presentes en la zona de estudio en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008.....	86

Tabla 4.11.	Promedios de las poblaciones de bacterias totales en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008	87
Tabla 4.12.	Promedios de las poblaciones de actinomicetos en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008.....	88
Tabla 4.13.	Promedios de las poblaciones de hongos en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008.....	88
Tabla 4.14.	Promedios de las poblaciones de bacterias celulolíticas en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008	89
Tabla 4.15.	Promedios de las poblaciones de bacterias solubilizadoras de fósforo en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008.....	90
Tabla 4.16.	Promedios de las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008.....	90
Tabla 4.17.	Promedios de la colonización y densidad de micorrizas en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008	91
Tabla 4.18.	Datos comparativos de las poblaciones de microorganismos en los diferentes tratamientos estudiados en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Pág.
Figura 1.1. Mapa de la provincia de Los Ríos y de la zona donde se colectó las muestras de suelo.....	61
Figura 3.1. Árbol del problema mediático para la construcción del objeto de investigación.....	67
Figura 3.2. Croquis del muestreo de suelo.....	70
Figura 3.3. Toma de muestra de suelos.....	70
Figura 6.1. Mapa del cantón Mocache, provincia de Los Ríos.....	115

INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa superior de la tierra que se distingue de la roca sólida y en donde las plantas crecen. Los suelos deben considerarse como formaciones geológicas naturales desarrolladas bajo condiciones muy diversas de clima y materiales de origen, lo cual justifica su continua evolución. Con una concepción fisiológica vegetal, el suelo se define como la mezcla de partículas sólidas pulverulentas, de agua y de aire que provee de los elementos nutritivos necesarios para las plantas (Forsythe, 2002).

La fertilidad de un suelo se define como su capacidad para proporcionar a las plantas un medio físico, que permita su establecimiento, desarrollo y suministre, en cantidad y forma adecuada, los nutrimentos que necesitan para satisfacer sus necesidades durante toda su existencia. Las propiedades químicas, físicas, biológicas y climáticas que actúan normalmente en interacción, son las que identifican la fertilidad de los suelos. Entre estos factores, quizás los componentes biológicos sean los últimos que se han considerado en temas de investigación y producción de los cultivos. Además, hoy se acepta que la actividad de los microorganismos no solo es un factor clave en la fertilidad del suelo, sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales como los agroecosistemas (Trasar *et al.*, 2000).

Los suelos poseen una inmensa diversidad bacteriana poco explorada debido principalmente al carácter no cultivable de una gran cantidad de microorganismos que son el principal factor que incide en el grado de fertilidad del suelo, es así que la conservación de esta biodiversidad se ha convertido en uno de los temas prioritarios de investigación a escala mundial.

Las comunidades microbianas naturales resultan complejas y difíciles de estudiar debido, principalmente, a su pequeño tamaño y a su elevada

diversidad. Los microorganismos juegan un papel importante en los ecosistemas y los abrigos con manifestaciones rupestres no son una excepción. Son capaces de desarrollarse prácticamente en cualquier hábitat, participando y regulando los ciclos biogeoquímicos de los elementos (Northup y Lavoie, 2001).

Los microorganismos se hallan capacitados para acometer una extensa gama de reacciones metabólicas y adaptarse a muchos ambientes diferentes (Madigan y Martinko, 2003). Por su poco peso pueden ser transportados por las corrientes de aire y estar en todas partes, pero las características del ambiente determinan cuáles especies pueden multiplicarse. Existen varias clases de microorganismos: mohos, levaduras, bacterias, actinomicetos, protozoos, algas, virus (Carrillo, 2003). Su importancia práctica es enorme con implicaciones en medicina, veterinaria, agricultura, alimentos, medio ambiente, etc. (Rivilla, 2012).

En los últimos años se ha incrementado notablemente el interés por el estudio de los microorganismos presentes en el suelo como indicadores del estado de salud del mismo (Arias *et al.*, 2005). Los microorganismos han sido descritos como el motor de los ecosistemas terrestres (Killham, 1994). Según Coyné (1999) el conocimiento de la microbiología del suelo resulta esencial para comprender la agronomía y la ciencia ambiental. Sarles (1963) refiere que los hombres de ciencia interesados en la ecología microbiana dirigen actualmente su atención, con redoblado interés hacia algunas interrelaciones de los microorganismos del suelo.

Existe evidencia de que al parecer en cada suelo se establece una microbiota característica del mismo, compuesta fundamentalmente de aquellos microorganismos capaces de desarrollar en las condiciones particulares de cada ecosistema, como son, tipo de sustratos utilizables, temperaturas, acidez, humedad y otros (Fernández y Novo, 2003).

El contenido de la tesis se ordena en seis capítulos, el primero aborda al marco contextual del estudio, mediante el análisis de aspectos como la situación actual de la problemática; el problema de investigación y su delimitación; la justificación; el objetivo general y los específicos, así como los cambios esperados después de implementar la propuesta alternativa de la investigación.

El segundo capítulo trata los aspectos relacionados con el marco teórico, donde, a partir de los objetivos específicos y las variables de la investigación, se analizan e interpretan tópicos como los antecedentes del problema; la fundamentación teórica de los objetivos y, el análisis de la hipótesis de investigación, operacionalizándose las variables.

En el tercer capítulo se plantea la metodología del estudio, describiéndose los métodos y técnicas empleados en la medición de las variables. se construye, metodológicamente el objeto de investigación y se explica la forma en que se construyó el marco teórico. También se describe la recolección, análisis e interpretación de los datos empíricos y, la elaboración del informe de investigación.

En el cuarto capítulo se desarrolla la exposición, el análisis y la interpretación de los resultados, todo con base en las hipótesis de investigación, cuya verificación se realizó mediante la teoría de la estadística inferencial.

El quinto capítulo está dedicado a la elaboración de conclusiones y recomendaciones, tomando como fundamento los resultados obtenidos en el trabajo.

El sexto y último capítulo abarca el diseño de la propuesta que propicia la ejecución de una investigación para identificar la diversidad microbiana del suelo bajo diferentes condiciones de manejo: áreas cultivadas con maíz (*Zea*

maíz) en monocultivo, suelo con mucuna (*Stizolobium aterrimum*) en cobertura, suelos con maíz más mucuna, suelos que han permanecido con rastrojos por períodos de dos a tres años, quema de la vegetación superficial del suelo y barbechos, producto del trabajo realizado, cuyo título es: Dinámica poblacional de los principales grupos funcionales de microorganismos, bajo diferentes condiciones de manejo del suelo en la finca “La María”, cantón Mocache.

CAPITULO I.

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

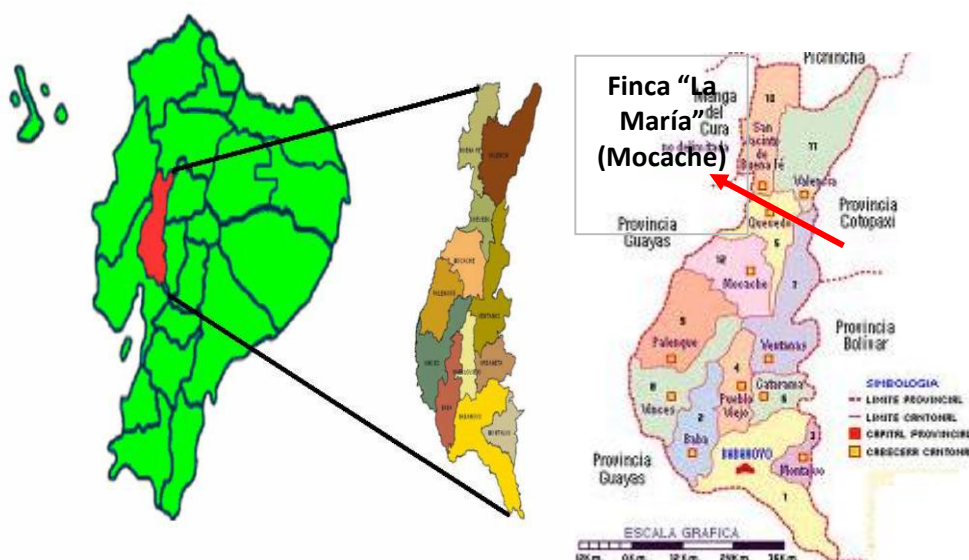
"En el fondo, los científicos somos gente con suerte:
Podemos jugar a lo que queramos durante toda la vida."

Smolin, Lee
1955

1.1. UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La presente investigación constó de dos fases: la primera fase comprendió una encuesta a pequeños productores del cantón Mocache para conocer el manejo del suelo, seguido de la recolección de muestras de suelos y se la realizó en la Finca Experimental “La María” propiedad de la UTEQ, en el cantón Mocache, Km 7 en la vía Quevedo – El Empalme, provincia de Los Ríos, cuya ubicación geográfica es de 1°04’48” de latitud sur y 79°29’41” de longitud oeste, a una altura de 73 msnm, (Figura 1.1.), la zona seleccionada corresponde a suelos en los cuales la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) ha realizado diferentes cultivos y técnicas de manejo; y la segunda fase se ejecutó en el laboratorio de Microbiología de ANCUPA (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera) en el CIPAL (Centro de Investigaciones de Palma), ubicado en la Ciudad de La Concordia, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, esta investigación tuvo una duración de ocho meses.

Figura 1.1. Mapa de la provincia de Los Ríos y de la zona donde se colectó las muestras de suelo.



1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

Las actividades agrícolas, como el uso de productos químicos, las labranzas, la quema de pastos, suelos descubiertos, el manejo de los rastrojos y la no aplicación de abonos orgánicos, alteran los regímenes de temperatura, humedad y el intercambio de gases en el perfil del suelo, lo cual influye en la mineralización de los nutrientes y la materia orgánica (De la Fuente y Suarez, 2008). Estos cambios afectan tanto a las poblaciones de microorganismos e invertebrados del suelo como a sus interrelaciones (Berkelmans *et al.* 2003; Zak *et al.*, 2003; Brussaard *et al.*, 2007).

La agricultura provoca niveles elevados de disturbio debido a las múltiples perturbaciones que causa al ecosistema en cada estación de crecimiento. Estas perturbaciones pueden promover la reducción de la biodiversidad global y de la local en todos los niveles: genes, especies, funciones y ecosistemas (Chapin *et al.* 2000; Norris *et al.*, 2008; Butler *et al.*, 2007).

El efecto de la agricultura sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo no solamente regula el rendimiento del cultivo, sino también impacta sobre la emisión de sustancias volátiles que pueden funcionar como atrayentes o repelentes de otros organismos (Van Tol *et al.*, 2001; Norris *et al.*, 2008; De la Fuente *et al.*, 2006).

La falta de información derivada del escaso conocimiento acerca de la totalidad de los microorganismos presentes en el suelo, conlleva a un desconocimiento de la base productiva de la mayoría de biomas mundiales, la cual sin duda está basada en las interacciones microbianas.

Los parámetros microbiológicos aportan información relativa a la actividad metabólica que se halla en el suelo, pues son los que mantienen una mayor sensibilidad frente a procesos no deseables tales como la contaminación o el mal manejo. Es por ello que los efectos de prácticas agrícolas, así como los

producidos por fertilizantes y sistemas de cultivo, pueden ser evaluados a partir de las determinaciones de la biomasa microbiana, su actividad metabólica y el conteo de las poblaciones microbianas más importantes de la microflora del suelo. En la actualidad, los factores biológicos se han convertido en criterios importantes para valorar el manejo de los suelos, de tal forma que se crea la necesidad de orientar la producción agrícola hacia nuevas tecnologías fundamentadas en la recuperación de los suelos mediante un manejo agroecológico sostenido (Acuña *et al.*, 2006).

Es así como el estudio de poblaciones microbianas y del impacto generado sobre éstas con las actividades agrícolas, constituye una prioridad. Estos estudios no sólo son cruciales para el conocimiento básico de la dinámica ecológica sino como información base para la aplicación de herramientas que permitan aumentar o estabilizar la productividad y el rendimiento sostenible de sistemas agrícolas y ambientales de la región.

1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los microorganismos son un componente muy importante del suelo, dada su alta abundancia (cerca de 10⁹ individuos por gramo de suelo), su alta diversidad aparente (un mínimo de 6000 a 38000 genomas por gramo) (Curtis, 2002) y la multiplicidad de funciones metabólicas implicadas en procesos ecosistémicos que incluyen: ciclos biogeoquímicos, la transformación y mineralización de materia orgánica y la degradación de compuestos xenobióticos, (Torsvik *et al.*, 1990; Whitman *et al.*, 1998; Schlöter *et al.*, 2003).

1.3.1. Formulación del problema

¿Cómo las prácticas de manejo del suelo, provocan la pérdida de la población microbiana de los suelos agrícolas?

1.3.2. Planteamiento del problema

Frecuentemente se menciona el aparente impacto que suponen sobre la diversidad biológica, el manejo y prácticas intensivas en los cultivos agrícolas sobre la población biológica que componen el suelo. Sin embargo, a pesar del conocimiento general del papel que cumplen los microorganismos en la productividad de los sistemas ecológicos naturales o artificiales, en el ciclaje de los nutrientes, e inclusive en la regulación climática global (Atlas y Bartha, 2002), poco se conoce, no solo acerca de la diversidad específica de microorganismos asociados a suelos tropicales, sino también acerca de los efectos que los cambios hechos en el uso del suelo, tienen en la diversidad de microorganismos, ni si estos se corresponden con pérdidas de la funcionalidad, resiliencia y resistencia, propios de sistemas sucesionales.

Por ello, es necesario realizar un estudio en los suelos antes, durante y después del cultivo a fin de determinar si el manejo realizado influye en la población de estos microorganismos en el suelo agrícola.

1.3.3. Problemas derivados

Dentro de este punto encontramos algunas interrogantes que a continuación detallaremos:

- ☐ ¿El monocultivo de maíz es muy utilizado por los agricultores e incentiva el uso indiscriminado de productos químicos que afectan la fertilidad y conservación de los suelos?
- ☐ ¿La quema de rastrojos es muy utilizada por los agricultores como técnica de manejo de sus cultivos?
- ☐ ¿El cultivo asociado de maíz + mucuna es poco utilizado por los pequeños agricultores para incrementar la población y diversidad de los microorganismos benéficos en el suelo?

- ¿El dejar los suelos en barbechos y rastrojos en descomposición permite mantener la población y diversidad de microorganismos en el suelo?
- ¿La cobertura de mucuna en los suelos, es una práctica agrícola poco utilizada por los agricultores para incrementar la población de bacterias fijadoras de nitrógeno?

1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Campo: Ciencias Agrarias

Área: Microbiología de suelos

Aspecto: Diversidad microbiana en diferentes usos del suelo

Dónde: En la Finca Experimental “La María”, cantón Mocache, de la provincia de Los Ríos.

Tiempo: 8 meses (año 2008)

1.5. JUSTIFICACIÓN

Para la biología, y en especial para la ecología, los estudios de diversidad representan una buena aproximación a la evaluación de la estabilidad y riqueza de un ecosistema. Así, cuando un ecosistema se encuentra en estado de equilibrio alcanza su máxima diversidad; ésta puede variar dependiendo de la región biogeográfica donde se halle. Otra aplicación de los estudios de diversidad es la de cuantificar el impacto antrópico (acción del hombre) sobre un ecosistema. Para ello, se parte de la hipótesis que mientras más intervenido esté el hábitat menor será su diversidad (Toro, 2004).

Las prácticas de manejo conservacionistas favorecen la sustentabilidad de los agroecosistemas ya que renuevan el nivel de nutrientes del suelo, incrementan el número y las actividades de la población microbiana e incrementan la calidad del suelo.

Al realizar esta investigación se busca proporcionar información sobre la influencia que ejercen las diferentes técnicas de manejo postcultivo en la población de microorganismos, a fin de brindar al agricultor información que le permita establecer las técnicas adecuadas que no alteren la biodiversidad biológica ni la fertilidad del suelo.

1.6. CAMBIOS ESPERADOS CON LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio busca generar cambios en las actuales practicas de producción y establecer alternativas de manejo postcultivo dentro de un proceso de agricultura sustentable que permita controlar paulatinamente la pérdida de los microorganismos; y, ofrecer a los pequeños y medianos productores de la provincia de Los Ríos y el país, una alternativa que favorezca el equilibrio ecológico y disminuya el deterioro de la calidad de nuestros suelos.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1 General

Determinar la dinámica poblacional de los principales grupos funcionales de microorganismos, bajo diferentes condiciones de manejo del suelo en la finca “la maría”, cantón Mocache.

1.7.2 Específicos

- ☐ Determinar la práctica de manejo de suelo más utilizada por los pequeños productores del cantón Mocache
- ☐ Determinar la diversidad microbiana (hongos, bacterias, actinomicetos y micorrizas) según el uso del suelo (maíz solo, mucuna sola, maíz más mucuna, rastrojo en descomposición, suelo con rastrojos quemados y barbechos).

- Identificar la población microbiana (hongos, bacterias, actinomicetos y micorrizas) según el uso del suelo (maíz solo, mucuna sola, maíz más mucuna, rastrojo en descomposición, suelo con rastrojos quemados y barbechos).
- Elaborar una propuesta que permita al agricultor utilizar técnicas de manejo postcultivo que garantice la población y diversidad microbiana como indicador de la fertilidad del suelo.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

"Cuán terrible es lo que los científicos
guardan en sus portafolios"
Krushov Nikita
1894-1971

2.1. ANTECEDENTES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

La singularidad de los microorganismos, de impredecible naturaleza y capacidades biosintetizadoras, en un específico juego de condiciones de cultivo y medioambiente, los han hecho candidatos para solventar problemas difíciles en las ciencias vivas, al igual que en otros campos. No obstante, mientras las tecnologías microbianas han sido aplicadas a varios problemas en la agricultura y medio ambiente con considerable éxito, no han sido ampliamente aceptados por la comunidad científica porque es difícil reproducir consistentemente sus efectos benéficos. Estos microorganismos son beneficiosos solo cuando están presentes en óptimas condiciones para adecuarse a sustratos, agua disponible, oxígeno, pH y temperatura del medio ambiente (Brussaard, *et al.*, 2007).

Dada la relación de interdependencia entre uno y otro conjunto de la biodiversidad, es necesario llamar la atención y despertar el interés sobre la microbiobiodiversidad y la importancia de su conocimiento, conservación y uso, base a ello, existen innumerables investigaciones realizadas sobre la diversidad biológica de la población de microorganismos en el suelo.

En el estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1993), donde se evaluó la distribución de las poblaciones de hongos, actinomicetos y bacterias, bajo diferentes usos de la tierra, se llegó a la conclusión de que los suelos bajo bosque presentan el más alto índice de diversidad y de riqueza biológica, como también la tasa más alta de producción de CO₂, en tanto que la mayor densidad poblacional fue aislada en suelos de piedemonte y valles, donde los últimos presentan el número más alto de hongos y bacterias. Los suelos bajo pasto *Braquiaria* registraron la tasa más alta de producción de bióxido de carbono.

El instituto de investigaciones de Recursos biológicos Alexander Von Humboldt (2001) refiere que la vida microbiana regula y mantiene los

procesos geofisiológicos –temperatura, química atmosférica, circulación de nutrientes- a escala planetaria (global) haciendo que se mantenga el balance que sostiene la biósfera y en particular (local) no podríamos tener bosques, páramos, sabanas y manglares y demás biomas sin la presencia de bacterias, hongos, protozoos, algas y virus los cuales conforman la diversidad microbiana.

El Programa Microambiente-CM, Universidad de san Pablo, Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC), Universidad autónoma de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, ejecutan trabajos en las líneas de investigación sobre el empleo de microorganismos para el análisis ambiental y la restauración de ecosistemas financiados por la Comunidad de Madrid y la Unión Europea (Rivilla, 2012).

En Ecuador, las investigaciones referentes al manejo de los cultivos y su modificación a la estructura y biodiversidad de las comunidades microbianas del suelo en diferentes zonas del país han ido aumentando. Estos estudios sugieren que los cambios en la tasa de circulación del carbono y los nutrientes minerales en el suelo como consecuencia de las interacciones entre las plantas y otros organismos, aparentemente involucrarían modificaciones en la estructura y funcionamiento de las comunidades bióticas del suelo.

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, con el fin de preservar el ambiente, aprovechar la diversidad de microorganismos benéficos existentes en el país y estar acorde con las políticas nacionales que se orientan a reducir el uso de pesticidas, está ejecutando varios proyectos que buscan aportar al mejoramiento de la población biótica del suelo.

En este sentido, el Departamento de Protección Vegetal (DNPV) de la Estación Experimental Santa Catalina inició hace 10 años investigaciones

(Morales y Durango, 2012) y la Estación Experimental Santo Domingo brinda servicios de análisis microbiológico (Morales y Durango, 2012)

La diversidad y población, factores asociados con la microflora del suelo, ha motivado a los científicos a conducir investigaciones para desarrollar estrategias de control. Muchos creen que, cuando los microorganismos beneficiosos son cultivados e inoculados en los suelos, su número es relativamente pequeño comparado con sus habitantes nativos.

La Biotecnología del Suelo nace como una rama trascendental dentro de la Ciencia del Suelo, y los resultados muestran el enorme potencial de los microorganismos del suelo, en el mejoramiento de la calidad del suelo, degradación e inmovilización de contaminantes, su efecto en el crecimiento y en la protección de las plantas frente a diferentes factores. Como resultado, se incrementa el interés de los investigadores por la aplicación de los microorganismos en diferentes áreas. Dentro de los métodos biológicos de recuperación de suelos (González, 2005).

Esta problemática ha motivado que estudiantes de pre y postgrado de las diferentes universidades del país generen trabajos de investigación sobre el tema.

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. La biodiversidad del suelo

Toro (2004), refiere que sin dudas, es el suelo el lugar donde esta megadiversidad de microorganismos se hace más evidente; en especial la zona de la rizósfera, se puede considerar como 'un ser vivo' ya que cumple con las descripciones clásicas para ello: "nace, crece, se reproduce y muere". Es decir, el suelo presenta una dinámica tal que podríamos afirmar que es el ecosistema más estable y sustentable para el grupo microbiano,

los aportes de materia orgánica e inorgánica mantienen una inmensa cantidad de microbios los cuales apenas estamos comenzando a descubrir.

Señala además que directa o indirectamente los desechos humanos y animales, sus cuerpos y los tejidos de vegetales llegan a la tierra y allí 'se desaparecen' al transformarse en tierra, todo este trabajo es realizado por los microorganismos; además, estos microorganismos liberan sustancias útiles para las plantas de tal manera que sin la actividad microbiana del suelo la vida se extinguiría gradualmente. Indica que en un gramo de suelo podemos hallar más de ocho mil millones de bacterias (8×10^9).

2.2.2. Variabilidad en el suelo

Toro (2004) refiere que la gran variabilidad en la composición de los suelos referida a la cantidad y el tipo de sustancias nutritivas, la humedad, la aireación, la temperatura, el pH, las interacciones, la presencia de raíces y las prácticas agrícolas, entre otras, producen grandes diferencias en la densidad y diversidad de la población microbiana. Además, todos estos factores ocasionan una compleja red trófica o trama alimentaria en el suelo, que permite la sobrevivencia de unos y la inhibición de otros.

2.2.3. Importancia de los microorganismos en el suelo

La importancia de los microorganismos en ambientes naturales deriva de su cantidad, diversidad y, sobre todo, de su gran espectro de actividades que, en la mayoría de los casos, repercuten en los seres superiores con los cuales comparte un determinado hábitat. Concretamente en el suelo, los microorganismos desarrollan una amplia gama de acciones que inciden en el desarrollo y nutrición vegetal (Acuña *et al.*, 2006).

Este autor también refiere que el nivel de actividad de las poblaciones microbianas de diversos suelos es muy bajo, salvo en el microhábitat donde

haya una suficiente cantidad de fuente de carbono metabolizable (C-lábil). Cuando se introducen plantas en el sistema, la situación de los microbios cambia drásticamente, ya que las plantas son las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo, de los que los microorganismos se aprovechan cuando se encuentran en la zona próxima a la raíz y proliferan en ella.

Giardina (2010) menciona que una de las razones principales de la existencia y la importancia de los microorganismos en el suelo consiste en verlos como co-responsables del suministro de elementos o compuestos inorgánicos nutricionales, orientados particularmente hacia las plantas superiores (de modo de poder cumplir con su ciclo de vida a través del crecimiento y desarrollo), así como su función también específica de descomponer y mineralizar la materia orgánica que de una u otra forma se incorpora al suelo. La acción microbiana del suelo depende, entre otros factores, de la temperatura, aireación y condiciones de humedad, y de la competencia y antagonismos que se establecen entre los propios grupos de microorganismos.

Actualmente el uso de microorganismos benéficos en la agricultura juega un papel importante para la sostenibilidad de los ecosistemas; es así como la agricultura moderna ha ido incrementando el uso de microorganismos benéficos, tales como: bacterias promotoras de crecimiento vegetal, bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos solubilizadores de fosfato y hongos Micorrízicos arbusculares (MA). Es reconocido que la gran mayoría de plantas captan los nutrientes por medio de interacciones que establecen con los microorganismos que viven en la rizósfera, especialmente con aquellos que se han denominado simbioses (Guerra, 2008).

Los microorganismos del suelo, aparte de suministrarle una buena cantidad de biomasa al mismo y de causar en algunos casos, problemas fitosanitarios en los cultivos, intervienen activa y directamente en ciclos geoquímicos del

C, N, P y S, que son los más conocidos. También toman parte en una buena cantidad de procesos y reacciones que tienen que ver con la nutrición vegetal (Markham y Bazin, citados por Cabrera 2000).

Las tecnologías biológicas involucran el uso de microorganismos y plantas para remover, contener o retener contaminantes ambientales sin causar daño. Las tecnologías biológicas se han utilizado para el tratamiento de varios tipos de contaminantes del suelo y del agua, como: hidrocarburos, plaguicidas, sustancias radiactivas y otro tipo de contaminantes orgánicos; sin embargo, su uso en la remediación de suelos contaminados con EPTs¹, como son los metales pesados y metaloides, es de reciente aplicación (González, 2005).

