



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

“Efecto de la fertilización química y orgánica en el cultivo de café sobre los macronutrientes principales del suelo: nitrógeno, fósforo y potasio y, la emisión de óxido nitroso al ambiente”

Trabajo de fin de titulación.

Autor

Joe Roberto Galarza Guerrero.

Director

Edwin Daniel Capa Mora, Ing.

Loja – Ecuador
2013

CERTIFICACIÓN

Ing.

Edwin Daniel Capa Mora

DIRECTOR DE TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de denominado: **“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA EN EL CULTIVO DE CAFÉ SOBRE LOS MACRONUTRIENTES PRINCIPALES DEL SUELO: NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO Y, LA EMISIÓN DE ÓXIDO NITROSO AL AMBIENTE”**, realizado por el profesional en formación: Joe Roberto Galarza Guerrero; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, enero de 2013

f.....

CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Joe Roberto Galarza Guerrero. declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja, y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente que textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos de tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f. _____
Joe Roberto Galarza Guerrero
1104568603

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres, hermanos, familiares y amigos quienes supieron apoyarme en el transcurso de mi vida estudiantil. Y en especial a mi compañera amiga y novia María Augusta que fue mi apoyo incondicional. Mi triunfo es el de ustedes. ¡Los quiero mucho! Sin su apoyo me hubiese sido difícil prosperar en mis estudios y logros alcanzados ya que supieron inculcar en mí el espíritu de superación.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja, especialmente a la Titulación de Gestión Ambiental, al Departamento de Producción Agropecuaria y Alimentos, sección de Producción Vegetal, quienes ayudaron a la elaboración y desarrollo de este proyecto, a mis maestros quienes han sabido transmitir sus conocimientos.

A la Estación Científica San Francisco; a la estudiante de doctorado Anke Muller por facilitarnos información en metodologías y préstamo de equipos y materiales para la realización del trabajo de investigación.

Mi agradecimiento especial a Daniel Capa M. por haberme brindado su confianza, su apoyo, sus vastos conocimientos y colaborado activamente para ver cristalizado este trabajo que presento a la sociedad.

A mis compañeros Kléver Hernández, María Cristina Briceño y a mi gran amigo Manuel Salinas, quienes me brindaron su apoyo para realizar la fase de campo del proyecto.

Al propietario de la finca, Sr. Lic. Gonzalo Eguiguren y a su familia por brindarnos su apoyo en el préstamo de una parcela de café, para poder realizar el experimento de cuantificación de gases efecto invernadero debido a la fertilización.

Y además debo agradecer a todas las personas que han estado junto a mí, incentivándome para poder culminar con una etapa de mi vida, a mis padres, a mis hermanos, quienes me han apoyado en este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	iii
CESIÓN DE DERECHOS	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
INDICE DE CONTENIDOS	vii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xi
SIMBOLOGÍA	xii
RESUMEN	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. MARCO TEORICO	4
3.1. Producción de café	4
3.2. Botánica del café	5
3.3. Variedades de café	6
3.4. Características edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo de café	7
3.5. Cultivos de café en el Ecuador	8
3.6. Producción de café en Loja	9
3.7. Fertilización del café	9
3.8. Macronutrientes principales para la producción del café	9
3.9. Fertilizantes químicos y orgánicos	10
3.10. Fertilización Orgánica	11
3.11. Efecto Invernadero y Cambio climático	12
3.12. Cambio climático	13
3.13. Óxido Nitroso (N ₂ O)	15
3.14. Ciclo del nitrógeno en el suelo	16
3.15. Agricultura y Medio Ambiente	18
3.16. Acciones de mitigación en gases de efecto invernadero en el campo de la agricultura	19
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1. Ubicación del estudio	20
4.2. Características edafoclimáticas	20
4.3. Selección del área de estudio	23
4.4. Instalación de parcelas de investigación	24
4.5. Fertilización del cultivo de café	25
4.6. Muestreo y análisis de suelos	26
4.7. Muestreo de gases efecto invernadero (N ₂ O) en el cultivo de café	28
4.8. Instalación de anillos en parcelas	28
4.9. Muestreo de gases	28
4.10. Registro de temperaturas y humedad	29
4.11. Procesamiento de muestras en laboratorio	29

4.12.	Determinación de los flujos de gas	30
4.13.	Análisis estadístico	30
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
VI.	CONCLUSIONES	50
VII.	RECOMENDACIONES	51
VIII.	BIBLIOGRAFIA	52
IX.	ANEXOS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Producción Mundial de Café. Periodo 2003 – 2011	4
Figura 2.	Características morfológicas del café	6
Figura 3.	Mapa de las zonas productoras de café en Ecuador	8
Figura 4.	Efecto invernadero	13
Figura 5.	Ciclo del nitrógeno en el suelo	17
Figura 6.	Nitrógeno aportado por hectárea en maíz	19
Figura 7.	Diseño y ubicación de la zona de estudio	20
Figura 8.	Mapa clima del Ecuador	22
Figura 9.	Parcelas de café establecida	24
Figura 10.	Diseño de muestreo de suelos en cada parcela	27
Figura 11.	Componentes de la cámara de muestreo de gases	29
Figura 12.	Cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14 B	30
Figura 13.	Contenidos en porcentaje de nitrógeno total, enero 2011 a enero 2012.	31
Figura 14.	Contenidos en mg/Kg de fósforo disponible, enero 2011 a enero 2012	32
Figura 15.	Contenidos en cmol/Kg de disponible, enero 2011 a enero 2012	33
Figura 16.	Plantas de café tratadas con fertilizante químico (izquierda) y fertilizante orgánico (derecha)	36
Figura 17.	Resumen de emisiones promedias mensuales de N ₂ O-N mg/m ² /día de un año febrero 2011 – febrero 2012	41
Figura 18.	Emisión de N ₂ O acumulados en mg/m ² desde febrero 2011 a febrero 2012	42
Figura 19.	Temperatura ambiental en el área de estudio en el día del muestreo de gases	45
Figura 20.	Humedad del suelo en el área de estudio en el día de muestreo de los gases	46
Figura 21.	Producción de café en quintales/hectárea de las parcelas de trabajo (año 2011 - 2012)	48
Figura 22.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de febrero 2011	63
Figura 23.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de marzo de 2011	63
Figura 24.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de abril 2011	64
Figura 25.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de mayo 2011	64
Figura 26.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de junio 2011	65
Figura 27.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de julio 2011	65
Figura 28.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de agosto 2011	66
Figura 29.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de septiembre 2011	66
Figura 30.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de octubre 2011	67
Figura 31.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de noviembre 2011	67
Figura 32.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de diciembre 2011	68
Figura 33.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de enero 2012	68
Figura 34.	Emisiones de N ₂ O-N mg/m ² /día del mes de febrero 2012	69
Figura 35.	Planta de café variedad caturra rojo	69
Figura 36.	Etiquetado de plantas para la investigación	70
Figura 37.	Delimitación de parcelas de café para	70
Figura 38.	Fertilización del cultivo de café (en corona)	71
Figura 39.	Muestreo de N ₂ O en el área de estudio	71

Figura 40.	Registro de temperaturas en las parcelas de muestreo	72
Figura 41.	Lectura de muestras de N ₂ O por cromatografía de gases	72
Figura 42.	Preparación de muestras de suelos para análisis de nitrógeno fósforo y potasio	73
Figura 43.	Análisis de las muestras de suelos por espectrofotometría	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación botánica del café	5
Tabla 2.	Recomendaciones de fertilización para el establecimiento de la plantación del cultivar, café, de 1 a 4 años.	11
Tabla 3.	Algunos gases que provocan el efecto invernadero	14
Tabla 4.	Recomendaciones de fertilización para el establecimiento de la plantación del cultivar, café, de 1 a 4 años	25
Tabla 5.	Tratamientos minerales y orgánicos en la zona de estudio	26
Tabla 6.	Datos mensuales de las temperaturas ambientales y humedad del suelo en las fechas de muestreo de N ₂ O	74

SIMBOLOGÍA

ANECAFE	Asociación nacional de exportadores de café
ANOVA	Análisis de la varianza
CO ₂	Dióxido de carbono
COFENAC	Consejo cafetalero Nacional
cmol	Centimol
FAPECAFES	Federación regional de asociaciones de pequeños cafetaleros ecológicos del sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.
FUNDESYRAN	Fundación para el desarrollo socio económico y restauración ambiental.
GLM	Modelo general lineal
ha	Hectárea
ICAFFE	Instituto de café de Costa Rica
ICO	International coffee organization
IHCAFFE	Instituto Hondureño del café
INNEC	Instituto nacional de estadísticas y censos
IPCC	Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
K	Potasio
K ₂ O	Oxido de Potasio
Km	Kilómetros
M	Metros
m ²	metros cuadrados
mg	Miligramos
meq	Miliequivalentes
MIN 1	Tratamiento mineral 1
MIN 2	Tratamiento mineral 2
MIN 3	Tratamiento mineral 3
N	Nitrógeno

N ₂ O	Óxido Nitroso
NO ₃	Nitrato
NH ₄	Amonio
O ₂	Oxigeno molecular
O ₃	Ozono
ORG 1	Tratamiento orgánica 1
ORG 2	Tratamiento orgánica 2
ORG	Tratamiento orgánica
P	Fósforo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente
ppm	Partes por millón
TES	Tratamiento testigo
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la provincia de Loja, aquí se evaluó el efecto de la fertilización química y orgánica en un cultivo de café sobre las propiedades químicas del suelo: nitrógeno, fósforo y potasio y, la emisión de óxido nitroso al ambiente. Se realizó un muestreo inicial de suelo no fertilizado y otro luego de un año (suelo fertilizado), los análisis realizados fueron: Nitrógeno (Micro Kjendahl), fósforo (Bray & Kurtz) y potasio (Olsen). El flujo de óxido nitroso, se lo hizo por el método de “cámara cerrada estática” y cromatografía de gases. Se planteó un diseño experimental Split plot y para los estadísticos se usó un Modelo General Lineal usando el software Statgraphics 16.0. Los resultados indican que el nitrógeno, fósforo y potasio en el muestreo inicial no tuvo significancia en los contenidos de nutrientes, pero, luego del periodo de fertilización se ve significancia para los tres elementos en todos los tratamientos, menos en el testigo. La emisión de óxido nitroso muestra inestabilidad en el flujo mensual, destacándose siempre con mayores emisiones el tratamiento Mineral 3.

Palabras Clave

Café, suelo, fertilizantes orgánicos y químicos, óxido nitroso (N₂O), gases de efecto invernadero.

I. INTRODUCCIÓN

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su informe del 2007 dan a conocer que en la actualidad la humanidad se está enfrentando a una realidad muy dura con el cambio climático, desde los puntos de vista medioambiental, económico y social. Se ha demostrado que, por las actividades humanas las concentraciones de los gases de efecto invernadero se están incrementando.

La mayor parte del calentamiento global se ha dado en los últimos 50 años, y ha tenido como consecuencias una importante influencia en los sistemas físicos y biológicos (agua, hábitats, salud, entre otros) que cada vez son más frágiles. Las condiciones climáticas son más variables actualmente. El aumento de temperatura, el deshielo en los polos, cambios fluviales en los ríos, aumento de la desertización, etc. hacen que el cambio climático sea una realidad indiscutible. La única verdad es que desde la revolución de la industria las concentraciones de estos gases de efecto invernadero en la atmosfera están en constante incremento y la temperatura de la tierra ha aumentado en un 0,6 °C (IPCC, 2001).

Según datos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas la concentración del flujo de óxido nitroso ha aumentado en un 16 % desde 1750 (IPCC, 2001). Uno de los principales factores responsables de este aumento es la actividad agrícola, debido a las prácticas de fertilización intensiva y fabricación de fertilizantes (IPCC, 2007).

La FAO (2002), nos manifiesta que los efectos al cambio ambiental a causa de la producción agropecuaria son profundos; son la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas. También son la mayor fuente antropogénica de gases responsables del efecto invernadero, el metano y el óxido nitroso contribuyen en gran medida a otros tipos de contaminación del aire y agua ayudando a la pérdida de biodiversidad del mundo. Además que la agricultura afecta también a la base de su propio futuro a través de la degradación del suelo, la salinización, el exceso de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria.

Sin embargo, las consecuencias a largo plazo de estos procesos son difíciles de cuantificar.

El sector cafetalero en Ecuador tiene mucha importancia en los órdenes social, ecológico y económico. La importancia social se relaciona con la generación de empleo a más de 100000 familias de productores, la ecológico se manifiesta en su amplia adaptabilidad de los cafetales a los distintos agro ecosistemas de la costa, sierra, Amazonia e Islas Galápagos; y la importancia económica radica en el aporte de divisas al Estado y a la generación de ingresos para las familias cafetales (COFENAC, 2011).

La caficultura ecuatoriana actualmente se encuentra en una situación crítica debido a la baja productividad (195,5 Kg/ha de producción), comparada con otros países como Brasil y Colombia (1140,2 Kg/ha; 1896,7 Kg/ha de producción respectivamente) (COFENAC, 2011). Esta baja producción se debe principalmente a la falta de implementación de técnicas adecuadas de manejo en el cultivo; una de estas es la fertilización de suelos, la misma que en los cultivos juega un papel primordial, por lo que es necesario mejorar su eficiencia; para poder cumplir con esto se debe de realizar un buen diagnóstico del suelo, con el objeto de determinar la fertilidad y requerimientos precisos de nutrientes que pueden aportarse con fertilizantes al cultivo (COFENAC, 2011).

Debido a las necesidades expuestas, se ha creído conveniente realizar una investigación enfocada a estudiar las dosis de fertilizantes que serian apropiadas para el correcto y óptimo desarrollo del cultivo de café y a la vez estudiar las emisiones de óxido nitroso debido a la fertilización y su efecto al medio ambiente.

II. OBJETIVOS

Para tratar de alcanzar los objetivos a continuación planteados se monto en la hoya de Loja una parcela de estudio de café de la variedad caturra (*Coffea arabica* L. var caturra), a la misma que se la dividió en 21 sub-parcelas, las cuales fueron tratadas con fertilizantes orgánicos y minerales, en diferentes dosis (altas medias y bajas) y se han estudiado las consecuencias de la fertilización sobre el suelo, y la emisión de flujo de óxido nitroso.

El objetivo general de esta tesis de pregrado es el de: **Evaluar el efecto de la fertilización orgánica y mineral en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.); en las propiedades del suelo y la emisión de óxido nitroso.**

Con este fin, se han abordado los siguientes objetivos específicos.

- Evaluar el efecto de la fertilización mineral y orgánica sobre los macronutrientes (N, P, K) del suelo.
- Determinar la influencia de los fertilizantes minerales y orgánicos aplicados al suelo en las emisiones de óxido nitroso.

III. MARCO TEORICO

3.1 Producción de Café

El café (*Coffea arabica* L.) a nivel mundial es producido en más de 50 países, siendo uno de los cultivos más importantes, ya que es muy apreciado para su consumo en bebida (Figura 1). Cada vez se incrementa la producción y demanda de este producto, especialmente en Latino América, obedeciendo a su alto valor económico (Mora, 2008). En estos lugares, el cultivo ha tenido éxito debido a la gran adaptabilidad ecológica mostrada por la especie (Soto, 1999), sobre todo a niveles contrastantes de irradiación, pues a pesar de ser originaria de un clima bajo con condiciones de sombrero; en la actualidad las principales plantaciones productivas y comerciales se desarrollan sin sombra (Carvalho et al., 1999) y en algunos países de América Central y América del Sur, ya sea con densidades convencionales (2500 plantas/ha) o con altas densidades de plantación (entre 5000 y 10000 plantas/ha) (Rice y Ward, 1997).

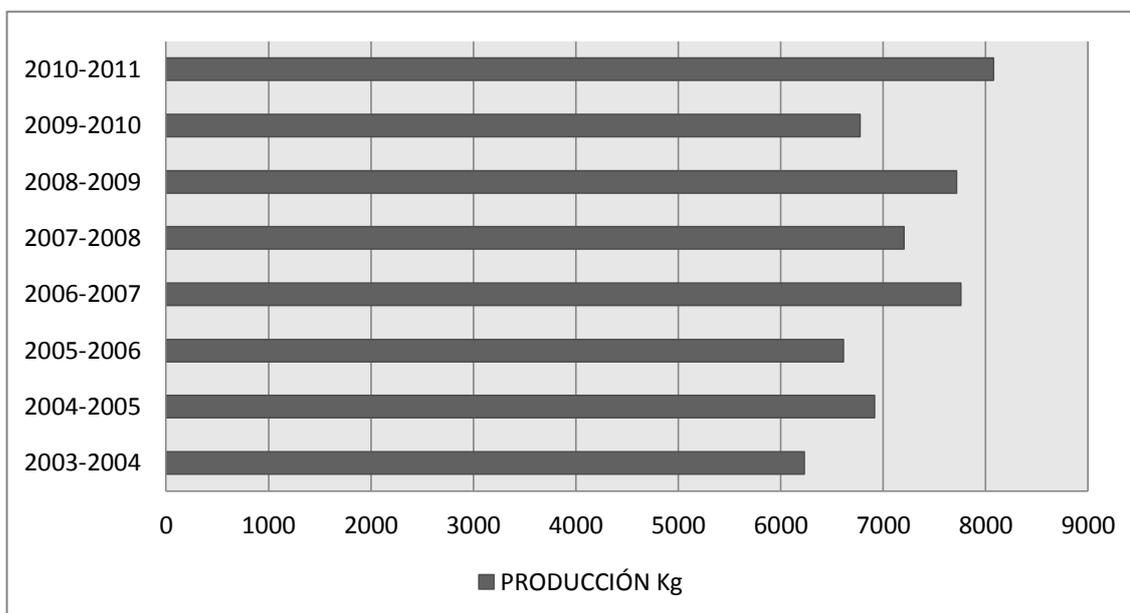


Figura 1. Producción Mundial de Café. Periodo 2003 – 2011.
Fuente ICO 2011

3.2 Botánica del café

La clasificación botánica de café se la indica en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Clasificación botánica del café.

Reino	Vegetal
Subreino	Angiosperma
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Genero	<i>Coffea</i>
Especies	<i>Coffea arabica</i> L. <i>Coffea canephora</i> Pierre ex froehner <i>Coffea ibérica</i> Hiern <i>Coffea congensis</i> Froehner <i>Coffea eugenioides</i> Moore

Fuente: Iñiguez, 1996

Características de la planta de café.- La planta de café es un arbusto de copa piramidal abierta y compacta con un sistema radical pivotante; su tallo posee un eje ortotrópico monocaule, con ramas de tipo plagiotrípicas, sus hojas son elípticas, oblongas y a veces lanceoladas. Posee inflorescencias con dos o tres glomérulos por axila de la hoja, su flor es hermafrodita, formada por cáliz, corola, estambres y pistilo. Su fruto es una drupa elipsoidal y dentro tiene una semilla formada por el endosperma y el embrión (COFENAC, 2001) (Figura 2).

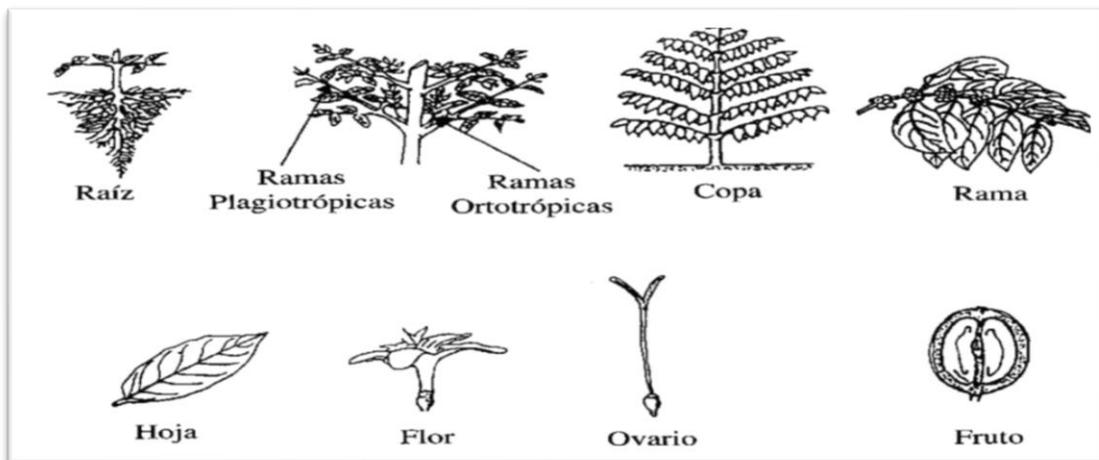


Figura 2. Características morfológicas del café.
Fuente: COFENAC, 2001.

3.3 Variedades de café

Duicela (2011), nos da a conocer las principales variedades de café en Ecuador y sus características.

Variedad Caturra: Variedad de porte pequeño y bastante productiva. Los entrenudos están más pegados en comparación con la variedad típica y las hojas son más anchas y largas que las de la variedad bourbón.

Típica o Criollo: Variedad de porte alto, con entrenudos largos y cuyas hojas apicales poseen una tonalidad rojiza. Sus frutos suelen ser grandes pero su producción es baja. Muchos agricultores consideran a la variedad típica y criolla como variedades diferentes, por ello se han estudiado independientemente.

Catuaí: Consiste en una variedad de tamaño pequeño, aunque menos espesa que la variedad caturra y pacas. Sus entrenudos son cortos y sus ramificaciones abundantes, además su entrada en la producción es precoz.

Bourbón: Variedad de porte alto al igual que la variedad típica, aunque sus ramificaciones secundarias son más abundantes que esta última. Tanto su fruto como la semilla son de menor tamaño que los de la variedad típica, sin embargo, su producción es más temprana, superior y uniforme.

Catimor: Variedad adaptada perfectamente en Latinoamérica, resistente a la roya del cafeto. Es de bajo porte, muy productiva y con una copa amplia y vigorosa.

