

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA
DE AMAZONAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EMISIÓN DE DIOXIDO DE CARBONO DEL SUELO DE CULTIVOS
DE IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO
DEL MAINO, CHACHAPOYAS, REGION AMAZONAS, 2017**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

Autor: Bach. Waldir Francisco Cotrina Ruiz

Asesor: Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Co – asesor: Ing. Cristóbal Torres Guzmán

CHACHAPOYAS – PERU

2017

DEDICATORIA

A mis padres Teresa y José, por toda la confianza y esfuerzo que hicieron, a los cuales les debo la vida, a ellos que merecen todo y han recibido tan poco, a ustedes con todo mi amor.

A mis hermanos Julia y José, por todo su amor incondicional, los cuales son mi fortaleza y aliento para seguir siempre adelante.

Waldir.

AGRADECIMIENTO

A Dios por toda la felicidad, beneficios y logros que he recibido, gracias mi Dios por todo lo que haces por mí.

A mis asesores Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón y al Ing. Cristóbal Torres Guzmán, por su apoyo moral y académico en la elaboración y ejecución de esta tesis.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), por el apoyo y colaboración en la ejecución de esta tesis.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO
RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la tesis titulada:

EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO DE CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO DEL MAINO, CHACHAPOYAS, REGION AMAZONAS, 2017.

Del Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-A:

Bach. Waldir Francisco Cotrina Ruiz

El docente de la UNTRM-A que suscribe, da el visto bueno al informe final de la tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el jurado evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 15 de Diciembre del 2017

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
Asesor

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

El profesional que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la tesis titulada:

**EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO DEL SUELO DE CULTIVOS DE
IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO DEL MAINO,
CHACHAPOYAS, REGION AMAZONAS, 2017.**

Del Bachiller de la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-A:

Bach. Waldir Francisco Cotrina Ruiz

El profesional que suscribe, da el visto bueno al informe final de la tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 15 de Diciembre del 2017

Ing. Cristóbal Torres Guzmán
Co - asesor

JURADO

Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMAN
Presidente

MSc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ
Secretario

Ing. ELÍ PARIENTE MONDRAGÓN
Vocal

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos	4
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Gases de efecto invernadero (GEI).....	9
3.2. El suelo formador de anhídrido carbónico (CO ₂)	12
3.3. Definición de términos básicos.....	13
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	20
4.1. Área de estudio	20
4.2. Diseño de investigación	35
4.3. Población, muestra y muestreo	35
4.4. Métodos, técnicas e instrumentos	35
V. RESULTADOS	50
5.1. Variable ambiental	50
5.1.1. Emisión de CO ₂ del suelo.....	50
5.2. Variables físicas	51
5.2.1. Materia orgánica del suelo.....	51
5.2.2. Densidad aparente del suelo	52
5.2.3. Humedad del suelo	53
5.2.4. Temperatura del suelo	54
5.3. Variables químicas.....	55
5.3.1. pH del suelo.....	55
5.4. Variable morfológica	56
5.4.1. Edad del cultivo.....	56
VI. DISCUSIÓN	59
VII. CONCLUSIONES	63
VIII. RECOMENDACIONES	64

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de las parcelas de estudio.....	21
Figura 2. Mapa climático de las parcelas de estudio	25
Figura 3. Mapa geomorfológico de las parcelas de estudio	27
Figura 4. Mapa geológico de las parcelas de estudio	29
Figura 5. Mapa tipos de suelo de las parcelas de estudio.....	31
Figura 6. Mapa uso actual del suelo de las parcelas de estudio.....	34
Figura 7. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en sistema de cultivo de maíz	38
Figura 8. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en sistema de cultivos de papa.....	39
Figura 9. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en el bosque natural	40
Figura 10. Valores de emisiones de CO ₂ de sistemas de cultivo y bosque natural	50
Figura 11. Valores de M. O. del suelo: Sistemas de cultivo y bosque natural	51
Figura 12. Valores de D. A. del suelo de sistemas de cultivos y bosque natural	52
Figura 13. Valores de humedad del suelo de sistemas de cultivo y bosque natural.....	53
Figura 14. Valores de temperatura del suelo de sistemas de cultivo y bosque natural	54
Figura 15. Valores de pH del suelo de los sistema de cultivo y bosque natural.....	55
Figura 16. Valores de emisiones de CO ₂ de suelo del sistema de cultivo de maíz	56
Figura 17. Valores de emisiones de CO ₂ del suelo del sistema de cultivo de papa	57
Figura 18. Valores de emisiones de CO ₂ del suelo del bosque natural	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las parcelas de estudio.....	20
Tabla 2. Precipitación total promedio mensual	22
Tabla 3. Temperatura promedio anual.....	23
Tabla 4. Evaluación de los parámetros y característica ambiental del suelo.....	36
Tabla 5. Tipo del suelo en función al contenido de materia orgánica	47
Tabla 6. Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Emisión de CO ₂ del suelo en las tres etapas de	73
Anexo 2. Parámetro químico del suelo en las tres etapas de muestreo	73
Anexo 3. Parámetros físicos del suelo en las tres etapas de muestreo	74
Anexo 4. Distribución de indicadores estadísticos de los parámetros físicos, químicos y característica ambiental del suelo en las tres etapas de muestreo.....	75
Anexo 5. Recolección de muestra para el análisis físico del suelo (etapa de siembra).....	76
Anexo 6. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de florecimiento)	77
Anexo 7. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de cosecha)	78
Anexo 8. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de siembra)	79
Anexo 9. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de florecimiento)	80
Anexo 10. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de cosecha) ..	81
Anexo 11. Análisis ambiental de muestras en laboratorio de sistemas de cultivo y bosque natural (etapa de siembra).....	82
Anexo 12. Análisis ambiental de muestras en laboratorio de sistemas de cultivo y bosque natural (etapa de florecimiento).....	83
Anexo 13. Análisis ambiental de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de cosecha).....	84
Anexo 14. Análisis físico-químico de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de siembra)	85
Anexo 15. Análisis físico-químico de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de florecimiento)	86
Anexo 16. Análisis físico-químico de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de cosecha)	87
Anexo 17. Entrevista simple al dueño del sistema de cultivo de maíz.....	88
Anexo 18. Entrevista simple al dueño del sistema de cultivo de papa.....	89
Anexo 19. Galería fotográfica	90