La fertilidad y el funcionamiento de los suelos dependen en una gran proporción de las propiedades bioquímicas y microbiológicas, ya que son muy importantes para definir las principales funciones edáficas: productiva, filtrante y degradativa. Por lo tanto, la actividad biológica y bioquímica del suelo es de importancia capital en el mantenimiento de la fertilidad de los hábitat terrestres y consecuentemente del funcionamiento de los ecosistemas forestales y agrícolas (Acuña *et al.*, 2006).

2.2.4. Importancia de la rizósfera

El suelo y su biota interactúan en la interface raíz-suelo, en la zona conocida como rizósfera, que es un microcosmos dinámico con un ambiente químico y biológico claramente distinto al resto del suelo (González y Peña, 2011).

La influencia de la planta a través de sus raíces sobre la microbiota del suelo se conoce como efecto rizósfera y se manifiesta en alteraciones cualitativas y cuantitativas de las diferentes poblaciones que componen la comunidad microbiana del suelo. La rizósfera es el volumen de suelo influenciado por el

¹ Elementos potencialmente tóxicos

sistema radicular de las plantas (Novo y Hernández, 2003). Es una zona de interacción única y dinámica entre raíces de plantas y microorganismos del suelo.

Acevedo (2012) refiere que el suministro de las plantas con nutrientes minerales es el resultado de la interacción entre dos fenómenos: la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la habilidad de las plantas para adquirirlos. Para que se produzca la absorción de nutrientes es necesario que haya contacto entre las raíces y los iones del suelo. La rizósfera corresponde a aquella zona del suelo que está influenciada por las raíces, ya que los exudados radicales afectan procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Su importancia radica en que sirve de anclaje de las plantas, promueve la síntesis de reguladores de crecimiento, absorción de agua y nutrientes, metabolización de asimilados para el crecimiento radical, solubilización de iones, almacenaje y otros

Según Hernández y Escalona (2003), algunos autores definen a la rizósfera como toda aquella porción de suelo que está fuertemente influenciada por las raíces de las plantas, la cual a su vez se divide en tres partes: rizoplasma (microorganismos pegados a la raíz), endorrizósfera (microorganismos dentro de la raíz) y ectorrizósfera (microorganismos que actúan de manera circundante a la raíz).

Menciona además que dicha asociación se inicia como respuesta al llamado “efecto rizosférico”, el cual sucede a través de un intercambio de señales que se generan a partir de la interacción microbio-planta, con resultados claramente benéficos para los dos. Cerca del 40% del carbono fijado en la fotosíntesis, en la parte aérea de la planta, puede ser dirigido a la rizósfera, lo que afecta positivamente a la mayoría de las bacterias que ahí habitan, las cuales se nutren de los exudados de las raíces que emiten las plantas, como azúcares, vitaminas, factores de crecimiento, ácidos orgánicos, glúcidos y mucigel.

2.2.5. Principales grupos microbianos del suelo

2.2.5.1. Los hongos

La función básica de los hongos es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos frescos o recién incorporados al suelo, por esto se les conoce como descomponedores primarios que mediante su metabolismo libera gran cantidad de enzimas capaces de destruir compuestos de estructuras complejas, para así obtener su fuente energética y alimenticia. Además liberan al medio proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes (Acuña *et al.*, 2006).

Participan en un sinnúmero de procesos del suelo. Algunos son micorrizales, por lo que aumentan la capacidad de las raíces de las plantas para absorber nutrientes. Los hongos, también, secretan compuestos químicos que disuelven minerales, con lo cual otros organismos pueden disponer de nutrientes. Los basidiomicetos, también, se asocian con la habilidad del suelo para suprimir las enfermedades de las plantas. Algunos actinomicetos producen compuestos que actúan como antibióticos. *Streptomyces* sp. fue la fuente original de la estreptomicina. Como grupo, los hongos, también, ayudan a unirse las partículas de suelo creando la "esponjosa" tierra cultivable que resulta tan deseable para el crecimiento de las raíces (Ecoplexity, 2012).

Los beneficios de los hongos para los cultivos se relacionan principalmente con la protección al ataque de fitopatógenos. La disponibilidad de oxígeno en el medio es importante. En cuanto a parámetros químicos, se favorece la actividad de los hongos a un pH del suelo medianamente ácido, una acidez intercambiable intermedia, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de elementos esenciales. Organismos antagónicos y

sustancias contaminantes son factores que también afectan la actividad de los hongos en el suelo (Acuña *et al.*, 2006).

Los hongos micorrízicos intervienen en la conservación del suelo mediante distintos mecanismos. Al mejorar la absorción de nutrimentos de las plantas aumentan la productividad vegetal, lo que permite que exista una mayor cantidad de materia orgánica, que cuando se descompone se integra en el suelo, mejorando entre otras propiedades la fertilidad, la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de retención de agua. Consecuentemente, los hongos micorrízicos, cambian la composición de los exudados de la raíz, que sirven de alimento para otros microorganismos rizosféricos esenciales para el crecimiento vegetal y para el ciclaje de nutrientes (González y Peña, 2011).

Los beneficios de los hongos para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces, una protección al ataque de fitopatógenos y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción (Acuña *et al.*, 2006)

Además, los hongos juegan un papel fundamental en el ciclo del carbono puesto que son los organismos responsables de transformar alrededor del 80% de la celulosa que se produce y ésta es la mayor reserva de carbono en el mundo y el polisacárido más abundante en la naturaleza, con una producción que se estima en 1,4 billones de toneladas (Markham y Bazin, citados por Cabrera, 2000).

La degradación de la celulosa se hace por las celulasas producidas por los hongos que la transforman a glucosa libre o a oligosacáridos Cabrera (2000), encontró en Ultisoles y Oxisoles del Amazonas (Colombia), especies de *Trichoderma*, *Penicillium* y *Clonostachys* con alta actividad celulolítica, aunque también encontró especies de *Aspergillus*, *Fusarium*, *Verticilum*,

Beauveria, *Chaetomium*, *Lentinus* y *Poria* que también presentaban algún grado de dicha actividad.

2.2.5.2. Las bacterias

Los organismos benéficos son conocidos por desempeñar papeles fundamentales en el suelo, particularmente el grupo de las bacterias entre los que destacan las rizobacterias y las bacterias fijadoras de nitrógeno, conocidas por su habilidad para colonizar la raíz y promover el crecimiento vegetal. Este grupo de organismos desempeñan muchos papeles importantes, tales como el control biológico de patógenos, el ciclaje de nutrientes, el establecimiento de las plántulas y la mejora en la calidad del suelo (González y Peña, 2011).

Acuña *et al* (2006) señala que las bacterias expresan el número de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo. Es un indicador que refleja la población potencial de las bacterias en un determinado suelo, especialmente aquellas que ocupan diferentes nichos o hábitats en forma saprofítica.

La función básica de las bacterias es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos, de donde obtienen su fuente energética y alimenticia. Mediante su metabolismo liberan al medio, sustancias como: Enzimas, proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son componentes importantes del suelo y requieren una fuente de energía química si no son fotosintéticas, las cuales a su vez utilizan la energía de la luz solar. Entre las bacterias de vida libre pueden encontrarse: anaeróbicas obligadas o facultativas (ej. *Clostridium pasteurianum*, *Klebsiella* spp., *Desulfovibrio* sp.), aeróbicas obligadas (ej.

Azotobacter spp., *Beijerinckia* sp.) y fotosintéticas (bacterias púrpuras sulfurosas y no sulfurosas, y bacterias verdes sulfurosas) (Mayz-Figueroa, 2004).

González y Peña (2011) refieren que las bacterias fijadoras de nitrógeno y las solubilizadoras de fósforo mejoran la disponibilidad de dos de los nutrientes principales para las plantas el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P). Las relaciones sinérgicas entre estos microorganismos y los hongos micorrízicos han sido ampliamente demostradas. La inoculación con hongos micorrízicos mejora la nodulación en leguminosas y la fijación de nitrógeno. La bacteria del género *Azospirillum* influye sobre la morfología, geometría fisiología del sistema radicular, además de promover el crecimiento de la planta y la fijación de nitrógeno.

También señala este autor, que el número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua. Dentro de las propiedades químicas que favorece la actividad de las bacterias se encuentra un pH cercano a la neutralidad, una baja acidez, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg.

El estudio de la importancia de la fijación de nitrógeno en la naturaleza y en la agricultura para incrementar la productividad de la biósfera es de gran interés para los científicos y muchas personas relacionadas a la agricultura biológica. Un mayor conocimiento de esta ayudaría a paliar los efectos desastrosos y a potenciar un mayor aprovechamiento de las cosechas, lo que puede conducir a una regresión de la hambruna mundial actual (Sánchez *et al.*, 2009).

2.2.5.3. Actinomicetos

Los actinomicetos o actinomicetos representan un grupo ubicuo de microorganismos ampliamente distribuido en ecosistemas naturales y tienen gran importancia en la participación de la degradación de materia orgánica, además de ciertas propiedades fisiológicas que los hacen particulares (Ghanem *et al.*, 2000). En un principio los actinomicetos se incluyeron entre los hongos porque su morfología y desarrollo presentaban gran similitud, dotados de un micelio verdadero; debido a esto se les denominó “hongos radiados”. Sin embargo, hoy en día, y dado su carácter procariótico, se sustenta muy bien su clasificación como bacterias (Koneman, 2001 y Prescott, 2002)

Este grupo de microorganismos presentan la capacidad de poder utilizar una amplia diversidad de sustancias, alguna de ellas muy complejas, lo cual posibilita su desarrollo sobre numerosos sustratos y les concede gran importancia en lo que a procesos de mineralización se refiere (Fernández y Novo 2003, citados por Morales, 2004).

En comparación con las bacterias verdaderas, los actinomicetos son menos comunes en áreas húmedas que en áreas secas. El género *Streptomyces* predomina numéricamente, constituyendo del 70 al 90% de las colonias, el género *Nocardia* es por lo general el segundo más abundante y también hay evidencias de la frecuente presencia de *Micromonospora*. Una característica de los estreptomicetes es el olor mohoso que producen, recordando al suelo removido recientemente. Su importancia radica en la producción de antibióticos, capaces de inhibir el crecimiento o eliminar las poblaciones de bacterias, levaduras u hongos. En suelos alcalinos el 95% de grupos aislados pueden ser actinomicetos, éstos no toleran ambientes ácidos, si bien existen especies que lo soportan. En un pH menor a 5 conforman una población del menos del 1% del total de la población microbiana (Fernández y Novo, 2003).

2.6. Factores que afectan la diversidad microbiana del suelo

2.2.6.1. Vegetación

La vegetación así como los exudados que producen algunas raíces, cambian las propiedades físicas y químicas de los suelos; en particular, la estructura, la porosidad, el pH y el potencial redox, factores que en su conjunto actúan de un modo u otro para influir sobre la densidad y la actividad de los microorganismos (Mora, 2012).

Delgado (2012), refiere que estas exudaciones dependen del buen estado nutricional de la planta y así favorecen el crecimiento de los microorganismos que son importantes para ella. Su actividad y su desarrollo están asociados a la disponibilidad de los substratos a transformar. La colonización de algunos grupos microbianos sobre las fracciones orgánicas e inorgánicas dependen de la función que se esté cumpliendo en la transformación (degradación de carbohidratos o de proteínas, amonificación, nitrificación, oxidación, reducción, mineralización, solubilización).

Así como, que mientras algunos microorganismos actúan sobre un substrato, otros se desarrollan en los productos de la transformación. Cuando terminan su función sobre la degradación del sustrato, los grupos microbianos que estaban actuando principalmente disminuyen al máximo, se reproducen o entran en latencia y se incrementa la población de otros que cumplirán funciones de transformación en los productos del metabolismo del grupo microbiano anterior. Cada proceso químico desencadenado por un microorganismo es una etapa en la descomposición de un material orgánico o inorgánico. Una mayor cantidad de microorganismos en el suelo permite una mejor actividad metabólica y enzimática para obtener plantas bien nutridas con buena capacidad para producir.

Mora (2012) refiere que en cuanto a la disponibilidad de nutrientes y su incidencia en la descomposición de los materiales orgánicos se puede señalar que el nutrimento más solicitado es el nitrógeno, y no es sorprendente que por esta razón sea el elemento que con más frecuencia limita la actividad microbiana del suelo y, por lo tanto, la descomposición de los materiales orgánicos. Además, anota que la falta de fósforo, azufre y calcio puede limitar la actividad microbiana in vitro; y que en condiciones naturales de los suelos agrícolas la descomposición de los residuos es limitada por otros elementos diferentes al nitrógeno.

2.2.6.2. pH

La acidez o alcalinidad de un medio influye sobre el crecimiento microbiano. Algunos microorganismos se desarrollan mejor a pH alto 9-14 alcalinófilos, mientras que otros a pH bajo 5-2 acidófilos, estos rangos pueden variar debido a la adaptabilidad de muchas cepas. Aquellos microorganismos que crecen a rangos de pH de 6-8 se llaman neutrófilos; hay que tener en cuenta que el pH intracelular debe permanecer próximo a la neutralidad, aunque el pH externo sea altamente ácido o básico. En muchos casos el microorganismo como consecuencia de su metabolismo crea un gradiente extracelular de iones OH⁻ o H⁺ (Rico, 2004).

Cada organismo tiene un rango de pH dentro del cual es posible el crecimiento y normalmente posee un pH óptimo muy bien definido. La mayoría de los ambientes naturales tienen valores de pH de 5,9 y los organismos con pH óptimo equivalente a son los habituales. Solo unas pocas especies pueden crecer a pH inferior a 2 o mayor a 10 (Mandigan *et al.*, 2000).

2.2.6.3. Temperatura

En todo el mundo la diversidad de especies microbianas principalmente se debe a la variabilidad de temperatura tanto a nivel geográfico, alteración humana o de estaciones ambientales; debido a esto el crecimiento o latencia de la célula depende del favorecimiento ambiental (Hansel *et al.*, 2008)

Sotomayor citado por Morales (2004), explica que hay cierta relación entre la temperatura ambiental y el número de microorganismos en el suelo. El incremento de temperatura, combinado con una regular humedad, favorece el desarrollo microbiano. En las zonas tropicales la temperatura es siempre adecuada en el suelo, es la presencia del agua el factor variable.

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que afecta al crecimiento y a la supervivencia microbiana. Puede afectar a los microorganismos vivos de dos formas muy diferentes. A medida que la temperatura sube, las reacciones enzimáticas son más rápidas y el crecimiento se hace más rápido. Sin embargo, por encima de una cierta temperatura, las proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares paran. Por tanto, para cada microorganismo existe una temperatura mínima por debajo de la cual no existe crecimiento, una temperatura óptima a la cual el crecimiento es el más rápido posible y una máxima rebasada en la cual no existe crecimiento (Mandigan *et al.*, 2000).

2.2.6.4. Humedad

Según Sotomayor citado por Morales (2004), la humedad ideal en un suelo de cultivo es la “capilar”, donde el agua se encuentra formando una delgada película alrededor de las partículas de tierra con los espacios porosos ocupados por aire. La presencia de agua suficiente permite toda la gama de intercambios de elementos nutritivos en las bacterias, aunque la excesiva

humedad tapa los poros del suelo evitando la aireación e impidiendo la proliferación de bacterias aerobias.

Por otro lado, señala también que la sequedad excesiva mata mayor número de organismos. Aunque los hongos, pueden persistir en condiciones relativamente semiáridas y pueden ser metabólicamente activos en lugares con bajo contenido de agua. En el extremo opuesto, cuando la humedad es excesiva la difusión del O₂ necesario para el metabolismo aeróbico se hace inadecuada para cubrir la demanda microbiológica y los hongos están entre los primeros que sufren las consecuencias.

2.2.6.5. Aireación

Los suelos arenosos, contienen mayor cantidad de oxígeno que las arcillosas. Generalmente el aire de la tierra vegetal contiene un 2.5% de anhídrido carbónico y 18.4% de oxígeno. El aumento del gas carbónico en el aire del suelo se debe a la oxidación del mantillo. En las tierras arcillosas, la circulación del aire es escasa, especialmente cuando están cargadas de agua, acumulándose el mantillo con mayor rapidez que la de su descomposición (Sotomayor citado por Morales, 2004).

Braddy *et al.*, (1999) indica que la aireación implica la ventilación del suelo, con el movimiento de gases tanto hacia adentro como hacia fuera del suelo. La aireación determina la velocidad de intercambio de gases con la atmósfera, la proporción del espacio poroso lleno con aire, la composición de este aire y el potencial químico de oxidación o reducción que resulta en el ambiente del suelo.

En este sistema general, la aireación del suelo es un componente esencial. Para que los organismos del suelo lleven a cabo la respiración se debe suministrar oxígeno y eliminar el dióxido de carbono. En un suelo bien aireado, el intercambio de estos dos gases entre el suelo y la atmósfera es lo

suficientemente rápido para impedir la deficiencia de oxígeno o la toxicidad del exceso de dióxido de carbono. Para la mayor parte de las plantas no hidrófitas, la provisión de oxígeno en el aire del suelo debe mantenerse por encima de 0,1 L/L (en comparación con los 0,2 L/L de la atmósfera). A la vez, no se debe permitir que la concentración de CO₂ y de otros gases potencialmente tóxicos, como metano y etileno, se eleve excesivamente.

2.2.7. Principales ciclos de nutrientes

2.2.7.1. Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno proporciona una buena representación de las posibles vías que podría seguir el nitrógeno después de la degradación del cianuro. El ciclo del nitrógeno incorpora cianuro como HCN. El ácido cianhídrico es degradado a la forma más reducida de nitrógeno, amonio, el cual es entonces susceptible a cambios en el potencial redox de la solución. La oxidación y reducción de las especies de nitrógeno es acompañada típicamente por microorganismos. Las formas comunes del nitrógeno en soluciones acuosas, como las del suelo, son nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), amonio (NH₄⁺) y cianuro (CN⁻); no obstante, sólo como nitrato penetra a la planta (Meehan, 2000).

Los seres vivos requieren el nitrógeno para la síntesis de moléculas orgánicas esenciales como las proteínas, los ácidos nucleicos y el ADN; por lo tanto, es un elemento indispensable para el desarrollo de los seres vivos (Lenntech, 2008).

Menciona además que el aire de la atmósfera contiene un 78% de nitrógeno y a pesar de su abundancia, pocos son los organismos capaces de absorberlo directamente para utilizarlo en sus procesos vitales. Por ejemplo, las plantas para sintetizar proteínas necesitan el nitrógeno en su forma fijada, es decir incorporado en compuestos orgánicos.

En el curso del último siglo la especie humana se ha convertido en una fuente permanente de aporte de nitrógeno al medio ambiente, mediante la quema de combustibles fósiles, el uso en exceso de fertilizantes nitrogenados y el cultivo de leguminosas (Smil, 2001). Una parte importante de estas actividades se desarrolla en el marco de un modelo de agricultura intensiva, ideado con el fin de resolver la creciente demanda de alimentos en un escenario de crecimiento progresivo de la población mundial y limitación de la superficie cultivable. En este proceso de intensificación de las prácticas agrarias basado, fundamentalmente, en el riego y en el manejo de una fuente de nutrientes adicionales que los suelos no poseen (Galloway *et al.*, 2004), el sector de los fertilizantes nitrogenados desempeña un papel absolutamente imprescindible (Martínez *et al.*, 2009).

Nitrificación: El amonio presente en el suelo puede sufrir dos procesos de oxidación sucesivos producidos por ciertos grupos de bacterias que actúan en condiciones aerobias: bacterias del género *Nitrosomonas*, que oxidan a nitrito, y bacterias del género *Nitrobacter*, que oxidan a nitrato, en el proceso denominado nitrificación (Wetzel, 2001). Este proceso requiere la presencia de oxígeno y ocurre rápidamente a temperaturas entre 15 y 30 °C y pH entre 6,5 y 7,5. Otros factores que regulan la nitrificación son la concentración de amonio, la concentración de dióxido de carbono, la relación C/N y el potencial redox del suelo (Martínez *et al.*, 2009).

Desnitrificación: Es el proceso que tiene lugar por la acción de bacterias reductoras (anaerobias facultativas) como las *Pseudomonas*, que actúan bajo condiciones anaeróbicas (suelos encharcados) y transforman el nitrógeno mineral del suelo en N₂ (Wetzel, 2001; Pacheco *et al.*, 2002; Paerl *et al.*, 2002) y, en menor medida, en óxidos nitrosos. Para que se produzca la desnitrificación se requieren concentraciones de carbono soluble mayores de 2 mg L⁻¹ y concentraciones de oxígeno disuelto menores de 2 mg L⁻¹ (Thomasson *et al.*, 1991).

Este proceso se ve favorecido a temperaturas de 25 °C o superiores, pH entre 6 y 8, bajo drenaje del suelo y existencia de altas concentraciones de compuestos orgánicos que actúen como donadores de electrones o, en su defecto, otras fuentes de electrones como la pirita, la glaucomita, el Fe^{2+} , el Mn^{2+} , o el S^{2-} (Martínez *et al.*, 2009).

Fijación del Nitrógeno: tres procesos desempeñan un papel importante en la fijación del nitrógeno en la biosfera. Uno de estos es el relámpago. La energía contenida en un relámpago rompe las moléculas de nitrógeno y permite que se combine con el oxígeno del aire. Por otra parte, mediante los procesos industriales se fija el nitrógeno, en este proceso el hidrógeno y el nitrógeno reaccionan para formar amoníaco, NH_3 . Dicho proceso es utilizado por ejemplo para la fabricación de fertilizantes. De igual manera, las bacterias nitrificantes son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico que utilizan las plantas para llevar a cabo sus funciones (Lenntech, 2008).

Fijación biológica del nitrógeno: A pesar que el nitrógeno molecular (N_2) se encuentra en la atmosfera en una concentración de casi el 80 %, ni plantas ni animales tienen una forma fácil para obtener el nitrógeno suficiente para su crecimiento. Esta situación se hace aún más crítica ya que el N_2 es una molécula muy estable químicamente y de esta forma no está disponible para la mayoría de los organismos vivos. Este debe ser fijado antes que pueda ser asimilado. Las formas más comunes de encontrar el nitrógeno es el proceso mediante el cual se lleva a cabo la reducción de nitrógeno molecular a amonio (Newton y Fisher, 2002)

Sotomayor citado por Morales (2004), manifiesta que el nitrógeno atmosférico es fijado por acción de algunos microorganismos, hasta llegar al estado de nitratos. Los microorganismos que intervienen en estos fenómenos se dividen en dos grupos: los de vida libre y los simbióticos.

La fijación del nitrógeno mediante la acción independiente de microorganismos se llama no simbiótica, para distinguirla del tipo simbiótico de fijación del nitrógeno producida por la acción asociación de bacterias radicales y leguminosas. Los productos finales son proteínas, en la fijación simbiótica del nitrógeno la mayor parte se encuentra en las leguminosas; en tanto que en la fijación no simbiótica las proteínas formadas, permanecen en las células de las bacterias asimbióticas (Bernal y Graham, 2001).

2.2.7.2. Ciclo del fósforo

Lenntech, (2008), explica que la proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña pero el papel que desempeña es vital. Forma parte de los ácidos nucleicos como el ADN, muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y en la respiración celular están combinadas con el fósforo. Los átomos de fósforo proporcionan la base para la formación de los enlaces de alto contenido de energía del ATP, se encuentra también en los huesos y los dientes de animales, incluyendo al ser humano. La mayor reserva de fósforo está en la corteza terrestre y en los depósitos de rocas marinas. De las rocas se libera fósforo al suelo, donde es utilizado por las plantas para realizar sus funciones vitales. Los animales obtienen fósforo al alimentarse de las plantas o de otros animales que hayan ingerido.

2.2.7.3. Ciclo del carbono

Lenntech (2008), explica que un 18% de la materia orgánica viva está constituida por carbono, la capacidad de dichos átomos de unirse unos con otros proporciona la base de la diversidad molecular así como el tamaño molecular. Por tanto, el carbono es un elemento esencial en todos los seres vivos. El carbono se combina con el oxígeno para formar monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), también forma sales como el carbonato de sodio (Na₂CO₃), carbonato cálcico (en rocas carbonatadas, como calizas y estructuras de corales).

Los organismos terrestres productores (plantas) obtienen el dióxido de carbono de la atmósfera durante el proceso de la fotosíntesis para transformarlo en compuestos orgánicos como la glucosa, y los productores acuáticos lo utilizan disuelto en el agua en forma de bicarbonato (HCO_3). Los consumidores se alimentan de las plantas, así el carbono pasa a formar parte de ellos, en forma de proteínas, grasas, hidratos de carbono, etc. (Lenntech, 2008).

Este autor también hace referencia que el proceso de la respiración aeróbica, se utiliza la glucosa como combustible la cual es degradada, liberándose el carbono en forma de CO_2 a la atmósfera. Por tanto, en cada nivel trófico de la cadena alimentaria, el carbono regresa a la atmósfera o al agua como resultado de la respiración. Los desechos del metabolismo de las plantas y animales, así como los restos de organismos muertos, se descomponen por la acción de ciertos hongos y bacterias, durante dicho proceso de descomposición también se desprende CO_2 .

Degradación de la celulosa

Sotomayor citado por Morales (2004), detalla que la celulosa es desdoblada por bacterias aeróbicas y anaerobias. Son muy activos las desnitrificantes y algunas especies de *Streptomyces*, y también los hongos y levaduras. No se conoce bien esta acción microbiana, pero según algunos investigadores las bacterias anaerobias pueden efectuar dos tipos de descomposición. En una de las formas hay desprendimiento de metano y anhídrido carbónico y en las otras se libera hidrógeno y anhídrido carbónico. Al parecer todo el proceso estaría a cargo de diversos tipos de microorganismos, unos realizarían parte de la descomposición y otros la terminarían.