Cavimor: Consiste en una variedad de bajo porte, presenta resistencia a la roya del cafeto y altos rendimientos.

Pacas: Sus características productivas y agronómicas son muy similares a la variedad caturra. Es de porte pequeño, entrenudos cortos y follaje abundante.

3.4 Características edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo de café.

Según ICAFE (1998), las características óptimas para el buen desarrollo del café son:

Altitud.- La altitud óptima se localiza entre los 1200 y 1700 m s.n.m., pero se puede desarrollar desde los 300 m s.n.m. y por encima de los 1700 m s.n.m. y con buenos rendimientos.

Temperatura.- La temperatura adecuada está entre los 15 y 24 ° C.

Precipitación.- Las precipitaciones en las cuales se desarrollo el café están entre los 1000 y 1300 mm/año.

Humedad relativa.-Está entre los 70 – 85 %.

Viento.- El umbral para no producir daños físicos ni fisiológicos al cafeto es de 20 a 30 Km/hora.

Topografía.- Las condiciones topográficas favorables son terrenos ligeramente ondulados y planos, pero pueden adaptarse con mucha facilidad a condiciones de topografía desfavorables.

Características físico – químicas del suelo.- El rango de pH se establece entre 5,5 y 6,5. El porcentaje de materia orgánica debe de estar entre 2 a 5 %, el de nitrógeno superior al 3 %. Las condiciones óptimas en cuanto al macronutriente fósforo es de 6 – 14 ppm y para el potasio de 0,2 – 0,7 meq/100gr.

3.5 Cultivos de Café en Ecuador

En Ecuador se cultivan las dos variedades de café más comerciales (arábiga y robusta); el café arábigo (especie en estudio de esta investigación) es una planta leñosa muy tradicional de Ecuador y que ocupa un lugar muy destacado en la producción; las provincias en donde principalmente se cultiva son en Manabí y Guayas, entre los 300 y 700 metros de altitud. En las estribaciones occidentales y orientales de la cordillera de Los Andes, se cultiva en las provincias de El Oro, **Loja**, Zamora Chinchipe, Morona Santiago, Napo, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar y Chimborazo, entre los 600 y 2000 metros sobre el nivel del mar (Duicela, et al., 2004; COFENAC, 2005) (Figura 3).

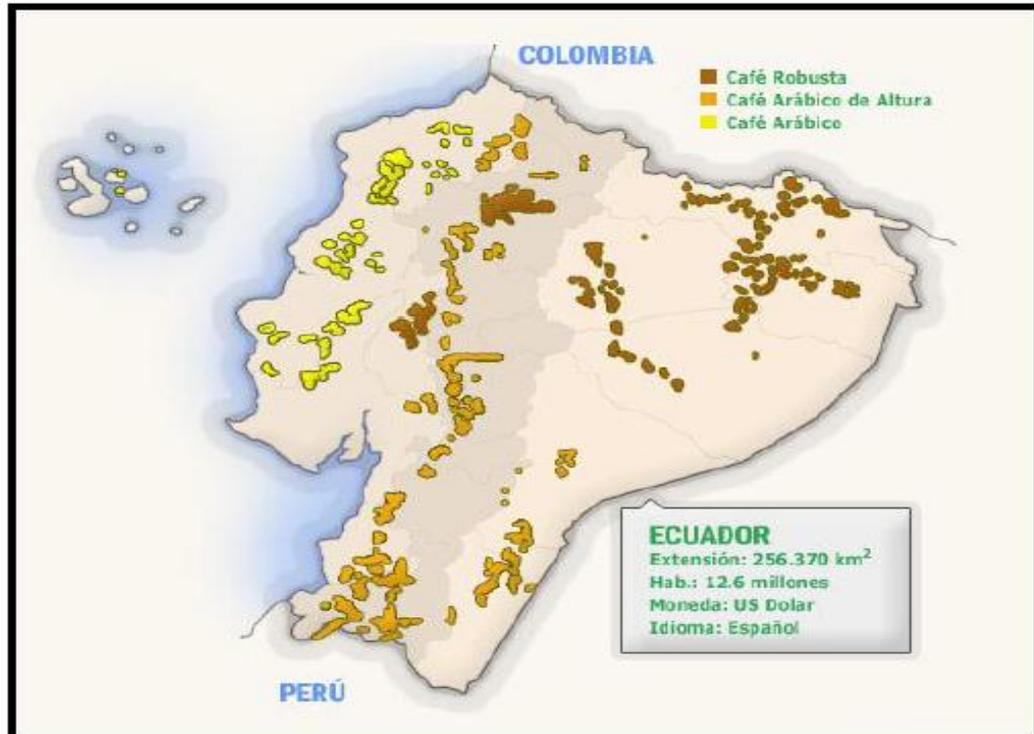


Figura 3. Mapa de las zonas productoras de café en Ecuador.
Fuente: COFERAC, 2010.

3.6 Producción de Café en Loja

La producción de café en la provincia de Loja es de muy buena calidad; el cantón Puyango, Olmedo y Espíndola son zonas muy importantes en la producción de café. Se estima un rendimiento de cinco quintales por hectárea, pero en dentro de estas áreas productiva también se encuentra rendimientos superiores entre 10, 15, y 20 o más quintales por hectárea al año, esto depende del grado de tecnificación en el cultivo. El café de Loja ha sido ganador por tres años consecutivos de la taza dorada lo que afirma su posicionamiento como un café especial y de calidad (COFENAC, 2006).

3.7 Fertilización del café

La fertilidad es definida como la cualidad del suelo para proveer los nutrientes apropiados y en cantidades adecuados para el correcto desarrollo de la planta (Duicela, 2011). La adición de fertilizantes sean de origen mineral u orgánico, ayudarán al desarrollo fenológico y productivo del cultivo; la fertilización debe estar basada en los análisis físico – químico de los suelos (COFENAC, 2001). El café para su correcto desarrollo necesita de nutrientes en cantidades adecuadas y de forma balanceada, de esto se deriva la importancia de conocer las condiciones de los suelos cultivados con café o por cultivarse, así como también los requerimientos nutritivos para que cumplan con las actividades fisiológicas normales (CENICAFE, 2008).

3.8 Macronutrientes principales para la producción del café

En este grupo se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio. Estos tres elementos los absorbe la planta en altas cantidades. Es por eso que las fórmulas de fertilizantes, especialmente para el café en producción los incluyen como sus principales componentes (Mora, 2008).

Nitrógeno.- ayuda a la planta en su crecimiento vigoroso y también un buen desarrollo del fruto, ya que la mantiene como hojas verdes y brillantes, así como un buen porte. El nitrógeno interviene en la utilización de los carbohidratos y participa

en la formación de compuestos orgánicos como los aminoácidos y las proteínas. Por lo tanto, forma parte del protoplasma celular y, consecuentemente, participa en la formación de la clorofila. La deficiencia de nitrógeno causa amarillamiento en la planta precisamente por falta de clorofila, caída de hojas y se produce una muerte.

Fósforo.- Interviene algunos procesos metabólicos que estimulan la división celular, contribuyendo en el buen desarrollo radical y en el crecimiento de nuevos brotes. Favorece también la floración, fructificación, formación y calidad de los frutos. La demanda que el café tiene sobre este elemento es menor que la del nitrógeno y potasio. Los síntomas de deficiencia se manifiestan por manchas rojizas o pardas en las hojas.

Potasio.- Participa en la formación y en el transporte de almidones que constituyen las sustancias de reserva. Además, proporciona consistencia a los tejidos y aumento de la resistencia de la planta a las enfermedades, contribuye a mantener el nivel adecuado del agua en la planta, reduciendo su tendencia a la marchitez. Su deficiencia se caracteriza por la muerte foliar (necrosis), comenzando por el ápice de la hoja, expandiéndose hasta los bordes, llegando a defoliar la planta.

3.9 Fertilizantes químicos y orgánicos

Fertilización química.- Para lograr producciones estables en el cultivo de café, es necesaria la aplicación de elementos esenciales requeridos por el cultivo. Mora (2008) recomienda formulas de N, P, K 18-5-15, 20-7-12, 20-3-10, 18-3-15 y otras similares, utilizando de 500 a 1000 Kg/ha al año, en dos aplicaciones.

Valencia (1998), menciona que el objetivo principal del uso de fertilizantes es obtener los máximos beneficios con mínimos costos y su recomendación es la aplicación de fertilizantes en el área del suelo cubierta por el follaje, ya que ahí se encuentran aproximadamente el 80% de las raíces, esta aplicación debe de realizarse al voleo. Al igual que otros autores él recomienda aplicaciones de 100, 10 y 90 Kg/ha/año de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, pero esto puede variar de acuerdo a las condiciones de fertilidad que tenga el suelo.

Iñiguez (1996) recomienda que la fertilización en suelos ecuatorianos se debe de aplicar al momento del trasplante del café, en el fondo del hoyo: 5, 4 o 3 g de nitrógeno; 10 o 9 g de fósforo; y 5, 4 o 3 g de potasio; según su fertilidad sea muy baja, baja, media o alta respectivamente, plantar y tapar el hueco, y en la superficie del suelo alrededor de la planta aplicar 5, 4 o 3 g de nitrógeno, según el suelo sea muy bajo o bajo medio, alto o muy alto respectivamente. Así mismo nos da a conocer las dosis de fertilización en los siguientes años de vida del cafeto (Tabla 2).

Tabla 2. Recomendaciones de fertilización para el establecimiento de la plantación del cultivo de café, de 1 a 4 años.

Años	N	P₂O₅	K₂O
g/planta			
Primer	40	20	15
Segundo	60	40	30
Tercer	80	60	45
Cuarto	100	80	60

Fuente: Iñiguez, 1996

3.10 Fertilización orgánica

La agricultura orgánica es una alternativa que proporciona un medio ambiente balanceado, rendimiento y fertilidad sostenidos, así como control natural de plagas y enfermedades, mediante el empleo de tecnologías auto-sostenidas (Fundación Produce Chiapas, 2003). Con el abonamiento orgánico se fomenta la vida microbiológica del suelo y se logra una nutrición vegetal lenta, constante y equilibrada. Los abonos orgánicos son utilizados para la fertilización de cultivos o como mejoradores de los suelos agrícolas (Soto, 2003; Paneque y Calaña, 2004).

El café extrae del suelo elementos esenciales para cumplir con sus diferentes etapas fenológicas, por lo que es necesario reponer estos nutrientes mediante la aplicación de abonos, ya que con la adición de los mismos se logrará mantener el buen

desarrollo, producción y resistencia al ataque de plagas y enfermedades de las plantas de café (FUNDESYRAN, 2010).

Los materiales usados con esta finalidad son productos de origen animal y/o vegetal que se adicionan al suelo con el fin de mejorar las propiedades físicas del suelo y aportar nutrientes para las plantas.

El café orgánico ha sido definido como un sistema productivo que utiliza diversas tecnologías de fertilización, control de malezas y plagas, sin usar fertilizantes o plaguicidas de origen químico sintético. Desde esta perspectiva no es café natural, sino más bien un enfoque tecnoecológico o ciencia de la agricultura que trabaja en armonía con el ambiente (Fundación Produce Chiapas, 2003).

En promedio un abono orgánico puede tener contenidos de 0.3 a 1.3 % de N, 0.3 % de P_2O_5 , y 0,3 a 0,8 % de K_2O . De aquí las recomendaciones de que para arbustos jóvenes (hasta 18 meses de edad) la aplicación de 3 a 5 kg/árbol y para árboles mayores de 2 años, aplicar 5 a 10 kg (Chirinos, 2001).

3.11 Efecto invernadero y cambio climático

Es un fenómeno natural provocado por los gases de la atmósfera como: el vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), estos gases hacen que la luz que llega a la superficie terrestre queden atrapados, y de esta manera aumentan la temperatura media global (15 °C), haciendo posible la vida en nuestro planeta (Figura 4). En la naturaleza existen mecanismos propios para la producción de estos gases; ejemplo el CO_2 (de Volcanes) y para consumirlos (vegetación, arrecifes, entre otros). Sin embargo las actividades antropogénicas a diario emiten grandes cantidades de estos gases como clorofluorcarbonados (CFC) y ozono (O_3) troposférico, sin ser capaz después de metabolizarlos (IPCC, 2001).

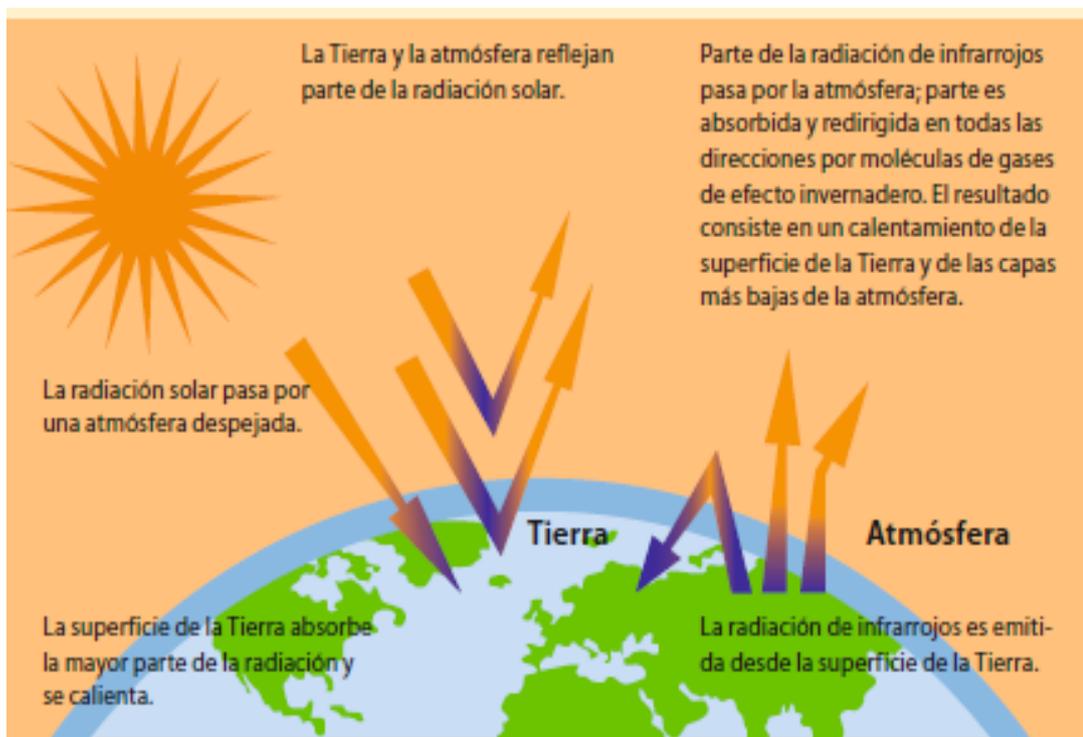


Figura 4. Efecto invernadero.
Fuente: www.combatclimatechange.ie.

3.12 Cambio climático

Según el Grupo Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) el concepto de cambio del clima, tal como se entiende en relación con las observaciones efectuadas, se debe a cambios internos del sistema climático o de la interacción entre sus componentes, o a cambios del forzamiento externo debidos a causas naturales o a actividades humanas. En general, no es posible determinar claramente en qué medida influye cada una de esas causas. En las proyecciones de cambio climático del IPCC se suele tener en cuenta únicamente la influencia ejercida sobre el clima por los aumentos antropógenos de los gases de efecto invernadero y por otros factores relacionados con los seres humanos.

Según el PNUMA (2005), del producto de las actividades humanas que ayudan al incremento del efecto invernadero están:

- Quema de combustibles fósiles.
- La agricultura.
- La ganadería.

- La deforestación.
- Algunos procesos industriales.
- Depósitos de residuos urbanos.

De lo mencionado anteriormente da como resultado el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero a la atmósfera (Tabla 3), lo cual hace que la capacidad de la atmósfera de retener parte de la energía reflejada por la Tierra aumente, lo cual produce finalmente el calentamiento global.

El aumento de la concentración de estos gases no solo provoca alteraciones en las temperaturas medias de la Tierra, sino que también provocan alteraciones en los regímenes de precipitaciones, incremento de la desertificación, alteración en ciclos agrícolas y derretimiento de los polos, lo cual hace que incremente el nivel del mar causando inundaciones en la zona costera.

Tabla 3. Algunos gases que provocan el efecto invernadero.

GAS	FUENTE EMISORA	PERSISTENCIA DE LAS MOLÉCULAS EN LA ATMÓSFERA (años)	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (PCG CO ₂ = 1)
Dióxido de carbono (CO ₂)	Quema de combustibles fósiles, cambios de uso del suelo, producción de cemento	500	1
Metano (CH ₄)	Producción y quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, manejo de residuos	7 - 10	21 - 23
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Quema de combustibles fósiles, agricultura, cambios de uso de suelo	140 - 190	230 - 310
Clorofluorocarbonos (CFCs)	Refrigerantes, aerosoles, espuma plástica	65 - 110	6.200 - 7.100
Hidrofluorocarbonos (HFCs)	Refrigerantes líquidos	12	1.300 - 1.400
Hexafluoro de azufre (SF ₆)	Aislantes eléctricos	3.200	23.900

Fuente PNUMA, 2005.

3.13 Óxido nitroso (N₂O)

El óxido nitroso contribuye al efecto invernadero, actualmente es responsable del 5 % del calentamiento global y puede llegar a valores del 10 % en el futuro (Mosier, et al., 1998). Las concentraciones de N₂O en la atmosfera son cada vez mayores (314 ppb) e incrementa en una tasa anual de 0,25 % (Watson, 1992). Estos datos son muy alarmantes ya que el N₂O es un gas de efecto invernadero que participa en la destrucción del ozono estratosférico (Bard y Probert, 1993). Muchas de las emisiones de N₂O provienen de fuentes directas o indirectas de la agricultura (6,2 Tg N₂O-N/año) (Kroeze et al., 1999).

El 70 % de las emisiones de N₂O se dan desde el suelo, a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación, movilizados por la intensa fertilización en los cultivos agrícolas (Rochette et al., 2004), siendo la desnitrificación el principal proceso responsable de la formación de este gas. Los controles de la producción del óxido nitroso son la humedad, el nitrógeno mineral y el carbono orgánico fácilmente disponible (Ciampitti, et al; 2005).

Nitrificación.- La nitrificación es la oxidación microbiana del NH₄⁻ y el nitrógeno orgánico en NO₂ y NO₃. Se reconocen dos clases de nitrificación: autotrófica y heterotrófica. La nitrificación autotrófica es exclusivamente bacteriana y es llevada a cabo por bacterias litotróficas. Es un proceso predominante en suelos neutros a alcalinos y está inhibido por bajas concentraciones de acetileno.

La nitrificación heterotrófica es llevada a cabo por diversas bacterias y hongos heterótrofos. Es un proceso dominante en suelos ácidos (suelos forestales) y no se ve inhibida por acetileno (Araujo et al., 2006).

Desnitrificación.- La desnitrificación es un proceso de reducción biológica realizado en el suelo por un gran número de microorganismos anaerobios facultativos. En condiciones de anaerobiosis estos microorganismos utilizan el NO₃⁻ y el NO₂⁻ en lugar de O₂ como aceptores de electrones (e⁻), produciendo dos formas gaseosas de N, N₂O (óxido nitroso) y N₂ (N molecular) (Perdomo, et al., s.f.b).

3.14 Ciclo del Nitrógeno (N) en el suelo

Irañeta et al. (2010), manifiesta que en el suelo existen grandes cantidades de Nitrógeno, la mayor parte de este como materia orgánica y otra pequeña parte en forma de N mineral. Estas formas no son estables y están sujetas a algunos procesos, a esto se le denomina Ciclo del Nitrógeno (Figura 5).

A continuación mencionaremos las diferentes formas del nitrógeno en el suelo según Irañeta et al. (2010):

Nitrógeno (N) orgánico: En el suelo hay mucha cantidad de materia orgánica, constituida por sustancias de origen vegetal o animal. En esta materia orgánica se encuentran grandes cantidades de N, denominado N orgánico. Este no es utilizable por las plantas en forma directa, sino que conforme la materia orgánica se va descomponiendo ese N orgánico pasa a forma inorgánica o mineral quedando disponible para las plantas. Este proceso se conoce como mineralización.

Características del N orgánico:

- Está ligado a la materia orgánica, es decir está constituyendo moléculas con carbono, propiedad característica de la materia orgánica.
- Es muy estable y abundante.
- No es asimilable por los cultivos.
- No se producen pérdidas por lavado o evaporación.
- Se va descomponiendo lentamente, liberando nutrientes disponibles para los cultivos.

Nitrógeno (N) mineral o inorgánico: Este se encuentra disponible para los cultivos. Comprende el N en forma Amónica (NH_4 : N ligado al Hidrógeno) y el N en forma Nítrica (NO_3 : N ligado al oxígeno). El N *amónica*: Es asimilable por los cultivos, aunque en general el N absorbido en esta forma no suele llegar al 20 % del total.

Características del N mineral:

- No es muy abundante.
- Poco estable, tiende a pasar a forma nítrica con humedad y temperatura.
- No se lava.
- Puede sufrir pérdidas por volatilización, evaporación, si está en superficie.

N nítrico (N-NO₃): Su característica principal es que se encuentra disuelto en el agua del suelo y constituye la forma de Nitrógeno inmediatamente asimilable por los cultivos.

Otras características:

- Es la forma más abundante del Nitrógeno mineral.
- Es de fácil asimilación para los cultivos.
- Al ser soluble en agua, si hay drenaje es arrastrado con el agua hacia las capas profundas de suelo.
- Se acumula en los tejidos vegetales de algunos cultivos hortícolas cuando la planta consume más de lo que necesita. Su exceso puede ser nocivo para la salud.