RESUMEN

En la presente investigación se evaluaron las emisiones de anhídrido carbónico (CO₂) del suelo de dos sistemas de cultivos de importancia económicas como la “papa, (*Solanum tuberosum*)” y “maíz (*Zea mays*)” además de un “bosque natural”, relacionados a parámetros físicos, químicos y morfológicos en el Distrito de San Isidro del Maino, Región Amazonas; realizándose para ello un estudio descriptivo. Los muestreos en campo y análisis en el laboratorio se llevaron a cabo entre Febrero-Julio 2017 (época de lluvia), durante este periodo se establecieron tres etapas de muestreo (etapa de siembra, etapa de florecimiento y etapa de cosecha del cultivo), donde se seleccionaron un total de 10 puntos de muestreo para emisiones de CO₂ del suelo por parcelas de estudio en las tres etapas, obteniendo tres muestras representativas de emisión de CO₂ del suelo, Se encontró que las emisiones de CO₂ del suelo están influenciadas significativamente por los parámetros físicos del suelo con una correlación alta positiva de 0,725, además se encontró que existe una diferencia significativa entre las emisiones de CO₂ del suelo del sistema de cultivo de papa con respecto al bosque natural; al mismo tiempo se observó que el sistema de cultivo de papa presentó mayor emisión de CO₂ del suelo con un promedio de 254,29 mg CO₂/m².h, seguido del sistema de cultivo de maíz durante su desarrollo con un promedio de 220,10 mg CO₂/m².h y finalmente el bosque natural con un promedio de 197,93 mg CO₂/m².h. Además, se registraron contenidos de materia orgánica del suelo de 7,44 %, 4,05 % y 3,06 %, para el bosque natural y los sistemas de cultivo de papa y maíz respectivamente. Así mismo, se obtuvieron datos de densidad aparente del suelo de 1,1 g/cm³, 1,1 g/cm³, y 0,9 g/cm³, para los sistemas de cultivo de maíz, papa bosque natural, respectivamente. Se registró una humedad, de 26,1 %, 23,3 % y 18,5 % para el bosque natural y los sistemas de cultivo de papa y maíz, respectivamente. Se registraron valores de temperatura del suelo de 15, 14,8 y 14,2 °C, para los sistemas de cultivo de maíz, papa y bosque natural, respectivamente; y finalmente, se registraron valores de pH del suelo de 7,43, 6,54 y 5,96, del bosque natural y los sistemas de cultivo de papa y maíz, respectivamente.

Palabras claves: Emisiones gaseosas, anhídrido carbónico, maíz, papa, bosque natural.

ABSTRACT

In the present investigation the emissions of carbon dioxide (CO₂) of the soil of two systems of economically important crops such as "potato (*Solanum tuberosum*)" and "corn (*Zea mays*)" were evaluated in addition to a "natural forest", related to physical, chemical and morphological parameters in the District of San Isidro del Maino, Amazonas Region; A descriptive study was carried out for this purpose. The field samplings and analysis in the laboratory were carried out between February-July 2017 (rainy season), during this period three sampling stages were established (sowing stage, flowering stage and crop harvest stage), where A total of 10 sampling points were selected for CO₂ emissions from the soil by study plots in the three stages, obtaining three representative samples of CO₂ emission from the soil. It was found that the CO₂ emissions of the soil are significantly influenced by the parameters Soil physicists with a positive high correlation of 0,725, it was also found that there is a significant difference between the CO₂ emissions of the soil of the potato cultivation system with respect to the natural forest; At the same time, it was observed that the potato cultivation system had a higher CO₂ emission from the soil with an average of 254,29 mg CO₂/m².h, followed by the corn cultivation system during its development with an average of 220,10 mg CO₂/m².h and finally the natural forest with an average of 197,93 mg CO₂/m².h. In addition, soil organic matter contents of 7,44 %, 4,05 % and 3,06 % were recorded for the natural forest and the potato and corn cultivation systems respectively. Likewise, soil apparent density data of 1,1 g/cm³, 1,1 g/cm³, and 0,9 g/cm³ were obtained, for the systems of cultivation of maize, potato, natural forest, respectively. A humidity of 26,1 %, 23,3 % and 18,5 % was registered for the natural forest and the potato and corn cultivation systems, respectively. Soil temperature values of 15, 14,8 and 14,2 °C were recorded for corn, potato and natural forest cultivation systems, respectively; and finally, soil pH values of 7,43, 6,54 and 5,96 were recorded, from the natural forest and the potato and corn cultivation systems, respectively.

Keywords: Gaseous emissions, carbon anhydride, corn, potato, natural forest.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es consecuencia fundamental del actual incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) siendo el más representativo el dióxido de carbono (CO₂), que se encuentra en la atmósfera producto de las actividades antropogénicas y de procesos naturales. Se manifiesta en un aumento de la temperatura global, variaciones en los patrones de precipitación, alza en el nivel del mar y variaciones en los patrones de eventos climáticos extremos (heladas, sequías, tormentas, derretimiento de glaciares, etc.) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013), estos eventos climáticos están influyendo de manera negativa directa o indirecta al sector agrícola y ganadero, forzando a los agricultores a cambiar el uso del suelo de sus predios, ya que el sector agrícola es el más vulnerable a las consecuencias del cambio climático e incide de forma directa en la actividad económica del mismo (Hidalgo, 2013).