2.2.7.4. Ciclo del azufre

El azufre es un nutriente secundario requerido por plantas y animales para realizar diversas funciones, además el azufre está presente en prácticamente todas las proteínas y de esta manera es un elemento absolutamente esencial para todos los seres vivos. El azufre circula a través de la biosfera de la siguiente manera, por una parte se comprende el paso desde el suelo o bien desde el agua, si hablamos de un sistema acuático, a las plantas, a los animales y regresa nuevamente al suelo o al agua (Lenntech, 2008).

Refiere además que algunos de los compuestos sulfúricos presentes en la tierra son llevados al mar por los ríos. Este azufre es devuelto a la tierra por un mecanismo que consiste en convertirlo en compuestos gaseosos tales como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de azufre (SO_2). Estos penetran en la atmósfera y vuelven a tierra firme. Generalmente son lavados por las lluvias, aunque parte del dióxido de azufre puede ser directamente absorbido por las plantas desde la atmósfera.

Así como, que las bacterias desempeñan un papel crucial en el reciclaje del azufre. Cuando está presente en el aire, la descomposición de los compuestos del azufre (incluyendo la descomposición de las proteínas) produce sulfato (SO_4^{--}). Bajo condiciones anaeróbicas, el ácido sulfúrico (gas de olor a huevos en putrefacción) y el sulfuro de dimetilo (CH_3SCH_3) son los productos principales. Cuando estos últimos gases llegan a la atmósfera, son oxidados y se convierten en bióxido de azufre. La oxidación posterior del bióxido de azufre y su disolución en el agua de lluvia produce ácido sulfhídrico y sulfatos, formas principalmente bajo las cuales regresa el azufre a los ecosistemas terrestres. El carbón mineral y el petróleo contienen también azufre y su combustión libera bióxido de azufre a la atmósfera.

2.2.7.5. Ciclo del potasio

El potasio (K) es un elemento esencial para las plantas, los animales y los humanos porque interviene en procesos de la fotosíntesis, en procesos químicos dentro de las células, y contribuye en mantener el agua en las células. Es por esto que el potasio, junto con el nitrógeno y el fósforo, son elementos esenciales para los seres vivos (Lenntech, 2008).

Este autor menciona que el ciclo del potasio consiste en los siguientes pasos: El potasio se encuentra en forma natural en el suelo, especialmente en los suelos ricos en arcillas, que contienen hasta un 3%. En los suelos pantanosos y los pobres en arcilla el contenido de compuestos de potasio es menor y puede ser deficitario, originando problemas en los cultivos.

Los compuestos de potasio del suelo son lavados (lixiviados) con facilidad en las zonas de altas precipitaciones y, en consecuencia, deben ser restituidos a los campos por fertilización, añadiendo cloruro de potasio o sulfato de potasio. Ciertos cultivos (alfalfa, zanahorias, pepinos y coles) son muy exigentes en potasio y no prosperan en suelos pobres en dicho elemento (Lenntech, 2008).

2.2.8. Efectos de las plantas sobre los microorganismos del suelo

Existe una interacción entre las plantas y los microorganismos. Algunos mecanismos por los cuales los microorganismos pueden actuar benéficamente sobre el crecimiento de las plantas, son: a) biofertilización; b) estimulación del crecimiento de raíces; c) rizodemediación; y d) control al estrés de las plantas (Sarabia *et al.*, 2010).

Hay dos tipos de efectos que tienen las plantas sobre los diferentes grupos funcionales del suelo y estos son: **Directos**, son los que aportan sustancias energéticas estimulantes o inhibitoras: moléculas orgánicas, vitaminas,

fitohormonas, sustancias que producen agregados en forma de exudados, secreciones, restos de tejidos (fuentes de E, C, N, S, etc.) e **Indirectos**, la modificación del medio físico (temperatura, humedad) o químico (absorción de elementos) (Fagro, 2008).

2.2.9. Efectos de los microorganismos del suelo en el crecimiento vegetal

Los microorganismos en el suelo agrícola ofrecen un invaluable servicio, ya que intervienen en la mineralización de la materia orgánica vegetal y hacen disponible elementos esenciales como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio, entre otros, para las plantas y por ende para los cultivos. Es de especial interés su habilidad de los microorganismos para degradar compuestos altamente recalcitrantes tales como quitina, celulosa y hemicelulosa. Intervienen activamente en: la Descomposición de los residuos animales y vegetales con liberación de Ácidos orgánicos y amoníaco de las sustancias nitrogenadas, en los procesos de humificación, mineralización del humus con la consiguiente liberación de elementos útiles para la nutrición de las plantas. Por lo tanto son un componente fundamental en la formación de suelos (edafogenesis) y en la fertilidad del mismo (Coiman, 2009).

Un papel importante para las plantas juegan las bacterias benéficas del suelo, ya que al asociarse con ellas les permiten, por una parte, aumentar su crecimiento y desarrollo y, por otra, las protegen contra otros organismos del suelo que causan enfermedades. Ecológicamente, a esta relación benéfica entre las bacterias y las plantas se le denomina “mutualismo”, el cual se define como la condición en la que dos seres vivos de diversas especies viven juntos habitualmente (pero no necesariamente), con beneficio recíproco para el hospedero (planta) y el simbiote (bacteria) (Hernández y Escalona, 2003).

2.2.9.1. Rizobacterias (PGPRs)

Kloepper citado por Hernández y Escalona (2003), definió a un tipo de bacteria como PGPR (por sus siglas en inglés, que significan plant growth promoting rhizobacterias, o rizobacterias promotora del crecimiento vegetal), la cual mostró ser un organismo altamente eficiente para aumentar el crecimiento de las plantas e incrementar su tolerancia a otros microorganismos causantes de enfermedades. En años recientes se ha creado cierta controversia respecto de cuándo considerar a una rizobacterias como PGPR, por lo que se han establecido algunas características que definen a este grupo. En primer lugar, que tengan una elevada densidad poblacional en la rizósfera después de su inoculación en las plantas, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la microflora nativa del suelo. Después, que posean capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y, como consecuencia, puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta.

Además, que puedan controlar de manera natural y eficiente a otros microorganismos del suelo capaces de enfermar a las plantas; y por último, que no produzcan daño en el hombre. La aplicación de este tipo de rizobacterias ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento en plantas, observándose un incremento en la emergencia, vigor, biomasa, desarrollo en sistemas radicales e incrementos de hasta 30% en la producción de cultivos de interés comercial, tales como papa, rábano, ají, tomate, trigo y soya, entre otros. Actualmente, el uso de microorganismos representa sólo 1.4% (380 millones de dólares) del mercado global para el control de plagas y enfermedades. Ejemplo de ello es el producto generado a partir de la rizobacterias *Bacillus thuringiensis*, que ha mostrado ser un organismo altamente eficiente para el control de plagas, siendo el bioplaguicida más abundante en el mercado mundial (Hernández y Escalona, 2003).

Cornejo (2006) señala que el funcionamiento de los ecosistemas terrestres es dependiente de la actividad de los microorganismos del suelo, principalmente de las micorrizas y rizobacterias para dotar a la planta de una rizósfera optimizada, que le ayude a superar el stress ambiental y facilite el éxito en la recuperación de la cubierta vegetal.

2.2.9.2. Influencia de las rizobacterias en el crecimiento vegetal

La promoción del crecimiento en las plantas inoculadas con rizobacterias ocurre por varios factores; uno de ellos es por la síntesis de ciertas sustancias reguladoras de crecimiento, como giberelinas, citocininas y auxinas, las cuales estimulan la densidad y longitud de los pelos radicales, aumentando así la cantidad de raíces en las plantas, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrientes y permite que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas, como las heladas o las sequías (Hernández y Escalona, 2003).

Otro factor importante por el cual las rizobacterias ayudan a las plantas es que existen ciertas especies que las hacen nutrirse mejor; por ejemplo, las *Pseudomonas* sp., las cuales, al solubilizar algunos nutrientes poco móviles del suelo, como el fósforo, mejoran el ingreso de este macronutriente hacia la planta, lo que se traduce en una mayor cantidad de biomasa. Otras especies, como *Rhizobium* sp. Y Brady *Rhizobium* sp., aumentan el aporte de nitrógeno, influyendo directamente en el crecimiento, desarrollo y rendimiento. Recientes investigaciones demuestran que existen algunos mecanismos indirectos que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, como la producción de ciertos metabolitos que, al funcionar como antagónicos de microorganismos perjudiciales, hacen que las plantas se desarrollen en un ambiente idóneo libre de patógenos y tengan un mayor crecimiento y desarrollo (Hernández y Escalona, 2003).

2.2.9.3. Las rizobacterias como control natural de agentes patógenos.

Rizobacterias como las del género *Pseudomonas* sp., suprimen numerosos fitopatógenos del suelo, tales como bacterias, hongos, nemátodos y virus, los cuales pueden llegar a reducir las cosechas de forma espectacular en los cultivos establecidos tanto en invernadero como en campo. Las vías de control que estos organismos ejercen se dan a través de diversos mecanismos de defensa que involucran la producción de compuestos bacterianos, como sideróforos, ácido cianhídrico (HCN) y antibióticos. Incluso se ha comprobado que las rizobacterias inducen en algunos casos un sistema de resistencia en las plantas que hace que puedan tolerar el ataque de diversos patógenos del suelo al mismo tiempo (Hernández y Escalona, 2003).

Bolaños (2000), menciona que dentro de las Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal se han reportado varios géneros microbianos: *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*. Entre los mecanismos que explican cómo estas bacterias pueden promover directamente el crecimiento de las plantas o inhibir el potencial patógeno se pueden mencionar la producción de fitohormonas (auxinas, giberelinas y citoquininas), así como:

Bacterias amonificantes: a partir de la mineralización de proteínas y aminoácidos producen amoníaco el cual puede ser utilizado por la planta.

Bacterias nitrificantes: transforman el amonio a nitritos y nitratos, son aerobias, dependen del pH y la temperatura, pueden ser quimioautótrofas o heterótrofas. Algunos actinomicetos como *Nocardia* y *Streptomyces*. Martínez y Becerra (2004), reportan que el fuego al provocar una descomposición acelerada del material orgánico libera elementos minerales que incrementa los contenidos de P, K, Ca, Mg y Na; disminuye la acidez del suelo en los horizontes superficiales y aumenta la actividad biológica del

suelo al promover el crecimiento de la población de las bacterias nitrificantes que favorecen la producción de NO_3 . La magnitud de los cambios depende en gran parte de la cantidad de materia orgánica destruida. Esta respuesta biótica produce en general, un aumento transitorio de nutrientes, lo que promueve múltiples beneficios a corto plazo en áreas quemadas y afectadas por una baja intensidad calórica. ($< 100^\circ\text{C}$).

Bacterias desnitrificantes: La desnitrificación biológica es el mayor proceso a través del cual el nitrógeno fijado es devuelto del suelo a la atmósfera, los más estudiados son: *Thiobacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Halobacterium* y *Rhodopseudomonas*.

Bacterias fijadoras de nitrógeno: La fijación biológica de nitrógeno atmosférico, conversión del N_2 -- 2NH_3 , la realizan organismos procariontes como las bacterias y algas verdes-azules *Cyanophyceae*, 11 especies de las 47 familias de bacterias y 8 familias de *Cyanophyceae* tienen capacidad para realizar este proceso como: *Azotobacter* y *Rhizobium*, cuya actividad contribuye a la nutrición nitrogenada de la planta en rangos comprendidos entre 50 y 300 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Bacterias solubilizadoras de fósforo: Son capaces de disolver fosfatos inorgánicos como la roca fosfórica, muchos de los microorganismos más comunes del suelo son capaces de solubilizar fosfatos insolubles, algunos ejemplos de estos son *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Penicillium*, *Fusarium* u *Aspergillus* entre otros.

2.2.9.4. Micorrizas

González (2005), menciona que A.B. Frank utiliza en 1877 por primera vez el término simbiosis, para describir a la asociación o coexistencia, no parasítica, de organismos distintos; y posteriormente establece el término

micorriza, como la asociación simbiótica raíz-hongo. Es así que juegan un papel primordial en la nutrición mineral de las plantas terrestres.

La asociación micorrízica es una estructura, en la cual una unión simbiótica entre un hongo y los órganos absorben (las raíces) de una planta, confiere incremento de la adaptabilidad (fitness) de uno de los dos participantes (González, 2005).

Las micorrizas arbusculares que colonizan las raíces de las plantas, forman una extensa red de micelio en el suelo y mejoran la capacidad de estas para aprovechar el agua y los nutrimentos. El interés agronómico en la actividad microbiana se debe a su potencial para reciclar los nutrimentos, mejorar la nutrición de las plantas y disminuir o sustituir la aplicación de fertilizantes de origen industrial (Álvarez y Anzueto, 2003).

Las micorrizas absorben azúcares de la raíz de la planta e introducen minerales (P, N, K, Ca, S, Zn, Cu, Sr, etc.) en su sistema vascular. Presentan un papel decisivo en la absorción del fósforo mineral. es un hecho demostrado, y es que diferentes especies de microorganismos tienen efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de distintas especies vegetales, como alternativa para la nutrición de las plantas, la defensa de los suelos contra la degradación y la protección fitosanitaria de los cultivos, entre otros (Franco, 2012).

2.2.10. Efectos de los sistemas de manejo del suelo en la diversidad microbiana

La calidad del suelo es un concepto basado en la premisa de que su manejo puede deteriorar, estabilizar o mejorar las funciones del ecosistema suelo (Franzluebbers 2002 y Pérez 2012).

El actual interés en mantener la calidad del suelo ha sido estimulado por un conocimiento renovado de la importancia de la condición del suelo para la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola y la calidad del medio ambiente. La materia orgánica es un componente importante de la calidad del suelo que determina muchas características como la mineralización de nutrientes la estabilidad de los agregados, la traficabilidad, la captación favorable de agua y las propiedades de retención (Pérez, 2012).

Hernández *et al.*, (2000) y Pérez (2012), estudiaron varios sistemas de manejo de suelos, obteniendo como resultado que el suelo tratado continuamente bajo la forma convencional (cuatro pases de gradas de discos cada año) tuvo menor porcentaje de macroagregados estables y en consecuencia una mayor tendencia a la autocompactación superficial, que las áreas tratadas con siembra directa o la sabana no labrada, por lo cual el objetivo de crear una mayor aireación en el suelo con la labranza se pierde rápidamente al humedecerse el mismo.

Los residuos de cosechas son la mayor fuente de energía y nutrientes para los microorganismos heterotróficos en los agroecosistemas, y afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El crecimiento de la biomasa microbiana en los residuos aumenta el movimiento de la materia orgánica del suelo, a través de reacciones concurrentes de inmovilización, mineralización y estabilización. Estos procesos fundamentales ayudan a mantener el ciclo de nutrición de las plantas y es importante para la conservación de la materia orgánica del suelo a largo plazo, a través de la producción de precursores de sustancias húmicas. La formación de sustancias orgánicas estabilizadoras de la estructura del suelo depende, principalmente, de la incorporación de residuos y de las prácticas de manejo de suelos (Pérez 2012).

Se desconoce mucho sobre la diversidad biológica de los microorganismos y su potencial para resolver problemas biotecnológicos, ya sea control

biológico, fertilidad del suelo o resistencia a la sequía, por ej. Pero la tendencia actual en la biosfera es a la pérdida de la biodiversidad. El suelo es vida. La vida en el suelo constituye un sistema interconectado entre sí, con el medio edáfico y con el medio exterior. En este sistema, los organismos libres pululan, descomponen la materia orgánica, reciclan los nutrientes y mejoran las propiedades del suelo (Aibanesi, 2006).

2.2.10.1. La mucuna

Los cultivos de cobertura se definen como una cobertura vegetal viva, que cubre el suelo en forma temporal o permanente, cultivada en asociación con otras plantas (intercalado, en relevo o en rotación). La especie *Mucuna pruriens*, ha sido una de las más usadas como abono verde y cobertura vegetal; según los más recientes reportes de estudios de investigación en éste tema, mostrando sus mayores beneficios en la fijación de nitrógeno atmosférico al suelo, el control de vegetación espontánea, la retención de humedad en el suelo y la reducción de la erosión (Sanclemente, 2009).

Mucuna pruriens, se destaca entre los cultivos de cobertura estudiados y fomentados. Los mayores reportes de esta especie en estudios de investigación formales, enfocados hacia el mejoramiento del recurso suelo provienen de Centroamérica, Brasil, África y La India. Los principales beneficios obtenidos son la fijación de Nitrógeno atmosférico al suelo ($50 - 200 \text{ kg N ha}^{-1}$), el control de arvenses, el aporte de biomasa fresca al suelo, la reducción de la erosión del suelo y el incremento de la actividad biológica (Anthofer *et al*, 2005 y Blanchart *et al*, 2006)

Kaizzi *et al.*, (2006), investigaron sobre los diferentes usos y beneficios del uso de la *Mucuna pruriens* como abono verde complementada con fertilización mineral, sobre los rendimientos de maíz (*Zea mays*), obteniendo un rango en la fijación de Nitrógeno atmosférico entre 4 y 108 kg ha^{-1}

2.2.10.2. El maíz

El sistema de producción de maíz basado en el barbecho largo se ha transformado en sistemas con barbecho progresivamente más corto y en el cultivo anual continuo (Alemán, 1989; Alemán y López, 1989). La intensificación del uso agrícola de la tierra ha modificado algunas características de la fertilidad nativa del suelo, principalmente ha causado a la disminución de materia orgánica, N total y cationes básicos intercambiables, así como el incremento de la concentración de P disponible para las plantas en el suelo debido a la aplicación frecuente de fertilizantes (Álvarez y Anzueto, 2003).

El maíz amarillo duro se encuentra distribuido geográficamente en la Costa Ecuatoriana, concentrándose en un 78% de su superficie (Los Ríos 35%, Manabí 22% y Guayas 21%); en la Región Sierra, un 14%, ubicadas básicamente en la provincia de Loja (8%); en la Amazonía un 6% y en las denominadas zonas no asignadas un 2%. Concluyen que en términos de aporte al PIB se estima que la producción local de maíz representa alrededor del 4% del PIB agrícola (la de la cadena maíz – balanceados - aves se calcula en un 2%), mientras que en términos de absorción de mano de obra, el cultivo de maíz utiliza un 8% de la Población Económicamente Activa (PEA) de la agricultura, ganadería y caza, y la cadena en su conjunto un 3% de la PEA total. (FAO, USDA, SICA, 2005)

2.2.10.3. Suelos con rastrojos quemados

A través de la historia de la humanidad el fuego ha sido un fenómeno común. Más específicamente en los campos agrícolas y forestales, es un compañero constante de trabajo, usado por el hombre y también amenazándolo. Los indígenas en las Américas utilizaron el fuego para reducir la tupida vegetación, para mejorar el ambiente para la fauna silvestre para la caza, y para crear aperturas para sus cultivos. En el Estado de la

Florida, EE. UU., los incendios fomentaron una diversidad de plantas que se asocian con una ecología de fuego (Long, 2006).

Ladrach (2009), refiere que a través de la historia de la humanidad el fuego ha sido un fenómeno común. Más específicamente en los campos agrícolas y forestales, es un compañero constante de trabajo, usado por el hombre y también amenazándolo. Las hierbas, arbustos y pastos capturan los nutrientes del suelo después de las quemas y los rebrotes son mas suculentos y apetitosos para los animales que el material herbáceo anterior. El fuego también fomenta la floración y producción de semillas y frutos, incrementando la disponibilidad de estos como alimentos para la fauna silvestre

Las quemas controladas o prescritas son importantes como herramienta para el manejo forestal ya que permite reducir el riesgo de los incendios en el monte y las cargas de combustibles que son conducentes para crear y hacer prosperar los incendios catastróficos (FAO, 2006).

Prausey Soler (2001) refieren que el arado y la quema de los rastrojos han sido, históricamente, los procesos más degradantes de la civilización humana. La labranza del suelo y la quema de los rastrojos de las cosechas podrían ser hoy un problema superado si se lograra comprender mejor el efecto negativo de estas formas ancestrales de trabajo. Está ampliamente documentado que las labranzas modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Durante la quema se producen modificaciones más o menos importantes de las formas de carbono y nitrógeno existentes, además de crearse “de nuevo” moléculas orgánicas resistentes a la oxidación (Schulze *et al.*, 2000; González- Pérez *et al.*, 2011; Knicker *et al.*, 2005). En general, estos cambios provocan la aparición de una forma nueva de sustancia húmica o humus piromórfico más resistente a la degradación (González-Vila y Almendros, 2003).

Martínez y Becerra (2004) reportan que los efectos del fuego pueden ser directos e indirectos. Los directos originan daño y muerte de los organismos e interferencia de los procesos fisiológicos (respiración, fotosíntesis) y los indirectos provocan alteraciones al medioambiente, principalmente al suelo. Menciona que en Chile, la quema controlada es una práctica antigua que se efectúa con una planificación y control insuficiente, cuyo principal objetivo es el despeje de tierras para la agricultura y la ganadería. La decisión de usar fuego como práctica cultural se fundamenta en que es considerada como herramienta de manejo para la preparación del sitio para la regeneración natural, siembra o plantación, control de plagas e insectos, reducción del peligro y riesgo de incendio forestal y para el control de incendios forestales (contrafuegos).

Estos autores también refieren que el fuego aumenta la actividad biológica del suelo (mineralización de la materia orgánica, nitrificación) y el aumento de la actividad biológica debido al aumento del pH (cenizas), mayor suministro de cationes y O (cenizas) y aumento de la temperatura del suelo por ausencia e cubierta vegetal. La magnitud de los cambios depende en gran parte de la cantidad de materia orgánica destruida. Esta respuesta biótica produce en general, un aumento transitorio de nutrientes, lo que promueve múltiples beneficios a corto plazo en áreas quemadas y afectadas por una baja intensidad calórica. ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

También mencionan que el fuego disminuye la acidez del suelo en los horizontes superficiales debido a: La gran acumulación de cenizas ricas en elementos básicos tales como: K, Ca, Mg y Na(bases de cambio), la menor formación de ácidos orgánicos e inorgánicos H_2CO_3 , H_2NO_3 y H_2SO_4 , originada por la falta de materia orgánica, sustrato vital para la actividad microbiana. La liberación de elementos minerales, por descomposición acelerada del material orgánico, generan un incremento de los contenidos de P, K, Ca, Mg, y Na a causa de una rápida mineralización y al aumento en la

solubilidad de éstos y las bacterias nitrificantes aumentan en cantidad favoreciendo la producción de NO_3 (Martínez y Becerra (2004).

Sin embargo, son menos conocidos los efectos del fuego sobre la MO del suelo, principalmente sobre los cambios cuantitativos y cualitativos que provocan en su dinámica y por ello en la salud general del suelo (González-Pérez, *et al.*, 2011).

2.2.10.4. Suelos con rastrojos en descomposición

Pérez (2012) manifiestan que la descomposición de los residuos orgánicos está regulada por una serie de factores que determinan el tipo de descomposición y humus que se forma. Entre estos factores tenemos el tipo de residuo orgánico, la reacción del suelo, la temperatura, la relación agua – aire y el tipo de microorganismos que actúan en el proceso, por lo que resulta muy importante el tamaño a que son triturados los residuos y la profundidad de su enterramiento. La dinámica de la descomposición de residuos de plantas en el suelo es compleja y controlada por muchos factores, incluyendo: disponibilidad de agua y nutrientes, temperatura, naturaleza física y química de los residuos, tipo de suelo y contacto suelo – residuo.

Mencionan también que las características de los residuos de plantas (dimensiones de las partículas, naturaleza bioquímica, geometría, daños superficiales) y las propiedades físicas del suelo (textura, distribución y tamaño de agregados y poros, contenido de agua) pueden ser importantes factores que controlen el contacto suelo - residuo. La superficie de los residuos expuesta a la descomposición puede variar, de acuerdo a la dimensión de la partícula y localización de los residuos, las cuales pueden ser alteradas por las operaciones de labranza y cosecha. Un incremento de la tasa de descomposición es observada cuando los residuos de cosecha están en el suelo o cortados finamente en comparación con los residuos

intactos. El corte de los residuos y la labranza del suelo influyen sobre algunos factores físicos y biológicos del suelo, que afectan la descomposición de los residuos. El corte de los residuos cambia la distribución de las dimensiones de los residuos y su superficie específica en contacto con el suelo (superficie por masa de los residuos), mejorando la colonización microbiana y el intercambio de agua y nutrientes con el suelo circundante

Forjan (2002), señala que el aporte de rastrojos efectuado por los cultivos varía en cantidad y calidad. La secuencia de cultivos implementada tiene trascendental importancia pues se establecen diferencias en el volumen y calidad del rastrojo aportado al suelo, influyendo también la periodicidad con que se repiten los cultivos. Parte de estos residuos sufren una rápida descomposición dejando productos intermedios que favorecen la actividad microbiana y otra parte es descompuesta mucho más lentamente formando el humus del suelo junto a la síntesis de nuevas sustancias complejas. Información lograda en los últimos años permite observar diferencias en la cantidad y calidad de los rastrojos de los cultivos incluidos en las rotaciones comúnmente empleadas. Asimismo se ha evaluado la relación con la mineralización de nitrógeno y la velocidad de descomposición de rastrojos con relación C/N diferente.

De igual manera, refiere que en la unidad integrada INTA Balcarce se ha realizado diversas experiencias con el propósito de determinar la velocidad de descomposición de los residuos, que se producen en función de la acumulación térmica de la temperatura superficial del suelo. De acuerdo a los distintos cultivos se observaron fracciones más resistentes a la descomposición (resistente al detergente neutro: lignina, celulosa, hemicelulosa y sílice) y otras más lábiles (soluble en detergente neutro: carbohidratos solubles, proteínas no estructurales, aminoácidos). La cantidad de estas fracciones que componen cada tipo de rastrojo determinan la calidad, diferenciándose los materiales por la velocidad de

descomposición y en la perdurabilidad. Los residuos de maíz y trigo, pobres en N y con alta relación C: N se descomponen y liberan los nutrientes lentamente, por lo que pocos nutrientes estarán disponibles para el cultivo siguiente aunque permanecerán en el suelo. Por el contrario, los residuos de soja y girasol, ricos en N, y con baja relación C: N se descomponen rápidamente y suministran gran cantidad de nutrientes durante los primeros estadíos del cultivo siguiente.