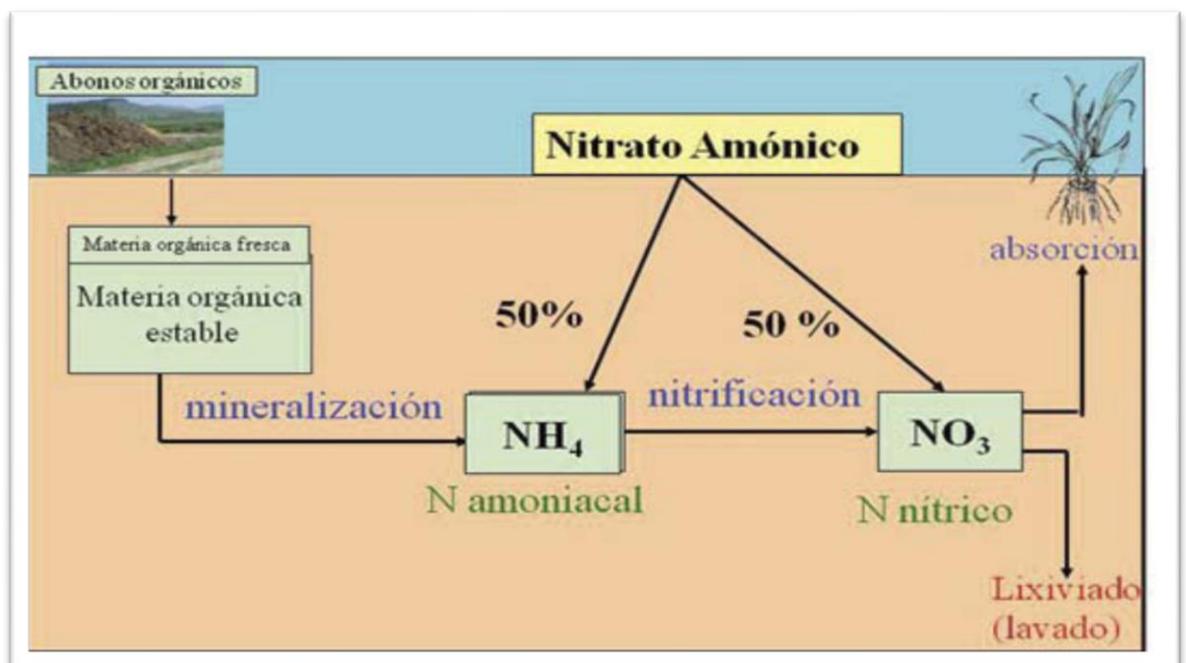


Figura 5. Ciclo del nitrógeno en el suelo.

Fuente: Irañeta et al., 2010

3.15 Agricultura y medio ambiente

La actividad agrícola en los actuales momentos ejerce una gran presión sobre el suelo debido al uso de agroquímicos, eliminación y el remplazo de vegetación nativa, técnicas intensivas de cultivo, en especial los monocultivos, y la degradación provocada por las técnicas de remoción de suelos como el arado; está afectando gravemente al medio ambiente (PNUMA, 2005).

Actualmente existen políticas medioambientales que intentan imponer límites a la contaminación causada por la agricultura, como es el caso de la inadecuada fertilización y así mismo establecer valores estándares de la calidad del suelo, aire y agua (PNUMA, 2005).

La agricultura es considerada responsable de aproximadamente el 20 – 70 % del óxido nitroso antropogénico que es liberado a la atmósfera (Marino et al., 2004). Los distintos usos y prácticas de manejo agrícola afectan los niveles de emisión de óxido nitroso, a través del cambio en los parámetros que regulan este tipo de pérdidas de nitrógeno. La producción con híbridos y variedades de alto rendimiento induce al uso de fertilizantes en forma continua y masiva, fundamentalmente de nitrógeno y fósforo, pudiendo producir cambios en la naturaleza de los suelos. Esta práctica de manejo aumenta el riesgo de contaminación ambiental por lixiviación, emisiones de gases o incremento de la concentración de sales de suelos y capas freáticas. Se proyecta que el uso de fertilizantes y la fijación biológica continuarán aumentando durante los próximos 100 años (Mosier et al., 1998).

Irañeta (2010), nos dice que entre los distintos nutrientes que los cultivos necesitan, el nitrógeno destaca por su efecto espectacular sobre el rendimiento y porque las cantidades que se necesitan son notablemente superiores a las de otros elementos. En la figura 3 se observa la respuesta productiva de un cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada.

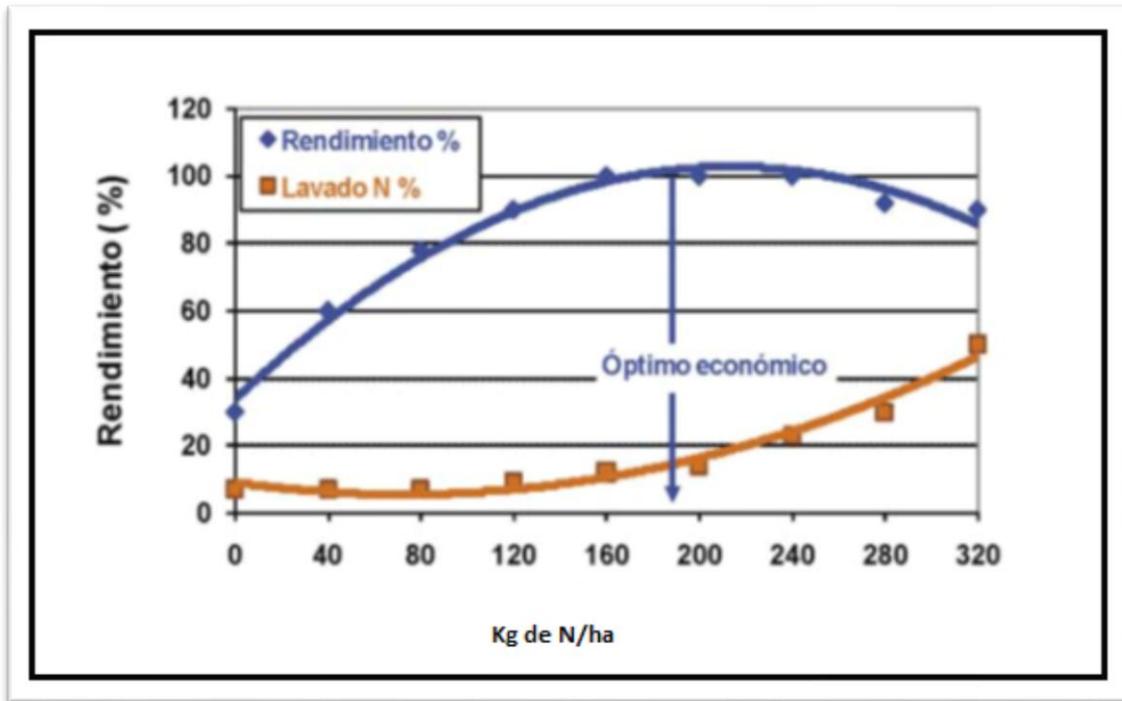


Figura 6: Nitrógeno aportado por hectárea en un cultivo de maíz.
Fuente: ITG Agrícola, 2010.

3.16 Acciones de mitigación de gases efecto invernadero en el campo de la agricultura

Con el objetivo de lograr una disminución en las emisiones de gases efecto invernadero por agricultura se han planteado algunas acciones.

- Cambios de hábitos de labranza o la reutilización de los subproductos y desperdicios de cosecha; ya que al usar el método común de labranza, hace que el carbono quede retenido en el suelo y se pierda hacia la atmósfera. Al utilizar el método de siembra directa ayuda a mitigar estos efectos.
- La adecuada gestión del riego y la menor aplicación de fertilizantes, son opciones a considerar si se quiere conseguir la reducción de gases de efecto invernadero.
- Otras opciones de mitigación es el usar productos de los sectores productivos como la cascarilla de arroz.
- Uso de bio-combustibles, para la movilización de maquinaria.
- Manejo de excretas de los animales de granja como los bovinos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del Estudio

Localización y relieve.- La hoya de Loja se encuentra ubicada al Sur del Ecuador (Figura 7), en la provincia de Loja, situado a una altitud de 2100 m s.n.m. y a - 4° de latitud Sur. Tiene una extensión de 5186,58 ha (52 Km²) (Sierra, 1999; GEO, Loja, 2007).

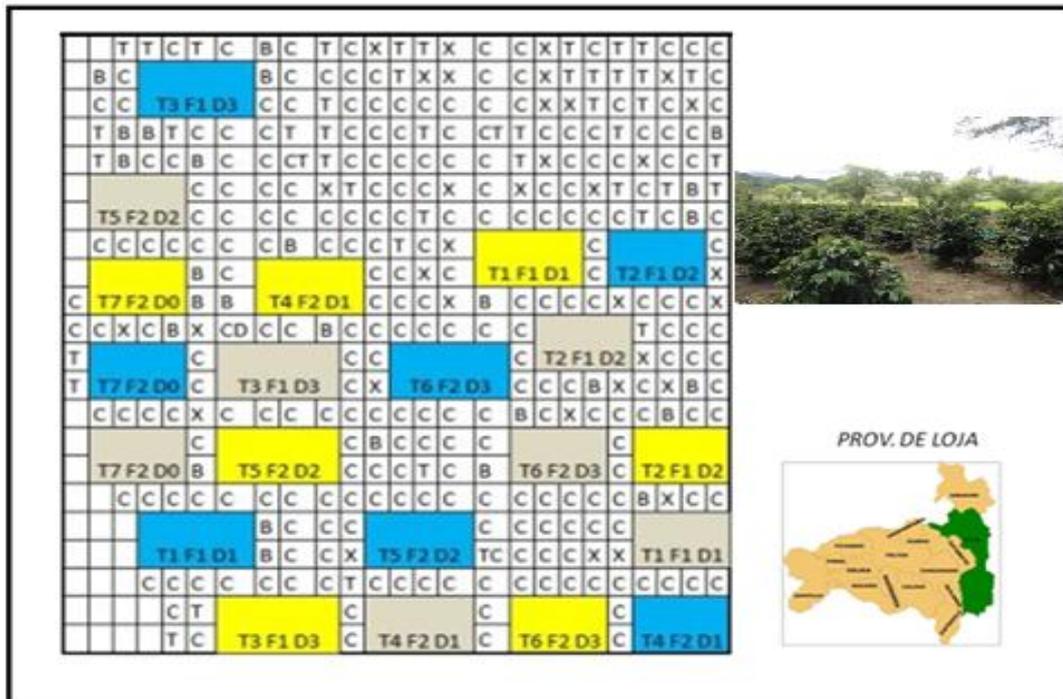


Figura 7. Diseño y ubicación de la zona de estudio.

Fuente. El Autor

4.2 Características edafoclimáticas

Geología.- Loja está localizado sobre una cuenca sedimentaria de origen lacustre de época Miocénica (26 millones de años); las rocas más antiguas son de la época del Paleoceno (65 millones de años). Loja presenta dos tipos de rocas bien diferenciadas: sedimentarias y metamórficas (Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección general de Geología y Minas, 1975).

Suelos.- Los suelos que predominan son: **INCEPTISOL** (más del 50 %) estos poseen incipiente desarrollo, considerados inmaduros, se localizan en sectores húmedos de los pisos Montano y Montano bajo, hacia el piedemonte; **ENTISOL** (aproximadamente el 30 %), suelos de poco desarrollo, se localizan en los pisos tropical y Premontano. De último orden los **ORTHENTS** (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1986).

Uso del Suelo.- Según el Censo Agropecuario del año 2011, se da a conocer que en el la provincia de Loja existen: Cultivos Permanentes 48358 ha, cultivos Transitorios y Barbechos 66999 ha, Descanso 7673 ha, Pastos Cultivados 89088 ha, Pastos Naturales 312256 ha, Páramos 4819 ha, Montes y Bosques 405313 ha y otros usos 7433 ha.

Hidrografía.- La hoya de Loja comprende 230 Km², está formando parte del sistema del río Santiago (27425 Km² de área drenada), afluente del Marañón-Amazonas y es el asiento de la ciudad de Loja. Del nudo de Cajanuma nacen dos ríos pequeños el Malacatos septentrional y el Zamora Huayco. Estos ríos se unen al norte de la ciudad, dando origen al río Zamora (GEO Loja, 2007).

Clima.- La clasificación climática de Papadakis (1980) para esta zona da a conocer que Loja posee tierras templadas húmedas, en la cual se cultiva café, maíz, frijol, soja, entre otros (ver Figura 8); mientras que la clasificación climática de Koppen (2005) corresponde: templado lluvioso, mesotérmico frío e isotermal, con temperatura media de 15,4 °C, precipitación media de 860 mm por año y una altura de 2160 m s.n.m.

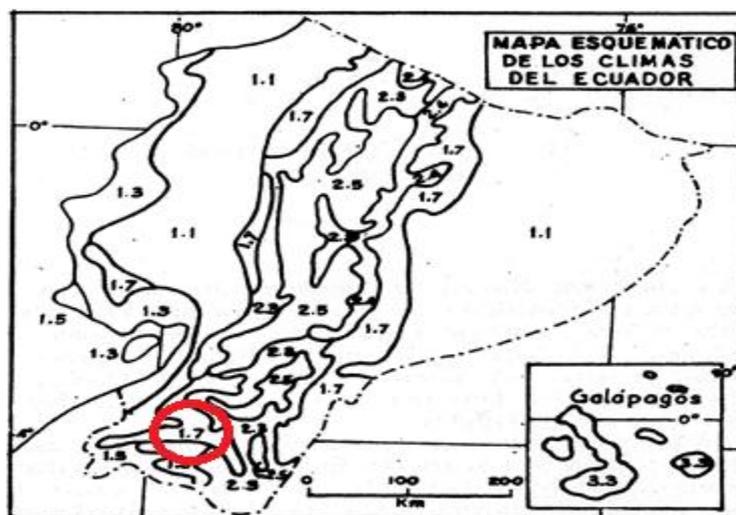


Figura 8. Mapa clima del Ecuador:
Fuente Papadakis, 1980.

Según datos obtenidos de la FAOCLIM 2 (2010), Loja tiene una temperatura media de 15,9 °C y con lluvias anuales de 911 mm (91,1 litros/m²), distribuidos a lo largo del año, con precipitaciones más altas en los meses de marzo y abril y otro menor en octubre. La humedad relativa media del aire de la ciudad de Loja es de 77,3 %, con fluctuaciones extremas entre 74 % y 80,3 %. Hay mayor humedad atmosférica de diciembre a junio, con febrero, marzo y abril como los meses con mayores cifras (aprox. 78 %) y menor humedad relativa de julio a noviembre (aprox. 74 %). La luminosidad en la ciudad de Loja presenta una media de 12,11 horas luz/día. Los valores más altos corresponden a los meses de enero – marzo y otro en septiembre – diciembre (12,23 horas luz/día). Mientras los meses de junio y julio presenten valores más bajos de luminosidad (11,9 horas luz/día). El promedio anual de la velocidad del viento es de 3,7 m/s; velocidad que se puede considerar reducida y que no provoca daños. En los meses julio y agosto, se registran las mayores velocidades con máximos de 9 a 10 m/s (promedio 5,4 m/s). El balance hídrico del suelo de Loja sufre déficit en los meses de julio – agosto (34,3 mm/mes) y noviembre diciembre (24 mm/mes). Por lo cual es propicio contar con reservas de agua para poder llevar a cabo la producción de cultivos de manera que no afecten a su desarrollo y producción.

Vegetación.- Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge pertenece a la formación bosque seco Montano Bajo (bs-MB). Formación que, además de las características descritas en el clima de Loja, se caracteriza porque la cantidad de

agua evapotranspirada durante el año es una a dos veces mayor que la precipitación recibida, situación que señala un ligero déficit de humedad para situar a este ecosistema en la provincia de humedad subhúmedo (Cañadas, 1983).

Desde otro punto de vista (Sierra et al., 1999), la formación natural del valle de Loja corresponde a «Matorral húmedo montano», cuyas características generales son: vegetación original destruida en su mayor parte y remplazada por cultivos y bosques de eucalipto. Los remanentes de vegetación original quedan únicamente en pendientes pronunciadas, barrancos y otros sitios poco accesibles.

En el contexto nacional de áreas protegidas destaca el Parque Nacional Podocarpus, PNP (146280 ha), considerado uno de los más ricos en avifauna del mundo (más de 600 especies de aves registradas, que representan cerca del 40 % de las aves del Ecuador), y con alto endemismo de plantas: 211 especies en 93 géneros y 61 familias (Quizhpe et al., 2002). Además, el PNP constituye un paso obligatorio de muchas aves migratorias. Este parque, por su inmediata vecindad a la ciudad de Loja, le aporta con servicios ambientales importantes: recreación, ecoturismo, generación de agua, investigación (Espinosa, 1997; Madsen, 2002)

Cultivos.- En Loja se cultivan especies vegetales de pisos bajos junto a las de altura: arveja, trigo, cebada, papa y haba, los mismos que pueden convivir con cultivos tropicales introducidos como el café, plátanos, cítricos y caña de azúcar. Sin embargo las plantas cultivadas en clima templado demuestran mejores condiciones de desarrollo como en rendimiento (Espinosa, 1997).

4.3 Selección del área de estudio

La selección del área de estudio fue en base a un lugar que tuvo características similares en:

- Cultivo de café de la variedad caturra.
- Edad del cultivo no superior a un año.
- Características de topográficas como edáficas homogéneas.
- Disponibilidad de colaboración de los propietarios.

La selección partió de entrevistas y visitas a los propietarios de las diferentes fincas productoras de café tanto de la Hoya de Loja como de las parroquias de Vilcabamba y Malacatos, para esto se ha recibido la colaboración de las instituciones APECAEL y FAPECAFES, encargadas de brindar apoyo al desarrollo productivo de los productores de café en el Sur del Ecuador.

Finalmente se ubicó en el sector norte de la ciudad de Loja, cerca de la microcuenca de la quebrada “Shucos”, en la Parroquia Jimbilla mismo que tiene las siguientes coordenadas: Latitud 3° 55’ 52” Sur; Longitud 79° 13’ 15” Oeste, a una altitud de 2007 m s.n.m.

4.4 Instalación de parcelas de investigación

Seleccionada el área de estudio se procedió a establecer 21 parcelas de café de la variedad caturra, el tamaño de cada parcela fue de 10 x 5 m (50 m²) y con ocho plantas de café de un año de edad en cada una de las parcelas, en las 21 parcelas instaladas se estableció siete tratamientos de fertilización (orgánica y mineral más un testigo), con tres repeticiones cada uno (Figura 9).

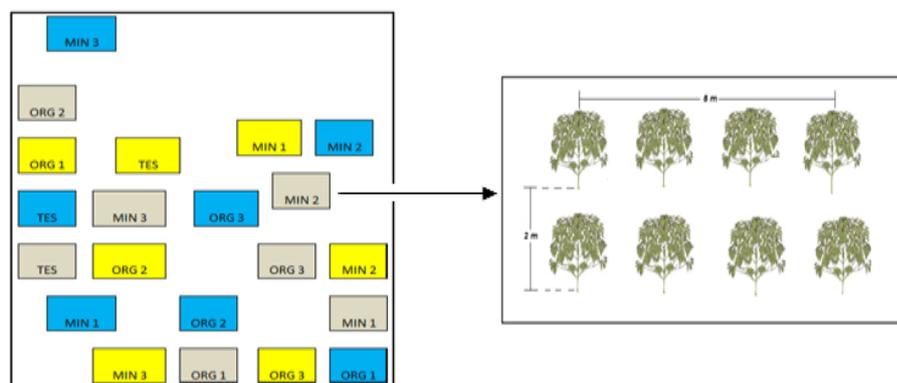


Figura 9. Parcelas de café establecida.

Fuente: El autor

4.5 Fertilización del cultivo de café

El método de aplicación de fertilizantes tanto orgánico como mineral para el cultivo de café se ha hecho siguiendo las recomendaciones de Valencia (1998): “La

aplicación del fertilizante o abono hay que realizarla alrededor de la copa de la planta de café, dado que aquí se encuentran más del 80 % de las raíces que absorben agua y nutrientes”.

Las épocas de aplicación del fertilizante orgánico y mineral en este estudio se lo realizó o en los meses de Febrero 2011, Julio 2011, enero 2012. Lo que se ha considerado para la aplicación del fertilizante orgánico y mineral ha sido: la edad del cultivo, fechas de floraciones (enero-febrero; junio-julio) de la zona, aunque en este caso han sido irregulares debido a los factores climáticos de la zona, y finalmente en base al análisis de suelos de cada una de las parcelas, que en general no mostraron significancia en contenido de nitrógeno, fósforo y potasio.

Los fertilizantes aplicados fueron:

- Minerales.- Fertilizante completo 15-15-15; muriato de potasio y urea.
- Orgánicos.- Humus, nombre comercial BIOABOR.

La fertilización mineral se la ha realizado en base a las recomendaciones de Iñiguez (1996), en donde manifiesta que para un cafetal de dos años se debe de aplicar una fertilización de N, P, K en dosis de 60-40-30 gramos por planta respectivamente.

Los tratamientos establecidos para la fertilización mineral se muestran en la Figura 9 y Tabla 4.

Tabla 4. Recomendaciones de fertilización para el establecimiento de la plantación del cultivo de café, de 1 a 4 años.

Años	N	P₂O₅	K₂O
g/planta			
Primer	30	20	15
Segundo	60	40	30
Tercer	80	60	45
Cuarto	100	80	60

Fuente: Iñiguez, 1996.

La fertilización orgánica se aplicó en una dosis establecida de **3 kg/planta/año** (cafeto de dos años) según las recomendaciones generales de fertilización orgánica Chirinos (2001), y recomendaciones del fabricante del abono BIOABOR (Tabla 5).

Tabla 5. Tratamientos minerales y orgánicos en la zona de estudio.

TRATAMIENTOS	NOMENCLATURA	FERTILIZANTE APLICADO
T 1	MIN 1	Fertilización química en dosis 30-20-15 g de NPK/planta/año
T 2	MIN 2	Fertilización química en dosis 60-40-30 g de NPK/planta/año
T 3	MIN 3	Fertilización química en dosis de 90-55-45 g de NPK/planta/año
T 4	ORG 1	Fertilización orgánica en dosis 1,5 kg Biabor/planta/año
T 5	ORG 2	Fertilización orgánica en dosis 3 kg Biabor/planta/año
T 6	ORG 3	Fertilización orgánica en dosis 4,5 kg Biabor/planta/año
T 7	TES	Sin fertilización

Fuente: El autor.