Estos cambios de uso del suelo alteran las emisiones de CO₂ natural que existe entre el suelo y la atmósfera, ya que la tasa de respiración del suelo es el más grande componente entre (60-90%) de las pérdidas de CO₂ desde el suelo a la atmósfera (Longdoz *et al.*, 2000). Además, actualmente se estima que el cambio de uso del suelo genera el 24 % de las emisiones mundiales de CO₂ (IPCC, 2014), mientras que el flujo anual de GEI en el periodo (2000-2010) de las actividades de cambio de uso del suelo representan aproximadamente 4,3-5,5 Gt CO₂ eq/año Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU, 2014), alterando las emisiones naturales de CO₂ entre el suelo y la atmósfera.

La respiración o emisiones de CO₂ del suelo deben ser consideradas como un importante mecanismo para la retroalimentación entre el ciclo global del carbono y el sistema climático (Houghton *et al.*, 1998), debido a que la alteración de la emisión de CO₂ del suelo puede incrementar la concentración de CO₂ en la atmósfera. Por ello, es importante establecer la relación recíproca sobre cómo la actividad agrícola contribuye al incremento de los GEI (Hidalgo, 2013). Para Moniet *et al.*, (2016) este hallazgo tiene implicaciones importantes para la previsión de los impactos de la gestión del suelo y del cambio climático en el ciclo del carbono del suelo, en la comprensión de

los cambios de uso de suelo, ya que regulan la respiración o emisiones de CO₂ del suelo, y es críticamente importante para pronosticar futuros cambios en las existencias de materia orgánica del suelo y, posteriormente, los cambios en la concentración de CO₂ en la atmósfera.

En consecuencia, fue importante determinar el grado de emisiones de CO₂ del suelo en dos sistemas de cultivos convencionales de importancia económica: Papa huayro (*Solanum tuberosum*) y maíz (*Zea mays*) y compararlas con las emisiones de un medio natural: Bosque natural; para evaluar cuál de los sistemas emite mayor cantidad de CO₂ del suelo a la atmósfera.

El Perú está considerado como uno de los diez países más vulnerables del mundo al cambio climático, presentando cuatro de las cinco características de vulnerabilidad reconocidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MINAM, 2010), es por ello que el estado peruano viene implementado varios proyectos, programas y políticas públicas frente al inminente cambio climático. Según el Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC, 2003), debido al cambio de uso del suelo en Perú, Ecuador y Bolivia son responsables de más del 70 % de las emisiones de GEI, tres veces más de lo procedente de la quema de combustibles fósiles en dichos países.

Este proyecto de investigación está orientado a evaluar las emisiones de CO₂ del suelo de dos sistemas de cultivos convencionales y un medio natural los cuales están conformados por papa huayro (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*) y bosque natural, respectivamente, y determinar cuál de los sistemas de cultivos propuestos emite mayor cantidad de CO₂ a la atmósfera, debido a que el tipo de cultivo sembrado influye significativamente en las emisiones de CO₂ del suelo (Wang *et al.*, 2016). Los resultados servirán como información valiosa para entidades que trabajan en la conservación de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente.

Según el (IPCC, 2000), la pérdida histórica de CO₂ del suelo fue de 50 petagramos (Pg) en el último medio siglo, producida por los suelos agrícolas, además se estima que los suelos pueden capturar y almacenar alrededor de 20 Pg de carbono en 25 años, según informó la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura (FAO, 2015), por lo que es importante gestionar de manera sostenible los suelos ya que juegan un papel muy importante en la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono y la reducción de las emisiones de GEI en la atmósfera. Por el contrario, si los suelos se manejan o se cultivan mediante prácticas agrícolas no sostenibles, el carbono del suelo puede liberarse a la atmósfera de forma de CO₂, lo que puede contribuir al cambio climático (FAO, 2015), es por ello que es importante evaluar y analizar las emisiones de CO₂ del suelo de los dos tipos de sistemas de cultivos convencionales y de bosque natural propuestos, para determinar si ellos contribuyen o no al cambio climático.

En la presente investigación se empleó metodologías ya establecidas técnicamente viables y económicamente factibles, y se presenta información relevante en el contexto del cambio climático con datos que sirvan de base para futuros estudios sobre esta temática. Se adaptaron metodologías de evaluación de emisión de CO₂ del suelo empleadas en investigaciones de este tipo realizadas en otros lugares, con lo que se dispone de una secuencia de trabajo con una metodología eficaz que se podrá replicar en la región en estudios similares.

En la Región Amazonas, los suelos agrícolas actualmente son utilizados como sustento económico para la mayoría de su población, el cambio de uso de suelo está generando que aumenten las emisiones de CO₂ del suelo hacia la atmósfera; así mismo la atmósfera es capaz de estabilizar las concentraciones de CO₂ en el aire, a través del ciclo del carbono y otros procesos químicos que se desarrollan en la misma, sin embargo, la alteración de las emisiones de CO₂ que son generados en diferentes actividades antropogénicas y naturales, siendo una de ellas el cambio de uso del suelo, dicha actividad está alterando las emisiones de CO₂ del suelo hacia la atmósfera, generando el aumento de mayor concentración de CO₂ en la atmósfera; lo cual conlleva al cambio climático que en la actualidad es evidente.

Por lo tanto, el problema que se investigó son las emisiones de CO₂ del suelo en dos sistemas de cultivos convencionales de importancia económica: Papa huayro (*Solanum tuberosum*) y maíz (*Zea mays*) y compararlas con las emisiones de un medio natural: bosque natural; para evaluar cuál de los sistemas emite mayor cantidad de CO₂ del suelo a la atmósfera.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar la emisión de dióxido de carbono en suelo cultivable de importancia económica del distrito de San Isidro del Maino, Chachapoyas, Región Amazonas, 2017.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar las parcelas con los sistemas de cultivos convencionales y bosque natural a estudiar en el distrito de San Isidro del Maino.
- Aplicar métodos cuantitativos; para determinar los parámetros físicos, químicos y medir las emisiones de CO₂ del suelo, de los sistemas de cultivos y bosque natural.
- Comparar las emisiones de CO₂ del suelo de los dos sistemas de cultivos convencionales y bosque natural.
- Identificar si los sistemas de cultivo o bosque natural emiten mayor cantidad de CO₂ del suelo a la atmósfera.

III. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional existen diversos estudios sobre respiración o emisión de CO₂ del suelo, los cuales se realizaron con el objetivo de determinar las emisiones de CO₂ del suelo; donde la mayoría de estudios están enfocados al análisis cuantitativo de las muestras ya que la respiración del suelo es la segunda mayor vía de intercambio de CO₂ de la superficie terrestre a la atmósfera, solo después de la fotosíntesis, es por ello que existen diversos estudios sobre respiración o emisión de CO₂ del suelo.

Guerrero *et al.*, (2012), evaluó la respiración de CO₂ del suelo como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de lupinos. Usando el método de incubación en un medio cerrado con NaOH y titulado con HCl descrito por Anderson (1982). Los resultados acumulados durante los 20 días de incubación, el proceso de emisión de CO₂ fue bastante intenso (2538,95 mg de CO₂/ g de compost, 3735,87 mg de CO₂/ g de vermicompost y 8177,71 mg de CO₂/ g en lupinus verde). El material que presento mayor cantidad de desprendimiento de CO₂ fue el lupinus, el que presento menor respiración de CO₂ fue el compost.

Durango *et al.*, (2014), evaluó la respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. Utilizando la metodología de Anderson (1982), mediante una solución alcalina NaOH 1 M, y titulando con HCl a 0,5 M, se determinó el CO₂ del suelo. Los resultados de los tres sistemas evaluados tienen un promedio de 580 ug de CO₂/ día; los valores más altos de respiración microbiana se registraron en el sistema de bosque (640 ug de CO₂/ día, seguido del café sin sombra (440 ug de CO₂/ día).

Cueva *et al.*, (2012), realizaron el diseño de un sistema portátil de cámaras dinámicas cerradas para determinar la variación espacial de la respiración en suelos de diferentes ecosistemas. El diseño del sistema portátil consistió en una consola de control y almacenamiento de datos (CR23X Micrologger, Campbell Sci, Logan UT, USA), un analizador de gases en infrarrojo (InfraRed Gas Analyzer, IRGA; LI-820 LI-COR, Lincoln NE, USA) para determinar la concentración de CO₂ en forma de gas, una bomba neumática (GAST, Benton Harbor MI, USA) para hacer circular el aire por el sistema y un regulador de flujo (Cole-Parmer, Vernon Hills IL, USA), para mantener

la velocidad de circulación del aire constante a 0,5 L/min. Se utilizó una cámara de PVC para encerrar una porción de suelo (diámetro interior de 10 cm y altura de 12,8 cm). Como resultado obtuvieron que la respiración del suelo varía temporalmente, así como entre las diferentes muestras representativas del matorral xerófilo de Sonora, sugiriendo que en el ecosistema también existe esta variación espacial. Esto se pudo demostrar diseñando una cámara de respiración de suelo dinámica cerrada que mide los flujos de CO₂ que emanan del suelo a la atmósfera instantáneamente.

Mendiara (2012), evaluó la emisión de CO₂ de los diferentes usos de suelo representativo del secano aragonés. Para ello, utilizó medidas sucesivas de CO₂ tanto en las zonas de estudio como en el laboratorio, así como de los principales parámetros que influyen en su dinámica. Las emisiones de CO₂ del suelo fueron medidas mediante un sistema de cámara abierta (modelo CFX-1, PPsystems, Hitchin, Herfordshire, UK) conectado a un analizador de gas por infrarrojos (modelo EGM-4, PPsystems, Hitchin, Herfordshire, UK). Los resultados de los análisis de varianza que han sido realizados para conocer qué diferencias existen entre los distintos suelos (tanto en el estudio de usos del suelo como en el de las aplicaciones nitrogenadas). En los factores en los que se han encontrado diferencias significativas se ha realizado análisis de separación de medias mediante el método Tukey. También elaboraron regresiones lineales para conocer las posibles interacciones entre los distintos factores con la respiración del suelo.

Gomes *et al.* (2016), evaluaron las emisiones de CO₂ del suelo de las plantas de café cultivadas bajo sistemas de producción agroforestales y pleno sol e identificaron los factores que regulan este proceso. Para lo cual, usaron un analizador portable LI-8100 (LiCor, USA) acoplado a una cámara dinámica modelo (LI-8100-102). Como resultado el flujo promedio de CO₂ en el suelo fue menor que en los sistemas AF_{RO} (2,66 μmol de CO₂/ m².s) y FS_{RO} (2,39 μmol de CO₂/ m².s) y más alto en los sistemas AF_{GI} (8,26 μmol de CO₂/ m².s) y FS_{GI} (8,95 μmol de CO₂/ m².s). La variación espacial en el flujo de CO₂ del suelo (expresado como coeficiente de variación) fue mayor en la AF (promedio 34,1 %) en comparación con los sistemas de café FS (promedio 24,2 %).