Además, que la distribución heterogénea de los residuos en superficie puede disminuir la eficiencia operativa de las labores posteriores (principalmente la siembra), puede provocar la variabilidad en la disponibilidad de nutrientes al descomponerse los residuos, puede crear un ambiente diferencial para la actividad microbiana causando inmovilización de N en algunos sectores y promover un menor contacto de los herbicidas con el suelo. Las condiciones ambientales, a través de las oscilaciones de temperatura y las alternancias secado – humedecimiento en la interface suelo – residuo, pueden afectar el accionar, tamaño y composición de la biomasa microbiana en función de la disponibilidad de sustrato

Pazmiño (1999) refiere que, grandes cantidades de sustancias con características inhibitorias son liberadas al medio como resultado de la descomposición microbiológica que sufren los residuos vegetales en el suelo. En otros casos estas sustancias fitotóxicas no están presentes en los residuos vegetales, sino son generados por microorganismos saprofitos que vienen en residuos vegetales consociados a ellos a partir de algunos de sus constituyentes. Se definen dos formas de alelopatía, “ecrisodinamia”, influencia a través de metabolitos provenientes de organismos autótrofos y “saprocrinodinamia”, influencia a través de metabolitos producidos por organismos saprofitos.

Además menciona que una gran parte de los estudios concernientes al estudio de alelopatía, están relacionados con la descomposición de residuos

de cultivos, debido a la gran masa vegetal que queda sobre el terreno después de recolectarse sus frutos o semillas. Así fue determinada la toxicidad de extractos procedentes de la descomposición de la hoja del trigo, del maíz, del sorgo, de la avena, del centeno, y del arroz. También la descomposición en el suelo de residuos de malezas anuales y perennes, ha generado compuestos orgánicos de marcada toxicidad, manifestada como una reducción en la germinación de semilla o crecimiento de otras especies al ser sembradas en esos suelos. Este hecho ha sido observado también bajo condiciones experimentales en las cuales se ha utilizado el agua de drenaje de recipientes que contenían residuos de malezas en descomposición.

Los residuos de cultivos y malezas incorporados al suelo, pueden ser degradados por acción de microorganismos bajo distintas concentraciones de oxígeno. Bajo estas disímiles condiciones las sustancias generadas no son las mismas, variando consecuentemente el efecto inhibitorio de la especie vegetal en estudio.

La incorporación de los residuos de las cosechas (tallos, hojas, flores, vainas, tuzas, etc.), al suelo, contribuye a incrementar la materia orgánica del suelo, modificando propiedades físicas y químicas, biológicas. Cuando la incorporación de los residuos de las cosechas se hace de manera correcta se mejora la productividad del suelo, ya que se favorece una gran cantidad de procesos biológicos, bioquímicos y sus múltiples efectos que permiten incrementar el rendimiento de los cultivos. Cuando se incorpora al suelo los residuos de las cosechas es importante que se conozca su composición química y sobre todo su relación carbono/nitrógeno (C/N). De esta última depende el ritmo de degradación de los componentes orgánicos, así como los facetas positivos o negativos que pueden obtenerse al ser incorporados (Manual de cultivos orgánicos y alelopatía, 2011).

2.2.10.5. Asociación maíz – mucuna

El sistema maíz-mucuna también proporciona evidencias de que estos sistemas son la única vía para que muchos campesinos con poca tierra puedan sobrevivir la globalización del comercio. Al controlar la maleza (por consiguiente reduciendo la necesidad de trabajo y/o la necesidad de herbicidas), aumentar la fertilidad del suelo (por lo tanto, reduciendo drásticamente la necesidad de fertilizantes químicos) y por ser un sistema de labranza cero (eliminando el costo de las operaciones de laboreo), estos sistemas pueden competir bastante bien con muchos sistemas modernos mecanizados. Después de todo, mientras la mecanización reduce de gran manera los costos de labranza del suelo y el control de la maleza es aún más barato eliminar totalmente estas mismas operaciones (Bunch y Kadar, 2004).

Estos autores también indican que los patrones de adopción o abandono de los sistemas maíz-mucuna tienden a indicar que el entorno ideal para estos sistemas son aquellas áreas donde la tenencia de tierra es alrededor de 1,5 hectáreas o más, donde el maíz todavía crece abundantemente como cultivo de subsistencia. Estos sistemas se mantienen mejor en zonas húmedas y subhúmedas, por eso los sistemas maíz-mucuna tienden a favorecer más a aquellos agricultores relativamente aislados y pobres. Los sistemas donde se usan cultivos de cobertura podrían tener un gran potencial en todo el mundo, y también por ser un caso de tecnología de bajos insumos externos.

Estrada (1989), manifiesta que los rendimientos del maíz cuando se siembra sin mucuna ($3,15 \text{ t ha}^{-1}$) son inferiores a los obtenidos cuando se siembra el maíz con mucuna ($5,77 \text{ t ha}^{-1}$).

2.2.10.6. Barbechos

Se considera como barbechos a la práctica de dejar la tierra sin sembrar y sin malezas durante ciertos periodos de tiempo para acumular y retener agua y elementos nutrientes mineralizados (Foth 1978). Existen dos tipos de barbecho: desnudo y cubierto:

El barbecho desnudo, implica un suelo libre de cobertura y vegetación, que si bien cumple con la finalidad de favorecer la infiltración del agua de lluvia no siempre asegura que la misma sea aprovechada íntegramente por las plantas. Con el suelo sin cobertura se generan altas tasas de evaporación y se favorecen procesos degradatorios y erosivos.

En el barbecho cubierto o bajo cubierta de rastrojo el laboreo del suelo se realiza con herramientas que permiten que los desechos de rastrojo queden en buena parte de la superficie. Se utilizan implementos de disco y de corte vertical. Los beneficios de la práctica del barbecho se pueden resumir así: Permite acumular humedad en el perfil por lo que, en parte, se independiza al cultivo de las fluctuaciones climáticas, moviliza nutrientes aumentando la fertilidad actual y ordena la entrega de los distintos elementos, entre ellos, nitrógeno y fosforo, asegura el control de malezas y permite obtener una buena cama de siembra.(FAO, 2006).

Además, el cultivo bajo cero labranzas se caracteriza por dejar una gran cantidad de rastrojos sobre la superficie del suelo, mejorando el balance hídrico y nutricional de los cultivos en la rotación. A la vez, cuando no se eliminan o no se manejan de forma que reduzca su cantidad, pueden constituir un problema para el cultivo siguiente, ya sea por alelopatía o bien por reducción de la calidad de la siembra por exceso de material sobre el suelo, García de Cortázar (2008)

Jiménez y Lamo (1998), refieren que su utilización es variable según las zonas, dependiendo del nivel de pluviometría anual y de las características de los suelos. El objetivo primario es incrementar el almacenamiento de agua en el suelo para que el cultivo siguiente tenga ciertas garantías de producir un rendimiento aceptable junto con la lluvia esperada. También el barbecho proporciona un tiempo para la mineralización del N del suelo y la reducción de enfermedades asociadas con el suelo. En la actualidad el papel del barbecho, en relación con la mejora de la fertilidad del suelo y la acumulación de agua, es objeto de discusión y revisión.

Así como, que en los ambientes en los que el suministro de agua está relativamente asegurado durante alguna parte del año, el almacenamiento de humedad en el barbecho puede ser un método efectivo de favorecer el crecimiento del cultivo siguiente. En otros casos la valoración del barbecho requiere un cuidadoso análisis de las probabilidades de lluvia y la capacidad de almacenamiento del agua por el suelo, y por supuesto evaluar la respuesta de los cultivos.

2.3. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL

Actinomicetos: Representan un grupo ubicuo de microorganismos ampliamente distribuidos en ecosistemas naturales y tienen gran importancia en la participación de la degradación de materia orgánica, además de ciertas propiedades fisiológicas que los hacen particulares (Ghanen *et al.*, 2000). Hoy en día se sustenta muy bien su clasificación como bacterias (Konemam, 2001 y Prescott, 2002).

Bacterias: Las bacterias son organismos unicelulares. Sus células carecen de núcleo, por lo que se denominan procariontes.

Cultivo de cobertura: plantas que se siembran principalmente para no ser cosechadas para la alimentación sino que sirven para el control de la erosión

del suelo, el control de las malas hierbas y el mejoramiento de la calidad del suelo. Por lo general se labra la tierra que está abajo antes de plantar el próximo cultivo alimenticio, en cuyos casos el "cultivo de cobertura" se utiliza como una enmienda del suelo y es sinónimo de "cultivo para abono verde".

Frotis: Es una pequeña cantidad de cultivo bacteriano que se extiende sobre un Portaobjetos limpio y se fija al calor.

Hongos: Ser vivo heterótrofo, carente de clorofila, hojas y raíces, que se reproduce por esporas y vive parásito o sobre materias orgánicas en descomposición.

Leguminosa: Conjunto de especies pertenecientes a la familia de las Papilionáceas, cuya principal utilidad agrícola es el empleo de sus semillas en la alimentación animal y humana, debido principalmente a su alto contenido en proteínas. También se utiliza en alimentación animal su paja y algunas especies suelen cultivarse para forraje o abonado en verde.

Medio de cultivo: Es un conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes que crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos.

Microbiología: Ciencia que estudia los microorganismos, sus actividades, forma, estructura, reproducción, fisiología, metabolismo e identificación, como están distribuidos en la naturaleza, sus relaciones con otros seres, los efectos benéficos y perjudiciales que ejercen sobre los humanos y las alteraciones físicas y químicas que provocan en su medio.

Microbiota: Conjunto de microorganismos que se encuentran generalmente asociados a tejidos sanos (piel, mucosas, etc.) del cuerpo humano. Los microorganismos residen en estos lugares de forma más o menos permanente y en algunos casos realizan funciones específicas.

Microorganismo: Organismos microscópicos pertenecientes por regla general a virus, bacterias, algas, hongos o protozoos.

Microscopio: Herramienta básica para el desarrollo de la microbiología, pertenece a dos clases el óptico y el electrónico, proporcionando la amplificación, gracias a la cual el hombre es capaz de observar los microorganismos y estructuras que a simple vista sería imposible de ver.

Micorriza: La Micorriza permite a la planta incrementar la exploración de la raíz con un aumento en la absorción y transporte de nutrientes como fósforo, nitrógeno, cobre, zinc y agua del suelo, proporcionándole mayores ventajas para su desarrollo y productividad.

Organismo: Entidad biológica capaz de reproducirse o de transferir material genético, incluyéndose dentro de este concepto a las entidades microbiológicas, sean o no celulares. Casi todo organismo está formado por células, que pueden agruparse en órganos, y éstos a su vez en sistemas, cada uno de los cuales realizan funciones específicas.

Rastrojo: Es el conjunto de restos de tallos y hojas que quedan en el terreno tras cortar un cultivo.

Rizósfera: Zona de interacción entre las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo. Normalmente ocupa entre unos cuantos milímetros o algunos centímetros de la raíz. Esta región se caracteriza por el aumento de la biomasa microbiana y de su actividad. La comunidad de la rizósfera consiste en una microbiota (bacterias, hongos y algas) y una micro y mesofauna (protozoos, nemátodos, insectos y ácaros).

Dinámica poblacional: Es su desarrollo en el tiempo y en el espacio, y está determinada por factores que actúan en el organismo, en la población y en el medio ambiente. Se refiere a la dispersión, a la densidad y al crecimiento.

2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La Carta Magna del Ecuador establece en el Título II, Derechos, Sección Segunda, Ambiente Sano en el artículo 14: se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir (Sumakkawsay) y en la temática de soberanía alimentaria se privilegia y es responsabilidad del Estado fortalecer la diversificación y la introducción de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria, asegurar el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica apropiada para garantizar la soberanía alimentaria y, regular bajo normas de bioseguridad el uso y desarrollo de biotecnología, así como su experimentación, uso y comercialización (Constitución del Ecuador, 2008. Título VI Régimen de Desarrollo, Capítulo III, Soberanía alimentaria, artículo 281 literales 3, 8 y 9).

2.5. HIPÓTESIS

H₁. La diversidad microbiana no varía bajo diferentes usos de la tierra.

H₂. La población microbiana no varía bajo diferentes usos de la tierra.

2.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

2.6.1. Variable Independiente

Uso del suelo con diferentes técnicas de manejo

2.6.2. Variable Dependiente

Diversidad y población de microorganismos en el suelo agrícola

2.7. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla 2.1. Variable independiente (Encuestas)

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUA L	DIMEN- SIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	ÍTEM	INSTRUMENTO	ÍNDICES
Independiente: Uso, cultivos y capacitación sobre el manejo del suelo agrícola	Conocimiento sobre el manejo de los suelos agrícolas	Agroecoló gica	Tenencia de la tierra	Encuesta	Propietarios o arrendatarios de los suelos agrícolas	☐ Dialogo directo y personal	Cuestionario abierto
			Principales cultivos		Cultivos establecidos		
			Nivel de escolaridad		Educación		
			Pertenencia a organizaciones agropecuarias		Asociación		
			Manejo del suelo		Prácticas agrícolas		
			Análisis microbiológico del suelo				
			Capacitación en técnicas de manejo del suelo		Capacitación		
			Opinión sobre el suelo				

Elaborada por Zambrano, S. (2012).

Tabla 2.1.1. Variable independiente (Uso del suelo).

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUA L	DIMEN- SIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	ÍTEM	INSTRUMENTO	ÍNDICES
Independiente: Uso del suelo con diferentes técnicas de manejo	Uso equilibrado del recurso suelo en cultivos agrícolas	Agroecológi ca	Maíz solo	Monocultiv o	Desgaste de los nutrientes del suelo y baja población microbiana	☐ Autoclave ☐ Balanza eléctrica ☐ Cámara fotográfica ☐ Cámara de flujo laminar ☐ Estufa ☐ Incubadoras ☐ Licuadora ☐ Marmita ☐ Agitador orbital	Grupos funcionales del suelo
			Mucuna en cobertura	Cobertura vegetal viva temporal o permanente	Fijación de nitrógeno atmosférico al suelo, control de vegetación espontánea, retención de humedad en el suelo, reducción de la erosión, promueve el desarrollo de microorganismos en el suelo		
			Maíz mas mucuna	Residuos de maíz y mucuna en descomposición asociada	Masa verde que ayuda al enriquecimiento de la fertilidad del terreno		
			Rastrojo en descomposición	Descomposición de restos de cultivos	Libera nutrientes al suelo que favorecen cultivos subsiguientes.		
			suelo con rastrojos quemados	Quema de desechos agrícolas	Eliminación de microorganismos benéficos del suelo.		
			Barbechos	Terreno sin cultivar	Almacenar mayor cantidad de agua y nutrientes que serán requeridos por el cultivo posterior.		

Elaborada por Zambrano, S. (2012).

Tabla 2.2. Variable dependiente.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	ÍTEM	INSTRUMENTO	ÍNDICES
Dependiente: Diversidad y población de microorganismos en el suelo agrícola	Diversidad y población microbiana	Microbiológica	Crecimiento	Laboratorio	☐ Bacterias nitrificadoras, ☐ Bacterias solubilizadoras de potasio (K) ☐ Bacterias celulolíticas ☐ Hongos ☐ Actinomicetos	☐ Ácido málico ☐ Agar nutriente ☐ Agua destilada ☐ Alcohol antiséptico ☐ Almidón ☐ Buffer pH 4, 7, 10 ☐ Carboximetil celulosa ☐ Caseína ☐ D- glucosa ☐ EDTA ácido ☐ Estreptomina ☐ Extracto de levadura ☐ Fosfato tricálcico ☐ Glucosa	Crecimiento de microorganismos: 1 No crecimiento: 0

Elaborada por Zambrano, S. (2012).

CAPITULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

"Hay un grupo de científicos bastante torpes
que insisten en que todo debe ser demostrado en laboratorio,
pero la historia de la ciencia está plagada de errores científicos"

Aceves Octavio

1947

3.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Métodos

La presente investigación tiene el carácter explicativo, porque va más allá de la descripción de conceptos. Se pretende responder preguntas como: ¿El monocultivo de maíz es muy utilizado por los agricultores e incentiva el uso indiscriminado de productos químicos que afectan la fertilidad y conservación de los suelos?, ¿La quema de rastrojos es muy utilizada por los agricultores como técnica de manejo de sus cultivos?, ¿El cultivo asociado de maíz + mucuna es poco utilizado por los pequeños agricultores para incrementar la población y diversidad de los microorganismos benéficos en el suelo?, ¿El dejar los suelos en barbechos y rastrojos en descomposición permite mantener la población y diversidad de microorganismos en el suelo?, ¿La cobertura de mucuna en los suelos, es una práctica agrícola poco utilizada por los agricultores para incrementar la población de bacterias fijadoras de nitrógeno?

En resumen el estudio realizó el análisis cuantitativo y cualitativo de la población biológica de microorganismos existentes en los suelos de la Finca “La María”, utilizando el método experimental, para ello se utilizó técnicas de investigación directa, las mismas que consistieron en realizar visitas a agricultores a encuestar, visita al campo para la recolección de muestras de suelo y posteriormente utilizar las técnicas experimentales en el laboratorio, cuyos resultados fueron procesados y sintetizados en cuadros y figuras, realizándose la jerarquización de los aislamientos obtenidos a fin de agruparlos de acuerdo a las variables más representativas para la selección de técnicas de manejo postcultivo adecuadas.

A partir de estos resultados se diseñó una propuesta de capacitación que permita al agricultor promover el desarrollo de microorganismos, mejorar la

calidad del suelo y aumentar la productividad del cultivo que tributa a la explicación de la hipótesis planteada.

☐ **Método experimental**

Este método permitió definir el objeto de la investigación o problema, plantear la hipótesis de trabajo, elaborar el diseño experimental, realizar el experimento, analizar los resultados, obtener conclusiones, facilitar recomendaciones; y, mediante la observación diaria y siguiendo las normas establecidas por el método científico, confirmar o descartar las teorías o hipótesis planteadas en la investigación.

☐ **Método exploratorio- descriptivo**

Este método permitió realizar la recopilación de la información bibliográfica mediante la selección de trabajos científicos relacionados con el tema de investigación, para luego leer, clasificar, ordenar y sistematizar la información extraída.

☐ **Método analítico - explicativo**

Se utilizó con la finalidad de comprender los resultados obtenidos en la presente investigación, así como su comparación con resultados de trabajos similares realizados por otros autores.

☐ **Método Inductivo**

Este método permitió observar fenómenos particulares llegando a conclusiones y premisas generales, que ayudaron a comprender los hechos y así lograr encontrar las respectivas soluciones.

□ **Método Deductivo**

Por medio de este observé los casos generales que ocurrieron con el propósito de señalar verdades particulares contenidas en el fenómeno que se investiga, para comprenderlo y proponer soluciones.

□ **Método de Análisis**

Es el que permitió identificar cada una de las partes que caracterizan al fenómeno a investigar, estableciendo la relación causa – efecto entre sus elementos.

3.1.2. Técnicas

La recolección, selección, sistematización, ingreso, procesamiento y almacenamiento de los datos de la información recopilada y obtenida en la investigación se basaron en las siguientes técnicas:

Recopilación bibliográfica, relacionada al tema de la investigación en documentos tales como Textos, folletos, revistas, artículos científicos, notas técnicas.

Entrevistas

Se aplicaron entrevistas a los agricultores de la zona a fin de conocer las técnicas de manejo del suelo que ellos utilizan. Ver formulario de encuesta en el Anexo No. 1.

Observación directa

Estuvo basada en el registro de la información que se obtuvo a través de las observaciones del fenómeno, para ser analizada posteriormente. Es necesario manifestar que la observación es un elemento importante que permite al investigador obtener el mayor número de datos posibles,

necesarios para incrementar el conocimiento, y comprensión de lo que sucede en el campo donde se desarrolla la investigación.

En esta investigación la observación directa se la aplicó en la recolección de las muestras de suelo, en la calidad de los materiales utilizados (medios de cultivo específicos para cada grupo funcional), y en el crecimiento de la población microbiana.

3.2. CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en la Zona Sureste de la provincia de Los Ríos, zona que está representada por el cantón Mocache, el cual tiene como denominador común la aptitud para la producción de cultivos de ciclo corto tales como: Maíz, arroz, soya y fréjol; y, cultivos de ciclo perenne tales como: banano, palma aceitera, plátano, y cacao. Esta zona posee condiciones meteorológicas aceptables de los cultivos referidos (Tabla 3. 1.).

En la provincia de Los Ríos, el uso del suelo está representado tradicionalmente por el monocultivo de maíz. La importación de nuevos híbridos altamente productivos incentiva a los productores su cultivo, conllevando a la dependencia de paquetes tecnológicos que promueven la aplicación de productos químicos (8 a 10 sacos de urea por hectárea) y la pérdida gradual de la fertilidad de los suelos.

3.2.1. Condiciones meteorológicas del lugar experimental

Existen pocos agricultores que realizan buenas prácticas en el uso de la tierra, tales como: siembra de maíz alternado con mucuna, suelos en descanso o barbecho, quema de rastrojos, entre otras, por ello, conociendo la importancia de los microorganismos en la mejora de los suelos, es necesario estudiar estas prácticas y determinar si los diferentes usos que el

agricultor le da a la tierra permiten mantener la riqueza biológica de la misma a fin de poner a disposición de los agricultores información técnica que les permita tomar decisiones ecológicamente sustentables.

En la Tabla 3.1. Se presentan las condiciones meteorológicas del cantón Mocache

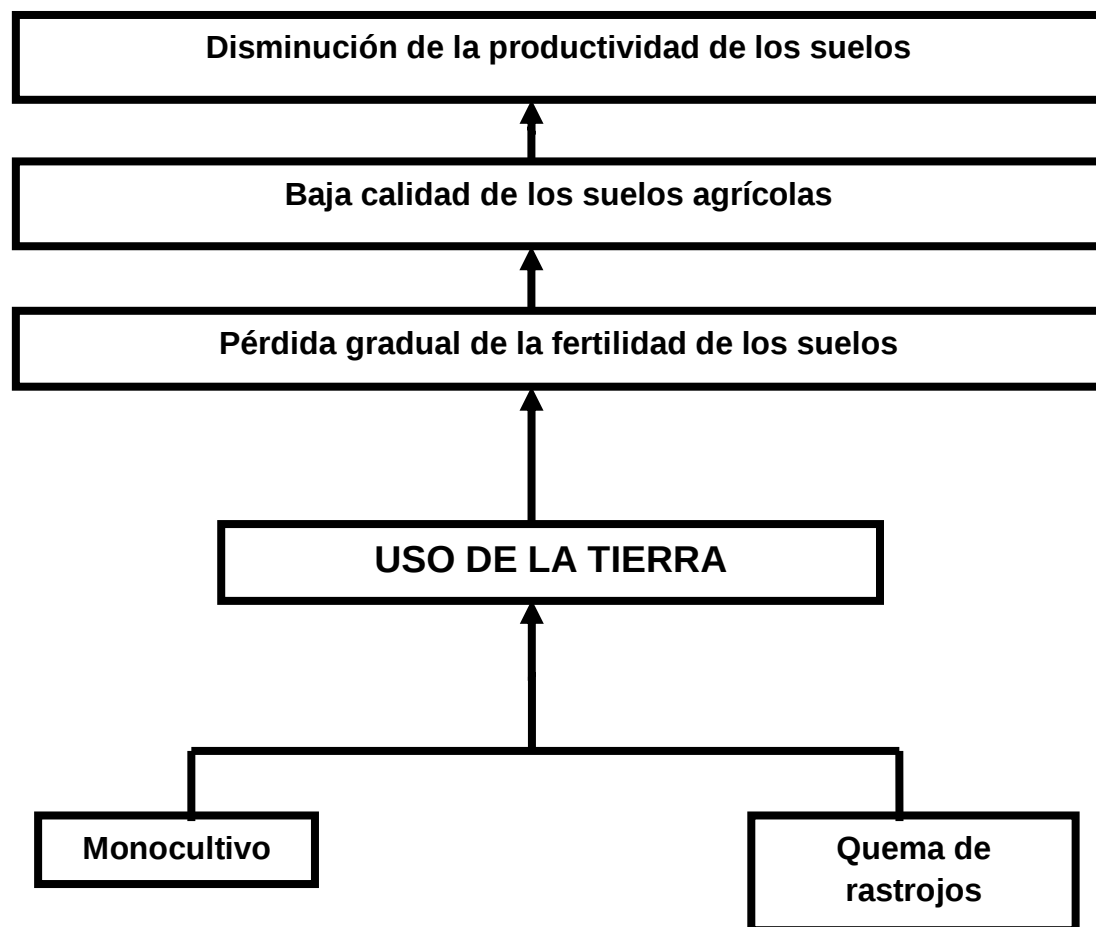
Tabla 3.1. Condiciones meteorológicas del Cantón Mocache, 2008

Parámetros	Promedios
Temperatura media, (°C)	24,00
Precipitación, (mm/año)	2280
Humedad relativa, (%)	86
Heliofanía observada, (horas luz)	925
Zona ecológica	Bosque húmedo tropical
Topografía	Ondulado

FUENTE: Estación del INAMHI ubicada en la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Anuario Meteorológico, 2008.

A través de la figura 3.1. Se explica la construcción metodológica del objeto de investigación, estableciendo un árbol de problemas, con sus causas y efectos, que interrelacionan las diferentes partes orgánicas del objeto de la investigación.

Figura 3.1. Árbol del problema mediático
¹ para la construcción del objeto de investigación.



Elaborado por: Zambrano, S. (2012)

3.3. ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO

Es de gran importancia sustentar teóricamente la investigación, en base a trabajos, realizados en otros sitios del país o del mundo, y que tienen relación con la temática investigada y de esta manera evitar errores u orientar el proceso de la investigación.