4.6 Muestreo y análisis de suelos

Se recogió una muestra de suelo de 1 Kg de peso por parcela establecida, la cual estuvo compuesta de 6 submuestras; el muestreo ha sido realizado en dos periodos: 1) Enero 2011, 2) Enero 2012, esto antes y después de la aplicación de los tratamientos con fertilización orgánica y mineral (Figura 10).

La recolección de la muestra se la realizó con una barrena a una profundidad de 20 cm (horizonte mineral) que es donde se encuentra la mayor parte del sistema radicular de la planta de café.

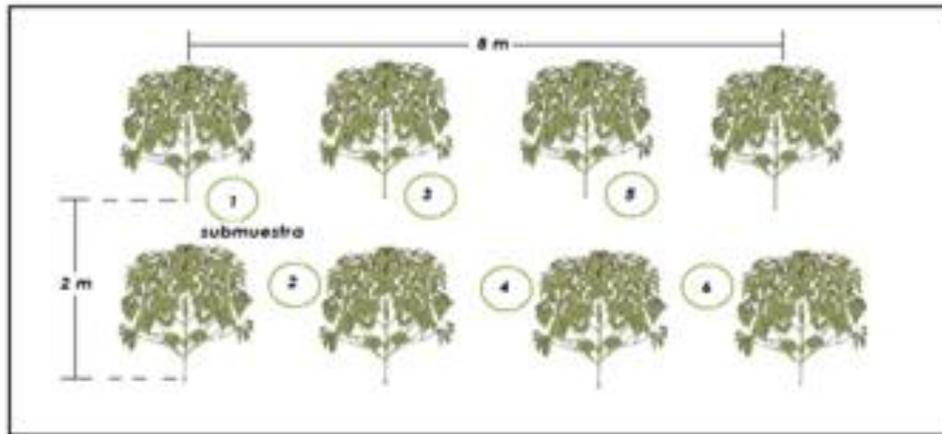


Figura 10. Diseño de muestreo de suelos en cada parcela.
Fuente: El autor.

Un vez tomadas e identificadas las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio de Suelos Agrícolas de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), en donde comenzó su proceso de secado y luego tamizado (tamiz menor a 2mm) para luego realizar los análisis de suelos (nitrógeno, fósforo y potasio).

Nitrógeno total (N).- Mediante el método micro Kjeldahl (Bremner, 1982), que se basa en la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo a través de la digestión (equipo de digestión LABCONCO tipo SI 36), que es ejecutada al calentar la muestra con ácido sulfúrico concentrado, seguido se lo lee en el espectrofotómetro Ultravioleta (Marca espectrofotómetro) a una intensidad luminosa de 662.

Fósforo (P).- La extracción del fósforo se hizo utilizando el método colorimétrico descrito por Murphy y Riley (1962). Se emplea el reactivo Olsen (bicarbonato de sodio NaHCO_3 más hidróxido de sodio NaOH). La lectura se realizó en el espectrofotómetro de emisión UV a 882 nm (Jenway 6400 serie 13309).

Potasio (K).- Se utilizó la solución Olsen y espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer AAnalyst 400). A la muestra de suelo le adicionamos la solución Olsen modificada que contiene NaHCO_3 y EDTA (ethylenedinitrilo, etracetic acid, diodium salt, dihydrate), agitamos 30 minutos y filtramos. Realizamos la lectura de acuerdo a las especificaciones del equipo (Suárez, 1996).

4.7 Muestreo de gases de efecto invernadero (N₂O) en cultivo de café

Para el muestreo de N₂O se utilizó la técnica de la cámara cerrada (*Closed-Chamber Technique* o CCT) (Rondón, 2000; Montenegro y Abarca, 2002), esta técnica es muy usada debido a que es muy simple, rápida de operar y con costos bajos (Holland et al., 1999).

Técnica de cámara cerrada: Al momento del muestreo, se coloca la cámara de PVC o plástico, sobre el anillo previamente instalado en la parcela (Figura 11). La parte superior de la cámara posee una tapa de goma o séptum de 1 cm de diámetro, por la cual se toman las muestras de aire, utilizando una jeringa de plástico con válvula adaptada.

Por cada cámara, se toman cuatro muestras de 20 ml de aire en los tiempos 1, 10, 20 y 30 minutos a partir de la instalación de la cámara, luego se eliminan 5 ml y los restantes 15 ml se transfieren a frascos de vidrio de 20 ml a los que previamente se les ha hecho vacío por medio de un liofilizador (Rondón, 2000).

4.8 Instalación de anillos en las parcelas

En noviembre 2010 se procedió a la instalación de las cámaras cerradas de material plástico (23 cm de diámetro por 27 de altura que corresponde a un área de 0,47 m² y con un volumen promedio de 11,5 l.) en las parcelas (Figura 11). La parte inferior de los anillos fue introducida a una profundidad de 0,05 m en el suelo. Las cámaras permanecieron fijas durante todo el estudio y solo cerradas en el momento de muestreo, por lo que al momento de la fertilización se debía tener cuidado en la distribución homogénea del fertilizante.

4.9 Muestreo de gases

Los muestreos se realizaron mensualmente (un muestreo por mes), por un año (febrero 2011 a febrero 2012). Al momento del muestreo se tapa la cámara instalada en cada parcela (Figura 11), en la parte superior de la cámara (tapa) hay un séptum de 0,5 cm de diámetro, por el cual se toman las muestras de gases, utilizando una

jeringa de plástico con válvula adaptada (Ferreira, 2008). Por cada cámara se tomaron muestras de 20 ml de aire en los tiempos 1, 11, 21 y 31 minutos a partir de la instalación de la cámara, luego se los transfiere a frascos de vidrio de 20 ml a los que previamente se les ha hecho vacío por medio de un liofilizador. Estas muestras posteriormente fueron analizadas con un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC-14B Duisburg, Aleman), equipado con detector de ionización de llama (FID) y un detector de captura de electrones (ECD) en combinación con un muestreador automático (Lofffield et al., 1997).

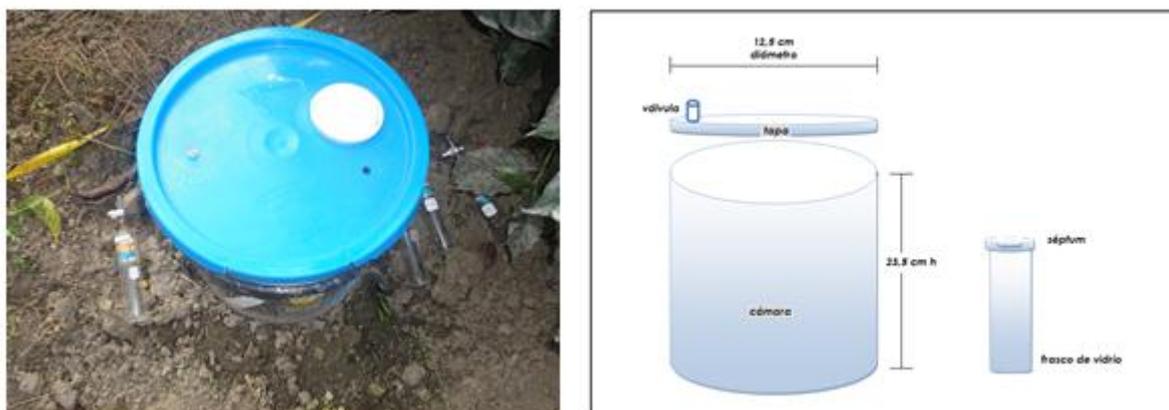


Figura 11. Instalación y componentes de la cámara de muestreo de gases.
Fuente: El autor

4.10 Registro de temperaturas y humedad

Las cámaras poseen un segundo agujero con tapa de adaptado para ubicar el termómetro digital y tomar la temperatura dentro de la cámara cerrada. En la primera toma de aire de cada parcela se registra el dato de temperatura en grados Celsius (°C). Además a un lado de cada cámara se tomó una muestra de suelo para determinar la humedad (la muestra de suelo se coloca en una estufa por 24 horas y a 105 ° C para determinar la humedad).

4.11 Procesamiento de muestras en laboratorio

Se determinaron concentraciones de óxido nitroso (N_2O), utilizando el cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14 B equipado con detector de ionización de llama (FID) y un detector de captura de electrones (ECD) (Figura 12), combinado con un

muestreador automático (Lofffield et al., 1997). Las concentraciones de gas se calcularon mediante la comparación de pico integrado con tres gases patrones (CO_2 , 703,8, 1503,3 y 5019 ppm; 501, 1001 y 3003 ppb para $\text{N}_2 =$, 2026, 10200 y 20000 ppm. para el CH_4).



Figura 12. Cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14 B.
Fuente: El autor

4.12 Determinación de los flujos de gas

Se utilizó la diferencia de concentración entre el minuto 31 y minuto 1 para calcular la tasa de cada cámara. Para esto, se empleó la regresión lineal en las concentraciones de N_2O , de las cuatro muestras obtenidas por cámara, requiriéndose al menos tres puntos en línea para validar el flujo. (Koehler et al., 2009).

4.13 Análisis Estadísticos

Con los datos obtenidos tanto en el muestreo de suelos (N, P y K) y flujos N_2O se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas mediante la prueba F (Fisher) a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion 16,0. Se utilizó un diseño completamente al azar de parcelas divididas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados macronutrientes del suelo

Nitrógeno total

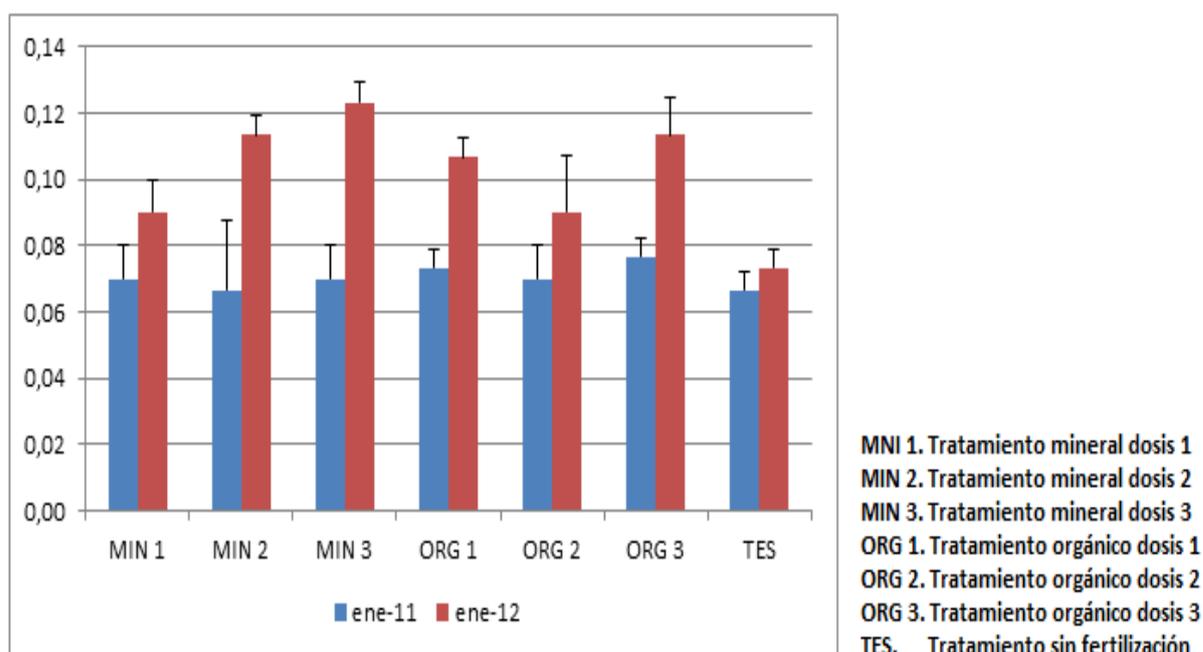


Figura 13. Contenidos en porcentaje de nitrógeno total, enero 2011 - enero 2012.
Fuente. El autor

En la figura 13 se muestra los porcentajes de nitrógeno total, correspondientes al mes de enero 2011 (inicio de la investigación), se puede ver que en todos los tratamientos los porcentajes de nitrógeno son bajos, mismos que están comprendidos entre 0,07 % a 0,08%. Así mismo al finalizar el periodo de investigación de un año en el mes de enero 2012 y tras la aplicación de los fertilizantes químicos y orgánicos en el cultivo de acuerdo a las dosis ya dadas, los contenidos de nitrógeno total han aumentado en todos los tratamiento de manera significativa, pero en especial en los tratamientos: MIN 3 con 0,12 % y ORG 3 de 0,12 %, no ocurriendo esto en el TES.

Fósforo

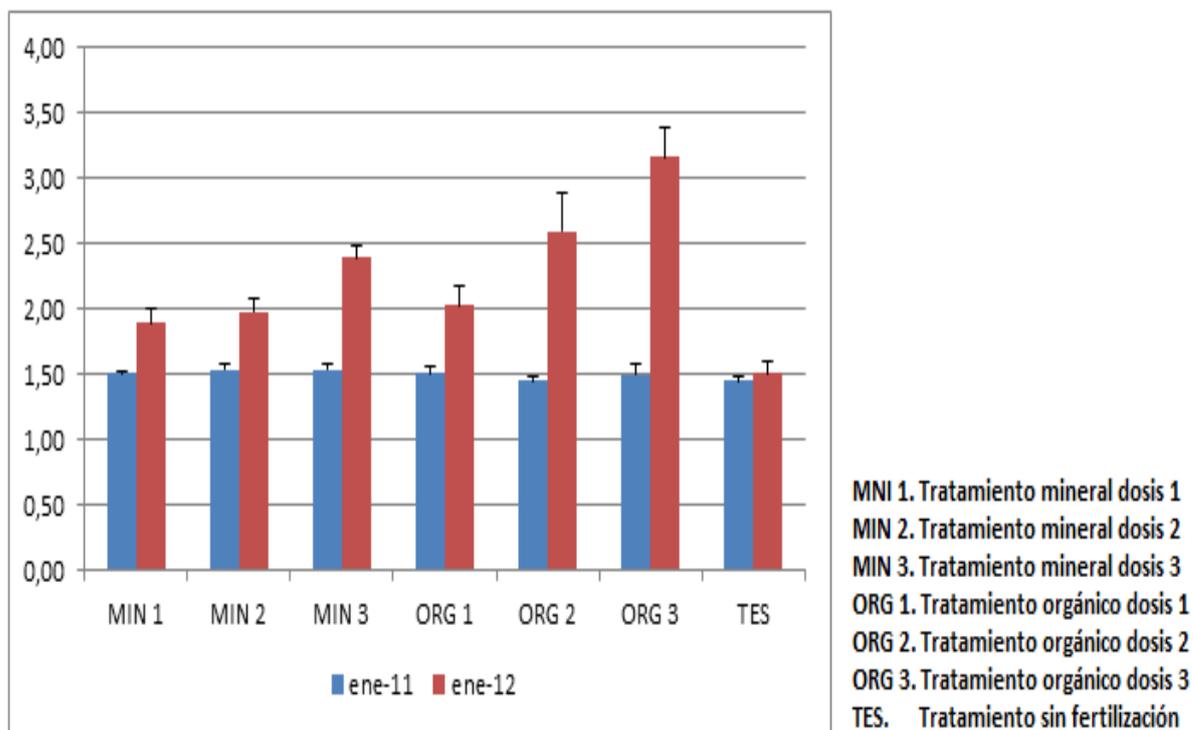


Figura 14. Contenidos en mg/Kg de fósforo disponible, enero 2011 a enero 2012.
Fuente: El autor

Los contenidos de fósforo (Figura 14) en el mes de enero 2011 en todos los tratamientos son bajos, ubicándose entre los rangos de 1,45 a 1,54 mg/Kg; mientras que para el mes de enero de 2012 y luego de las fertilizaciones realizadas los contenidos de este elemento en las parcelas experimentales han aumentado significativamente excepto en las del tratamiento testigo. El tratamiento ORG 3 es el que ha alcanzado los mayores contenidos con un total de 3,16 mg/Kg.

Potasio

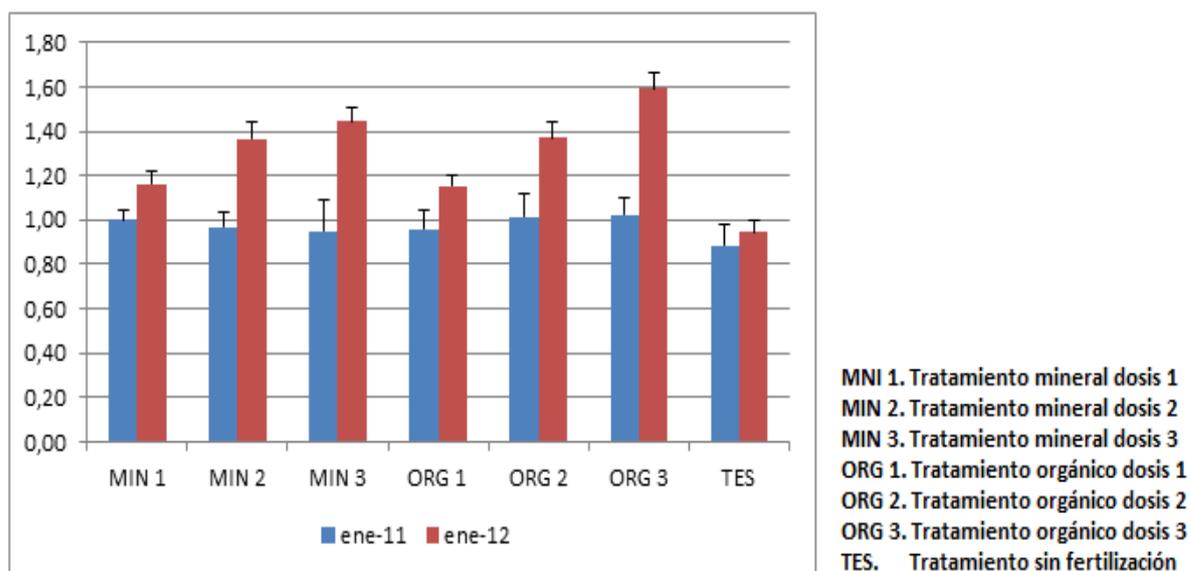


Figura 15. Contenidos en cmol/Kg de disponible, enero 2011 a enero 2012.
Fuente. El autor

En lo que respecta al potasio disponible (Figura 15) a inicio del trabajo (enero 2011) tuvo contenidos entre rangos medios y altos: 0,89 a 1,02 mg/Kg, estos contenidos al igual que el nitrógeno y fósforo aumentaron significativamente en enero 2012 luego de la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos; el tratamiento que alcanzó mayor contenido fue el ORG 3 con 1,59 mg/Kg; cabe mencionar que el tratamiento TES no tuvo cambio significativo a lo largo del experimento.

Discusión

Como se puede apreciar en las figuras 13, 14 y 15; en el mes de enero 2011, los resultados en contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), para los tratamientos de fertilización aplicados no tiene significancia ($p < 0,05$), lo cual fue ideal para el estudio, ya que estamos partiendo de suelos homogéneos en los contenidos de estos nutrientes; así se ha podido realizar un análisis más minucioso de la evolución de contenidos de estos macronutrientes luego de aplicado los tratamientos de fertilización química y orgánica en el transcurso de un año (enero 2011 - febrero 2012). Delgado y Salas (2006), nos mencionan que mantener la fertilidad del suelo y lograr la preservación y mejoramiento de los mismos es

necesario hacerlo a través de la dosificación y empleo de enmiendas orgánicas o químicas utilizados para suplir los requerimientos de los cultivos; esto contribuirá a desarrollar un medio sustentable. En el presente trabajo solo se ha considerado los macronutrientes primarios, los mismos que son requeridos en mayor cantidad; pero lo ideal sería considerar también a los macronutrientes secundarios y micronutrientes, ya que esto sería ideal conocer para un mejor manejo del cultivo.

El análisis de suelo de las parcelas evaluadas en enero 2011 nos permiten señalar que estos suelos no presentan condición apropiada para la producción de café, debido a su pobre condición de contenidos de los macronutrientes de N y P son bajos, el K presentó valores altos, pero esto no es suficiente para un buen desarrollo del cultivo café, por lo que es necesario la adición de fertilizantes, ya sean de origen químico u orgánico, además estos suelos presentan gran contenido de arcilla, y con contenidos de materia orgánica medios y con un pH que van de ácidos a ligeramente ácidos, estos últimos datos son en base a análisis de suelos realizado en las parcelas, pero que para el presente trabajo no se los está analizando. IHCAFE (2001), Mora (2008) y FUNDESYRAM, (2010), manifiestan que los suelos en donde se cultiva café necesitan de suelos francos arenosos o francos arcillosos, de una buena disponibilidad de macronutrientes, abundante materia orgánica. Es por esto que para lograr condiciones apropiadas de fertilidad en el suelo para el cultivo se necesita emplear fórmulas y dosis adecuadas de acuerdo a las necesidades del cultivo y análisis de suelos (COFENAC, 2005).