Martínez *et al.*, (2013), determinaron la variación espacial de flujos de CO₂ analizando la contribución de cada tipo de cubierta vegetal a la respiración total del suelo en los ecosistemas mediterráneos. Se insertaron cilindros de PVC (diámetro interior de 20,3 cm, n = 8) a una profundidad de 2 cm, en los diferentes puntos de medición, luego se realizaron ciclos de medición cada 30 minutos, durante más de 24 horas, mediante un sistema automático de cámaras (Li-8100 más Li-8150 Multiplexor equipado con 8 cámaras 8100-104; Li-Cor, Lincoln, NB, USA). Como resultado la variabilidad espacial del flujo de CO₂ ha sido descrita a partir de los valores medios anuales. Así, el flujo medio anual de CO₂ del suelo (FCO₂) mostró diferencias significativas entre los tres tipos de cubierta para los 5 periodos de muestreo. El mayor flujo corresponde al pino (2,58 ± 0,04 μmol de CO₂/ m².s), seguido de la encina (2,29 ± 0,05 μmol de CO₂/ m².s). El menor flujo se obtuvo para el suelo desnudo (1,44 ± 0,04 μmol de CO₂/ m².s). El valor medio de respiración de suelo para los 3 tipos de cubierta fue de 2,22 ± 0,03 μmol de CO₂/ m².s.

En Brasil, se realizó una investigación referida a la emisión de CO₂ del suelo y su relación con las propiedades del suelo, manejo del suelo en áreas de caña de azúcar, dicho estudio afirma que las prácticas adoptadas de manejo del suelo y la cultura determinan la intensidad del proceso de emisión de CO₂ (Moitinho, 2013). Las emisiones de CO₂ fueron medidas con un sistema portátil LI-COR (LI-8100), monitoreado el CO₂ con un analizador espectroscópico Infrared Gas Analyser (IRGA). Los resultados a medida general en los diez días de estudio del FCO₂ fue igual a 2,08 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ a una temperatura de 19.48 °C. Estas fueron similares a los resultados obtenidos por Panosso *et al.*, (2009).

A nivel nacional Vicente y Suarez (2010), realizaron investigaron el almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales- valle del Mantaro, utilizando un sistema IRGA de cámara cerrada. Los resultados del flujo de CO₂ en el bosque *Polylepis incana* fueron mayores que las plantaciones de *Eucalyptus globulus labill* y *Pinus radiata* (530 mg de CO₂/ m².h, 170 mg de CO₂/ m².h y 165 mg de CO₂/ m².h) respectivamente. Esto se atribuye a la cantidad de materia orgánica (hojarasca) que se encuentra en el suelo, lo que incrementa la acción de descomposición de los microorganismos aumentando la producción de CO₂.

Yepes *et al.*, (2010), realizaron un monitoreo de emisiones de dióxido de carbono CO₂ en suelos de la Amazonia Peruana. Usando un analizador de gases infrarrojo EGM 4. Los resultados obtenidos fueron de los meses de octubre del 2009 a mayo del 2010; en promedio del flujo de CO₂ de los suelos fueron: Aguajal (0,45 g de CO₂/ m².h), plantación de tornillo (0,8 g de CO₂/ m².h), restinga alta (0,4 g de CO₂/ m².h), varillal (0,35 g de CO₂/ m².h) y terraza alta (0,6 g de CO₂/ m².h). En los suelos con cobertura boscosa natural, los valores de respiración fueron menores, mostrando una pequeña variación durante el mes de diciembre, donde los suelos de varillal y restinga alta tuvieron valores menores que los bosques de terraza alta y aguajal de altura. Esta diferencia podría deberse a la influencia del mal drenaje de los suelos de varillal y restinga; la falta de oxígeno o poca aeración origina la disminución en la descomposición de la materia orgánica.

La respiración o emisiones de CO₂ del suelo se definen como la respiración total de CO₂ por unidad de área y de tiempo, y se debe a la ruptura del suelo y respiración de organismos edáficos, raíces, hifas micrográficas, y en menor extensión, a la oxidación bioquímica de los compuestos de carbono (Lloyd y Taylor, 1994).

Para Raich y Schlesinger (1992), las emisiones de CO₂ del suelo es producido principalmente por la respiración de las raíces vivas y los organismos heterótrofos; la gran mayoría de éste CO₂ es emitido a la atmósfera en el proceso conocido como respiración del suelo, emisiones de CO₂ o evolución del CO₂ en el suelo.

En consecuencia, las emisiones de CO₂ del suelo a la atmósfera, son causados también por la agricultura tradicional, ya que es uno de los factores causantes del incremento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Lal, 1997). Debido a las prácticas de cultivos tradicionales que ejercen numerosos efectos biológicos directos e indirectos sobre las poblaciones microbianas del suelo, la influencia del arado es muy intensa sobre las poblaciones de bacterias inmediatamente después de la ruptura del suelo, el número de microorganismos aumenta 20 a 30 veces más, esto debido a las modificaciones de las condiciones de porosidad y por lo tanto del flujo de gases y de agua a través de los espacios vacíos (Mora, 2006).

Por lo tanto, las medidas de las emisiones de CO₂ del suelo ayudan a determinar la contribución de CO₂ emitidos del suelo a la atmósfera. En ese sentido, es importante determinar las emisiones de CO₂ del suelo a la atmósfera y obtener información relevante en el contexto del cambio climático con datos que sirvan de base para futuros estudios relacionados con la temática estudiada.

Para Sánchez (2011), la cantidad de oxígeno consumido por los organismos, en tanto se libera a la vez CO₂, es una medida efectiva de la intensidad del proceso de respiración del suelo, que depende fundamentalmente del contenido de materia orgánica, temperatura y humedad del suelo. Por otro lado, Álvarez (2006), menciona que la suma de la emisión de CO₂ por descomposición y mineralización constituye la respiración microbiana o heterotrófica del suelo. En consecuencia, la medida de las respiraciones o emisiones de CO₂ del suelo dependen de diferentes factores, para varios investigadores, desde la temperatura, humedad, materia orgánica, entre otros del suelo.

3.1. Gases de efecto invernadero (GEI)

Recientemente se ha confirmado la importancia del uso de energía en la emisión de gases de efecto invernadero, tal como se observa en Estados Unidos, donde el uso de energía tiene una participación del 86 % del total de producción de GEI (IPCC, 2013).