¹ LEIVA, A. (2007). *Marco Lógico*. Texto del Módulo Marco Lógico. Maestría en Proyectos Educativos y Sociales. Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda, Ecuador

A través del marco teórico se examinan los contenidos teóricos y científicos que describen y robustecen la investigación de campo, dando valor agregado a la propuesta, y así interrelacionar la teoría y la realidad encontrada con el desarrollo.

Se estableció el ordenamiento práctico de la revisión literaria para lo cual se recurrió al análisis del tema de investigación con los problemas y subproblemas establecidos en el análisis previo y la fundamentación teórica de las variables.

Para establecer las categorías de los temas se dispuso jerárquicamente en virtud de los objetivos propuestos. Las categorías principales son: métodos de análisis científico y metodológico.

3.4. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA

3.4.1. Población y muestra

La población de agricultores del área bajo estudio del cantón Mocache, se cuantifica en 1450 personas.

Para definir el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente ecuación²

$$n = \frac{PQ \times N}{(N-1) \frac{\alpha^2}{K^2} + PQ}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

PQ = cuantil de la población = $0,5 \times 0,5 = 0,25$

N = tamaño de la población = 1450 personas;

α = intervalo o nivel de confianza = 0,10

² JIMENEZ, C. *et al.*, (1999). Módulo de tutoría I. Programa de capacitación en liderazgo educativo. Ed. Unidad técnica EB/PRODEC. Ecuador.

K = constante de corrección del error = 2

Sustitución de valores en la ecuación:

$$n = \frac{0,25 \times 1450}{(1450-1) \frac{0,10^2}{2^2} + 0,25}$$

$$n = 93.51 \approx 94 \text{ personas}$$

La muestra se seleccionó probabilísticamente, entre los agricultores del área bajo estudio.

3.4.2. Encuesta

Las técnicas aplicadas para recopilar la información fueron las siguientes: Observación directa de la zona estudiada, Dialogo personal y directo con los agricultores para recabar la información establecida en la encuesta, que posteriormente fue procesada para interrelacionar con los resultados de la investigación de campo. La encuesta constituyó una de las bases para la medición de la variable independiente: “técnicas de manejo del suelo” y, por lo tanto una de las vías para el logro del primer objetivo específico.

Se tomó una muestra general del campo experimental (10 submuestras) con la finalidad de conocer la población y diversidad inicial de microorganismos, antes de someter al suelo a las diferentes técnicas de manejo (tratamientos). El muestreo de suelos (Figura 3.2.), se realizó mediante el método de en zigzag (Buduba, 2004) representativa del área correspondiente a cada tratamiento, para ello se tomaron cuatro submuestras por parcela (0-20 cm de profundidad), con la ayuda de una escarbadora. Se depositaron en un balde o superficie plástica limpia para luego ser homogenizadas en el laboratorio y colocado 1 kg de cada muestra en una funda plástica debidamente codificada, que se la mantuvo en refrigeración a 5 grados centígrados hasta realizar los análisis respectivos.

Figura 3.2. Croquis del muestreo de suelos

24.00 m

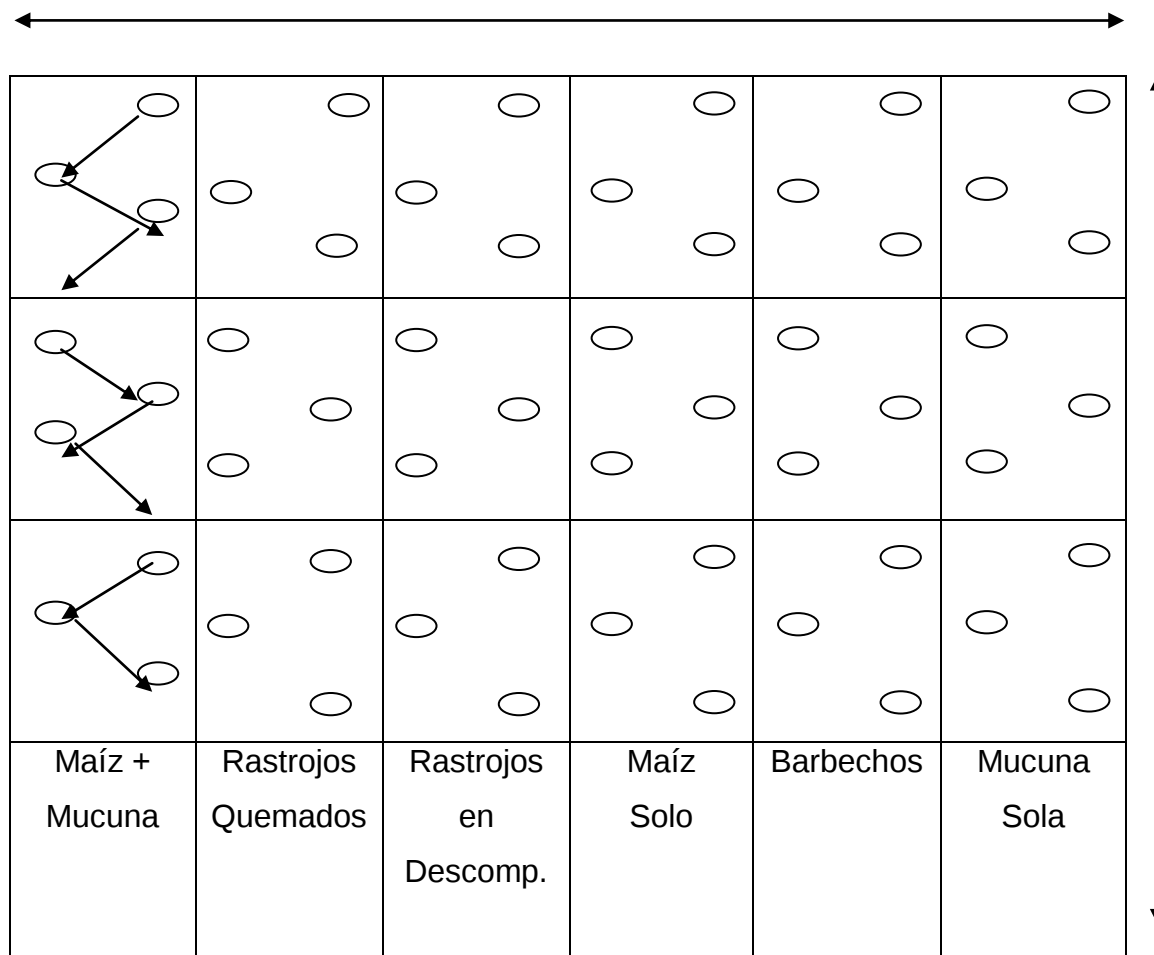


Figura 3.3. Toma de muestras de suelos



3.4.3 Manejo del experimento

El estudio incluyó una encuesta y dos ensayos: De campo (Obtención de las muestras de suelo) y de laboratorio (Observación y cuantificación de la población de microorganismos presentes en las muestras colectadas)

3.4.3.1. Manejo del experimento en el campo

Se procedió a tomar un lote de terreno en la finca La María, propiedad de la UTEQ, para luego proceder a balizar y delimitar las parcelas experimentales con cada uno de los tratamientos (maíz solo, maíz+ mucuna, mucuna sola, rastrojo en descomposición, rastrojo quemado y barbechos). Las parcelas fueron de 6m de largo por 4m de ancho, con un total de 576m². Previo a la distribución de las parcelas en el lote experimental se tomó una muestra general que consistió en quince sub muestras, la cual sirvió como punto de partida para compararla con las muestras de inicio y final de cada tratamiento del experimento.

3.4.3.2. Manejo del experimento con medios de cultivo en laboratorio

De la muestra de suelo se aislaron los diferentes microorganismos: Bacterias totales, hongos, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias celulolíticas, bacterias solubilizadoras de fósforo, actinomicetos y micorrizas en los medios selectivos. Para PGPRs se colocaron a 30 y 37 grados centígrados según los grupos funcionales.

3.4.4. Población y diversidad microbiana

3.4.4.1. Bacterias fijadoras de nitrógeno. Se utilizó el medio semisólido Watanabe, en el cual se apreció un precipitado de nitro fijación y cambio de color, con la ayuda de la tabla de Mc. Crady, del número más probable, se estableció el número de colonias por muestra y luego se transformó a

unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco, CFU/gss. Para preparar 1000 mL de medio Watanabe se midió una cantidad adecuada de agua destilada en una botella con tapa rosca, se pesó 5 g de glucosa, 5 g de manitol, 4.5 de almidón, el mismo que se diluyó en 50 mL de agua destilada caliente utilizando para ello un agitador y una marmita, una vez bien diluido se lo añadió al medio, tomando en cuenta todos los volúmenes agregados. Se pesó 3.5 g de ácido málico y 1.75 g de agar se añadió estos últimos y luego una vez preparados las soluciones I, II y III (tomando los reactivos en las cantidades indicadas) se tomaron los volúmenes especificados y se añadieron al medio de cultivo, (Bernal y Graham 2001).

El azul bromotimol al 1% en etanol se preparó pesando 1 g de este reactivo y diluyendo en 100 mL de etanol; de lo cual se tomó el 2% del medio total, es decir, 20 ml en 1000 mL de medio, con la ayuda de una pipeta. Se sumaron todas los volúmenes indicados y se descontaron para saber cuánto faltaba para completar la solución a 1000 mL Se niveló el pH entre 6.8 y 7.2 y luego se colocó 6 mL en cada tubo y se esterilizó a 15 libras por 15 minutos en el autoclave. Luego dentro de la cámara de flujo se sembró 0.2 mL de la dilución de la muestra correspondiente (Pochon y Tardieux 1962).

3.4.4.2. Bacterias celulolíticas. Se observó un halo de degradación de celulosa empleando el medio selectivo: Agar – Extracto de Suelo, Mediante el conteo de las colonias que presentaron halo en cada caja se estableció el número de colonias por gramo de suelo seco, CFU/gss. En un recipiente con tapa se colocó 850 mL de agua destilada en la que se iba colocando el fosfato dibásico de potasio, el nitrato de amonio y el agar en las cantidades indicadas. Los 850 mL fueron en función de los restantes volúmenes que se utilizaron (carboximetilcelulosa y extracto de suelo). (Novo y Hernández 2003).

La carboximetilcelulosa se diluyó previamente en agua caliente, con la ayuda de un agitador, se la colocó una vez diluida en un volumen aproximado de 50 mL de agua destilada.

El extracto de suelo se lo obtuvo mediante la recolección de tierra. Se limpió la hojarasca o impurezas de la superficie, se tomó aproximadamente 1 kilogramo de suelo el mismo que se tamizó en una malla menor a 2 mm, hasta obtener una muestra de 500 gramos. Luego en 1000 mL de agua corriente se colocó el suelo y se agitó bien. Se esterilizó en erlenmeyer amplio en el autoclave por 15 minutos a 15 libras de presión. Se lo retiró y se dejó decantar lo suficiente para luego filtrarlo a través de papel Whatman (papel filtro) en una bomba de vacío por dos veces. El filtrado se llevó a la centrífuga, a 3600 rpm, por 20 minutos. De la solución final se tomó 100 mL y se añadió a la solución inicial del medio de cultivo, se lo llevó a la agitadora y se reguló el pH a 6.5, finalmente se lo esterilizó en el autoclave por 15 minutos a 15 libras de presión (Novo y Hernández 2003).

3.4.4.3. Bacterias solubilizadoras de fósforo. Se utilizó el medio selectivo Agar – Ramos Callao, en el cual se observó un halo de solubilización de fósforo, mediante el conteo de las colonias se estableció el número de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco. En un recipiente con tapa se colocó 1000 mL de agua destilada en la que se fue colocando el extracto de levadura, la glucosa, el fosfato tricálcico y el agar, en las cantidades indicadas. Se lo llevó a un agitador, hasta que la mezcla fuese algo homogénea, a la vez que se midió el pH, estabilizándolo en 7.0 con el uso de ácido clorhídrico diluido o hidróxido de sodio en solución. Se lo esterilizó en la autoclave por 15 minutos a 15 libras de presión (Novo y Hernández 2003).

3.4.4.4. Población total de actinomicetos. Se observaron colonias de fuerte consistencia elástica utilizando el medio selectivo Agar – Avena o Agar Caseína, mediante el conteo del número de colonias por caja, el dato

fue transformado a unidades formadoras de colonia por gramo de suelo seco, CFU/gss (Pochon y Tardieux 1962). En un recipiente con tapa se colocó 1000 mL de agua destilada, se colocó las hojuelas de almidón, el agar y se lo llevó a la agitadora. Se estabilizó el pH en 7.0, para luego esterilizar en el autoclave por 15 minutos a 15 libras de presión (Novo y Hernández 2003).

3.4.4.5. Población total de hongos. En sus colonias se diferenciaron hongos filamentosos y levaduras (en algunos casos), el micelio es una característica clave del desarrollo de los hongos, utilizando el medio Rosa de bengala. Según el número de colonias se estableció las unidades formadoras de colonia por gramos de suelo seco, CFU/gss (Novo y Hernández 2003). En un recipiente con tapa se colocaron 1000 mL de agua destilada en la que se colocaron todos los reactivos en las cantidades establecidas, excepto la estreptomicina. Se lo llevó a un agitador, hasta que la mezcla sea algo homogénea, a la vez que se midió el pH, estabilizándolo en 5.5 con el uso de ácido clorhídrico diluido o hidróxido de sodio en solución. Se lo esterilizó en la autoclave por 15 minutos a 15 libras de presión.

La estreptomicina se diluyó en 10 mL de agua y se la añadió antes de dispensar el medio en las respectivas cajas, con la ayuda de una jeringa y un filtro. La estreptomicina inhibió el desarrollo y crecimiento de bacterias, permitiendo que solo los hongos aparezcan (Girard y Rougieux 1964).

3.4.4.6. Población total de bacterias. Se apreciaron colonias emergentes de poca consistencia, algo cremosas, suaves, con formas incluso de rizos (*Bacilos*), en la superficie del medio de selectivo: Agar Nutritivo (Bernal y Graham 2001). En un frasco con tapa se colocó 1000 mL de agua destilada y se pesó 20 g de agar nutritivo. Se lo llevó a un agitador, hasta que la mezcla fuese algo homogénea, a la vez que se midió el pH, estabilizándolo en 7.0 con el uso de ácido clorhídrico diluido o hidróxido de sodio en solución. Se lo

esterilizó en la autoclave por 15 minutos a 15 libras de presión (Harrigan y Mc. Cance 1968).

3.4.4.7. Micorrizas. Se hizo una extracción de esporas, para lo cual se tomó 20 g de suelo y se lo tamizó en mallas de 2 mm y se las suspendió en 2000 mL de agua, se le agitó durante cuatro minutos para luego dejar reposar la solución. El sobrenadante se lo hizo pasar en tamices de 200 y de 40 μ m. Luego se hizo pasar tres veces más por los tamices y se lavó el material retenido en los tamices con agua corriente y se colocó en unas placas Petri cuadrículada para ser observadas y cuantificadas utilizando el estéreo microscopio (Gerdemann y Nicholson 1963).

3.4.5. Materiales y equipos

Tabla 3.2. Herramientas, equipos y reactivos utilizados en el experimento

Herramientas de campo	Equipos
Escarbadora, guantes	Autoclave
Balde plástico	Balanza eléctrica
Balanza	Cámara fotográfica
Letreros	Cámara de flujo laminar
Fundas	Estufa, Incubadora de 21 y 24 °C
Etiquetas identificadoras	Licuada
Estacas	Marmita
Herramientas de laboratorio	Reactivos
Asa de platino	Ácido málico
Brocha fina (pincel)	Agar, Agar Nutriente
Cajas Petri	Agua destilada
Guantes quirúrgicos	Alcohol antiséptico
Erlenmeyer	Almidón, Buffer pH 4, 7, 10
Filtros bacteriológicos	Carboximetil celulosa
Lápiz, Libro de campo	Caseína
Mascarillas	D- glucosa

Mechero bunsen	EDTA ácido
Micropipetas	Estreptomicina
Pipetas	Extracto de levadura
Probetas	Fosfato tricálcico
Paquete de puntas azules	Glucosa
Parafilm	Manitol
Papel absorbente	Nitrato de amonio
Tamices	Peptona micológica
Tubos de ensayo	PDA sintético
Varilla de vidrio	Rosa de bengala

3.5. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las encuestas proporcionaron información sobre el tipo de manejo del suelo que realizan los agricultores antes de la siembra de sus cultivos de ciclo corto y las necesidades de capacitación que requieren sobre estas temáticas en la zona de estudio.

Mediante la evaluación en laboratorio de la población de microorganismos en las muestras de suelo tomadas en los sectores dedicados a la producción agrícola de la finca “La María” se obtuvieron datos que fueron sometidos al análisis estadístico. Los resultados fueron resumidos y presentados en tablas de los cuales se determinan las conclusiones y recomendaciones. Con la información que se obtuvo se realizó la aprobación – desaprobación de la hipótesis de investigación

3.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez obtenida la información de las encuestas, los formularios fueron codificados, tabulados y analizados estadísticamente, mediante el programa Statistical Package for the Science (SPSS), para lo cual se utilizaron medidas de tendencia central (media, rango) y porcentajes para su

comparación respectiva. La información que se generó se resumió en cuadros y figuras, con lo cual se cubrieron los aspectos tratados en los formularios y que tributaron al cumplimiento de los objetivos propuestos.

Para evaluar la diversidad y población de los microorganismos del suelo provenientes de zonas cultivadas de la finca La María se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones.

Se empleó el programa INFOSTAT, Balzarini M.G. *et al.*, 2008, realizando en primer lugar un análisis de varianza que permitió observar la población de los microorganismos mostraba diferencias estadísticas en los diferentes usos del suelo. Para el análisis de las medias se aplicó la prueba de Rangos múltiples de Tukey ($P>0.05$).

3.6.2. Tratamientos

Se utilizaron seis tratamientos (suelos con diferentes sistemas de manejo) con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela fue de 6.00 m de largo por 5.00 de ancho. Con características homogéneas que permitieron comparar los diferentes usos de la tierra. Los tratamientos en estudio se detallan en el Tabla 3.3:

Tabla 3.3. Esquema de los tratamientos en estudio

Código	Tratamientos
t1	Suelos con Maíz solo
t2	Suelos con Mucuna sola
t3	Suelos con Maíz + mucuna
t4	Suelo con Rastrojos en descomposición
t5	Suelos con Rastrojos quemados
t6	Suelos en Barbechos

3.6.3. Unidad experimental

La unidad experimental fue de una muestra representativa de 1 kg suelo (de 0-20 cm de profundidad). El muestreo se realizó tomando cuatro submuestras de cada tratamiento al inicio y al final de la de la investigación.

3.6.4. Análisis estadístico

Se aplicó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), para establecer las parcelas de donde se obtuvieron las muestras de suelo. El esquema del análisis de varianza se presenta en el Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Esquema del análisis de varianza para el estudio de la diversidad y población microbiana

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad
Repetición	3
Tratamientos	5
Error	15
Total	23

La información que se generó fue resumida en tablas, cubriéndose todos los aspectos tratados para la operativización de las variables planteadas, tributándose de esta manera al cumplimiento de los objetivos propuestos y al rechazo o aprobación de la hipótesis planteada.

3.7. CONSTRUCCIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

La construcción del informe de la investigación se realizó de acuerdo a los lineamientos del Instituto de Posgrado de la UTEQ, que dividen el Informe en seis capítulos: Marco Contextual de la Investigación, Marco Teórico de la Investigación, Metodología de la Investigación, Análisis e Interpretación de los Resultados en relación con las hipótesis de investigación, Conclusiones y

Recomendaciones, Propuesta Alternativa, concluyendo con la Bibliografía consultada y los Anexos

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Saber que no se sabe, eso es humildad.
Pensar que uno sabe lo que no sabe,
eso es enfermedad.

Lao-tsé
Siglo IV a. C.

4.1. ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS

La diversidad y población microbiana no varía bajo diferentes usos del suelo agrícola.

4.2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA PERTINENTE A LA HIPÓTESIS

4.2.1. Variable independiente: Uso del suelo con diferentes técnicas de manejo.

Los resultados obtenidos para esta variable se expresan a través de los resultados de la encuesta, la misma que pone en relieve los aspectos más significativos en relación a la tenencia de la tierra y tamaño de la finca, uso actual de la tierra, tiempo dedicado a la agricultura, motivos por los cuales se dedica a la agricultura, el manejo del suelo. Otras características evaluadas fueron: necesidades de capacitación, escolaridad del agricultor, uso de análisis de suelo previo a las siembras.

Tenencia de la tierra

La Tabla 4.1., nos indica que el 83% de los productores encuestados son propietarios de sus tierras, mientras que el 17% son arrendatarios.

Tabla 4.1. Tenencia de la tierra de los pequeños productores del catón Mocache.

Tenencia	Frecuencia absoluta (No)	Frecuencia relativa (%)
Propietario	78	83.00
Arrendatario	16	17.00
Total	94	100.00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Principales cultivos

Los resultados de las encuestas realizadas a la muestra seleccionada (94 personas), pequeños productores del cantón Mocache, refieren que el 100 % cultivan maíz. Adicionalmente, realizan la siembra de arroz (55%), fréjol (13%), cacao (84%), plátano (87%) y otros cultivos (95%) en los que se encuentran incluidos los frutales, árboles y hortalizas (Tabla 4.2.).

Tabla 4.2. Principales cultivos que manejan los productores en su finca

Principales cultivos	Frecuencia absoluta (No)	Frecuencia Relativa (%)
Maíz	94*	100,00
Arroz	52*	55,00
Fréjol	12*	13,00
Cacao	79*	84,00
Plátano	82*	87,00
Otros cultivos	89*	95,00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

□ Número de fincas que poseen el cultivo en relación a la muestra (94)

Nivel de escolaridad

Referente al nivel de escolaridad de los pequeños productores del cantón Mocache se observa que el mayor porcentaje no ha culminado sus estudios primarios (26,60%), y que los que han terminado sus estudios escolares corresponden a un 28,72%. Además, se aprecia que el 18,09 % han culminado sus estudios de bachillerato y un 15,96% no los ha concluido. Notándose una presencia del 4.25 % de analfabetismo en relación al 4,26 % de pobladores que no han culminado sus estudios universitarios y un 2,13 % que no han logrado profesionalizarse (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Nivel de escolaridad de los pequeños productores del cantón Mocache

Escolaridad del productor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa(%)
ninguna	4	4,25
Primaria incompleta	25	26,60
Primaria completa	27	28,72
Secundaria incompleta	17	18,09
Secundaria completa	15	15,96
Universitaria incompleta	4	4,26
Profesional	2	2,13
Total	94	100,00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Pertenencia a organizaciones agropecuarias

En cuanto a que pertenecen o no a organizaciones, un 82,98% de los productores encuestados no pertenecen a ninguna organización agropecuaria y el 17,02% pertenece al Centro agrícola de Mocache (Tabla 4.4.)

Tabla 4.4. Pertenencia a organizaciones agropecuarias de los pequeños productores del cantón Mocache

Opinión	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
SI	16	17,02
NO	78	82,98
Total	94	100,00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Manejo del suelo

En la Tabla 4.5.se indican las prácticas de manejo del suelo utilizadas por los agricultores encuestados, notándose que mayoritariamente utilizan la quema del rastrojo (61,70%), seguido de la siembra de maíz solo (14,89%), siembra de maíz asociado a mucuna (8,51%), dejar el rastrojo para su

descomposición y aporte al suelo (6,38%), siembra de mucuna sola (4,26%) y, suelos en barbechos (4,26%).

En el manejo del suelo no se considera el tipo de suelo, su topografía, compactación ni la disponibilidad de agua del mismo.

Tabla 4.5. Tipo de manejo del suelo

Tipo de manejo del suelo	Frecuencia absoluta (No)	Frecuencia relativa (%)
Maíz solo	14	14,89
Mucuna sola	4	4,26
Maíz asociado a mucuna	8	8,51
Rastrojo en descomposición	6	6,38
Rastrojo quemado	58	61,70
Barbechos	4	4,26
Total	94	100

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Análisis microbiológico del suelo

Al requerir a los productores si realizan análisis microbiológicos del suelo se obtuvo como respuesta que un 100% de los encuestados no realizan ningún tipo de análisis de suelos, Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Realiza análisis microbiológico del suelo?

Opinión	Frecuencia absoluta (No)	Frecuencia relativa (%)
SI	0	0
NO	94	100
Total	94	100,00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Capacitación en técnicas de manejo del suelo

Respecto a la capacitación recibida sobre técnicas de manejo de suelos, el 84 % de los productores encuestados informa que no ha recibido ninguna

clase de capacitación sobre esta temática y solamente el 16% indicó que si ha recibido capacitación por parte de técnicos del departamento de vinculación de la UTEQ, Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Ha recibido capacitación sobre técnicas de manejo del suelo

Opinión	Frecuencia absoluta (No)	Frecuencia relativa (%)
SI	15	15,96
NO	79	84,04
Total	94	100,00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

El 94,68% manifiesta su interés de recibir capacitación en técnicas de manejo del suelo, notándose que el 5,32% no le interesa recibir capacitación, Tabla 4.8. El 100% de la población se interesa en recibir capacitación y sugiere las temáticas sobre técnicas de manejo y conservación de los suelos, así como, manejo de cultivos de ciclo corto.

Tabla 4.8. Le gustaría recibir capacitación en técnicas de manejo del suelo?

Opinión	Frecuencia absoluta (No)	Frecuencia relativa (%)
SI	89	94,68
NO	5	5,32
Total	94	100,00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Opinión sobre el suelo

Respecto a la interrogante sobre el conocimiento de parte de los productores sobre el desgaste del suelo de su finca se obtuvo que un 92,55% está consciente que su tierra poco a poco se va desgastando y un 7,45% no tienen conocimiento sobre este particular Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Considera que su suelo está desgastado?