El nitrógeno es un elemento clave para el desarrollo de cultivos agrícolas, Sánchez (1982), manifiesta que la acción del nitrógeno en los suelos fertilizados químicamente, se incrementa en los primeros meses de fertilizado, posterior a esto el suelo vuelve a sus niveles similares que antes de la fertilización; lo cual coincide con este trabajo, que al ver la figura 13 nos damos cuenta que el incremento de Nt luego de las fertilizaciones aumentó significativamente en todos los tratamientos ($p < 0,05$), obteniéndose mayores niveles de este elemento en los tratamientos MIN 3, seguido del MIN 2 y ORG 3 con valores similares, pero cabe recalcar que pese a que los niveles de Nt aumentaron luego de las fertilizaciones, los contenidos de los mismos no representan concentraciones adecuadas, estas siguen siendo bajas. La fertilización con nitrógeno puede ser un factor clave para la producción de café

(Carvajal, 1984); pero Salas et al. (2002) estima que solo el 30 - 40 % de nitrógeno aplicado es absorbido por la plantas de café. En un trabajo de aplicación de fertilizantes nitrogenados realizados por Roskoski (1982), en una plantación de café produjo un aumento en los contenidos de nitrógeno al suelo, similar a lo que sucede con nuestro trabajo. Los contenidos de nitrógeno en el suelo obedece a una dinámica muy activa y va a depender de factores como: la cantidad de materia orgánica, la relación carbono nitrógeno (C/N), contenidos de nitrógeno mineral, temperatura y humedad del suelo; la cantidad de nitrógeno total en el suelo nos ayuda en buena medida a orientarnos para la fertilización.

En el mismo estudio de Roskoski (1982) evaluó la disponibilidad de fósforo, en donde menciona que la textura afecta la disponibilidad de fósforo, en suelos de textura gruesa necesita de la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes fosfatados, debido a su baja capacidad de retención de este anión. Por el contrario en suelos franco arenosos incrementan rápidamente su disponibilidad, a aplicar dosis moderadas de fósforo. Esto también coincide con el presente estudio (Figura 14), ya que como se lo mencionó las cantidades de P disponible al inicio de la investigación eran muy bajas en todos los tratamientos; luego de la aplicación de fertilizantes se puede ver un aumento significativo ($p < 0,05$) en todos los tratamientos tanto en los químicos como en los orgánicos, pero esto no sucedió con el tratamiento testigo, lo cual nos indica que la falta de este nutriente en el suelo de las parcelas de café es necesaria. Al suplir estas cantidades a las parcelas posiblemente podríamos mejorar la floración, fructificación, formación y calidad de los frutos de las plantas de café.

Con respecto al potasio (Figura 15), este elemento está asociado con el tipo de arcilla. Los suelos arcillosos tienen mayor concentración de potasio intercambiable que en suelos arenosos, debido a que en los suelos arcillosos se presentan más carga eléctrica que debe de ser satisfecha por cationes, una mayor proporción de este potasio intercambiable se encuentra retenido por el coloide. Esto implica que a la hora de realizar la interpretación de potasio de suelos, es indispensable considerar la textura del suelo. La dosificación de fertilizantes en suelos arcillosos y muy pobres en potasio debe ser mayor, inclusive de 350 Kg/ha de K_2O (Roskoski, 1982). El potasio en el área de estudio en todas las parcelas es alto en enero 2011,

posterior a las fertilizaciones este mejoró significativamente ($p < 0,05$), lo mismo no sucedió con el tratamiento testigo en el cual no hubo significancia.

La fertilización en los cultivos, tiene el objetivo de conseguir un rápido crecimiento vegetal, además de sostener la productividad a lo largo de los años. Generalmente una de las prácticas usadas en muchos lugares es la aplicación de fertilizantes, especialmente a base de nitrógeno (Roskoski, 1982).

En la investigación se pudo evaluar la diferencia en las plantas de café, entre los tratamientos químicos y orgánicos; los cafetos tratados con fertilización mineral, especialmente en la dosis MIN 2 y dosis MIN 3, tuvieron una respuesta casi inmediata en: cambio de coloración, aumento de follaje crecimiento, menor ataque de plagas, mayor floración entre otras (Figura 16). La aplicación de fertilizantes químicos hace que el efecto sea inmediato, pero el uso en exceso de estos pueden traer problemas de contaminación (Marino et al., 2004; Pirela et al., 2006), lo cual ayuda a que se incrementen las áreas degradadas por la disminución de la fracción orgánica de los suelos (Chirinos et al., 2006).



Figura 16. Plantas de café tratadas con fertilizante químico (izquierda) y fertilizante orgánico (derecha).

Fuente. El autor.

Vázquez (1997), en un estudio de fertilización en suelos nos comenta que, las cantidades de nitrógeno en el suelo es muy dependiente de las dosis empleadas en las enmiendas orgánicas, las mismas que van a influenciar directamente en la

cantidad de materia orgánica presente, ya que por ejemplo nos dice que en los tratamientos que se emplearon dosis de 300 kg de N/ha, los contenidos de nutrientes fueron mejores. Este mismo caso sucede en nuestro experimento, ya que en las parcelas fertilizadas con abono orgánico en la dosis 3 (tratamiento ORG 3), los contenidos de N, P y K tienen significancia ($p < 0,05$) en comparación a los tratamientos ORG 2 y ORG 1. En otro trabajo realizado en Texcoco-México, se realizaron aportaciones de materia orgánica con compost y estiércol en ensayos de invernadero con alfalfa. Sus resultados mostraron en forma general que hubo un incremento en la materia orgánica y diversidad microbiana, siendo los tratamientos con estiércol de 80 y 100 toneladas los que consiguieron mayores valores en MO (Hernández, et al., 2007).

En el mismo contexto que el anterior con el cultivo del banano, se le adicionó materia orgánica con compost y biofermentos a suelos de plantaciones bananeras del municipio Tapachula Chiapas, México. Adriano et. al. (2007), los resultados indicaron que la materia orgánica mejoraba la fertilidad del suelo, así como la actividad biológica por un período de 10 meses, por lo que el estudio propone adicionar materia orgánica al menos cada 5 meses.

En vista del mal uso de fertilizantes químicos y sus consecuencias a los suelos, algunos investigadores están realizando estudios con el fin de evaluar y estudiar los cambios debido a las fertilizaciones químicas y orgánicas en los suelos. Es así que Marinari et al. (2006), ha evaluado los cambios químicos y bioquímicos de la materia orgánica en los suelos con residuos orgánicos (vermicompost y estiércol) y fertilización química (nitrato de amonio), estos demostraron que los suelos enmendados o abonados con materia orgánica aumentaron la biomasa microbiana del suelo, mientras que la fertilización mineral causó una gran alteración en la materia orgánica del suelo. En el presente estudio, esto se puede apreciar en las parcelas abonadas orgánicamente, ya que en las visitas de campo realizadas al área de estudio se puede apreciar a nivel de macro fauna mayor actividad biológica especialmente de lombrices de tierra en las parcelas fertilizadas orgánicamente.

Es muy comentado, principalmente por los productores de café, que el manejo convencional (fertilización química, aplicación de plaguicidas, insecticidas, etc) da

mejores resultados en productividad y rentabilidad frente al manejo orgánico, en vista de esto Lyngbaek et al. (2001), ha evaluado en plantaciones de café en Costa Rica los rendimientos entre un cultivo convencional frente a un orgánico, esta investigación arroja resultados que el cultivo orgánico era un 22 % menos productivo que el convencional. En los costos de producción la diferencia entre el orgánico y convencional fue de 4,5 % más caro producir de manera orgánica. De igual manera esto está sucediendo en las parcelas implementadas, de las cosechas que se ha obtenido hasta el momento y según entrevistas a los propietarios de la plantación de café, y de otro estudio que se está realizando en las parcelas de investigación el manejar el cafetal de manera convencional (fertilización química) aumentó la producción. Pero hay que considerar que los rendimientos en el cultivo de café, además de las aplicaciones de fertilizantes químicos u orgánicos pueden estar influenciados por la gran inestabilidad climática que está presentando en la hoya de Loja en estos últimos años; Maestri y Santos (1997), mencionan que la inestabilidad climática puede provocar alteraciones en la producción de cultivos. Así mismo en este estudio de comparación entre sistema convencional frente al orgánico determinaron que mayores costos tanto en plantaciones orgánicas como convencionales está en la mano de obra para la cosecha y manejo de plantaciones, sin embargo el café convencional gasta un poco más en la cosecha, debido a la mayor producción, pero en el café orgánico los costos aumentan en el control de plagas y malezas, siembra y poda de café y los árboles de sombra. Los costos a considerar en la producción convencional se enfocan a los fertilizantes químicos, herbicidas, fungicidas y nematicidas, sin embargo en las producciones orgánicas este costo se ve reflejado en la mano de obra para la elaboración de abonos orgánicos.

En otro estudio de Lyngbaek (2000), dice que la alta productividad en sistemas convencionales monocultivos de café es debido a que la densidad de planta por hectárea es más alta, aproximadamente en un 50 % más que la de asociación con otras especies de árboles de sombra, la alta productividad puede ser debido a que las plantas de café no tienen competencia en nutrientes por la otra vegetación. Este dato se ajusta a nuestro estudio (monocultivo de café), en donde se ve que la producción de estas parcelas, especialmente las que tienen dosis más elevadas de fertilizante químico u orgánico están con mayores vigos y con rendimientos más

altos que plantaciones que usan sistemas de policultivos o asociados, en donde sus rendimientos son muy deficientes de 195,5 Kg/ha de producción (COFENAC, 2011).

Sierra (2003), manifiesta que la fertilización en frutales, en nuestro caso el café es muy importante, ya que permite sustentar una buena producción en cantidad y calidad. La fertilización que el manifiesta debe considerar la aplicación de fertilizantes químicos y también orgánicos; además de estudios del estado nutricional de suelos y plantas. En el estudio que se realizó para este trabajo no se ha considerado la combinación de fertilizantes químicos con orgánicos, pero si el estado nutricional de los suelos, los cuales han dado un parámetro muy importante a la hora de fertilizar, especialmente con las cantidades adecuadas. Diversos estudios han demostrado que para recuperar suelos degradados y a la vez obtener mayores rendimientos, los abonos orgánicos pueden ser aplicados combinados con fertilizantes inorgánicos (N,P,K); lo cual se constituye en una alternativa de manejo de estos suelos (Arrieché, 2008). La incorporación de materiales orgánicos de origen animal o vegetal a los suelos, ha demostrado que mejora sus condiciones físicas y por otra, el incremento de la disponibilidad de nutrientes para la biomasa del suelo y para las plantas, como consecuencia de los procesos de descomposición y mineralización que en ellos ocurren. La fuente más utilizada para adicionar materia orgánica a los suelos son los abonos orgánicos provenientes del mismo campo (residuos de cosecha), estiércoles y ciertos desechos industriales entre otros. Por otro lado la degradación de la materia orgánica es el fenómeno fundamental que asegura el reciclaje de los elementos constitutivos de la materia viva y el suelo cultivado es el principal protagonista en ese proceso (Sequi, 1999).

El incremento de la degradación de los suelos en el mundo ha generado un interés creciente en la respuesta de la fertilización orgánica como mecanismo de recuperación (Arrieché, 2008). En efecto de realizar conservación de suelos y por lo tanto ayudar a la conservación del medio ambiente se está tratando de incrementar a nivel mundial prácticas agroecológicas u orgánicas. En algunos de los casos se está tratando de aumentar contenidos de materia orgánica en suelos ya degradados, como producto de los procesos de degeneración por uso de manejo convencional, esto determina la necesidad de aumentar su contenido a través del desarrollo de prácticas de manejo que favorezcan su mantenimiento o conservación de la materia

orgánica del suelo (Arrieché, 2008). Generalmente se está empleando los residuos de los cultivos para aportar materia orgánica a los suelos para favorecen a la fertilidad del mismo y lograr mejores rendimientos de producción en los cultivos (Sosa, 2005). En otros casos, y aunque en menor cantidad se aplica estiércoles, pero su aprovechamiento va a depender de la dosis, fuente y de la clase de suelo donde se incorpore (Pirela et al., 2006).

En varios países se ha demostrado el éxito de usos de abonos orgánicos; del uso continuo de la materia orgánica, ha contribuido a incrementar los niveles de fertilidad en el suelo. Al integrar los abonos orgánicos de forma adecuada a la producción de café, estos se convertirán en una valiosa herramienta para obtener, mayores cosechas y además que se reducirá la contaminación al medio ambiente (Funez, et al., 2004). Los abonos orgánicos son capaces de suplir las necesidades de nutrimentos, especialmente de nitrógeno, fósforo y azufre, además que ayuda a la estabilidad de pH en el suelo (Funez, et al., 2004).

Los abonos orgánicos están ayudando al restablecimiento de la fertilidad y de la vida de los suelos. (Funez, et al., 2004). La producción de café a base de fertilizantes y productos orgánicos en la actualidad tiene mucha demanda, en especial en los países del norte (BIOFACH, 2000), ya que son más saludables y contribuyen con menor contaminación ambiental.

Uno de los problemas que se está presentando en los abonos orgánicos es su manejo; ya que la elaboración de estos son de diversos materiales, los cuales aportan nutrientes en proporciones muy variadas (Williams, 2003), por lo que no existe una recomendación específica de su uso (LeaMaster et al., 1998; Leroy et al., 2008).

En definitiva los problemas de contaminación ambiental, degradación del suelo, contaminación de aguas y sumado a esto problemas de salud de las personas dedicadas a la producción agrícola, están haciendo tomar conciencia en ciertos hábitos y costumbres de trabajo en los campos, al darse estos cambios se estará garantizando al productor condiciones que le asegurarán una producción sana y sustentable (Ureña, 2009).

Resultados emisión de N₂O

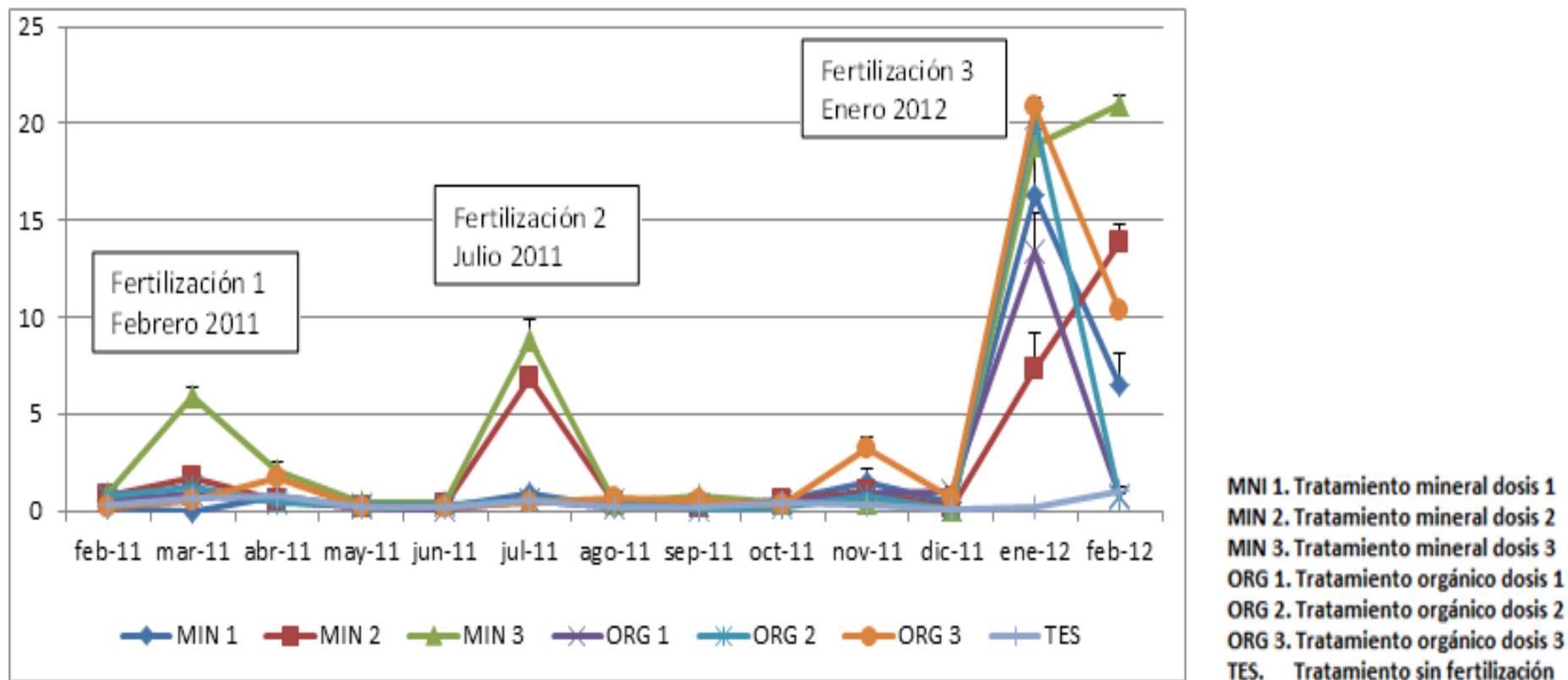


Figura 17. Resumen de emisiones promedias mensuales de N₂O-N mg/m²/día de un año (febrero 2011 – febrero 2012).

Fuente: El autor

La figura 17 muestra un resumen de los flujos promedios mensuales de N₂O de un año (febrero del 2011 - febrero 2012), en la gráfica se puede apreciar que los flujos de N₂O en las fechas posteriores a la fertilización del cultivo de café (febrero 2011, julio 2011 y enero 2012) aumentan significativamente ($p < 0,05$) con respecto a los meses en donde no se ha realizado fertilización ya sea química u orgánica, lo cual hace suponer que la adición de fertilizantes sea de origen químico u orgánico está ayudando a elevar las emisiones de N₂O, pero, especialmente se puede ver que en los tratamientos de fertilización química con mayores dosis o cantidad en los flujos del gas se elevan más que el resto de tratamientos, en especial de testigo.

En la parte de anexos se muestra las figuras de emisiones de cada uno de los meses (febrero 2011 – febrero 2012) (revisar Anexos).

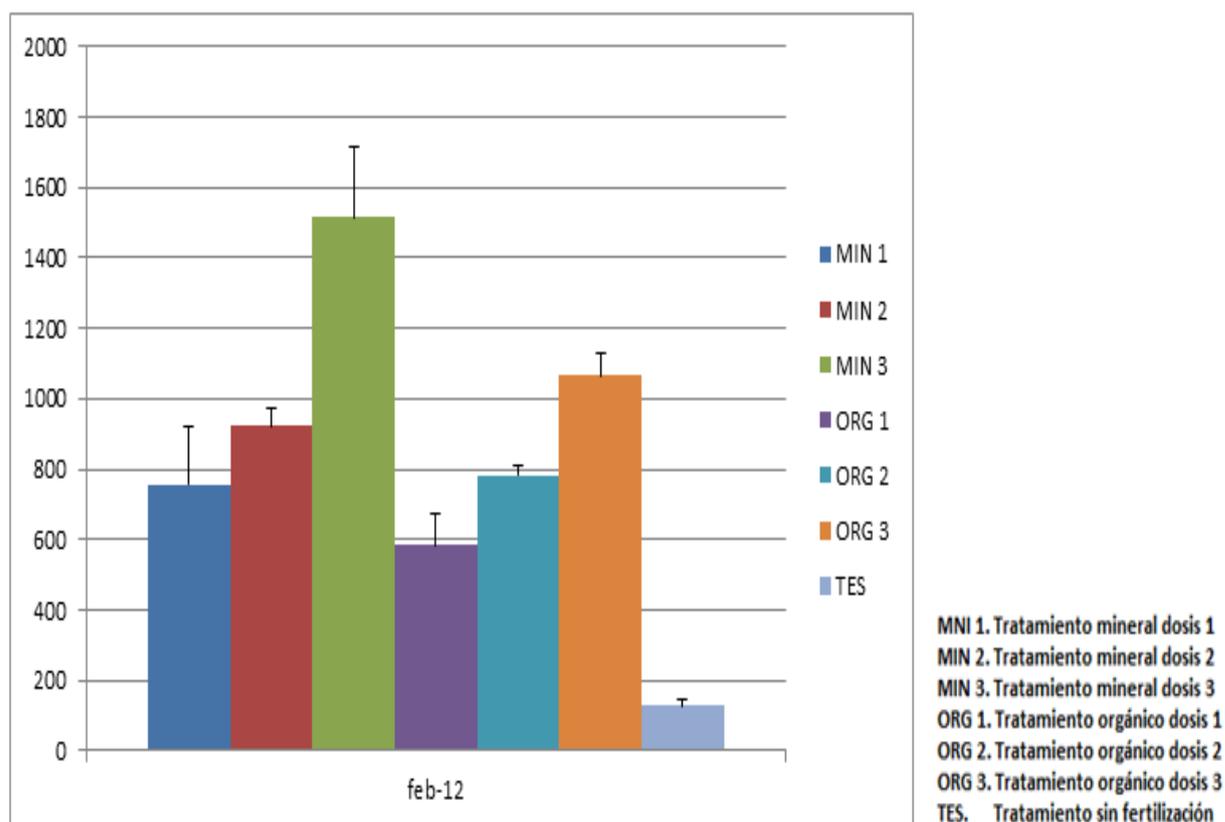


Figura 18. Emisión de N₂O acumulados en mg/m² desde febrero 2011 a febrero 2012.

Fuente: El autor

Así mismo en la figura 18, nos muestra las emisiones acumuladas de N_2O de un año (febrero 2011 - febrero 2012), las mismas que tienen los siguientes valores. MIN 1 igual a 755 mg/m^2 de $N_2O - N$, MIN 2 de 920 mg/m^2 de $N_2O - N$, MIN 3 con 1516 mg/m^2 de $N_2O - N$, el ORG 1 con emisión acumulada de 583 mg/m^2 de $N_2O - N$, el ORG 2 CON 782 mg/m^2 de $N_2O - N$ y el ORG 3 igual a $1066,3 \text{ mg/m}^2$ de $N_2O - N$ y finalmente el TES con $126,49 \text{ mg/m}^2$ de $N_2O - N$. El tratamiento con fertilizante químico y en la dosis más elevada (MIN 3), muestra mayores flujos acumulados a lo largo de este año siendo significativo ($p < 0,05$) frente al resto de tratamientos.