El uso de combustibles fósiles y la producción de cemento son en el mundo, de lejos, la más importante fuente de GEI, con un aporte cercano al 68 %. Entre 1750 y 2011, estas dos actividades han liberado 375 Pg (1 Pg = 10¹⁵ g) de carbono a la atmósfera, en comparación con lo emitido por deforestación y otros cambios de uso del suelo (180 Pg de carbono) (PCNN, 2003). En el transporte en carretera, los vehículos de pasajeros son la principal fuente emisora de CO₂ y N₂O.

Colombia parece ser uno de los países más perjudicados, aunque solo contribuya con un 0,37 % de las emisiones mundiales. El uso de energía en el país implica grandes emisiones de GEI, ocasionadas por el transporte de gas natural 1,3 Tg CO_{2e}/año, la quema de combustible, las despresurizaciones y las fugas en equipos (Yepes *et al.*, 2010).

Los cascos urbanos son fuentes netas de GEI y contribuyen en gran medida a los inventarios nacionales de emisiones. Por ejemplo, para el 2011 Bogotá emitió entre 4,7 y 4,8 Tg CO_{2e}/año (Hernández-González y Jiménez 2011), lo que significa el 20% de lo emitido por toda la nación en este aspecto (IPCC, 2014).

La Convención de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) ha propuesto la mitigación como estrategia para luchar contra el cambio climático. En términos de mitigación, la principal acción es la reducción de emisiones, pero también es posible enfrentar el problema mediante la remoción de estas. Los sistemas de uso del suelo con especies perennes, como las plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), de café (*Coffea arabica* L.) y de teca (*Tectona grandis*), han sido considerados como tecnologías para mitigar el cambio climático por captura de carbono atmosférico en biomasa y suelos (IPCC, 2013).

Otras opciones para mitigar el impacto de estas emisiones en el cambio climático incluyen un mejoramiento de la cultura del transporte: promover los medios masivos, compartir los vehículos particulares, usar vehículos livianos y eléctricos, emplear combustibles alternativos y maximizar el acceso a los bienes necesarios para las personas (Houghton *et al.*, 1998).

Aunque las mejores opciones de mitigación del cambio climático son una transformación en la tecnología y en la cultura del transporte para reducir el uso de estos combustibles, se proponen tres estrategias de sistemas de producción para ayudar a contrarrestar estas emisiones (Hidalgo, 2013).

La concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) ha aumentado en un 31 % desde 1750. La concentración actual de CO₂ no se había superado en los últimos 420 mil años y es probable que tampoco en los últimos 20 millones de años. El ritmo actual de crecimiento no tiene precedentes, al menos en los últimos 20 mil años (Moitinho, 2013).

Unas tres cuartas partes de las emisiones antropógenas de CO₂ en la atmósfera durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil. El resto se debe principalmente a cambios en el uso de la tierra, especialmente la deforestación (Meyer y Turner, 1994).

Los océanos y la tierra actualmente captan juntos la mitad de las emisiones antropógenas de CO₂. En la tierra, la absorción de CO₂ antropógeno muy probablemente superó las emisiones de CO₂ a causa de la deforestación en los años noventa (Martínez *et al.*, 2013).

El ritmo de aumento de la concentración del CO₂ atmosférico fue de 1,5 ppm (0,4 %) por año en los dos últimos decenios. En los años noventa, el aumento anual varió de 0,9 ppm (0,2 %) a 2,8 ppm (0,8 %). Una gran parte de estas variaciones se debe al efecto de la variabilidad climática en la absorción y emisión de CO₂ por parte de tierras y océanos (Meyer y Turner, 1994).

La concentración del metano (CH₄) en la atmósfera ha aumentado en 1060 ppm (151 %) desde 1750 y sigue aumentando. La concentración de CH₄ no se había superado en los últimos 420 mil años. El crecimiento anual de la concentración de CH₄ fue más lento y se hizo más variable en los años noventa en comparación con los ochenta. Un poco más de la mitad de las emisiones de CH₄ actuales son antropógenas (por ejemplo, utilización de combustibles de origen fósil, ganadería, cultivo del arroz y vertederos) (Moniet *et al.*, 2016).

Además, recientemente se ha establecido que las emisiones de monóxido de carbono (CO) son una de las causas del aumento de la concentración del CH₄. La concentración de óxido nitroso (N₂O) en la atmósfera ha aumentado en 46 ppm (17 %) desde 1750 y sigue aumentando (Mendiara, 2012).

La concentración actual de N₂O no se ha superado al menos durante los últimos mil años. Un tercio aproximadamente de las emisiones de N₂O actuales son antropógenas (por ejemplo, tierras agrícolas, corrales de engorde de ganado e industrias químicas) (Mendiara, 2012).

Desde 1995 las concentraciones atmosféricas de muchos de estos gases de halocarbonos que agotan la capa de ozono y tienen un efecto invernadero (por ejemplo, CFCl₃ y CF₂Cl₂) están aumentando más lentamente o disminuyendo, en ambos casos como consecuencia de la reducción de las emisiones con motivo de la reglamentación del Protocolo de Montreal y de sus Enmiendas (Raich y Schlesinger, 1992).

Sus componentes substitutivos (por ejemplo, CHF₂Cl y CF₃CH₂F) y otros componentes sintéticos (por ejemplo, los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) son también gases de efecto invernadero y sus concentraciones están aumentando actualmente durante las tres últimas décadas, debido al incremento de las unidades de refrigeración (Thamdrub *et al.*, 1998).

Se calcula que el agotamiento observado de la capa de ozono estratosférico (O₃) desde 1979 a 2000 ha causado un forzamiento radiativo negativo (-0,15 W/m²). Suponiendo que se cumpla toda la reglamentación actual sobre los halocarbonos, el forzamiento positivo de los halocarbonos se reducirá, como se reducirá la magnitud del forzamiento negativo por el agotamiento del ozono estratosférico cuando la capa de ozono se recupere en el siglo XXI (Thamdrub *et al.*, 1998).