Opinión	Frecuencia absoluta (No)	Frecuencia relativa (%)
SI	87	92,55
NO	7	7,45
Total	94	100,00

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

4.2.2. Variable Dependiente: Diversidad y población de microorganismos en el suelo agrícola.

Análisis inicial de la población de microorganismos antes de la aplicación de las técnicas de manejo de los suelos

Previo al inicio del experimento se realizó un análisis del suelo, a fin de determinar la población de microorganismos presentes en los suelos agrícolas seleccionados, donde se observa que hubo diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre microorganismos, es así que existe una mayor presencia de bacterias totales (5.62×10^6), seguida de bacterias celulolíticas (4.57×10^6), notándose además, que los hongos tienen la menor presencia, con (4.57×10^4), Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Diversidad de microorganismos presentes en la zona de estudio en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Parámetros	Muestra (aatms)	
	Transf	Real
	(Log x)	(x)
UFC/gss		
Bacterias totales	6.75 a	5.62×10^6
Actinomicetos	6.14 b	1.38×10^6
Hongos	4.66 ab	4.57×10^4
B. Celulolíticas	6.66 a	4.57×10^6
Solub de Fósforo	5.34 ab	2.19×10^5
Fij. de Nitr. Asimb	5.37 ab	2.34×10^5

aatms: Antes de la aplicación de las técnicas de manejo de suelos

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Población total de bacterias

Como se observa en la Tabla 4.11., en la fase inicial no se presentaron diferencias estadísticas ($P>0.05$) entre tratamientos, sin embargo en la fase final si se encontraron diferencias estadísticas ($P<0.05$) entre tratamientos, siendo el de barbechos el que mayor población de bacterias totales presentó con 6.92×10^6 UFC/gss (Unidades Formadoras de Colonia por gramo de suelo seco), y el tratamiento con menor número de bacterias fue el de maíz con mucuna con (1.20×10^6).

Tabla 4.11. Promedios de las poblaciones de bacterias totales en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Tratamientos	Bacterias totales (UFC/gss)			
	Inicio		Final	
	Transf (Log x)	Real (x)	Transf (Log x)	Real (x)
Maíz solo	6.28 a	1.91×10^6	6.59 ab	3.89×10^6
Mucuna sola	6.35 a	2.24×10^6	6.31 ab	2.04×10^6
Maíz + mucuna	6.35 a	2.24×10^6	6.08 b	1.20×10^6
Rast. Descomp.	6.43 a	2.69×10^6	6.46 ab	2.88×10^6
Rast. Quem	6.70 a	5.01×10^6	6.58 ab	3.80×10^6
Barbechos	5.95 a	8.91×10^5	6.84 a	6.92×10^6
CV(%)	6.25		4.00	

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Población total de actinomicetos

En la fase inicial no hay diferencias estadísticas ($P>0.05$) entre tratamientos, Tabla 4.12., sin embargo en la fase final si se presentó diferencias estadísticas ($P<0.05$) entre tratamientos, siendo el de barbechos el que mayor número de actinomicetos presentó con (2.04×10^7), y el tratamiento con menor número de actinomicetos fue el de maíz solo con (6.46×10^6).

Tabla 4.12. Promedio de la población de actinomicetos en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Tratamientos	Actinomicetos (UFC/gss)			
	Inicio		Final	
	Transf (Log x)	Real (x)	Transf (Log x)	Real (x)
Maíz solo	6.86 a	7.24×10^6	6.81 b	6.46×10^6
Mucuna sola	6.56 a	3.63×10^6	7.10 ab	1.26×10^7
Maíz + mucuna	7.09 a	1.23×10^7	7.05 ab	1.12×10^7
Rast. Descomp.	7.16 a	1.45×10^7	7.04 ab	1.10×10^7
Rast. quem	7.03 a	1.07×10^7	7.08 ab	1.20×10^7
Barbechos	6.80 a	6.31×10^6	7.31 a	2.04×10^7
CV(%)	4.79		1.83	

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Población total de hongos

En la Tabla 4.13., se puede apreciar que, en la fase inicial los tratamientos presentan diferencias estadísticas ($P < 0.05$), siendo el de maíz solo el que tiene la mayor cantidad de hongos con (6.17×10^4) y el tratamiento con menor cantidad fue el de rastrojos quemados con (2.57×10^4), y en la fase final no hubo diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre tratamientos.

Tabla 4.13. Promedio de la población de hongos en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Tratamientos	Hongos (UFC/gss)			
	Inicio		Final	
	Transf (Log x)	Real (x)	Transf (Log x)	Real (x)
Maíz solo	4.79 a	6.17×10^4	4.55 a	3.55×10^4
Mucuna sola	4.72 ab	5.25×10^4	4.48 a	3.02×10^4
Maíz + mucuna	4.65 ab	4.47×10^4	4.33 a	2.14×10^4
Rast. Descomp.	4.72 ab	5.25×10^4	4.51 a	3.24×10^4
Rast. quem	4.41 b	2.57×10^4	4.96 a	9.12×10^4
Barbechos	4.77 ab	5.89×10^4	4.55 a	3.55×10^4
CV(%)	3.36		6.06	

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Bacterias celulolíticas

En la fase inicial no se presentaron diferencias estadísticas ($P>0.05$) entre tratamientos, sin embargo en la fase final si entre tratamientos ($P<0.05$), siendo el de barbechos el que mayor número de celulolíticas presentó con (2.51×10^6), y el tratamiento con menor número fue el de rastrojos en descomposición con (9.77×10^5), como se observa en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Promedio de la población de bacterias celulolíticas en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Tratamientos	Bacterias celulolíticas (UFC/gss)				
	Inicio		Final		
	Transf (Log x)	Real (x)	Transf (Log x)	Real (x)	
Maíz solo	6.81 a	6.46 x 10 ⁶	6.26 ab	1.82 x 10 ⁶	
Mucuna sola	6.78 a	6.03 x 10 ⁶	6.17 ab	1.48 x 10 ⁶	
Maíz + mucuna	6.85 a	7.08 x 10 ⁶	6.04 ab	1.10 x 10 ⁶	
Rast. Descomp.	7.01 a	1.02x 10 ⁷	5.99 b	9.77 x 10 ⁵	
Rast. quem	6.86 a	7.24 x 10 ⁶	6.16 ab	1.45 x 10 ⁶	
Barbechos	6.75 a	5.62 x 10 ⁶	6.40 a	2.51 x 10 ⁶	
CV(%)	2.64		2.71		

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Población total de solubilizadores de fósforo

En la fase inicial no se presentaron diferencias estadísticas ($P>0.05$) entre tratamientos (Tabla 4.15), sin embargo en la fase final si hubieron diferencias estadísticas ($P<0.05$) entre tratamientos, siendo el de barbechos el que mayor número de solubilizadores de fósforo presentó con (1.51×10^6), y el tratamiento con menor número fue el de mucuna sola con (1.41×10^5).

Población total de bacterias fijadores de nitrógeno asimbiótico

Como se observa en el Tabla 4.16., tanto en la fase inicial como en la final los tratamientos presentaron diferencias estadísticas ($P<0.05$), siendo el de mucuna sola el que presentó la mayor cantidad de fijadoras de nitrógeno con (1.29×10^7), (4.90×10^7) respectivamente, y los que menor cantidad de

fijadores de nitrógeno obtuvieron fueron los tratamiento con maíz solo y barbechos con (1.7×10^4) , (1.7×10^4) respectivamente en la fase inicial, y en la fase final los mismos tratamientos con (1.20×10^5) , (1.00×10^5) respectivamente.

Tabla 4.15. Promedio de la población de bacterias solubilizadoras de fósforo en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Tratamientos	Bacterias Solubilizadoras de fósforo (UFC/gss)			
	Inicio		Final	
	Transf (Log x)	Real (x)	Transf (Log x)	Real (x)
Maíz solo	5.01 a	1.02×10^5	5.52 ab	3.31×10^5
Mucuna sola	4.97 a	9.33×10^4	5.15 b	1.41×10^5
Maíz + mucuna	5.25 a	1.78×10^5	5.36 ab	2.29×10^5
Rast. descomp.	5.06 a	1.15×10^5	5.51 ab	3.24×10^5
Rast. quem	5.19 a	1.55×10^5	5.81 ab	6.46×10^5
Barbechos	4.81 a	6.46×10^4	6.02 a	1.05×10^6
CV(%)	10.46		6.36	

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Tabla 4.16. Promedio de la población de bacterias fijadoras de nitrógeno en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Tratamientos	Fijadores de Nitrógeno Asimbiótico (UFC/gss)			
	Inicio		Final	
	Transf (Log x)	Real (x)	Transf (Log x)	Real (x)
Maíz solo	4.03 b	1.07×10^4	5.08 c	1.20×10^5
Mucuna sola	7.11 a	1.29×10^7	7.69 a	4.90×10^7
Maíz + mucuna	4.99 ab	9.77×10^4	6.12 b	1.32×10^6
Rast. descomp.	5.59 ab	3.89×10^5	6.43 b	2.69×10^6
Rast. quem	4.42 b	2.63×10^4	6.48 b	3.02×10^6
Barbechos	4.03 b	1.07×10^4	5.00 c	1.00×10^5
CV(%)	19.11		7.14	

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Micorrizas

No se observaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre tratamientos (Tabla 4.17), sin embargo el tratamiento con rastrojos quemados obtiene el mayor porcentaje de colonias con 82.13% y el de menor porcentaje fue el de rastrojos en descomposición con 64.42. En cuanto a la densidad, podemos

apreciar que se presentaron diferencias estadísticas ($P<0.05$) entre tratamientos, siendo el tratamiento con barbechos el que obtuvo la mayor densidad con 13.56 y el tratamiento con menor densidad lo reportó el de maíz solo con 4.60.

En todos los tratamientos se presentaron todos los grupos funcionales de microorganismos estudiados, pero el grupo de los actinomicetos fue el que más sobresalió en casi todos los tratamientos, presentando diferencias estadísticas ($P<0.05$) en la fase final de experimento, y en el tratamiento de mucuna sola fue el grupo de las bacterias fijadoras de nitrógeno el que predominó con una gran población, presentando diferencias estadísticas ($P<0.05$), tanto en la fase inicial como en la final (Tabla 4.18.).

Tabla 4.17. Promedio de la colonización y densidad de micorrizas en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Tratamientos	Colonización		Densidad	
	(%)		Endófitos	
Maíz solo	69.44	a	4.60	b
Mucuna sola	75.93	a	7.10	ab
Maíz + mucuna	81.27	a	8.24	ab
Rastrojos en descomposición	64.42	a	3.86	b
Rastrojos quemados	82.13	a	12.62	a
Barbechos	77.43	a	13.56	a
CV(%)	16.67		41.56	

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

Tabla 4.18. Datos comparativos de las poblaciones de microorganismos en los diferentes tratamientos estudiados en diferentes usos del suelo en el cantón Mocache, 2008

Microorg. →	Bacterias totales		Actinomicetos		Hongos		Celulolíticas		Solubilizadores de P		Fijadores de nitrógeno asimbiótico		Micorrizas	
↓ Tratam.	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Colonización	Densidad endófitos
Maíz solo	1.91×10^6	3.89×10^6	7.24×10^6	6.46×10^6	6.17×10^4	3.55×10^4	6.46×10^6	1.82×10^6	1.02×10^5	3.31×10^5	1.07×10^4	1.20×10^5	69.44	4.60
Mucuna sola	2.24×10^6	2.04×10^6	3.63×10^6	1.26×10^7	5.25×10^4	3.02×10^4	6.03×10^6	1.48×10^6	9.33×10^4	1.41×10^5	1.29×10^7	4.90×10^7	75.93	7.10
Maíz + mucuna	2.24×10^6	1.20×10^6	1.23×10^7	1.12×10^7	4.47×10^4	2.14×10^4	7.08×10^6	1.10×10^6	1.78×10^5	2.29×10^5	9.77×10^4	1.32×10^6	81.27	8.24
Rastrojos descomp.	2.69×10^6	2.88×10^6	1.45×10^7	1.10×10^7	5.25×10^4	3.24×10^4	1.02×10^7	9.77×10^5	1.15×10^5	3.24×10^5	3.89×10^5	2.69×10^6	64.42	3.86
Rastrojos. Quemados	5.01×10^6	3.80×10^6	1.07×10^7	1.20×10^7	2.57×10^4	9.12×10^4	7.24×10^6	1.45×10^6	1.55×10^5	6.46×10^5	2.63×10^4	3.02×10^6	82.13	12.62
Barbechos	8.91×10^5	6.92×10^6	6.31×10^6	2.04×10^7	5.89×10^4	3.55×10^4	5.62×10^6	2.51×10^6	6.46×10^4	1.05×10^6	1.07×10^4	1.00×10^5	77.43	13.56
C.V. (%)	6.25	4.00	4.79	1.83	3.36	6.06	2.64	2.71	10.46	6.36	19.11	7.14	16.67	41.56

Elaborado por: Zambrano S. (2012)

4.3. DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN RELACIÓN A LA NATURALEZA DE LA HIPÓTESIS

4.3.1. Variable independiente: Manejo de los suelos agrícolas

Considerando las hipótesis “La diversidad y población microbiana no varía bajo diferentes técnicas de manejo del suelo”, se realizó el análisis de la información obtenida en base a los indicadores establecidos. De acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las variables podemos enunciar:

Tenencia de la tierra

Los resultados obtenidos reportan que el 83% de los productores encuestados son propietarios de sus tierras, mientras que el 17% son arrendatarios. Peramato (2012), refiere que la población encuestada en el cantón Mocache son propietarios de terrenos dedicados a la agricultura, notándose que la tenencia de la tierra corresponde a pequeños agricultores (5 a 20 ha), lo que incide directamente en la protección y conservación de los suelos, ya que al ser propietarios realizan prácticas conservacionistas de los suelos. La concepción y el empoderamiento de la tierra influyen en el manejo del suelo, debido al sentido de pertenencia de la misma.

Datos reportados en el III Censo Nacional Agropecuario del año 2000, refieren que el Ecuador, a pesar de ser uno de los países más pequeños de América del Sur, sin embargo tiene uno de los índices más altos de inequidad en el acceso a la tierra. Esta es una contradicción grave, que afecta al desarrollo nacional y condena a la pobreza y hambre a la mayoría de campesinos pequeños y minifundistas. Lo expuesto ha motivado la necesidad de que el gobierno ecuatoriano realice la publicación del Atlas sobre la tenencia de la tierra en el Ecuador, el mismo que es el resultado del debate realizado sobre anteproyectos de "Ley de Tierras" y constituye una colección de mapas que dan cuenta de la tenencia de la tierra en Ecuador:

quienes tienen acceso a la tierra, en que magnitud, cuáles son los tipos de cultivos, y en qué cantones y provincias se encuentran.

Principales cultivos

Los principales cultivos que poseen los pequeños productores del cantón Mocache son maíz, plátano, cacao y arroz, siendo el cultivo de maíz el que se encuentra en todas las fincas de los productores encuestados, coincidiendo con FAO, USDA, SICA, 2005, respecto a que el cultivo de arroz y el plátano se encuentran en las fincas con fines de seguridad alimentaria.

Nivel de escolaridad

El nivel de escolaridad es uno de los factores importantes a la hora de implementar proyectos de capacitación. En este caso, el bajo índice de analfabetismo (4,25%), denota un porcentaje mayoritario de agricultores con conocimientos básicos, lo que facilita el acceso y asimilación de la información que se proporcione como un proceso de extensión y capacitación para mejorar las técnicas de manejo de los cultivos que permita preservar la biodiversidad de microorganismos existentes en el suelo para mejorar la productividad y rentabilidad de los cultivos. Es necesario entonces, establecer un plan de capacitación en este sentido.

Manejo del suelo

Los resultados de las encuestas refieren que los pequeños productores del cantón Mocache no poseen mucho conocimiento técnico, pero la experiencia generada a través de los años y la información proporcionada por sus antecesores, realizan varias actividades culturales en el campo, siendo la más utilizada la quema de rastrojos. Se observa además el uso de otras prácticas conservacionistas, aunque un gran porcentaje no realiza ninguna práctica al suelo principalmente cuando éste es para el cultivo de maíz.

Long (2006) menciona que la quema de rastrojos es una técnica utilizada ancestralmente. Además, refiere que las hierbas, arbustos y pastos capturan los nutrientes del suelo después de las quemas y los rebrotes son más suculentos y apetitosos, fomenta la floración, producción de semillas y frutos.

Franzluebbers (2002) y Pérez (2012) refieren que la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola depende directamente de la calidad del suelo y las técnicas de manejo utilizadas

Capacitación en técnicas de manejo del suelo

La población encuestada informa que poseen escasa información y capacitación sobre las técnicas de manejo del suelo. Un porcentaje relativamente bajo (16%) manifiesta que ha recibido capacitación por parte de técnicos del DEVITTEC de la UTEQ, el 95% de los agricultores entrevistados están interesados en recibir capacitación en temas relacionados a la temática.

Lo expuesto, pone de manifiesto la necesidad de realizar capacitación a los agricultores, siendo de gran importancia considerarlo en la planificación de los planes de desarrollo por lo que se debe considerar como una estrategia institucional de vinculación.

Desgaste del suelo

Los productores entrevistados manifiestan que el uso inadecuado de los suelos agrícolas mediante la aplicación de productos químicos (fertilizantes, pesticidas) y prácticas no sustentables, lo han deteriorado paulatinamente a través del tiempo. En tal sentido, el aceptar la responsabilidad de los errores cometidos permite asumir la responsabilidad de proteger nuestra biodiversidad mediante el establecimiento de técnicas o herramientas que promuevan la agrosustentabilidad de los suelos agrícolas.

4.3.2. Variable independiente: Uso del suelo con diferentes técnicas de manejo.

Bacterias

En la presente investigación, la población de actinomicetos y celulolíticas fue mayor al de las bacterias (Tabla 4.18.), lo que puede deberse entre otros factores al pH del suelo; estos resultados no coinciden con Calvo *et al.*, (2008) quien reporta que al evaluar la población de microorganismos en cultivos de papa en zonas andinas encontró que la población de bacterias totales en la rizósfera de las regiones muestreadas siempre fue mayor que la población de hongos.

Killian *et al.*, (2001) menciona que la cantidad de bacterias presentes en el suelo depende de muchos factores como son: la temporada, el tipo de suelo, la vegetación, el contenido de humedad, el tipo de labranza y fertilización, lo que es confirmado por Acuña *et al.*, (2006), quien indica que el número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua.

La presencia de colonias bacterianas en los suelos está ligada a la mineralización del sustrato orgánico y procesos metabólicos y fisiológicos del suelo. Forma parte del grupo de microorganismos que promueven algunos beneficios para el sistema suelo-planta, tales como: Estimulación de la germinación de las semillas y del enraizamiento, incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, mejora de la estructura del suelo como consecuencia de la contribución microbiana, formación de agregados estables, protección de la planta frente a estrés hídrico y abiótico. Las bacterias desempeñan funciones importantes para la planta (solubilización

de fosfatos, fijación de nitrógeno y control biológico de patógenos), al facilitar la emergencia o el enraizamiento. Las bacterias fijadoras de nitrógeno es uno de los componentes más destacados entre los simbioses mutualistas (Acuña *et al.*, 2006).

Acuña *et al.*, (2006) menciona que dentro de las propiedades químicas que favorece la actividad de las bacterias se encuentra un pH cercano a la neutralidad, una baja acidez, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg. También es importante tomar en cuenta los factores que pueden afectar negativamente las poblaciones de bacterias, dentro de éstos está la presencia de otros organismos antagónicos y de sustancias contaminantes en el suelo, así como la aplicación de agroquímicos.

Actinomicetos

Estos resultados coinciden con lo expuesto por Franco-Correa (2008), quien reporta que la adición de materia orgánica a los suelos estimula la multiplicación y actividad de los actinomicetos. Los suelos alcalinos y neutros resultan ser más favorables para el desarrollo de estas bacterias. El porcentaje de actinomicetos en la población total microbiana incrementa con la profundidad del suelo, sin embargo pueden encontrarse también en la superficie.

Calvo *et al.*, (2008) menciona que en suelos de cultivos de papa la población de actinomicetos es inferior al de las bacterias y similar al de los hongos (Tabla 4.18.), lo que puede deberse a que estos microorganismos están relacionados con la mineralización del sustrato orgánico, procesos metabólicos y fisiológicos de la rizósfera. Acuña *et al.*, (2006), refiere que su población en el suelo están influenciados por el pH y por el tipo de fertilización inorgánica.

Acuña *et al.*, (2006) indica que los actinomicetos ejercen un papel similar al de las bacterias. Calvo *et al.*, (2008) refiere que la rizósfera es una zona de amortiguación microbiológica, ya que en ella se realiza una interacción entre los microorganismos y las raíces, en donde la microbiota sirve de protección a la planta frente al ataque de patógenos.

Tate (2000), menciona que se encuentran en casi todos los tipos de suelos y bajo condiciones extremas disminuyen levemente la concentración de la población. Su número varía según el caso, pero es común encontrarlos en suelos fértiles y secos. El tamaño de la comunidad depende del tipo del suelo, particularmente de algunas de las características físicas, del contenido de materia orgánica y del pH del medio ambiente.

Hongos

Estos resultados coinciden con lo informado por Calvo *et al.*, (2008) quien reporta que en cultivos de papa, la población de hongos es mayor que el de las bacterias, lo que confirma la influencia de los exudados de la planta sobre las poblaciones rizosféricas, esto se puede deber a los altos niveles de nutrientes que se hallan en la zona que rodea a las raíces y que permiten el desarrollo de poblaciones microbianas.

Al analizar los resultados enunciados en la Tabla 4.18., podemos observar que la población de hongos disminuyó en casi todos los tratamientos estudiados, excepto en el de rastrojos quemados, donde se presentó un incremento de 2.57×10^4 a 9.12×10^4 .

Se estima que los exudados rizosféricos pueden llegar a contener entre 10 y 44% del carbono asimilado y otra serie de compuestos, lo que contribuye generalmente a un incremento de las densidades poblacionales de los microorganismos (Calvo *et al.*, 2008).

Acuña *et al.*, (2006) refiere que los hongos, al igual que las bacterias, cumplen un rol muy importante en la fertilidad y productividad de los suelos y que los hongos micorrizógenos forman parte de los componentes más destacados entre los simbioses mutualistas. Los hongos de tipo micorriza arbusculares (VAM), una vez que colonizan la raíz desarrollan un micelio externo que la conecta con los variados microhábitat del suelo, permitiendo una mayor disponibilidad de nutrientes (fósforo y nitrógeno fundamentalmente) y, protección frente a estreses bióticos y abióticos.

Azcón (2000) señala que en la sostenibilidad de los sistemas suelo-planta los microorganismos beneficiosos juegan un papel fundamental, y entre ellos destacan los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA). Guerra (2008) refiere que los hongos micorrízicos arbusculares constituyen un insumo microbiológico promisorio para el desarrollo de una agricultura sostenible; su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como fertilizantes biológicos, son quizás motivos para considerarlos como uno de los componentes importantes de la diversidad biológica del suelo.

Al analizar la Tabla 4.18., se aprecia que los rastrojos en descomposición promueven el desarrollo de estos microorganismos, igual caso sucede con la población de los hongos, lo que concuerda con lo expresado por Calvo *et al.*, (2008) quien señala que los procesos agrícolas, así como el manejo de los recursos vegetales inciden sobre el componente microbiano afectando tanto a su biodiversidad como a la densidad de las poblaciones implicadas.

Los cambios en el tamaño de las poblaciones microbianas y en su diversidad, afectan las propiedades del suelo, la estabilidad del ecosistema y a las diversas relaciones que se establecen entre el suelo y la planta (Cornejo, 2006).

Solubilizadoras de fósforo

En los resultados obtenidos en la presente investigación se observa que en la variable rastrojos quemados existe un incremento sustancial de fósforo que oscila de 1.55×10^5 a 6.46×10^5 . Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Cornejo (2006) quien menciona que los contenidos medios repetitivos de P disponibles en el sustrato de crecimiento se encuentran en valores de entre 6.70 y 8.90 $\mu\text{g g}^{-1}$.

En la investigación realizada por Cornejo no registró diferencias importantes entre las distintas asociaciones vegetales estudiadas, sin embargo, en los resultados expuestos en la Tabla 4.18., se observa que no existe diferencia estadística ($P > 0.05$) entre los tratamientos de rastrojos quemados, rastrojos en descomposición, maíz + mucuna y maíz solo, pero se aprecia una diferencia estadística ($P > 0.05$) entre los tratamientos de barbechos y mucuna sola.

Al igual que en los resultados reportados por Cornejo (2006) estos resultados no presentan relaciones que pudieran ser explicadas por las demás variables estudiadas ni por efecto de las asociaciones vegetales estudiadas, ya que la degradación de la cubierta vegetal y la consecuente pérdida de diversidad y estructura de las comunidades, se producen en una espiral en la que confluyen la fragilidad del ecosistema por razones climáticas, edáficas y la acción humana.

Guerra (2008) hace referencia que los hongos denominados micorriza arbuscular (MA), son tal vez las asociaciones más comunes que se establecen con la mayoría de las especies de plantas, y probablemente son, en cantidad, las más importantes. Esta simbiosis ha incrementado su interés, como insumo microbiológico en la agricultura moderna pues facilita la captación de fósforo, un nutriente limitante en la mayoría de los suelos, además de proporcionar otros beneficios para la planta como la tolerancia a

situaciones de estrés, estabilidad de los agregados del suelo, captación de metales pesados, entre otros, de tal forma que el hongo heterótrofo se beneficia de los sustratos carbonados procedentes de la fotosíntesis y del nicho ecológico protegido que encuentra dentro de la raíz.

Fijadoras de nitrógeno

Los resultados obtenidos (Tabla 4.18.), con mucuna sola, maíz + mucuna, rastrojos en descomposición y rastrojos quemados, nos indican que cuando se protege la cobertura vegetal de los suelos, existe una mayor presencia de microorganismos que aportan en la fijación de nitrógeno. García de Cortázar, (2008) corrobora este resultado ya que menciona que la presencia de residuos en el suelo y la protección con cultivos de cobertura, reduce la evaporación y produce un mejor estado hídrico del suelo y de las plantas, lo que aumenta en un 32 % la transpiración y lixiviación, incrementa la percolación profunda y aumenta la presencia de nitrógeno, aportando un promedio aproximado de $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, así como, existe una mayor fijación simbiótica entre cultivos asociados.