Discusión

En base a las dos figuras anteriores (17 y 18) de emisiones de N_2O , mensuales y acumuladas, se puede apreciar que el tratamiento MIN 3 (tratamiento con fertilización química en la dosis más elevada) es significativo ($p < 0,05$) frente al resto de tratamientos, así mismo se observa la significancia ($p < 0,05$), de los tratamientos MIN 2 y ORG 3 ($p < 0,05$) frente a MIN 1, ORG 1 Y ORG 2 y TES. Aguilera (2011), viendo en este caso que el tratamiento con fertilización química en las dosis más elevadas está emitiendo mayor cantidad de N_2O al ambiente. En un estudio de aplicación de fertilizantes sintéticos y orgánicos en cultivos mediterráneos, encontraron diferencia significativa en el 70 % de los casos de emisión de gases, en donde son mayores las emisiones con aplicaciones de fertilizantes químicos.

Por otra parte se puede apreciar que en los meses seguidos a las fertilizaciones ya sean minerales u orgánicas se dan picos de emisión de N_2O , esto en los meses de marzo 2011, julio 2011 y enero 2012, esto hace suponer que la fertilización mineral y orgánica en este caso si está influenciando a la emisión de este gas. Lo que si se puede apreciar que siempre se está emitiendo mayor cantidad de N_2O en el tratamiento MIN 3, que como ya se lo mencionó fue significativo ($p < 0,05$) a los otros tratamientos. Flynn (2009) indica que los flujos de gases efecto invernadero están directamente relacionados con los nutrientes añadidos al suelo, ya sea en forma de fertilizantes minerales u orgánicos, además que hay que tener en cuenta la biomasa microbiana del suelo, ya que esta se encarga de transformar y almacenar los nutrientes y por lo tanto estos organismos van a responder a algunos factores como la siembra de cultivos y la fertilización. Rochette et al. (2004), también dice que las

altas cantidades de N_2O emitidos al ambiente se dan principalmente desde el suelo, debido a los procesos de nitrificación y desnitrificación, pueden ser afectadas debido a las intensas fertilizaciones a base de nitrógeno que se da a los cultivos agrícolas.

Actualmente la fertilización está jugando un rol muy importante dentro de la producción de café, ya que debido a las variedades introducidas, como en esta investigación (variedad caturra), es necesario ayudarnos con paquetes de fertilización para obtener buenas cosechas. Moisiej et al. (1996), expone que debido a la gran cantidad de semillas híbridas y otras variedades de alto rendimiento que se están sembrando en la actualidad es necesario el alto uso de fertilizantes agrícolas, fundamentalmente a base de N y P, lo cual puede producir cambios en los suelos y por otra parte ayudar a la contaminación ambiental; lo mencionado antes se aplica a nuestro estudio, ya que como se aprecia aquí y aunque en una cantidad no muy alta, existe emisiones de gases en todos los tratamientos, especialmente de fertilización química y orgánica en mayor dosis (MIN 3, MIN 2 y ORG 3), lo cual estaría contribuyendo a la contaminación ambiental de nuestra ciudad de Loja.

Se ha estimado que por lo menos 1,5 Tg de nitrógeno es emitido directamente a la atmósfera cada año como óxido nítrico debido a la agricultura (Watson, 1992), motivo por el cual debemos preocuparnos por realizar una agricultura de mayor eficiencia en el uso de paquetes agrícolas como los fertilizantes.

En otro estudio de fertilización al suelo, pero en un cultivo de soja en Argentina se ve que los resultados finales de emisión de N_2O al ambiente fueron en los tratamientos a base de fertilización química y en las dosis más elevadas, aquí demostraron que la fertilización nitrogenada hizo que aumente significativamente ($p < 0,05$) las emisiones acumuladas de N_2O (Ciampitti, et al., 2005). Las labores que parecen incrementar la emisión de N_2O desde el suelo son principalmente la adición de fertilizantes nitrogenados, el aporte de residuos de cosecha y el encalado (Sitaula et al., 1995). Igual en base a estas investigaciones concordamos que la adición de fertilizantes al cultivo de café posiblemente está ayudando a la emisión de N_2O al ambiente.

Investigadores argumentan que los fertilizantes a base de urea producen mayores emisiones de N_2O , pero también hay que considerar otros factores como: el tipo de suelo, labranza realizada, condiciones climáticas de la zona; ya que éstas pueden influenciar sobre los fertilizantes y por lo tanto no tener comparaciones claras de los efectos de la fertilización en la emisión de gases efecto invernadero (Flynn 2009).

En este trabajo se ha procedido a tomar de forma general las temperaturas ambientales (Figura 19) y humedad del suelo (Figura 20) en los días de muestreo de N_2O , esto con la finalidad de ver si se aprecia aunque de manera general y visual la relación entre estas dos variables y la emisión de N_2O . Esto en base a que en muchas investigaciones de este tipo se procede a realizar este tipo de relaciones o análisis, pero como se lo menciona esto solo a manera general, ya que este no es el objetivo principal de esta tesis.

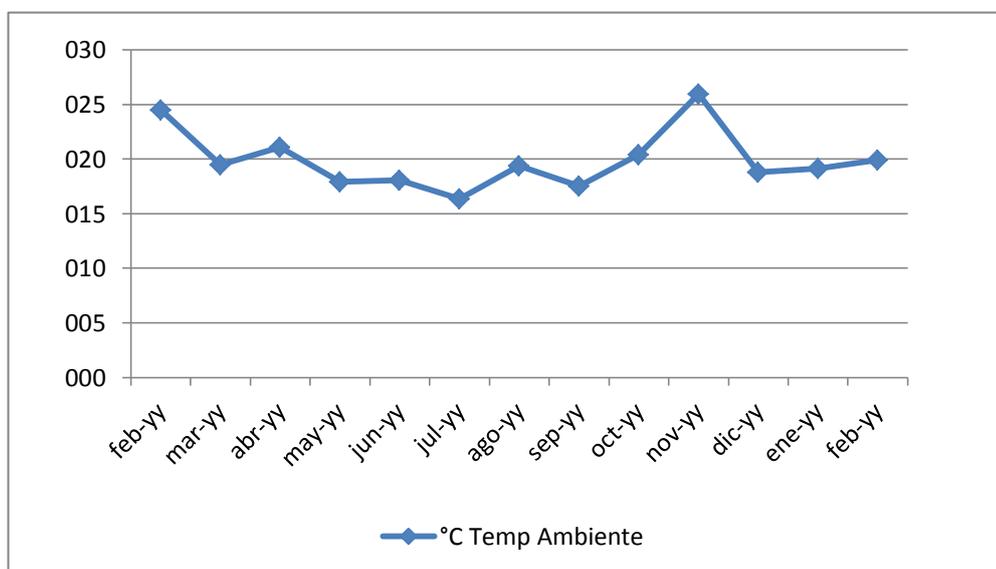


Figura 19. Temperatura ambiental en el área de estudio en el día del muestreo de gases.

Fuente. El autor.

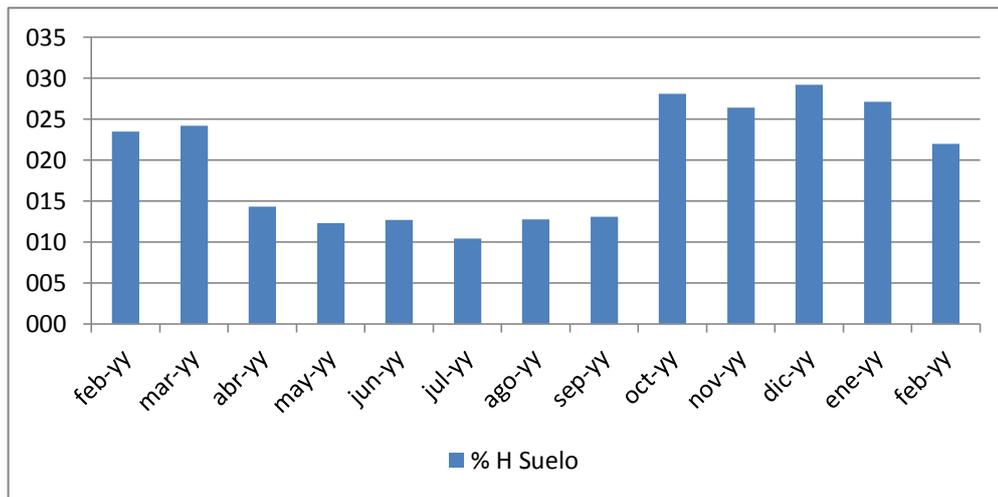


Figura 20. Humedad del suelo en el área de estudio en el día de muestreo de los gases.

Fuente. El autor.

Lo que se puede apreciar con los datos obtenidos de emisión de gases, es que de cierta manera lo que pudiera estar afectando también a la emisión de N_2O sería la temperatura y humedad del suelo, ya que al realizar una relación visual de las figuras 19 y 20 (temperatura ambiente y humedad del suelo respectivamente, en el día del muestreo de gases) con la figura 17 (Resumen de emisiones promedio mensuales de N_2O-N $mg/m^2/día$ de un año febrero 2011 – febrero 2012), podemos ver que esto si se aplica a nuestra investigación, el hecho que la temperatura y humedad afecten a la emisión de N_2O , lo que se debe mencionar aquí, es que está es una apreciación visual de las gráficas mencionadas, para constatar esto se debería de realizar una investigación en donde se obtengan más datos por tratamiento tanto de temperaturas como de humedades. Por ejemplo, en el mes de noviembre se puede ver que la temperatura ambiental es más elevada y así mismo se ve que la emisión de N_2O es un poco más alta que en los meses en donde las temperaturas nos son tan altas; por otra parte en los meses en los cuales la humedad del suelo es mayor, la emisión de gases se mantiene baja, con excepción de los meses en que se realizó la fertilización. Pero se recalca nuevamente que este análisis es visual y que si se quiere tener datos más certeros de esta apreciación se debería montar un experimento a más detalle para estas dos variables. Albanito et al. (2009) manifiesta que las emisiones de gas se correlacionan con el contenido de agua en el suelo, lo que quiere decir que las lluvias fuertes ayudan a que los gases del suelo no salgan a la atmosfera, lo que afecta significativamente a la emisión.

En otro estudio de emisión de gases realizado por Werner et al. (2006), en donde midieron la emisión de gases en un bosque tropical, dan a conocer que la temperatura y humedad no están afectando significativamente a la emisión de N_2O , esto no concuerda con nuestro estudio, pero hay que tomar en cuenta que las condiciones de suelo de un bosque tropical son diferentes a las de nuestra investigación.

Jiang et al. (2009), en un estudio realizado en un cultivo de arroz da a conocer flujos con mucha variación temporal, y manifiesta que el proceso de emisión de N_2O es muy complejo ya que no solo depende de las condiciones de humedad del suelo sino de muchos factores. Duxbury et al. (1993) dice que el conocimiento de emisiones de N_2O desde el suelo es aun incompleta, pero algunos estudios muestran que la agricultura intensiva ayuda al aumento del nivel de N_2O .

Como vemos en esta investigación, que el efecto de los fertilizantes ya sea de fuentes minerales u orgánicas están afectando a la emisión de N_2O , lo cual es perjudicial al medio ambiente. En todos los casos o tratamientos establecidos aquí se ha podido ver que lo importante en este momento es tratar de controlar las dosis de fertilizantes, especialmente las minerales. En lo que llevamos del estudio asumimos que la dosis del tratamiento MIN 2 sería la más adecuada, esto en base a los datos que se ha obtenido hasta el momento, para explicarlo mejor; la dosis MIN 2 pese a que está emitiendo una cantidad considerable de N_2O , es la que mas se acerca a ser amigable con el medio ambiente, con mantener el cultivo vigoroso tanto en calidad como en cantidad de producción y además es la que en relación a la parte económica sería la más viable. Como lo mencionamos antes que por datos obtenidos en entrevistas a los productores y datos de otro trabajo de producción de café que aún está en desarrollo en las mismas parcelas, se menciona que no hay gran diferencia en lo que respecta a producción entre el tratamiento MIN 2 y MIN 3 (Ver figura 21); el tratamiento MIN 1, pese a que emite menor cantidad de N_2O al ambiente, asumimos que no sería rentable para la producción ya que los datos obtenidos en cosecha son bajos comparados con el tratamiento MIN 2 y MIN 3. Otra alternativa a la producción de café según nuestra investigación es optar por los tratamientos orgánicos, los cuales están emitiendo menores cantidades de N_2O que los tratamientos minerales, esta opción ayudaría con la disminución de la

contaminación ambiental por N_2O , pero se vería afectada la producción por hectárea de café.

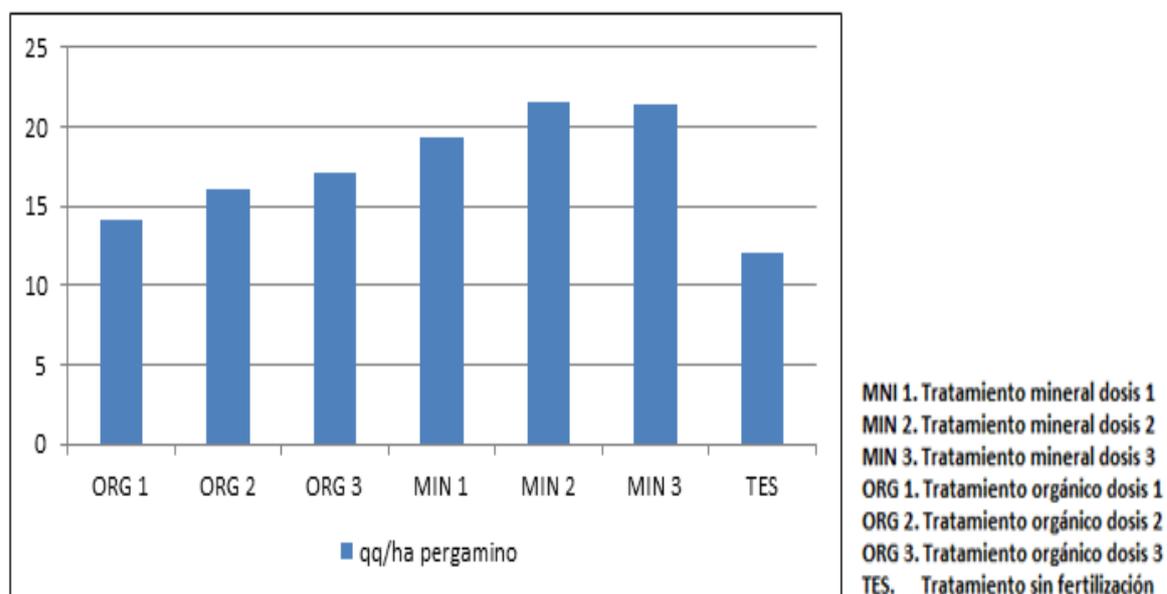


Figura 21. Producción de café en quintales/hectárea de las parcelas de trabajo (año 2011 - 2012).
Fuente. El autor.

A continuación se menciona algunas estrategias para mitigar los gases efecto invernadero provocados por la agricultura, entre ellos tenemos:

- Asesoramiento con respecto a la fertilización.
- Análisis de suelos y plantas.
- Cantidades de fertilizantes correctos.
- Épocas adecuadas de fertilización.
- Colocación del abono de forma correcta.
- Uso de fertilizantes de liberación lenta y menos contaminantes.
- Uso de fertilizantes orgánicos.
- Incorporación de las cosechas de los cultivos (de preferencia compostadas).
- Asociaciones de cultivos con especies fijadoras de nitrógeno.

Estas recomendaciones fueron extraídas y resumidas de la publicación de Flynn (2009), Agriculture and climate change: An agenda for negotiation in Copenhagen. The role of nutrient management in mitigation.

VI. CONCLUSIONES

La adición de fertilizantes químicos y orgánicos ha hecho que se incremente los niveles de N, P y K en el suelo de las parcelas en estudio, sin embargo este aumento en el suelo aún nos es el ideal para poder mantener una producción adecuada del cultivo.

La fertilización ya sea química u orgánica ayudo a incrementar los niveles de producción de café, destacándose los tratamientos mineral 2, mineral 3 y orgánico 3, que son en los que se pudo apreciar mejores condiciones en el cultivo y en producción.

Las emisiones de N_2O presentaron una tendencia estable a lo largo del experimento, mostrando una mayor acumulación durante las etapas de fertilización ya sea química u orgánica.

Las mayores emisiones acumuladas de N_2O en el periodo de febrero 2011 a febrero 2012 se dieron con la fertilización mineral 3 (MIN 3) y orgánica 3 (ORG 3), por lo que se puede decir que la fertilización química y orgánica si contribuyen a la emisión de flujos de N_2O , aunque cabe recalcar que el tratamiento MIN 3 (tratamiento químico en dosis más elevada) es el más perjudicial en este caso para el medio ambiente.

La presencia de mayor humedad en el suelo y bajas temperatura puede ayudar a que exista menor emisión de N_2O al ambiente, por lo que la fertilización mediante el riego por goteo sería una estrategia a investigar y considerar en plantaciones agrícolas de nuestra zona.

Para la producción agrícola hay que basarse en las buenas prácticas agrícolas, ya que es una de las maneras de mitigar los gases efecto invernadero.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar planes de fertilización adecuados al cultivo establecido, porcentaje de nutrientes en el suelo y planta; ya que es la manera más certera de ser más eficaces en el uso de fertilizantes.

Optar por alternativas amigables con el ambiente, ya sean a base de productos orgánicos o una combinación de fertilizantes químicos y orgánicos, lo correcto es establecer las dosis precisas, forma de aplicarlos y en el tiempo correcto.

En relación al muestreo de gases efecto invernadero, se debe realizar la toma de datos más seguidas, especialmente luego de las fertilizaciones, de esta manera estaremos más seguros de que las cantidades de flujos emitidos son los correctos y no se están dejando escapar posibles picos de emisiones al ambiente; esta toma de datos por lo menos tres veces en la primera y segunda semana luego de la fertilización, y en la tercera y cuarta semana un total de dos veces por semana y seguido a esto una vez por mes.

Otro punto a considerar sería que los muestreos de gases se los realice en condiciones de temperaturas y precipitaciones estables, ya que esto puede afectar los resultados de emisión de N_2O . Para esto se debería realizar trabajos en coordinación con personal que maneje la parte meteorológica.

Seguir realizando este tipo de investigaciones, ya que, pese que la provincia de Loja no es una de las ciudades que causa mayor grado de contaminación ambiental, será correcto que estemos pendientes de la contaminación generada por la agricultura y así poder analizar los posibles planes de mitigación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Adriano-Anaya L., Perezgrovas R., Rodríguez G.V., Salvador-Figueroa M. 2007. Dinámica de la fertilidad del suelo bananero con la adición de materia orgánica. En memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León de Guanajuato, México. pp. 143-145.

Albanito, F., Saunders, M., Jones, M. 2009. Automated diffusion chambers to monitor diurnal and seasonal dynamics of the soil CO₂ concentration profile. *European Journal of Soil Science*. 60. 507 – 514.

Araujo, C., Toth., S. 2006. El ciclo del nitrógeno. La nitrificación. Universidad Nacional del Comahue. Escuela Superior de Salud y Ambiente.

Arrieché, E. 2008 Efecto de La Fertilización Orgánica Y Química En Suelos Degradados Cultivados Con Maíz (*Zea mays* L.) en el estado Yaracuy, Venezuela. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid.

Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE), 2002. Café en Ecuador. Manejo de Broca del fruto (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Informe de Terminación de Proyecto de manejo Integrado de la Broca del Café. Manta – Ecuador.

Bard, O. y Probert, D. (1993). Oxides of nitrogen in the earth's atmosphere: trends, sources, sinks and environmental impacts. *Applied Energy*, 46, 1-67.

BIOFACH. 2000. International organic commodity trade fair. BIOFACH and IFOAM. Nürnberg, Germany.

Bremner, J. M., and S. Mulvaney C. 1982. Nitrogen total. In: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part II*. Am. Soc. Agron. No 9 in Agronomy Series. Madison, Wisconsin. USA. pp: 595–624.

Cañadas L, 1983. Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador. MAG - PRONAREG. Quito-Ecuador.

Carvajal JF., 1984 Cafeto: Cultivo y Fertilización, 2nd edn. International Potash Institute, Switzerland, 254 pp.

Carvalho,C.M.L., Fahl. J.I., Triveling, P.C.O., Queiroz-Voltan, R.B. 1999. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. Rev. Bras. Fis. Veg. vol. 11, p. 63-68.

Centro Nacional de investigaciones de café (CENICAFE). 2008. Fertilidad del Suelo y nutrición del Café en Colombia. Boletín Técnico Nro 32.

Chirinos, H. 2001. Fertilización del cafeto (*Coffea arábica*). Informaciones Agronómicas. INPOFOS (instituto de la potasa y el fosforo). Edición para México y norte de Centroamérica. Volumen 3.

Chirinos, J, Leal, A. y Montilla, J. 2006. Uso de insumos biológicos como alternativa para la agricultura sostenible en la zona sur del estado de Anzoátegui. CENIAP. (11): 1-7.

Ciampitti, I., Ciarlo, E., Conti, M., 2005. Emisiones de óxido nitroso en un cultivo de soja (*Glycine max* L.): Efecto de la inoculación y de la fertilización nitrogenada. Catedra de edafología de la FAUBA. San Martín 4453 (1417).

Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC). 2001. Producción de café arábigo: Guía para el caficultor ecuatoriano.

Consejo Cafetalero Nacional (COFECAC). 2005. Buenas Prácticas Agrícolas en la Caficultura Ecuatoriana. Primera edición.

Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC) e Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2006. Plan de investigación y desarrollo tecnológico cafetalero con enfoque participativo 2006-2015.

Consejo Cafetalero Nacional (COFECAC), 2011. Informe Técnico 2010. Portoviejo enero del 2011.

Corporación Ecuatoriana de Cafetaleros (COFERAC). 2010. Mapa Interactivo. Disponible en <http://www.corecaf.org/mapa.php>

Delgado. R., Salas. A. 2006. Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agronomía tropical*. 56 (3): 289-323.