Se calcula que la cantidad total de O₃ en la troposfera ha aumentado un 36 % desde 1750, principalmente a causa de las emisiones antropógenas de diversos gases que forman el O₃. Esto corresponde a un forzamiento radiativo positivo de 0,35 W/m². El forzamiento del O₃ varía considerablemente de región en región y responde mucho más rápidamente a los cambios en las emisiones que los GEI de larga duración, como el CO₂ (Meyer y Turner, 1994).

3.2. El suelo formador de anhídrido carbónico (CO₂)

La deforestación ha causado la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), que corresponden a un 6 a 17 % de las emisiones antropogénicas de CO₂ a la atmósfera. Entre los años 2000 y 2010, se emitieron aproximadamente 1,0 Pg³C/año por destrucción del bosque tropical y uso de la tierra (Houghton *et al.*, 1998).

El uso del suelo desempeña un papel importante en la mitigación del cambio climático, pues este es el mayor sumidero de carbono (FAO, 2015). El cambio en el uso del suelo causa emisiones netas de GEI (IPCC, 2013), por ejemplo, conversiones de cultivos de arroz a hortalizas contribuyeron a disminuir el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en China.

En Argentina, el abandono de arrozales redujo inicialmente el carbono orgánico del suelo en los primeros cuatro años, pero luego se incrementó levemente hasta retornar a los niveles iniciales a los quince años (Hidalgo, 2013).

En suelos de páramo en Colombia, encontraron que el pastoreo extensivo favorece la acumulación de compuestos orgánicos en las capas superficiales del suelo (0-30 cm). El manejo de ganado ha cambiado el suministro de servicios ecosistémicos, tal como la captura de carbono, en diferentes formas (IPCC, 2014).

Otra variable determinante para la acumulación de compuestos orgánicos es la pendiente, se encuentra mayor contenido en suelos planos que en aquellos con pendiente cuando estos cambiaron su uso. Por esta razón, se deben aplicar métodos que secuestren carbono en los suelos o en la biomasa (Escobedo, 2010).

Se han reportado 63,7 millones de hectáreas de bosque en todo el territorio nacional colombiano, de ellas solo 3,9 millones corresponden a bosques riparios (FAO, 2015). Se estimó una disminución de 3,3 millones hectáreas de bosques en Colombia entre 2002 y 2010, de los cuales el 1 % son bosques riparios (Bocco, 1998). Estos cambios implican una reducción de compuestos orgánicos en el trópico de aproximadamente 75 %. Estas cifras son alarmantes, ya que los bosques son protectores de los recursos suelo, agua, fauna, flora e interventores directos en las producciones agropecuarias. Se conoce que sin agua no existe ninguna producción, de ahí que el manejo y conservación de bosques se debe hacer de manera integral (Guerrero *et al.*, 2102).

3.3. Definición de términos básicos

Atmósfera

Envoltura gaseosa que circunda la tierra. La atmósfera seca está compuesta casi enteramente por nitrógeno (coeficiente de mezclado volumétrico: 78.1 %) y oxígeno (coeficiente de mezclado volumétrico: 20.9 %), más cierto número de gases traza, como el argón (coeficiente de mezclado volumétrico: 0.93 %), el helio, y ciertos gases de efecto invernadero radiactivamente activos, como el

dióxido de carbono (coeficiente de mezclado volumétrico: 0,035 %) o el ozono (IPCC 2012). Además, la atmósfera contiene vapor de agua, que es también un gas de efecto invernadero, en cantidades muy variables, aunque, por lo general, con un coeficiente de mezclado volumétrico de 1 % aproximadamente. La atmósfera contiene también nubes y aerosoles (IPCC, 2000).

Bosque

Forma de vegetación en la que predominan los árboles. En el mundo se utilizan muchas definiciones del término bosque, que reflejan grandes diferencias en las características biogeofísicas, la estructura social y la economía.

Cambio climático

Variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos (Mendiara, 2012). El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.

Clima

Se suele definir el clima, en sentido estricto, como el “promedio del estado del tiempo” o, más rigurosamente, como una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante un período que puede abarcar desde algunos meses hasta miles o millones de años. El período clásico es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Dichas cantidades son casi siempre variables de superficie, como la temperatura, las precipitaciones o el viento. En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático, incluida una descripción estadística de éste.

Capa de ozono

La estratósfera tiene una capa llamada capa de ozono en la que hay una mayor concentración de ozono. Esta capa se extiende entre los 12 y los 40 km de altitud. La concentración de ozono alcanza su máximo valor entre los 20 y los 25 km. Esta capa se está agotando a causa de las emisiones antropógenas de compuestos de cloro y bromo (IPCC, 2000). Todos los años, en la primavera del hemisferio sur, se produce una fuerte disminución de la capa de ozono sobre la región antártica, también causada por compuestos artificiales de cloro y bromo, en combinación con las condiciones meteorológicas propias de la región. A este fenómeno se le ha dado el nombre de agujero de ozono.

Cambio de uso del suelo

Es un cambio del uso o gestión del suelo por los seres humanos, que puede inducir un cambio de la cubierta terrestre (Martínez *et al.*, 2013). Los cambios de la cubierta terrestre y de uso del suelo pueden influir en el albedo superficial, en la evapotranspiración, en las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero, o en otras propiedades del sistema climático, por lo que pueden ejercer un forzamiento radiactivo y/u otros impactos sobre el clima, a nivel local o mundial (IPCC, 2000).

Ciclo del carbono

Término utilizado para describir el flujo del carbono (en diversas formas; por ejemplo, como dióxido de carbono) en la atmósfera, los océanos, la biósfera terrestre y la litósfera).