En términos de absorción de N por los cultivos (incluyendo N fijado), la presencia de residuos se asocia un aumento de $19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Sanclemente (2009) reporta que el establecimiento de *Mucuna pruriens* en los cultivos logró incrementar el contenido de nitrógeno total del suelo entre 31% y 71% en comparación con el testigo, mostrando los beneficios de esta especie que aporta nitrógeno. Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación refieren que los rastrojos quemados son los que promovieron un mayor incremento de nitrógeno en el suelo.

Los datos reportados en la Tabla 4.18., indican un incremento en la población de microorganismos fijadores de nitrógeno en el tratamiento de monocultivo de maíz, lo que no coincide con Sanclemente (2009) quien informa que la parcela testigo, presentó la mayor reducción del contenido de

nitrógeno total del suelo después de la cosecha del maíz con un 35% (510 mg kg^{-1}).

Como se observa en la Tabla 4.18., los rastrojos en descomposición presentan disminución de la población microbiana fijadora de nitrógeno. Este resultado no concuerda con lo informado por Sanclemente (2009), quien refiere que el establecimiento de abono verde y la cobertura muerta, logran mantener el contenido de nitrógeno total del suelo después de la cosecha de maíz en un 99% y 98% respectivamente, indicando una menor variación en los resultados con respecto a su valor inicial; y un uso más eficiente del nitrógeno

Sanclemente (2009) reporta que el establecimiento del abono verde ejerció un efecto positivo sobre el incremento en las poblaciones microbianas del suelo, lo que coincide con los resultados de este trabajo (Tabla 4.18.), ya que la presencia de la población microbiana se incrementó al aportar rastrojos en descomposición al suelo.

García de Cortázar, (2008) refiere que, los residuos de cosechas aplicados al suelo, debido a su relación C:N, realizan un proceso de descomposición con mayor o menor rapidez en relación a las especies utilizadas, durante este proceso promueven el desarrollo de microorganismos. Azcón (2000), menciona que los microorganismos fijadores de nitrógeno juegan un papel importante en la sostenibilidad de los sistemas suelo-planta, ya que aportan a la fijación de N_2 atmosférico e influyen en la adaptación de las plantas a situaciones de estrés y a la recuperación de la cubierta vegetal en áreas degradadas.

Azcón (2000) también menciona que los residuos aseguran una conservación del agua del suelo durante el periodo de barbecho, mejorando las características hídricas del suelo para el cultivo siguiente en la rotación, los cuales varían en dependencia de la frecuencia de lluvias que limita las diferencias entre condiciones de manejo.

Micorrizas

Los resultados no coinciden con Cornejo (2006) quien menciona que en suelos degradados se produce un descenso en el número de microorganismos o de sus propágulos infectivos, ya que en los resultados obtenidos en esta investigación podemos observar altos porcentaje de colonias de micorrizas en los suelos estudiados, notándose que en suelos quemados se obtiene un valor de 82.13 de la población de micorrizas. Los microorganismos a través de distintas actividades protegen a la planta del estrés y patógenos, así como, ejercen un papel fundamental en el desarrollo armonioso de las plantas.

La mayor densidad de la población de micorrizas se expresa en los suelos con barbechos, seguida de los suelos con rastrojos quemados. Sin embargo, los tratamientos con barbecho y maíz + mucuna son los que presentan mayor colonización (Tabla 4.18.).

Las micorrizas existentes en ecosistemas naturales resultan de gran importancia, ya que esta simbiosis ayuda a las plantas en la adquisición de nutrientes y en la tolerancia a diversos tipos de estrés, entre ellos, la sequía, destacándose las MA y las ectomicorrizas (ECM). Actualmente se considera que estos microorganismos son claves en las estrategias destinadas a controlar la degradación de los ecosistemas, en especial en la re-vegetación con especies autóctonas, puesto que juegan un papel crucial en las primeras etapas del establecimiento de las plantas, en especial, en suelos afectados por procesos erosivos, incendios, laboreo excesivo, contaminación y sometidos a condiciones de estrés (sequia, salinidad, temperaturas elevadas, deficiencias nutricionales, etc.), (Cornejo, 2006 y Franco, 2012)

Guerra (2008) refiere que en cuanto al componente biológico, es reconocido que la gran mayoría de plantas capta los nutrientes por medio de interacciones que establece con los microorganismos que viven en la rizósfera, especialmente con aquellos que se han denominado simbioses y,

que el papel de la actividad microbiana influye en la cinética de los procesos que se llevan a cabo en el suelo, tales como: la mineralización e inmovilización de nutrientes, e igualmente en la participación activa en el ciclado de nutrientes. Múltiples trabajos han mostrado cómo los microorganismos influyen no solo en el desarrollo y crecimiento de las plantas, sino, también, en la contribución a la protección de la planta contra patógenos del suelo. Sin embargo, para sostener y fortalecer los sistemas agrícolas, es necesario el conocimiento fundamental de los diversos componentes que lo integran y que pueden ser determinantes en su funcionalidad.

4.3.3. Comprobación / desaprobación de las hipótesis

Los resultados obtenidos reportan que la diversidad microbiana no se vio afectada por las diferentes técnicas de uso del suelo, por lo que se aprueba la hipótesis H_1 planteada: La diversidad microbiana no varía bajo diferentes usos de la tierra.

El análisis (fase inicial) de la población de los diferentes grupos funcionales del suelo registra diferencias estadísticas en las bacterias fijadoras de nitrógeno, no así en los otros grupos funcionales. Sin embargo, en el análisis de la fase final (grupos funcionales de microorganismos y tratamientos), se apreció que en algunos casos disminuyó y en otros se incrementó la población microbiana; por lo que se rechaza la hipótesis H_2 planteada: La población microbiana no varía bajo diferentes usos de la tierra.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al final, no nos preguntarán qué habéis sabido,
sino qué habéis hecho.

Jean-Charlier Gerson

1363-1429

5.1. CONCLUSIONES

- ☐ Los resultados de esta investigación aportan conocimiento sobre la población y diversidad de los microorganismos en zonas agrícolas con diferentes usos y técnicas de manejo del suelo en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos.
- ☐ Se observó que el 61.70 % de los pequeños agricultores del cantón Mocache, utilizan la quema de rastrojo como la práctica de manejo del suelo más utilizada.
- ☐ Se aprecia una considerable población con índices de analfabetismo (4.25 %) y el 26.60 % que han terminado sus estudios primarios, así como, que el 94.68 % este interesado en recibir capacitación en técnicas de manejo del suelo.
- ☐ El uso de maíz solo, mucuna sola, maíz + mucuna, rastrojos en descomposición, rastrojos quemados y barbechos aumentan la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno.
- ☐ El uso de maíz solo, mucuna sola, maíz + mucuna, rastrojos en descomposición y barbechos disminuyen la población de hongos. Sin embargo, los rastrojos quemados resultan apropiados para incrementar su presencia en los suelos de 2.57×10^4 a 9.12×10^4 .
- ☐ Los diferentes usos de la tierra realizados por los pequeños y medianos agricultores no afectan la diversidad microbiana de los suelos agrícolas.

5.2. RECOMENDACIONES

- ☐ Utilizar el barbecho como técnica de manejo del suelo, ya que presenta mejor comportamiento en cuanto a población de bacterias totales, actinomicetos, hongos, bacterias celulolíticas y solubilizadoras de fósforo.
- ☐ Utilizar la mucuna como técnica de manejo de suelo para disminuir el uso de fertilizante sintético, ya que promueve el incremento de la población de bacterias fijadoras de nitrógeno asimbiótico.
- ☐ La práctica de manejo con rastrojos quemados de manera controlada, promueve el desarrollo de los microorganismos benéficos del suelo, tales como: actinomicetos, hongos y bacterias solubilizadoras de fosforo, bacterias fijadoras de nitrógeno, a pesar que hay un impacto negativo para el medio ambiente por la emisión del CO₂.
- ☐ Realizar una propuesta de capacitación para pequeños productores, a fin de difundir los resultados de esta investigación y proponer técnicas de manejo del suelo adecuadas a la realidad de cada productor.

CAPITULO VI.

PROPUESTA ALTERNATIVA

Aquel que duda y no investiga,
se torna no sólo infeliz,
sino también injusto.
Blaise Pascal
1623-1662

6.1. TITULO DE LA PROPUESTA

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA PROMOVER EL MANEJO ADECUADO DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS CON FINES DE MANTENER Y MEJORAR LA CALIDAD DE LOS SUELOS E INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS.

6.2. JUSTIFICACIÓN

A través del estudio realizado se ha llegado a la conclusión que las diferentes técnicas de uso de los suelos agrícolas: monocultivo de maíz, mucuna y cultivos asociados de maíz más mucuna con manejo de rastrojo en descomposición, suelo con rastrojos quemados y barbechos, utilizados tradicionalmente por los pequeños y medianos agricultores de la zona de Quevedo, no afectan en la proliferación y desarrollo de los microorganismos encargados de mejorar la calidad y productividad de los suelos.

El hombre ha tratado de modificar la naturaleza para satisfacer sus necesidades, haciendo uso intensivo de los plaguicidas, insecticidas y técnicas agrícolas que han contribuido a incrementar la productividad de los cultivos y la disponibilidad de alimentos, sin considerar que estas aplicaciones afectan la sustentabilidad de los suelos.

Por ello, esta propuesta conlleva a difundir los resultados obtenidos en la presente investigación a fin de generar cambios en las actuales prácticas de producción y establecer alternativas de manejo postcultivo dentro de un proceso de agricultura sustentable que permita controlar paulatinamente la pérdida de los microorganismos; y, ofrecer a los pequeños y medianos productores de la provincia de Los Ríos y el país, una alternativa que aporte a la conservación de las especies microscópicas encargadas de producir oligoelementos que mejoran la calidad de los suelos, favorecen el equilibrio ecológico y disminuyen el deterioro de la calidad de nuestros suelos agrícolas.

Además, se plantea un programa de asociación y rotación con los cultivos utilizados a fin de limitar la degradación de los suelos, la contaminación ambiental y mejorar la calidad de vida de los agricultores.

La estrategia a utilizar está fundamentada en:

- ☐ Difundir los resultados obtenidos en la presente investigación, mediante días de campo, charlas, asesoría técnica y, publicaciones.
- ☐ Promover la siembra del cultivo de maíz, mucuna y cultivos asociados de maíz más mucuna con manejo de rastrojo en descomposición, suelo con rastrojos quemados y barbechos a fin de promover la diversidad y población microbiana (hongos, bacterias, actinomicetos y micorrizas) para mantener la calidad y productividad del suelo.
- ☐ Sobre los resultados obtenidos, sugerir a los agricultores se continúen manteniendo estas técnicas de manejo del suelo agrícola, de tal forma que se disminuya el uso de productos químicos en los cultivos.

6.3. FUNDAMENTACIÓN

El Ecuador es considerado como un país con una enorme biodiversidad, a pesar de su reducido territorio; esta razón justifica su inclusión en el pequeño grupo de países megadiversos. Este privilegio de país megadiverso obliga a todos los ecuatorianos a mantener una constante responsabilidad frente a nuestra flora y fauna para su conservación y riqueza. Su riqueza biológica se refleja en toda una gama de organismos, a saber: el 10% de las especies de plantas vasculares del mundo se encuentran en un área que apenas representa el 2% de la superficie total de la Tierra.

La Región Litoral o Costa está constituida por una variedad de ecosistemas, tales como humedales, playas y riveras, que le brinda una característica

agronómica propia de la zona. El cantón Quevedo se caracteriza por poseer suelos altamente agrícolas, lo que le ha permitido ser reconocida como el granero del país, su producción deriva de los cultivos de arroz, maíz, soya, cacao, café, banano, tomate, frejol, soya, entre otros, los cuales son considerados como principales integrantes de la dieta básica alimenticia.

Este ecosistema ha sido fuertemente alterado y destruido por el manejo inadecuado de la actividad agrícola en pequeña y gran escala, por lo que es urgente tomar medidas que desde distintos ángulos, apoyen la conservación del ecosistema en un ambiente de agro sustentabilidad. Los agricultores de la zona realizan diferentes técnicas de manejo en los cultivos, que en determinado momento, pueden tener actividad benéfica o destructora de los microorganismos existentes en el suelo agrícola.

El efecto de la agricultura sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo no solamente regula el rendimiento del cultivo (Van Tol *et al.*, 2001; Norris *et al.*, 2008; De la Fuente *et al.* 2006). El uso de productos químicos, las labranzas, la quema de pastos, suelos descubiertos, el manejo de los rastrojos y la no aplicación de abonos orgánicos, alteran los regímenes de temperatura, humedad y el intercambio de gases en el perfil del suelo, lo cual influye en la mineralización de los nutrientes y la materia orgánica (De la Fuente y Suarez, 2008). Estos cambios afectan tanto a las poblaciones de microorganismos e invertebrados del suelo como a sus interrelaciones (Berkelmans *et al.* 2003; Zak *et al.*, 2003; Brussaard *et al.*, 2007).

Acevedo (2012) refiere que el suministro de las plantas con nutrientes minerales es el resultado de la interacción entre dos fenómenos: la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la habilidad de las plantas para adquirirlos. Para que se produzca la absorción de nutrientes es necesario que haya contacto entre las raíces y los iones del suelo. La rizósfera corresponde a aquella zona del suelo que está influenciada por las raíces, ya

que los exudados radicales afectan procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Su importancia radica en que sirve de anclaje de las plantas, promueve la síntesis de reguladores de crecimiento, absorción de agua y nutrientes, metabolización de asimilados para el crecimiento radical, solubilización de iones, almacenaje y otros.

Las prácticas de manejo conservacionistas favorecen la sustentabilidad de los agroecosistemas ya que renuevan el nivel de nutrientes del suelo, incrementan el número y las actividades de la población microbiana e incrementan la calidad del suelo.

La fertilidad y el funcionamiento de los suelos dependen en una gran proporción de las propiedades bioquímicas y microbiológicas, ya que son muy importantes para definir las principales funciones edáficas: productiva, filtrante y degradativa. Por lo tanto, la actividad biológica y bioquímica del suelo es de importancia capital en el mantenimiento de la fertilidad de los hábitat terrestres y consecuentemente del funcionamiento de los ecosistemas forestales y agrícolas (Acuña *et al.*, 2006).

Las investigaciones referentes al manejo de los cultivos y su modificación a la estructura y biodiversidad de las comunidades microbianas del suelo en diferentes zonas del país han ido aumentando.

Estudios recientes sugieren que los cambios en la tasa de circulación del carbono y los nutrientes minerales en el suelo como consecuencia de las interacciones entra las plantas y otros organismos, aparentemente involucrarían modificaciones en la estructura y funcionamiento de las comunidades bióticas del suelo.

Además, han demostrado que dada su abundancia, el componente microbiano del suelo es importante para la salud de los ecosistemas. Los procesos agrícolas, así como el manejo de los recursos vegetales inciden

sobre este componente afectando tanto a su biodiversidad como a la densidad de las poblaciones microbiana simplificadas; los resultados a mediano y largo plazo pueden ser la pérdida de fertilidad de los suelos y su progresiva depauperación (Calvo *et al.*, 2008)

Este sencillo manual busca incentivar la práctica de mejores técnicas agrícolas (agroecológicas), utilizando información recopilada de trabajos de investigación realizados sobre diversidad y población microbiana y su influencia en la calidad y productividad de los suelos, buscando acercar al productor campesino con la naturaleza, ya que de ello depende la salud de las personas, ecosistema y mejorar calidad de vida de los pequeños y medianos agricultores.

En este documento además, se promueve el uso de técnicas de manejo agroecológicas para mantener la población y diversidad microbiana e incrementar su producción.

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. Objetivo General

Diseñar un programa de capacitación para promover el manejo adecuado de los suelos agrícolas a fin de mejorar la diversidad y población microbiana que mejoren la calidad de los suelos e incremente la productividad de los cultivos.

6.4.2. Objetivos Específicos

- ☐ Elaborar un manual que contenga un plan de manejo agroecológico de los suelos, para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los pequeños y medianos agricultores.

- Conformar un grupo piloto de capacitación y asesoría técnica sobre técnicas de manejo postcultivo.

6.5. IMPORTANCIA

Todos los microorganismos cumplen un rol fundamental en el mantenimiento del suelo como ecosistema (Calvo *et al.*, 2008). La transformación que sufren los restos vegetales y animales en el suelo se realiza bajo la acción de distintos grupos de microorganismos así como de diversos representantes de la microfauna edáfica (ácaros, insectos, lombrices, etc.) Estas desintegraciones mecánicas, oxidaciones, hidrólisis, etc., pueden ocurrir bajo acción directa de las precipitaciones atmosféricas o de la reacción ácida o básica del suelo, del viento, de los cambios de temperatura, etc.

Una de las razones principales de la existencia y la importancia de los microorganismos en el suelo consiste en verlos como co-responsables del suministro de elementos o compuestos inorgánicos nutricionales, orientados particularmente hacia las plantas superiores (de modo de poder cumplir con su ciclo de vida a través del crecimiento y desarrollo), así como su función también específica de descomponer y mineralizar la materia orgánica que de una u otra forma se incorpora al suelo.

El empresario agrícola tiene un objetivo muy claro: obtener la máxima utilidad posible, para ello se asegura de optimizar al máximo sus recursos disponibles: suelos, mano de obra, maquinarias e insumos y, organiza la producción rubro por rubro, sin considerar que las técnicas inadecuadas utilizadas (exceso de productos químicos y maquinaria) han promovido un desarrollo y beneficio económico a corto plazo, deteriorado el ecosistema y perjudicando su regeneración natural, lo que imposibilita a largo plazo la productividad de los suelos.

6.6. UBICACIÓN DE LA PROPUESTA MOCACHE

La presente propuesta de trabajo, será de aplicación inmediata en el sector agrícola del cantón Mocache, provincia de Los Ríos.

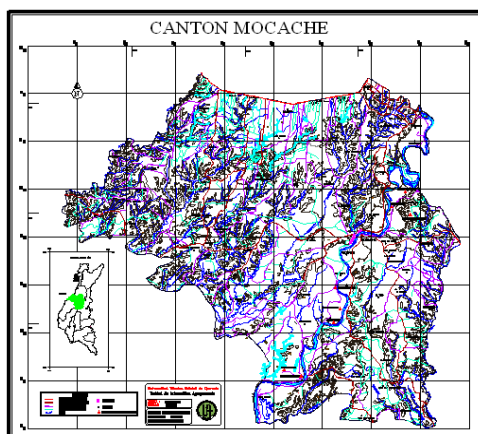


Figura 6.1. Mapa del cantón Mocache, provincia de Los Ríos.

6.7. Factibilidad

La propuesta es factible y sostenible por los siguientes motivos:

- ☐ Desde el punto de vista social, productivo y económico, ya que el cantón Mocache es una zona altamente productiva de cultivos de cacao, arroz, maíz, tomate, frejol, entre otros, los cuales son fuente de recursos alimenticios y económicos para las familias de los pequeños y medianos agricultores; así como, de las comunidades urbanas de su entorno geográfico. Esta propuesta será extensiva a los campesinos, de tal manera que se incentive la aplicación de técnicas agroecológicas en los cultivos tradicionales de la Costa Ecuatoriana y permitan obtener mayores ingresos y mejoren su calidad de vida.

6.8. PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo contempla las siguientes acciones generales:

- ☐ Difusión y socialización del proyecto a los campesinos del entorno geográfico del cantón Quevedo.
- ☐ Revisión, validación y aprobación del proyecto con los agricultores y organizaciones campesinas interesados en su ejecución.
- ☐ Establecer los compromisos y aportes para su ejecución.
- ☐ Ejecutar un programa de capacitación y asesoría técnica.
- ☐ Implementación y ejecución del proyecto.
- ☐ Seguimiento y apoyo técnico de los cultivos durante la ejecución del proyecto.
- ☐ Evaluaciones del antes, durante y después de la implantación del proyecto.

6.9. ACTIVIDADES

6.9.1. Proceso cronológico de actividades

6.9.1.1. Difusión y socialización del proyecto a todos los pequeños y medianos agricultores. Se establecerá los compromisos y aportes para su ejecución.

- ☐ Diseño y elaboración del material divulgativo
- ☐ Talleres de socialización y trabajo, con los pequeños y medianos agricultores, líderes campesinos y organizaciones campesinas.
- ☐ Negociación y acuerdos de contrapartes de gestión, económica y trabajo de campo, entre otras, con los agricultores y las entidades de financiamiento.

6.9.1.2. Programa de formación y manejo de técnicas agroecológicas

Diseño y elaboración de charlas técnicas y seminarios de capacitación en:

Microorganismos del suelo

- ☐ Manejo agroecológico de los suelos para mejorar e incrementar la población y diversidad microbiana
- ☐ Capacitación y ejecución de técnicas agroecológicas en el campo

6.9.1.3. Implementación de prácticas culturales, agronómicas y mecánicas en parcelas demostrativas de propiedades de los pequeños y medianos productores.

- a) Capacitación técnica.
- b) Establecimiento de parcelas exploratorias y demostrativas de asociaciones y rotaciones de cultivos.

6.9.1.4. Contenidos de los temas de capacitación

TEMA 1: Microorganismos del suelo:

- Concepto, características, metodología.
- ☐ Población y diversidad microbiana en los suelos: concepto, características, hábitats.
- ☐ Importancia de los microorganismos en el suelo.

TEMA 2: Manejo agroecológico de los suelos para mejorar e incrementar la población y diversidad microbiana

➤ Cultivos apropiados

- ☐ Monocultivos: cultivo de maíz, mucuna
- ☐ Asociación de cultivos: Maíz más mucuna
- ☐ Rotación de cultivos

➤ Técnicas de manejo pos cosecha

- ☐ Manejo de rastrojo en descomposición

- ☐ Suelo con rastrojos quemados
- ☐ Barbechos

6.10. RECURSOS ADMINISTRATIVOS, FINANCIEROS Y TECNOLÓGICOS

6.10.1. Recursos administrativos

Para la ejecución de la presente propuesta el proyecto debe ser ejecutado por el agricultor, grupo de agricultores u organizaciones campesinas de Mocache; así como, dirigido por profesionales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, con capacitación técnica del tema, quienes se encargarán de difundir y capacitar al sector campesino involucrado en el proyecto.

6.10.2. Recursos financieros

Para ejecutar la presente propuesta alternativa se requiere de un presupuesto económico en dependencia del área asignada para la ejecución del proyecto, ya sea a nivel individual o grupos de campesinos. Este presupuesto será elaborado una vez que los campesinos hayan aceptado la viabilidad del proyecto y se haya determinado el área en el cual se lo ejecutará. Los valores correspondientes a este concepto serán asumidos por los agricultores, en dependencia a los acuerdos que se establezcan por las partes actuantes.

6.10.3. Recursos materiales y tecnológicos

Los recursos materiales y tecnológicos se determinaran en dependencia de la actividad, tales como:

- a) Presentación y socialización del proyecto:** computador, infocus, documento de la propuesta impresa.

b) Negociación y acuerdos de contrapartes económicas y de gestión:

Computador, infocus, materiales de papelería como papelotes, marcadores, cinta masking.

c) Talleres de capacitación: Computador, infocus, materiales de papelería como cuadernos, esferográficos, papelotes, marcadores, cinta masking.

d) Adquisición de equipos, materiales e insumos: Equipo de preparación del suelo, semillas, equipo de riego y otros que se considerarán en dependencia de los cultivos a implementar y de la disponibilidad del terreno que se asigne para la ejecución de los trabajos del presente proyecto alternativo.

6.11. IMPACTO

Una vez implementada y ejecutada la presente propuesta alternativa se alcanzará los objetivos planteados en la misma y se logrará un impacto positivo en el aspecto social, medioambiental y económico, que son los tres aspectos que deben guardar equilibrio en un desarrollo sostenible.

a) **En lo social.** La propuesta está orientada a sectores agrícolas del cantón Mocache, provincia de Los Ríos, a fin de mejorar la productividad de sus cultivos, garantizando con ello algunos productos de la alimentación básica de la población urbana y rural, mayor rentabilidad en los cultivos y mejorar la calidad de vida de los agricultores.

b) **En lo ambiental.** El uso y aplicación de técnicas de manejo agro sustentable, ecológicamente viable y socialmente aceptable, permitirá disminuir la pérdida de la población y diversidad microbiana que permita disminuir paulatinamente la degradación de los suelos agrícolas.

c) **En lo económico.** Los productos obtenidos a partir del desarrollo de una tecnología limpia están creciendo mucho más rápido que la demanda de

productos tradicionales, aun cuando esta tendencia es aún incipiente. El impulsar la demanda nacional de estos productos tiene el propósito de transmitir a los agricultores nuevos elementos que permitan consolidar una conciencia ecológica y posicionarnos como proveedores de productos verdes, mediante la creación de nuevos sectores productivos competitivos en el mercado nacional e internacional. Todo ello conlleva a formar parte de un gran mercado altamente competitivo y en expansión que ofrece precios más altos.

6.12. SEGUIMIENTO, CONTROL, EVALUACIÓN Y MEDIDAS CORRECTIVAS

El seguimiento, control, evaluación y medidas correctivas son un aspecto clave en la ejecución de este proyecto, por lo que en cada reunión, taller de capacitación o visitas técnicas se realizará el seguimiento, control, evaluación y ejecución de medidas correctivas de las actividades y trabajos realizados, las cuales se realizarán de forma grupal en mesas de trabajo para recopilar las experiencias obtenidas por los agricultores y considerarlas como un medio para establecer nuevos parámetros de ejecución de este y futuros proyectos.

Al final del proyecto se realizará una evaluación con respecto a los rendimientos de los cultivos y el conocimiento técnico obtenido por los agricultores durante toda la fase de ejecución.