Duicela. A.; Corral. R.; Rendón. M; Kruff. J. 2004. Cafés Especiales del Ecuador. COFENAC, Escoffee, Chantal Fontaine y PROMSA. Impreso por POLIGÁFICA C:A: Guayaquil-Ecuador.

Duicela. A. 2011. Manejo Sostenible de Fincas Cafetaleras: buenas prácticas en la producción de café arábigo y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. Primera edición. Impression CGRAF, Manta – Ecuador.

Duxbury, J., Harper., and Mosier, A. 1993. Madison, WI, Chap. 26. Contributions of aerocosvstems to alobal climate channe. Lachat Instruments Co. (1990) Methods Manual for the In Agricultural E'Eosystek Effects ;n Trace Gases a-& Global Climate Change (edited by Harper L. A. et al.), pp. 1-18. ASA Spec. Publ. No. 55. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

Espinoza, R. 1997. Estudios etnobotánicos en el Sur del Ecuador (segunda edición). Loja: Herbario Loja y Universidad de Aarahus.

FAOCLIM 2, 2010. Environment, Climate, Change and Use Bioenergy Division. World – wide agroclimatic date. Enero/2010. (Consultado el 9 de febrero del 2012) [En línea] Disponible en: http://www.fao.org/nr/climpag/pub/EN1102_en.asp.

Ferreira O, 2008. Flujos de Gases de Efecto Invernadero, potencial de Calentamiento Global y evaluación de emergía del sistema agroforestal Quesungual en el Sur de Lempira, Honduras. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Flynn, H., 2009. Agriculture and climate change: An agenda for negotiation in Copenhagen. The role of nutrient management in mitigation. Focus 16. Rief 7.

Fundación para el Desarrollo Socio Económico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM). 2010. Guía para la innovación de la caficultura. De lo convencional a lo orgánico. San Salvador, El Salvador.

Fundación Produce Chiapas y el instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 2003. Programa estratégico de necesidad de Investigación y transferencia de Tecnología del estado de Chiapas. Cadena Agroalimentaria del Café. México.

Fúnez, R., Trejo, A., Pineda, A., 2004. Manual técnico. Un enfoque de manejo integrado para el sostenimiento de la fertilidad de los suelos y la nutrición de los cultivos. Instituto hondureño del café. Santa Barbara.

GEO Loja. 2007. Perspectivas del medio Ambiente Urbano. Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, la Municipalidad de Loja y naturaleza y Cultura Internacional. ISBN. 978-9942-01-460-3

Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC), 2001. Cambio Climático 2001. Informe de Síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático.

Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC), 2007 Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis.

Hernández, E., Cuevas, A., Robledo E., Rubiños E. 2007. Aportaciones de materia orgánica en suelos agrícolas del municipio Texcoco. En memorias del XVII.

Holland, E., Robertson, G., Greenberg, J., Groffman, P., Boone R., Gosz, J. 1999. Soil CO₂ N₂O and CH₄ exchange. En: Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press. pp. 185-201.

Instituto de Café de Costa Rica (ICAFFE). 1998. "Manual de recomendaciones para el cultivo del café". 1ª ed. Heredia, Costa Rica, 193 pp.

Instituto Hondureño del Café (IHCAFE). 2001. Variedades y Mejoramiento Genético del Café. Manual de Caficultura 3ra edición. Pag. 23 – 27.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2011. Censo Nacional Agropecuario. Loja, Ecuador.

Iñiguez, M. 1996. Fertilidad y fertilización del suelo; Universidad Técnica de Machala; Facultad de agronomía y Veterinaria; Escuela de Ingeniería Agronómica; Machala – Ecuador.

Irañeta, J., Sánchez, L., Malumbres, A., 2010. Agricultura, fertilización y medio ambiente: artículo 1. Importancia Agronómica y medioambiental de la fertilización. Navarra Agraria.

ITG Agrícola. 2010. Situación de la materia orgánica en el suelo de navarro. XXI Jornadas Amantes de la Basura. Panplona.

Jiang, C., Wang, Y., Hao, Q., Song, C. 2009. Effect of land-use change on CH₄ and N₂O emissions from freshwater marsh in Northeast China. El Sevier. Atmospheric Environment 43 (2009) 3305–3309.

Koehler, B., Corre, M. D., Veldkamp, E., Wullaert, H., and Wright, J. S. 2009. Immediate and long-term nitrogen oxide emissions from tropical forest soils exposed to elevated nitrogen input, *Global Change Biology*.

Kroeze, C., Mosier, A. and Bouwman, L. (1999) Closing the global N₂O budget: A retrospective analysis 1500-1994. *Global Biogeochemical Cycles*, 13, 1-8.

LeaMaster, B., Hollyer, J. R. y Sullivan, J. L. 1998. Composted animal manures: Precautions and processing. *Animal Waste Management*. 1:1-5.

Leroy, B. L. M., Herath, H. M. S. K., Sleutel, S., De Neve, S., Gabriels, D., Reheul, D. y Moens, M. 2008. The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. *Soil Use and Management*. (2): 139-147.

Lofffield, N., Flessa, H., Augustin, J., Beese, F. 1997. Automated gas chromatographic system for rapid analysis of the atmospheric trace gases CH₄, CO₂ and N₂O. *J Environ Quality* 26: 560-564.

Lyngbæk, A. 2000. Organic coffee production: a comparative study of organic and conventional smallholdings in Costa Rica. MPhil Thesis. University of Wales, Bangor, UK, 181 pp.

Lyngbæk, A., Muschler, R., Sinclair, F. 2001. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53: 205 – 213.

Madsen, J., Cotton, E., Balslev, H. (Eds.). 2002. *Botánica Austroecuatorialiana: Estudios sobre los Recursos Vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. Ediciones Abya Yala, Quito. EC, pp. 1-28.

Maestri, M. and Santos, R. 1977. Coffee. In: Alvim T de P and Kozlowski TT (eds) *Ecophysiology of Tropical Crops* (pp 249–278). Academic Press, London, UK.

Marino, M. A., Mazzanti, A., Assuero, S., Gastal, F., Echeverría, E. y Andrade, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agronomy Journal*. 96 (3): 601-607.

Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos. Dirección General de Geología y Minas (1975). Mapa Geológico del Ecuador (escala 1: 100.000). Hoja 56. Quito, Ecuador.

Montenegro, J., Abarca S. 2002. Los sistemas silvopastoriles y el calentamiento global: un balance de emisiones. *Agronomía Costarricense* 26 (1). pp. 17-24

Mora, N. 2008. Agro cadena de café. Artículo técnico del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Huetaar Norte.

Mosier, A, Duxbury, J., Freney, J, Heinemeyer, O.,& Minami, K. 1998. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assesment, measurement and mitigation. *Plant and Soil* 181: 95-108.

Murphy, J., Riley, H. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). 2002. *Agricultura Mundial: Hacia los años 2015/2030*. Producido por el Departamento de Desarrollo Económico y Social, ISBN, 9253047615.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2002. *Nutrición Humana en el Mundo en desarrollo*. Capítulo 34. Mejoramiento de la calidad y seguridad de los alimentos. Departamento de Agricultura.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2002. *Perspectivas para el Medio Ambiente*. Agricultura y Medio Ambiente.

Organización Internacional del Café (ICO). 2011. Informe sobre el mercado del café en línea). Londres, UK. Consultado 20 ene. 2012. Disponible en www.ico.org.

Paneque, V., Calaña, J. 2004. Abonos Orgánicos, conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. Folleto Técnico. Asociación Cubana de técnicos Agrícolas y forestales. La Habana, Cuba. 54 p.

Papadakis, J. 1980. El Clima. Ed. Albatros. Buenos Aires.

Perdomo, C., Barbazán, M., Durán, J. S.f.b Nitrógeno. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, Uruguay.

Pirela, M. F., Clavero, T., Fernández, L. y Sandoval, L. 2006. Balance del nitrógeno en el sistema suelo-planta con pasto Guinea (*Panicum máximum Jacq*) en condiciones de bosque seco tropical. Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ). 23: 80-91.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2005. Proyecto de ciudadanía ambiental global. ISBN 968-7913-38-X Impreso en México - Enero 2005.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2007. Perspectivas del Medio Ambiente Urbano GEO Loja. Producido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Oficina Regional para América Latina y el Caribe), la Municipalidad de Loja y Naturaleza y Cultura Internacional. Cap. 1 pgs 35 – 45.

Quizhpe, W., Aguirre, Z., Cabrera, O., Delgado, T.2002. Los Paramos del Parque Nacional Podocarpus. En Botánica Austroecuatorial: Estudio sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.

Rice, R.R., y J.R. Ward. 1997. El Café, la conservación del medio ambiente y el comercio en el hemisferio occidental. Smithsonian Institution. ISBN 1-881230-06-6.

151 Rivera, R. 1991. Densidad de plantación y aprovechamiento del fertilizante nitrogenado en el cultivo del cafeto, variedad Caturra, sobre suelos Ferralíticos Rojos compactados. *Cultivos Tropicales* 12(3):5-8.

Rochette, P, Angers, D., Belanger, G., Chantigny, M., Prevost, D. & Levesque, G. 2004. Emissions of nitrous oxide from alfalfa and soybean crops in eastern Canada. *Soil Science Society of America Journal* 68: 493-506.

Rondón, M. 2000. Land use and balances of greenhouse gases in Colombian Tropical Savannas. Ph.D. Thesis. Cornell University. USA. pp. 211.

Roskoski, J. 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation, instituto nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. *Plant and soils* 67,283 – 291.

Salas, R., Bornemisza E., Zapata F., Chaves V., Rivera A (2002) Absorción del fertilizante nitrogenado por la planta de café y su influencia sobre la contaminación de las aguas subterráneas. In: Reynolds-Vargas J (ed) *Manejo Integrado de Aguas Subterráneas*. EUNED, San José, Costa Rica, pp 89–104.

Sánchez, P. 1982. Nitrogen in shifting cultivation systems of Latin America. *Plant and Soil* 67,91 (1982). 0032-079X/82/0671-0091501.95.

Sequi, P. 1999. Usos de los fertilizantes orgánicos: una estrategia a nivel mundial para la agricultura y para el ambiente. Conferencia No. 4, del XV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA), estado Lara. 12p.

Sierra, R. (Ed), 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF y EcoCiencia. Editorial Universitaria UTPL-Loja, Quito, EC.

Sierra, C. 2003. "Fertilización de cultivos frutales en la zona norte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigaciones Intihuasi (La Serena). Boletín INIA N° 97, 72 p.

Sitaula, K., Beakken, L., Abrahamsen, G. 1995. CH₄ uptake by temperate forest soil: effect of N input and soil acidification. *Soil Biol. Biochem.* 27, 871-880.

Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. 1986. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León de Guanajuato, México. pp. 895-897.

Sosa, O. 2005. Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. *Agromensajes*. 16(8): 30-34.

Soto, A.F.; Hernández, A.P.; Tejeda, T.; Zamora, E.; Chaterlán, Y.; Fugueredo, A.; Fuente, P.; González, H. 1999. Zonificación agroecológica preliminar del cafeto en el macizo montañoso Sgua-Nipe- Baracoa. Simposio Internacional de Café y cacao. CUBACAFÉ 99, Programa de Conferencias y Resúmenes. Santiago de Cuba, 25-27 de Noviembre.

Soto, M. 2003. Abonos orgánicos: definiciones y procesos. En: *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impactos en la agricultura*. Ed Meléndez, G. San José, Costa Rica. pp. 20-49.

Suarez, D., 1996. *Methods of soil analysis: Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium*. SSSA, Madison, WI.

Ureña, D. 2009. *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en el Cultivo de Aguacate*. Centro Agrícola Cantonal de Torrazú.

Valencia, G. 1998. *Manual de Nutrición y Fertilización del Café*. Instituto de la Potasa el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador.

Vázquez, A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y del suelo. 2ª edición. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 31 p.

Watson, RT. 1992. Climate Change 1992, The supplementary reports to the IPCC scientific assesment. In: Greenhouse Gases: Sources and Sinks. Eds. J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney. Pp 25-46. Cambridge Univ. Press, New York, NY, USA. 308p.

Werner, C., Zheng, X., Tang Jie B.; Liu, C.; Kiese, R.; Butterbach, K. 2006. N₂O, CH₄ and CO₂ emission from seasonal tropical rainforest and rubber plantation in Southwest China. Plant Soil (2206) 289:335-353.

Williams, P. 2003. Manejo sustentable del suelo (parte III). Cartilla de divulgación 4. FAO. Roma. 1-8.

IX. ANEXOS

Datos de emisiones de N₂O durante el periodo de muestreo (1 año, en el cultivo de café.

Febrero 2011

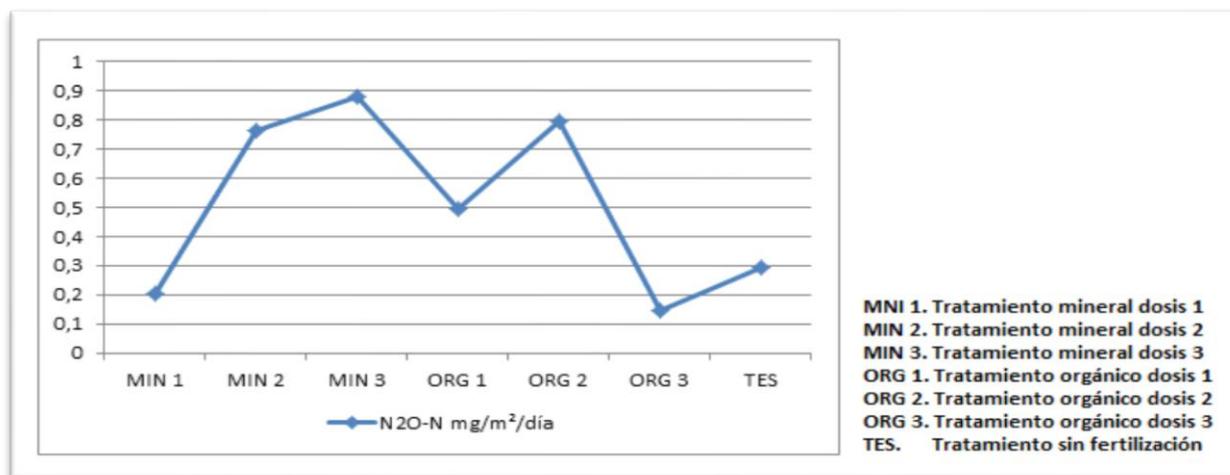


Figura 22. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de febrero 2011.
Fuente: El autor

Marzo 2011

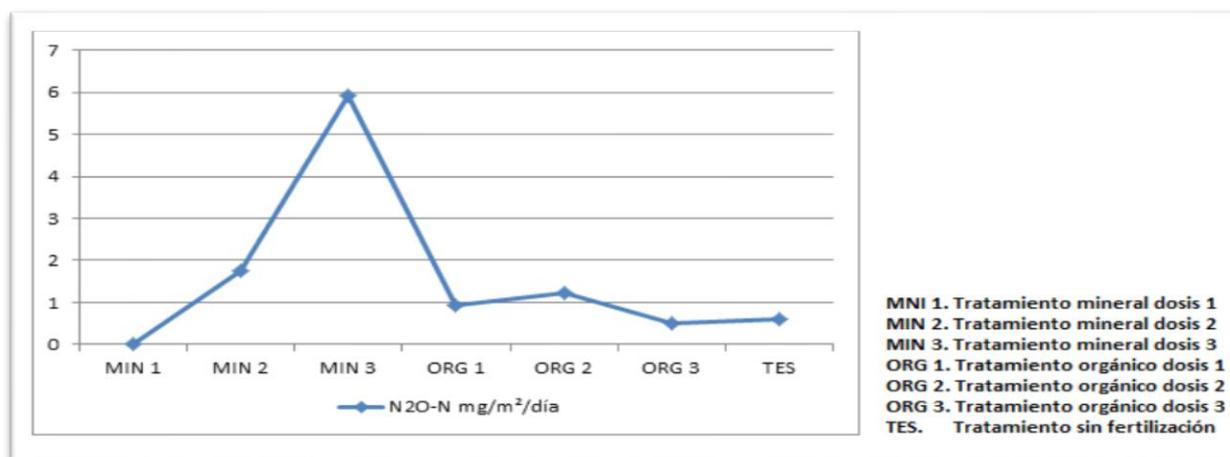


Figura 23. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de marzo de 2011.
Fuente: El autor

Abril 2011

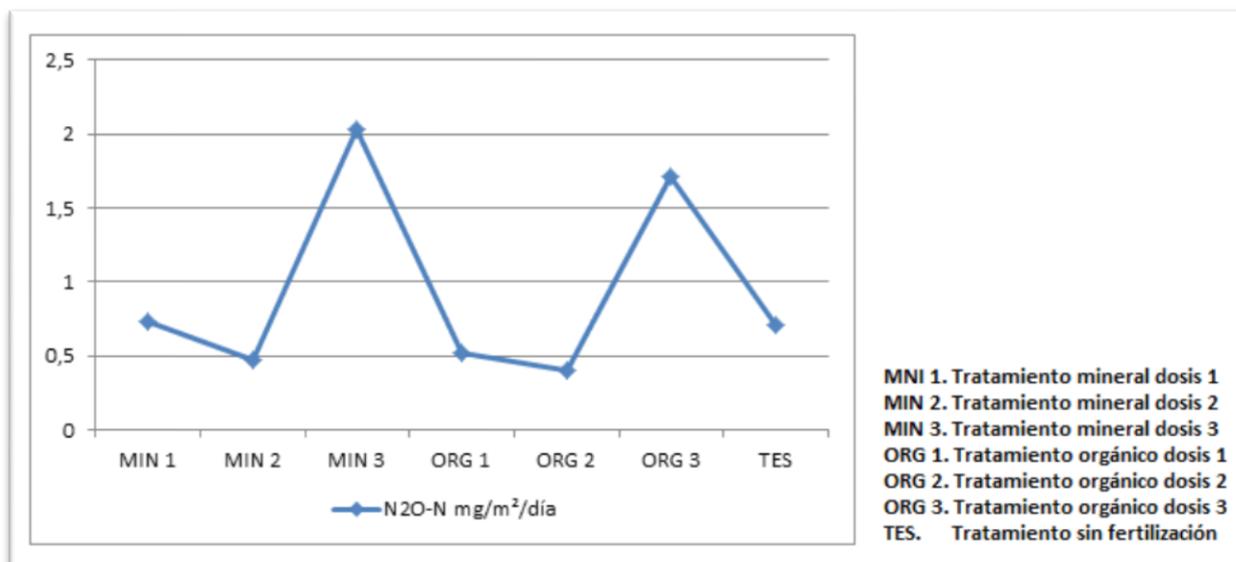


Figura 24. Emisiones de N2O-N mg/m²/día del mes de abril 2011.
Fuente: El autor

Mayo 2011

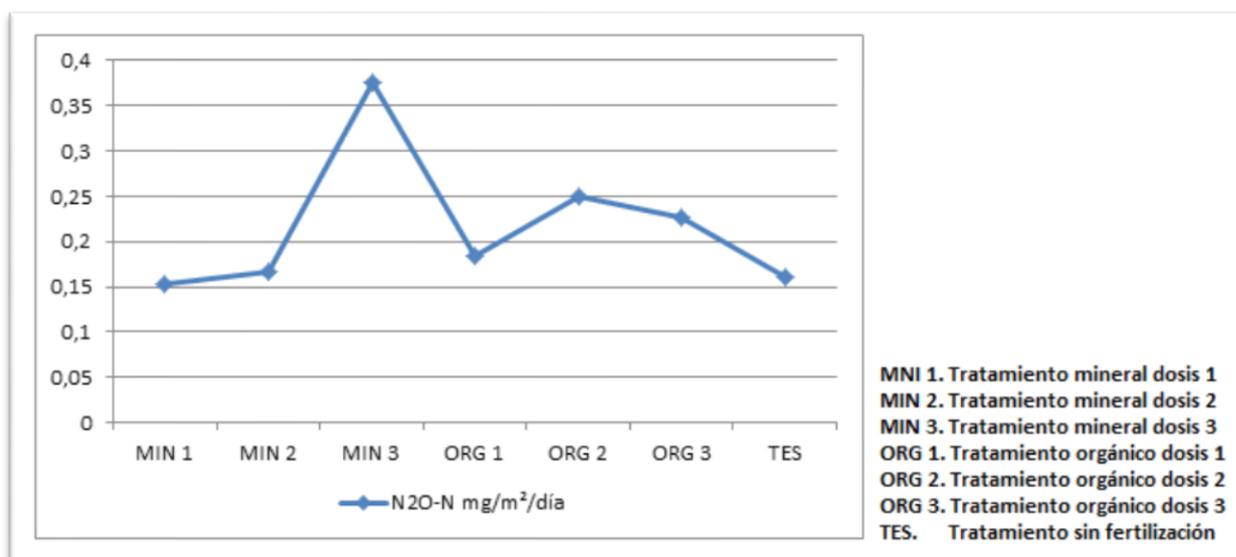


Figura 25. Emisiones de N2O-N mg/m²/día del mes de mayo 2011.
Fuente: El autor

Junio 2011

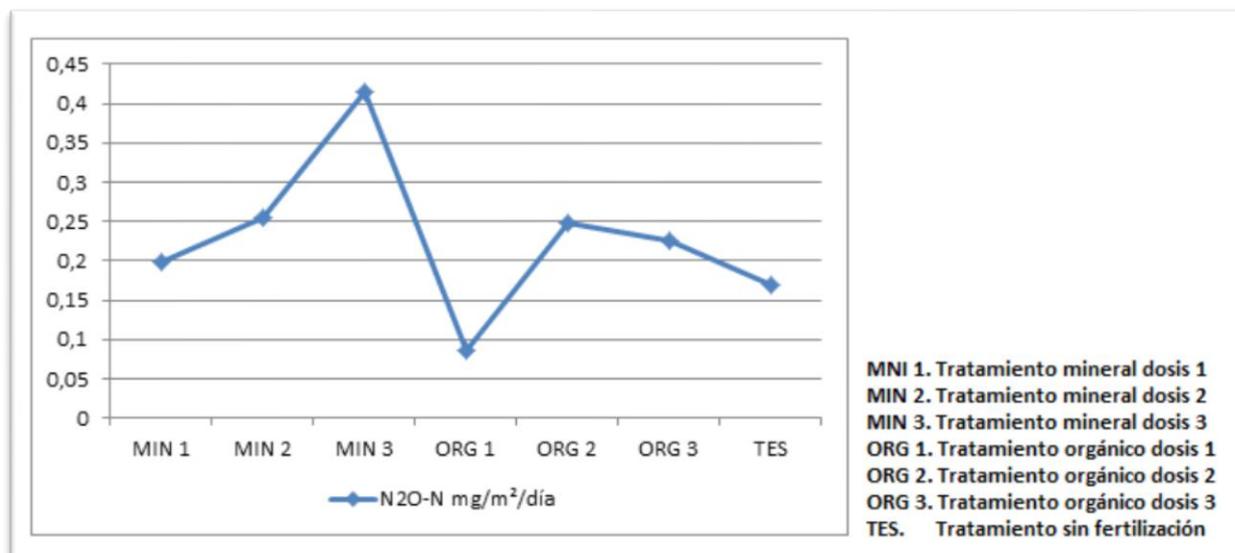


Figura 26. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de junio 2011.
Fuente: El autor