Los aspectos de evaluación serán:

- ☐ Organización
- ☐ Capacitación y aplicación de conocimientos
- ☐ Rendimiento de los cultivos
- ☐ Participación

6.13. PRESUPUESTO DE LOS RECURSOS FINANCIEROS

CONCEPTO	VALOR (\$)	FUENTE DE FINANCIAMIENTO
Difusión y socialización del proyecto	1170,00	UTEQ
Revisión, validación y aprobación del proyecto	30,00	UTEQ
Ejecutar un programa de capacitación y asesoría técnica	1890,00	UTEQ
Implementación de parcelas demostrativas	120,00	UTEQ
Seguimiento y Evaluación de la propuesta	240,00	UTEQ
TOTAL USD	3450,00	UTEQ

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. 2012. Procesos en la Rizósfera Interface Suelo-Raíz. http://www.sap.uchile.cl/descargas/biofisica/8.BAAbsorcion_de_Iones.pdf
- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J. y Segura, A. 2006. Importance of microorganisms for soils quality and health. http://www.musalit.org/pdf/IN060651_es.pdf
- Aibanesi A, 2006. La diversidad microbiana en la fertilidad de los suelos en cultivos de siembra directa. Consultado 29 de abril de 2008. Disponible en: www.planetasoja.com/trabajos800.php?id1=18808&publi=&idSEC=31&ID2=18815.
- Alemán, S. T. 1989. Los sistemas de producción forestal y agrícola de rosa. *In: El subdesarrollo de la producción silvoagropecuaria en Los Altos de Chiapas*. Parra V., M. R. (ed.). Universidad Autónoma de Chapingo-Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, México. pp.: 83-151
- Alemán, S. T.; López, M. L. 1989. Los sistemas de producción agrícola. *In: El subdesarrollo de la producción silvoagropecuaria en Los Altos de Chiapas*. Parra V., M. R. (ed.). Universidad Autónoma de Chapingo-Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, México. pp.: 153-237.
- Álvarez, J.; Anzueto, M. 2003. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes Sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Ensayo. Agrociencia*. 38: 13-22.2004. 22p.
- Anthofer J, Kroschel J. 2005. Above ground biomass, nutrients, and persistence of an early and a late maturing. *Mucuna* variety in the Forest–Savannah Transitional Zone of Ghana. *Journal Agriculture ecosystems and environment*. No 110, 59:77
- Arias, Me., González-Pérez, Ja., González-Vila, Fj. y Ball, As. 2005. Soil Health -a new challenge for microbiologists and chemists-. *International Microbiology*.8: 13-21.
- Atlas, R. y Bartha, R. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4 ed. España: Pearson Educación, S.A, p. 553-586.
- Azcon. R. 2000. Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. En: Alarcón A, Ferrera-Cerrato R (eds)

Ecología, Fisiología y biotecnología de la mirorriza arbuscular. Colegio de Postgraduados, Ediciones Mundi Prensa, Montecillo, Mexico, pp 1-15

Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., *et al.* 2008. Infostat. Manual del usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina pp 336.

Berkelmans R; H Ferris; M Tenuta y AHC Van Bruggen. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology* 23:223-235.

Bernal, G. y Graham, P. 2001. Diversity in the rhizobia associated with *Phaseolus vulgaris* L. in Ecuador, and comparisons with Mexican bean rhizobia. *Canadian Journal of Microbiology* 47(6):526-534

Blanchart E, Villenave C, Viallatoux A, Barthès B, Girardin C, Azontonde A, Feller C. 2006. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. *European Journal Soil Biology* N0 42. 136:144.

Bolaños, M. 2000. Efecto de la biota edáfica sobre la productividad de los agroecosistemas. Conferencia: Simposio Biología de suelos tropicales. Universidad de Caldas, Manizales Colombia.

Brady, N.C. and Weil, R.R. 1999. The nature and Properties of Soils. 12 Edition, Capítulo 7. Prentice Hall, New Jersey. USA.

Brussaard, L; PC de Ruiter y GG Brown. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 233- 244.

Buduba, C. 2004. Muestreo de suelos. Criterios básicos. Patagonia Forestal. Año X. No 1. 4p.

Bunch, R. y Kadar, A. 2004. La mucuna en los sistemas de agricultura de bajos insumos externos en Mesoamérica. In. Revista de Agroecología. LEISA. p 16-18.

Butler, SJ, Vickery, JA. y Norris, K. 2007. Farmland biodiversity and the footprint of agriculture. *Science* 315:381-383.

Cabrera, T. 2000. Aporte al conocimiento de la microbiota fúngica del suelo de la Amazonía colombiana, con énfasis en tres grupos funcionales. Tesis (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. 353 p.

- Calvo V., P., Meneses L., Zúñiga D. 2008. A study of potato (*Solanum tuberosum*) crop rhizosphere microbial population in highland zones. *Ecología Aplicada*, 7(1,2). Consultado 10 julio del 2012. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a17v7n1-2.pdf>
- Carrillo, L. 2003. Microbiología Agrícola. Capítulo 1. Microorganismos. <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap1.pdf>
- Chapin III, FS. ES. Zavaleta, VT. Eviner, RL. Naylor, PM. Vitousek *et al.* 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405:234-242.
- Coiman, A. 2009. Los microorganismos en el suelo agrícola. <http://www.aporrea.org/desalambrar/a91550.html>
- Constitución del Ecuador. 2008. Título VI Régimen de Desarrollo. Soberanía alimentaria. Capítulo III, artículo 281 literales 3, 8 y 9. Disponible en: <http://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Ecuador/ecuador08.html#mozTocId628063>
- Coyne, M. 1999. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Traducción Martín Rasskin. Madrid – España, Paraninfo. 416 p.
- Cornejo, P. 2006. Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad y estructura de las comunidades de hongos micorrízicos y sus efectos en la estabilización de suelos degradados. ISBN: 978-84-338-4026-4 Disponible en: <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/1008/1/16154952.pdf>
- Curtis, T., Sloan, W. y Scanell, J. 2002. Estimating prokaryotic diversity and its limits. *PNAS*, 99:10494-10499
- Delgado, M. 2012. Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. <http://www.oriusbiotecnologia.com/escritos-tecnicos/130-los-microorganismos-del-suelo-en-la-nutricion-vegetal>
- De la Fuente, EB., SA Suárez & CM Ghera. 2006. Soybean weed community composition and richness between 1995 and 2003 in the Rolling Pampas (Argentina). *Agriculture Ecosystems and Environment* 115(1-4):229-236
- De la Fuente, Elba B. y Suarez, Susana A. 2008. Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecol. austral* [online]., vol.18, n.3 [citado 2012-07-02], pp. 239-252. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2008000300001&lng=es&nrm=iso. ISSN 1667-782X
- Ecoplexity, 2012. La presencia de hongos en el suelo. Disponible en: <http://www.biol.unlp.edu.ar/ecologiamicrobiana>

- Estrada, O, HL. 1989. Efecto de la cobertura de frijol abono (*Stizolobium Deerengianum*) sobre el control de maleza y rendimiento del maíz. Honduras, SERPT/ICTA. 7 p.
- FAGRO 2008. Facultad de Agronomía de la Universidad de la República de Uruguay. Interacciones entre plantas y microorganismos. Montevideo-Uruguay. Consultado el 24 de abril del 2008. Disponible en:<http://www.fagro.edu.uy/microbiología/docs/relaciones%20m.o.planta.pdf>
- FAO. 2006. Fire management: review of international cooperation. Fire Management Working Paper 18.Rome
- FAO, USDA y SICA. 2005. Cadena de valor de los cereales principales en el Ecuador (online) consultado el 3 de Septiembre. Disponible en <http://www.FAO,USDA y SICA.gov.ec>.
- Fernández, C., Novo, R. 2003. Vida microbiana en el suelo. Cuba, Pueblo y Educación. 524 p.
- Forjan, H. 2002. La siembra directa y los rastrojos. Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria (INTA). Consultado 23 abril de 2008. Disponible en.www.inta.gov.ar
- Forsythe, W. 2002. Parámetros ambientales que afecta la temperatura del suelo en Turrialba, Costa Rica y sus consecuencias para la producción de cultivos. Agronomía Costarricense 26 (1): 43-62.
- Foth H. 1978. Fundamentos de la ciencia del suelo. CECSA, México. 405p.
- Franco-Correa, M. 2008. Evaluación de caracteres PGPR en actinomicetos e interacciones de estas rizobacterias con hongos formadores de micorrizas. Tesis Doctoral, Director: Dr. José Miguel Barea N. Departamento de Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. pp. 266. ISSN. 978-84-691-8252-9.<http://0-hera.ugr.es.adrastea.ugr.es/tesisugr/17716093.pdf>
- Franco, J.2012. Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. http://www.factorhumus.com/wpcontent/uploads/estudios/micorrizas/Trabajo_de_nutricion_vegetal.%20micorr.pdf
- Franzluebbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil & Tillage Research. 66, 95-106.
- Galloway JN., Dentener, FJ., Capone, DG., Boyer, EW., et al. (2004). Nitrogen cycles: Past, present and future. Biogeochemistry, 70: 153-226.

- García de Cortázar, V. 2008. Simulación de la dinámica de los rastros sobre el suelo en cero labranzas. Departamento de Ingeniería y suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago. Disponible en: <http://www.sipeaa.it/tools/CropSyst/VGdeC1.pdf>
- Gerdemann, J., Nicholson, T. 1963. Spores of Mycorrhizal Endogone Species extracted from soil by wet sieving and decanting. *British Mycological Society* 46: 235-244.
- Ghanem, N. B., Sabry, S.A., El-sherif, Z. M. y Abu El-Ela, G. 2000. Isolation and Enumeration of marine Actinomycetes from seawater and sediments in Alexandria. *Applied and Environmental Microbiology*: 45:105-111
- Giardina, E. 2010. La importancia de los microorganismos en el suelo: Micorriza y Rizósfera. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (2010) 11(2), 155-164 <http://www.corpoica.org.co>
- Girard, H. y Rougieux, R. 1964. Técnicas de microbiología agrícola. Zaragoza- España. Acribia. 267 p
- González, C. y Peña, J. 2011. Mejor calidad y regeneración de suelos gracias al uso de biofertilizantes. *Biofábrica Siglo XXI*. <http://www.biofabrica.com.mx/blog/?tag=suelo>
- González-Pérez, J., González-Vásquez, R.; De la Rosa, J. y González-Vila, F. 2011. El fuego y la materia orgánica del suelo. Septiembre 2011. Vol.2,3. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/49248/1/el%20fuego%20y%20la%20materia%20orga%cc%81nica%20del%20suelo.pdf>
- González, M. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *Terra Latinoamericana*, Vol. 23, Núm. 1, pp. 29-37. SSN (Versión impresa): 0187-5779
- González-Vila FJ, Almendros G. 2003. Thermal transformation of soil organic matter by natural fires and laboratory-controlled heatings. In: Ikan R, editor. *Natural and laboratory simulated thermal geochemical processes*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing. p. 153 – 200.
- Guerra, B. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible*.
- Hansel, C., Fendorf, S., Jardine, P. y Francis, C. 2008. Changes in bacterial and archaeal community structure and functional diversity along a

geochemically variable soil profile. Department of Geological and Environmental Sciences. Stanford University. Stanford, California.

Harrigan, W. y Mc. Cance, M. 1968. Methods de Laboratories de Microbiology. Dep. of Bacteriology, The West of Scotland Agriculture College. Auchincruive, Ayr, Scotland. Edit. Academia. León – España.

Hernández, R.M., Florentino, A. y López-Hernández, D.2000. Efectos de la siembra directa y la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de ultisols en el Estado de Guárico-Venezuela. Agronomía Tropical. 50:1, 9-29.

Hernández, L. y Escalona, M. 2003. Microorganismos que benefician a las plantas: Las bacterias PGPR. In: La Ciencia y el Hombre. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana. Vol. XVI. No 1. Disponible en: <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol16num1/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) 1993. Programa Investigación para la Amazonía. (En línea). Bogotá, Colombia. Consultado 18 de abril de 2007. Disponible en: [books?id=FiDKF8Yihe8C&pg=PA73&lpg=PA73&dq=Instituto+Geogr%C3%A1fico+Agust%C3%ADn+Codazzi+\(1993\)](http://books?id=FiDKF8Yihe8C&pg=PA73&lpg=PA73&dq=Instituto+Geogr%C3%A1fico+Agust%C3%ADn+Codazzi+(1993)).

Instituto de investigaciones de Recursos biológicos Alexander Von Humboldt 2001.Pautas y prioridades en la investigación de la diversidad microbiana. Importancia de la DM en términos de conocimiento, conservación y uso sostenible, recomendando pautas de acción sobre el tema para Colombia. Biosíntesis. Boletín No. 28. <http://www.humboldt.org.co/download/bol28.pdf>

Jiménez, R. y Lamo, J. 1998. Agricultura sostenible. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

Kaizzi, C., Sali, H. y Vlek, P. 2006. Differential use and benefits of Velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in maize production in contrasting agro-ecological zones of E. Uganda. Journal Agricultural systems No 88: 44-60.

Killham, K. 1994. Soil Ecology. University Press, Cambridge, United Kingdom. 241p.

Killian, M., Steiner, U., Krebs, B., Junge, H., et al. 2001.FZB24 *Bacillus subtilis* Mode of Action of a Microbial Agent Enhancing Plant Vitality. Pflanzenschutz - Nachrichten Bayer. 1: 72-93.

- Knicker, H., González-Vila, F. J., Polvillo, O., González-Pérez, J. A. y Almendros, G. 2005. Soil Biol, Biochem. 37:701-718.
- Konemam, E. 2001. Diagnóstico Microbiológico. Texto y Atlas a color. Quinta Edición, Médica Panamericana FEMS Microbiology Letters. 84:307-312
- Ladrach, W. 2009. El efecto del fuego en los ecosistemas agrícolas y forestales. Informe Especial, Mayo, 2009
- Lenntech. 2008. Ciclos naturales: nitrógeno, carbono, fósforo. agosto de 2004. [http://www.lenntech.com/espanol/ciclo-carbono\(nitrógeno,fósforo\).htm](http://www.lenntech.com/espanol/ciclo-carbono(nitrógeno,fósforo).htm). (Consultado el 23 de agosto del 2008).
- Lenntech. 2008. Water Treatment and Air Purification, Published by Lenntech, Rotterdamseweg, Netherlands. www.excelwater.com/thp/filters/Water-Purification.htm
- Long, A. J. 2006. Benefits of Prescribed Burning. For. 70. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. September 2006.
- Mayz-Figueroa, J. (2004) "Biological Nitrogen Fixation". Revista Científica UDO Agrícola 4(1): 1-20.
- Martínez-Bastida JJ., Arauzo, M. y Valladolid, M. 2009. Intrinsic and specific vulnerability of groundwater in Central Spain: the risk of nitrate pollution. Hydrogeol J (En prensa).
- Martínez, H. Eduardo y Becerra, D. Marcelo. 2004. Uso y manejo del suelo. Disponible en: http://www.sap.uchile.cl/descargas/suelos/036Uso_y_efecto_del_Fuego.pdf
- Mandigan, M., Martinko, J. y Parker, J. 2000. Brock. Biología de los microorganismos. Octava Edición. Prentice Hall. Madrid-España.
- Meehan, S. 2000. The fate of cyanide in groundwater at gasworks sites in south-eastern Australia. Tesis (Doctor en biología) Melbourne, Australia: The University of Melbourne. Consultado Mayo 25, 2003, en <http://adt1.lib.unimelb.edu.au/adt-root/public/adt-VU2002.0068>
- Mora, J. 2012. La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=223&Itemid=223

- Morales, R. y Durango, W. 2012. Resultados en la obtención de inóculos nativos de hongos micorrízicos en cultivos de cacao (*Theobroma cacao*) y Soya (*Glycine max*). Disponible en: <http://www.secsuelo.org/XICongreso/Simposios/Microbiologia/Documento/Ponencias/2.%20Rocio%20M.pdf>
- Morales, R. 2004. Estudio de la Diversidad Microbiana en Suelos Agroforestales De Café (*Coffea arábica*), y Cultivos de Pastos y Arroz (*Oriza sativa*) en Dos Tipos de Suelos del Sur de Manabí.
- Newton, W. y Fisher, K. 2002. Nitrogen Fixation – A General Overview in Nitrogen Fixation at the Millennium. G. Jeffery Leigh, Editor. Elsevier Publications. P. 1-34.
- Northup, D.E. y Lavoie, K.H. 2001: "Geomicrobiology of caves: a review". Geomicrobiology Journal 18:199-222.
- Norris, RF., EP Caswell-Chen & M. Kogan. 2008. Ecosystems biodiversity and IPM. 7 Pp. 155-171 en Norris, RF; EP Caswell-Chen & M. Kogan (eds.). Concepts in integrated pest management, Prentice Hall, USA.
- Novo, R. y Hernández, A. 2003. Manual Práctico de Microbiología del Suelo. Ciclo de Conferencias. Universidad Agraria de la Habana. Dep. de Biología – Sanidad Vegetal. La Habana.
- Pacheco J., Pat-Canul R. y Cabrera A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Ingeniería, 6: 73-81.
- Paerl HW., Dennis RL., Whittall, DR. (2002). Atmospheric deposition of nitrogen: implications for nutrient over enrichment of coastal waters. Estuaries, 25: 677-93
- Pazmiño, A. 1999. Alelopatía. El rincón universitario. Universidad de Chile. Disponible en: www.e-mas.co.cl
- Pérez, J. 2012. Fundamentos del manejo sostenible de suelos. Consultado 29 de abril de 2012. Disponible en: www.monografias.com/trabajos15/manejo-de-suelos/manejo-de-suelos-shtml
- Pochon, J. y Tardieux, P. 1962. Técnicas de Análisis en Microbiología de suelos. Ed. De la Tourelle. 1962 Pg. 89 – 105
- Prause, J. y Soler, J. 2001. Changes produced in a soil under conservation tillage and direct drilling of cotton in Chaco, Argentina. VOL. 61, NUM. 4, pp. 527-532

- Prescott, L.M. 2002. Microbiology. 5th ed. Editorial Mc. Graw-Hill. Boston, Massachusetts, USA. pp.524-528.
- Rico, M. 2004. Microbiología general. Primera Edición. Impresiones. Bogotá, Colombia.
- Rivilla, R. 2012. "Utilización de Microorganismos para la evaluación de impacto ambiental y restauración del medio natural", Disponible en <http://www.microambiente.org/home/home.cfm>
- Sanclemente, O. 2009. Efecto del cultivo de cobertura: *mucuna pruriens*, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo *typichapalus talfs*, cultivado con maíz (*Zea mays* L.) en zona de ladera del municipio de Palmira, valle. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias departamento de Ciencias Agrícolas, Palmira.
- Sánchez, Y., Flores, A, Rodríguez, R. y Contreras, J. 2009. La fijación biológica de nitrógeno por microorganismos; su importancia en la agricultura y conservación del medio ambiente. Revista de divulgación científica Cienciacierta. <http://www.postgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC19/CC19fijacion.html>
- Sarabia, O. M., Madrigal, P. R., Martínez, T. M. y Carreón, A. Y., 2010. Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja red de interacciones. Biológicas, Julio 2010, 12(1): 65–71
- Sarles, W. 1963. Microbiología General y Aplicada. Departamento de Bacteriología de la Universidad de Wisconsin. Ed. Salvat. Barcelona-España.
- Schlöter, M., Dilly, O. y Munch, J. 2003. Indicators for evaluating soil quality. Agricult Ecosyst y Environ, 98: 255-262.
- Schulze, E. D., Wirth, C. y Heimann, M. 2000. Perspectives climate change: Managing Forests After Kyoto: Vol. 289. no. 5487, pp. 2058 – 2059 DOI: 10.1126/science.289.5487.2058. Disponible en: <http://cliveg.bu.edu/courses/ge529fall07/schulze.pdf>
- Smil, V. 2001. Enriching the Earth, Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production MIT Press, Cambridge MA. 338 pp.
- Tate, R.L. 2000. Soil Microbiology (second ed) Wiley, New York, pp 47.56

- Thomasson, A J., Bouma, J. y Leith, H.1991. Soil and Groundwater Research Report. II. Nitrate in Soils. EUR13501 Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 544 pp.
- Toro, D. 2004. La biodiversidad microbiana del suelo, un mundo por descubrir
http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=89
- Torsvik, V., Salte, K., Sørheim, R. y Goksøyr, J. 1990. Comparison of phenotypic diversity and DNA heterogeneity in a population of soil bacteria. *Appl Envir Microbiol*,; 56: 776-781.
- Trasar, M. C., Leiros, M. C. y Gil, F. 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): specific parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 747-755.
- Van Tol, RWHM., ATC Van Der Sommen; MIC Boff; J Van Bezoiien; MW Sabelis *et al.*,2001. Plants protect their roots by alerting the enemies of grubs. *Ecology Letters*4:292-294.
- Volvamos al Campo. 2011. Manual de cultivos orgánicos y alelopatía. Colombia. Grupo Latino 700p. Segunda edición, ISBN: 978-958-8203-08-9.
- Wetzel, RG. 2001. Limnology, Lake and River Ecosystems. 3rd edition. Academic Press, San Diego. 1006 pp
- Whitman, W., Coleman, D. y Wiebe, W. 1998. Prokaryotes: The unseen majority. *PNAS*, 95: 6578-6583

ANEXOS

Anexo No. 1 Formato de Encuestas a agricultores del cantón Mocache

UNIVERSIDAD TECNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

PROYECTO: DINAMICA POBLACIONAL DE LOS PRINCIPALES GRUPOS FUNCIONALES DE MICROORGANISMOS, BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO DEL SUELO EN LA FINCA “LA MARÍA”, CANTON MOCACHE

1. UBICACIÓN

1.1. Nombre de la propiedad _____

1.2. Cantón: _____ Parroquia: _____

1.3. Sector: _____ Comunidad: _____

1.4. Nombre del propietario _____

2. EXPLOTACIÓN

2.1. Tenencia: Propietario () Arrendatario () Cooperado () Otros ()
(Especifique) _____

2.2. Cuáles son los principales cultivos que usted maneja?

Maíz (); arroz (); fréjol (); cacao (); plátano (); otros cultivos ()

2.3.Cuál es el nivel de escolaridad o formación del jefe de la explotación y/o agricultores

- a. Analfabeto ()
- b. Primaria incompleta ()
- c. Primaria completa ()
- d. Secundaria incompleta ()
- e. Secundaria completa ()

f. Universidad incompleta ()

g. profesional ()

2.4. ¿Pertenece o está asociado a una organización agropecuaria? SI () NO ()

¿Por qué?

2.5. ¿Qué tipo de manejo del suelo hace usted en su propiedad?

2.6. ¿Ha realizado usted análisis microbiológicos al suelo? SI () NO ()

2.7. Recibe usted la visita de técnicos que le asesoran en el manejo del suelo y cada qué tiempo. Si (); No () _____ meses/días

2.7.1. Si la respuesta es sí, quién le asesora

Universidad (), ONG`s (), cooperativa (), Técnicos de empresas ()

Otros

2.8. Si usted no recibe asistencia técnica, ¿le gustaría recibirla, en qué área?

Manejo del cultivo () manejo del suelo () conservación del suelo ()

Otros _____

2.9. Considera usted que su suelo está desgastado Si (); No ()

Anexo No. 2 Medios de cultivos para aislar diferentes microorganismos

Bacterias fijadoras de nitrógeno

WATANABE	Cantidad
Glucosa	5 g/l
Manitol	5 g/l
Almidón	4.5 g/l
Acido málico	3.5 g/l
Agar	1.75 g/l
pH	6.8-7.2
Solución II	50mL
Solución III	15mL
Bromotimol azul al 1 % en etanol	20mL
Agua destilada	Aforar a 1000 mL

SOLUCION I	Cantidad
H ₂ BO ₃	750 mg/l
ZnSO ₄ 7H ₂ O	550 mg/l
CoSO ₄ 7H ₂ O	350 mg/l
CuSO ₄ 4H ₂ O	21.8 mg/l
MnCl ₂ 4H ₂ O	20 mg/l
Agua destilada	1000 mL

SOLUCION II	Cantidad
FeSO ₄ 7H ₂ O	0.8 g/l
MgSO ₄ 7h ₂ O	4.0 g/l
Na ₂ MoO ₄ 7H ₂ O	0.1180 g/l
CaCl ₂ 2H ₂ O	4 g/l
EDTA ácido	0.8 g/l
Solución I	4 mL/l
Agua destilada	1000 ml

SOLUCION III	Cantidad
KH ₂ PO ₄ (fosfato monopotásico)	40 g/l
K ₂ HPO ₄ (fosfato dipotásico)	60 g/l
Agua destilada	1000 ml

Bacterias celulolíticas

AGAR EXTRACTO DE SUELO	Cantidad
Fosfato dibásico de potasio (PO ₄ HK ₂)	0.5 g/l
Nitrato de amonio (NO ₃ NH ₄)	0.15 g/
Carboximetilcelulosa	1.25 g/l
Agar	20 g/l
Extracto de suelo	100 mL
pH	6.5

Bacterias solubilizadoras de fósforo

AGAR RAMOS CALLAO	Cantidad
Extracto de levadura	2 g/l
Glucosa	20 g/
Fosfato tricálcico	2 g/l
Agua destilada	1000 mL
Agar	22 g/
pH	7

Actinomicetos

AGAR CASEÍNA	Cantidad
Caseína	10 g/l
Almidón soluble	0.5 g/l
KH ₂ PO ₄	30 g /
Agua destilada	1000 g/l
pH	7

Población total de Hongos

AGAR ROSA DE BENGALA	Cantidad
D – Glucosa	10 g/l
Peptona micológica	5 g/l
Fosfato monopotásico	1 g/l
Sulfato de magnesio hidratado	0.5 g/l
Rosa de bengala	0.035 g /l
Estreptomina	30 mg/
Agar	15 g/l
Agua destilada	1000 mL
pH	5.5

Población total de bacterias

AGAR NUTRITIVO	Cantidad
Agua destilada	1000 mL
Agar nutritivo	20 g/l
PH	7.0