Julio 2011

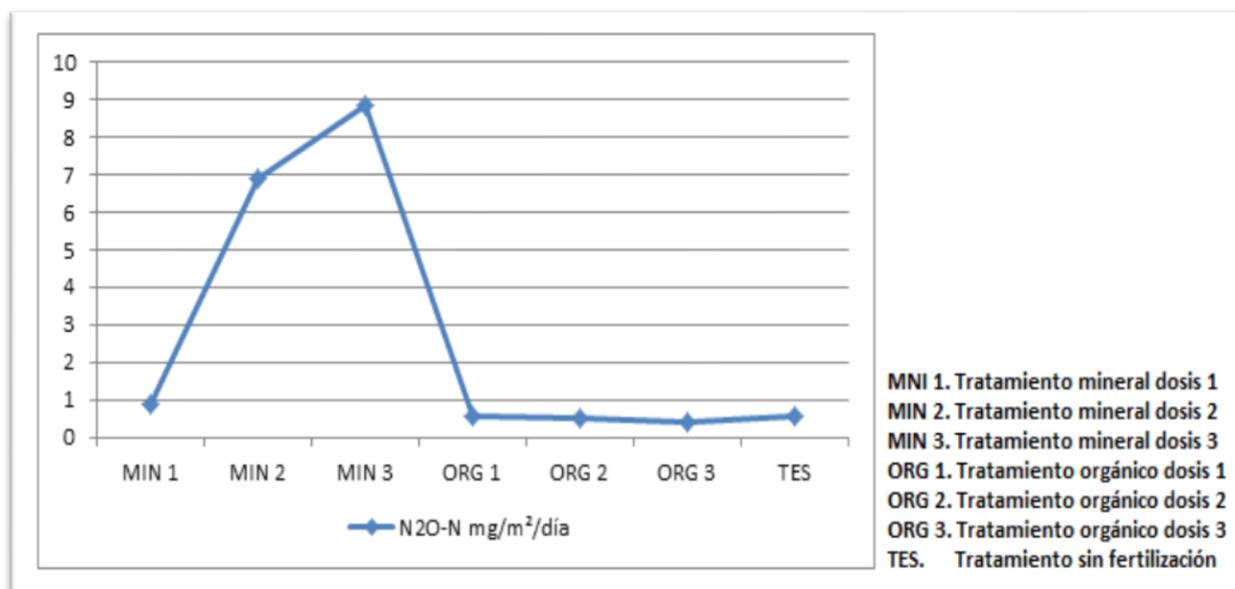


Figura 27. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de julio 2011.
Fuente: El autor

Agosto 2011

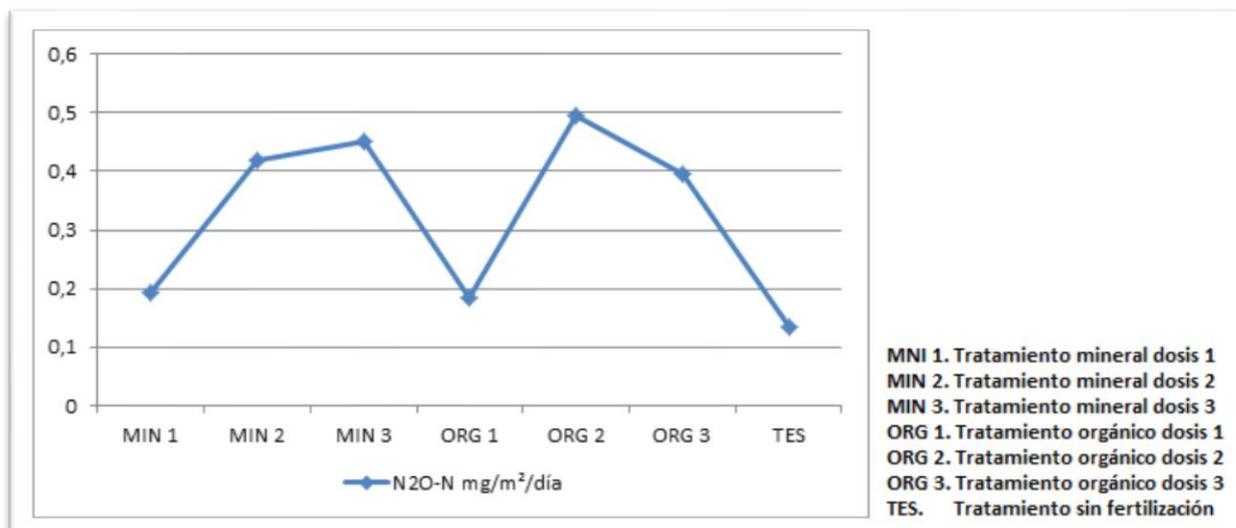


Figura 28. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de agosto 2011.
Fuente: El autor

Septiembre 2011

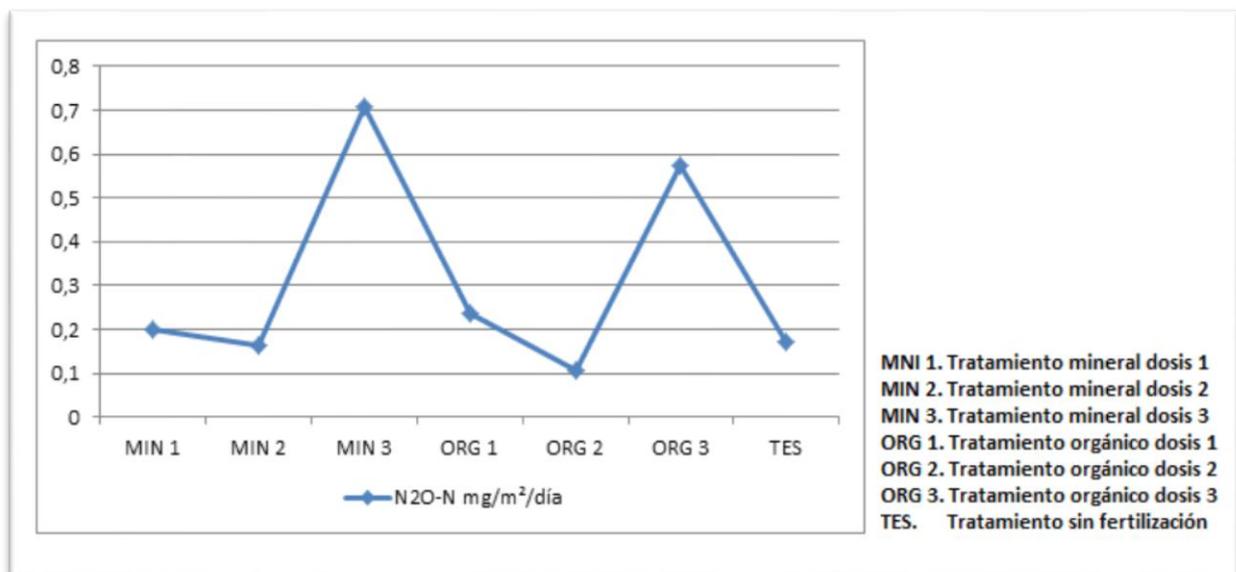


Figura 29. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de septiembre 2011.
Fuente: El autor

Octubre 2011

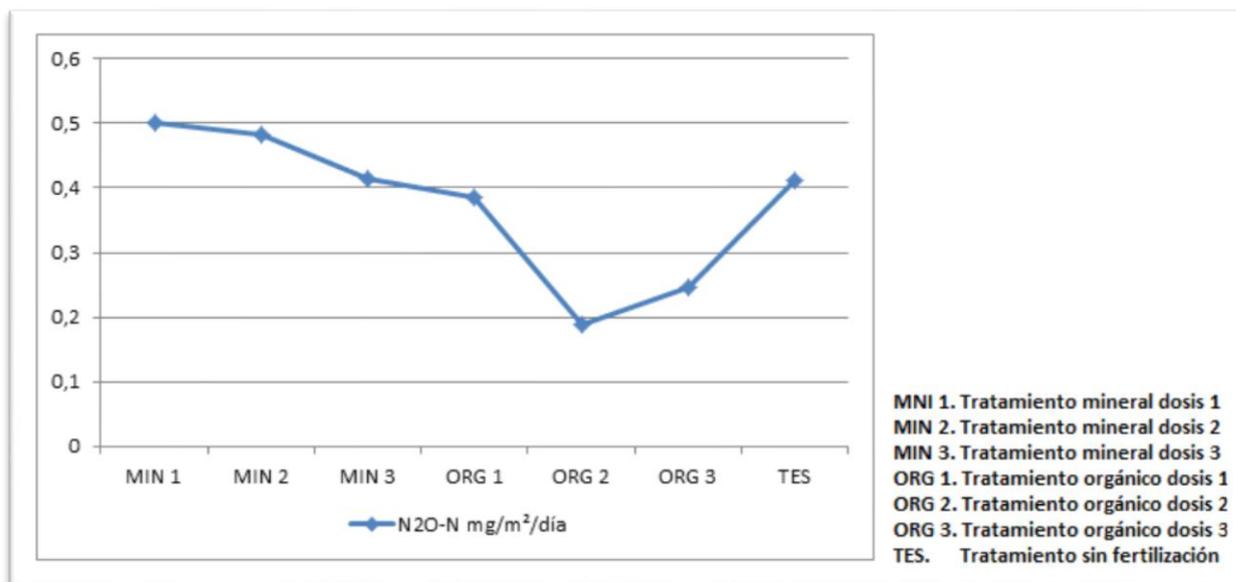


Figura 30. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de octubre 2011.
Fuente: El autor

Noviembre 2011

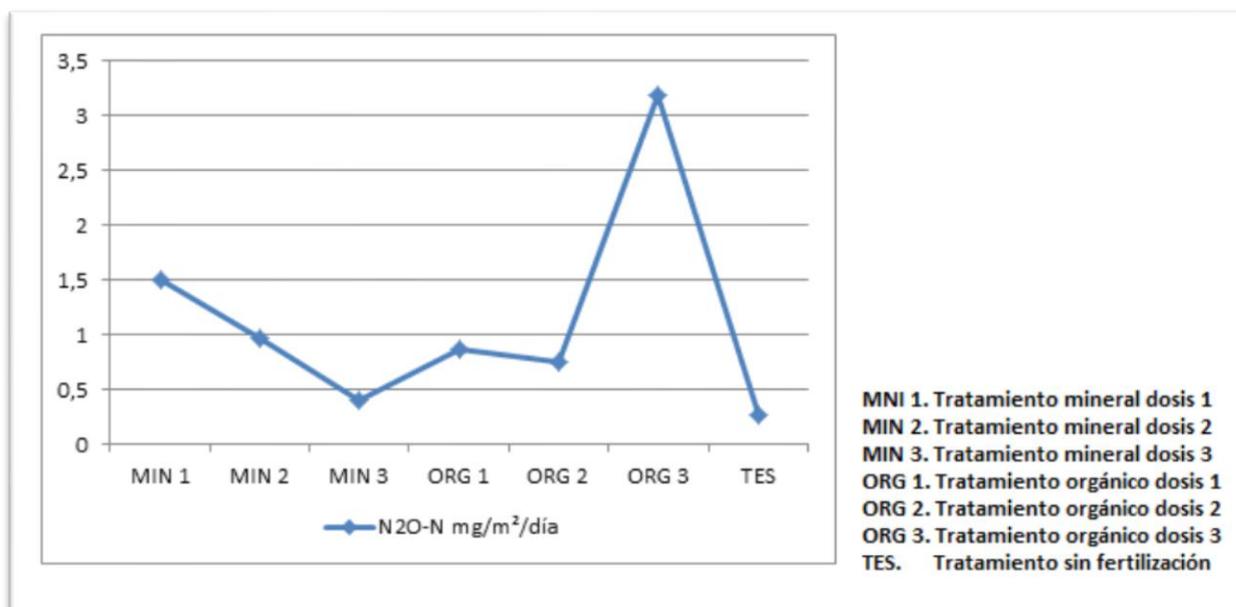


Figura 31. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de noviembre 2011.
Fuente: El autor

Diciembre 2011

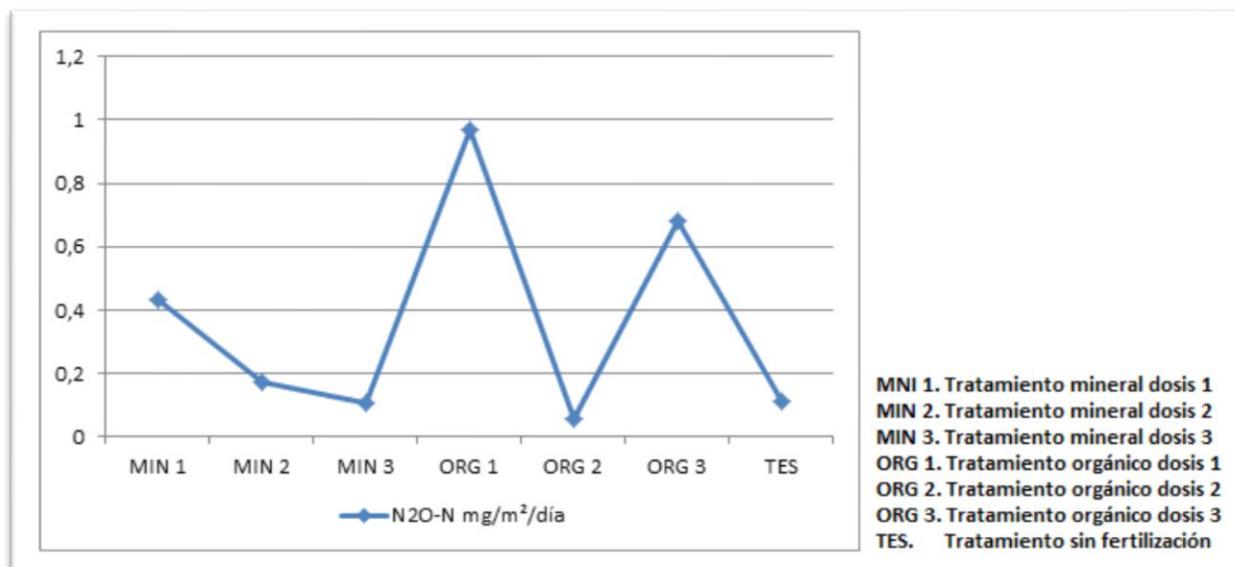


Figura 32. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de diciembre 2011.
Fuente: El autor

Enero 2012

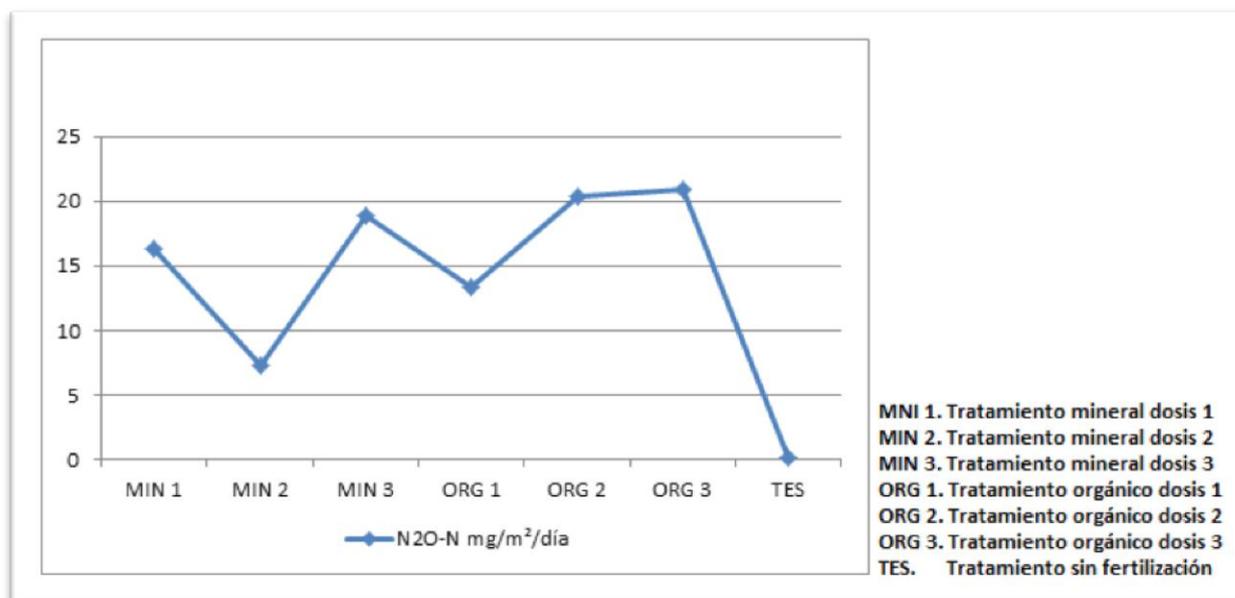


Figura 33. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de enero 2012.
Fuente: El autor

Febrero 2012

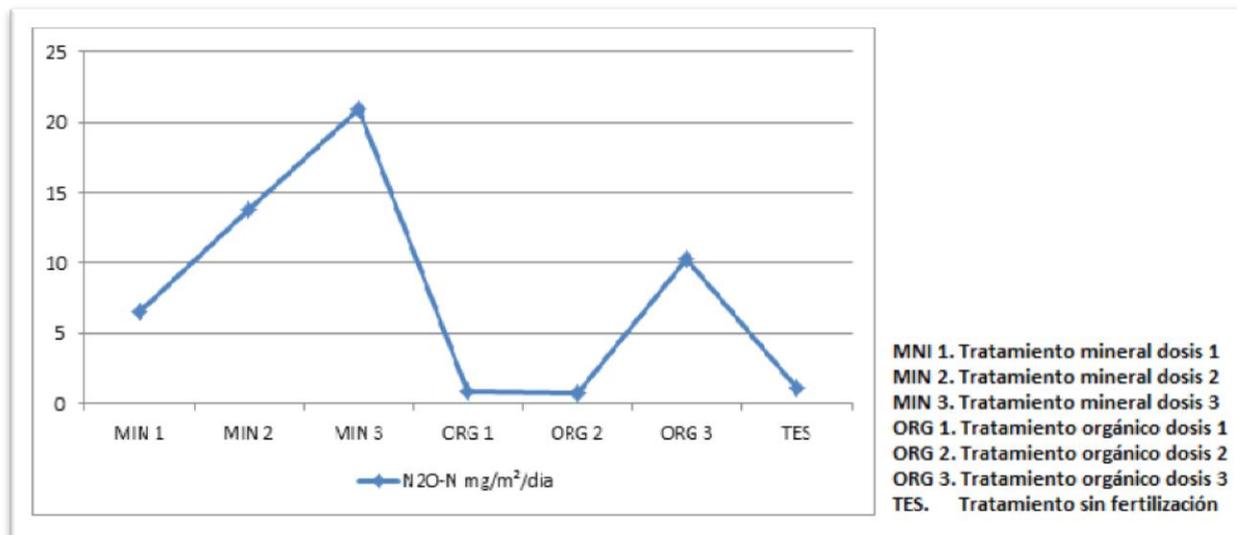


Figura 34. Emisiones de N₂O-N mg/m²/día del mes de febrero 2012.
Fuente: El autor



Figura 35. Planta de café. Variedad Caturra rojo.
Fuente: El autor



Figura 36. Etiquetado de plantas para la investigación.
Fuente: El autor



Figura 37. Delimitación de parcelas de café para.
Fuente: El autor



Figura 38. Fertilización del cultivo de café (en corona).
Fuente: El autor



Figura 39. Muestreo de N₂O en el área de estudio.
Fuente: El autor



Figura 40. Registro de temperaturas en las parcelas de muestreo.
Fuente: El autor



Figura 41. Lectura de muestras de N₂O por cromatografía de gases.
Fuente: El autor



Figura 42. Preparación de muestras de suelos para análisis de nitrógeno fósforo y potasio.
Fuente: El autor



Figura 43. Análisis de las muestras de suelos por espectrofotometría.
Fuente: El autor

Tabla 6. Datos mensuales de las temperaturas ambientales y humedad del suelo en las fechas de muestreo.

Mes	°C Temperatura Ambiente	% de Humedad
		Del Suelo
feb-11	24,48	23,44
mar-11	19,45	24,18
abr-11	21,08	14,30
may-11	17,91	12,29
jun-11	18,04	12,69
jul-11	16,34	10,41
ago-11	19,39	12,75
sep-11	17,50	13,08
oct-11	20,41	28,09
nov-11	25,97	26,37
dic-11	18,78	29,21
ene-12	19,13	27,11
feb-12	19,91	21,97

Fuente: **El autor**