Desertificación

Degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas (Krebs, 2003). Por su parte, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación define la degradación de las tierras como la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la

reducción o pérdida de complejidad de las tierras agrícolas de secano, tierras de cultivo de regadío, dehesas, pastizales, bosques y tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como: La erosión del suelo causada por el viento o el agua; el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Dióxido de carbono (CO₂)

Gas que existe como sub-producto del quemado de combustibles fósiles como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de biomasa, o de los cambios de uso de la tierra y otros procesos industriales (Krebs, 2003). Es el gas de efecto invernadero antropogénico que más afecta al equilibrio radiactivo de la Tierra. Es también el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero y, por consiguiente, su potencial de calentamiento mundial es igual a 1 (IPCC, 2013).

Efecto invernadero natural

El planeta a través de su atmósfera diariamente absorbe energía proveniente del sol. Asimismo, la atmósfera que esencialmente es una mezcla gaseosa, compuestos por varios gases y cada uno de ellos con un comportamiento químico diferente, de manera tal, que la energía absorbida la efectúa selectivamente para diferentes longitudes de onda y en algunos casos son transparentes para ciertos rangos del espectro (Houghton *et al.*, 1998). De forma que, la atmósfera tiene bajo poder de absorción o es transparente en el segmento visible del espectro, pero tiene un significativo poder de absorción de radiación ultravioleta o radiación de onda corta procedente del sol y el principal responsable de este fenómeno es el ozono (Jenkinson, 1998). Sin embargo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja o de onda larga procedente de la Tierra y los responsables en este caso son el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases traza como el metano y el óxido nitroso (Houghton *et al.*, 1998).

Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son directamente devueltas a la superficie, suministrando una fuente de energía adicional a la radiación solar directa (PCNN, 2003). El efecto neto de este fenómeno permite que la Tierra almacene más energía cerca de su superficie que la cantidad que podría almacenar si la tierra no tuviera atmósfera, consecuentemente, la temperatura es más alta, del orden de 33 °C más. Este proceso es conocido como el efecto de invernadero natural (PCNN, 2003).

Gases de efecto invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (IPCC, 2013).

Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC).

Halocarbonos

Compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono. Estos compuestos pueden actuar como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera. Los halocarbonos que contienen cloro y bromo son también una de las causas del agotamiento de la capa de ozono.

Petagramo (Pg)

Unidad básica de medida, utilizada para medir cantidades de gases en masa equivalente a 1Pg=10¹⁵g (IPCC, 2007).

Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) se aprobó en el tercer período de sesiones de la Conferencia de las Partes (COP) en la Convención Marco sobre el Cambio Climático, de las Naciones Unidas celebrado en 1997 en Kioto (Japón). El Protocolo establece compromisos jurídicamente vinculantes, además de los ya incluidos en la CMCC. Los países acordaron reducir sus emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆) a un nivel inferior en no menos de 5 % al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre 2008 y 2012.

Protocolo de Montreal

El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono fue aprobado en Montreal en 1987, y posteriormente ajustado y enmendado en Londres (1990), Copenhague (1992), Viena (1995), Montreal (1997) y Beijing (1999). Controla el consumo y la producción de sustancias químicas con contenido de cloro y bromo que destruyen el ozono estratosférico, como los CFC, el metilcloroformo, el tetracloruro de carbono y muchos otros.

Sistema de cultivo

Es un arreglo espacial y cronológico de poblaciones de cultivos, con entradas de radiación solar, agua, nutrientes y salidas de biomasa con valor agronómico. En función de los condicionantes físicos que presenta un espacio natural; el ser humano elige diferentes maneras de cultivar para obtener la máxima productividad posible (Sebillotte, 1987).

Sistemas de cultivos convencionales

Son sistemas basados en un alto consumo de insumos externos para el sistema de cultivo o productivo natural, como abonos químicos, sintéticos y pesticidas, estos también, no están sembrados adecuadamente o no presentan un orden. Además, estos sistemas no toman en cuenta el medio ambiente, sus ciclos

naturales, ni el uso racional y sostenible de los recursos naturales (Sebillotte, 1987).

Suelo

Bien natural finito y componente fundamental del ambiente, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y micro-organismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones y prestando servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta (IPCC, 2000).

Sumidero

Adsorción natural de CO₂ de la atmósfera, generalmente en suelos, bosques u océanos (IPCC, 2007).

Uso de suelo

Los diferentes usos que se dan a un terreno y su cubierta vegetal se conocen como uso del suelo. Meyer y Turner (1994), utilizan el término uso de suelo como aprovechamiento para fines económicos; mientras Bocco (1998), lo refiere a una actividad socioeconómica que se desarrolló o se desarrolla en la cobertura vegetal.

Variabilidad del clima

La variabilidad del clima se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

Ubicación:

Las parcelas de estudio se hallaron limitadas por el norte con el distrito de Levanto y el distrito de Soloco, por el este con el distrito de Soloco, por el oeste con el distrito de Levanto y el distrito de Magdalena y por el sur con el distrito de Magdalena (Figura 1). Localizadas aproximadamente a 40 km. de la ciudad de Chachapoyas, a unas 2 horas a través de la carretera afirmada Chachapoyas-Levanto hasta el km. 25 y Levanto-San Isidro del Maino; a una altitud máxima de 2318 m.s.n.m y una altitud mínima de 2239 m.s.n.m. entre las siguientes coordenadas (UTM).

Tabla 1. Coordenadas de las parcelas de estudio

Parcela	X	Y
SCCM	181166.71	9299157.15
	181180.00	9299182.00
	181155.00	9299191.00
	181143.00	9299170.00
SCCP	180964.00	9300589.00
	180971.00	9300577.00
	180997.00	9300591.00
	180998.00	9300604.00
BN	181334.01	9301748.69
	181300.30	9301757.77
	181323.46	9301809.96
	181360.51	9301791.44

Fuente: Elaborado por el tesista.

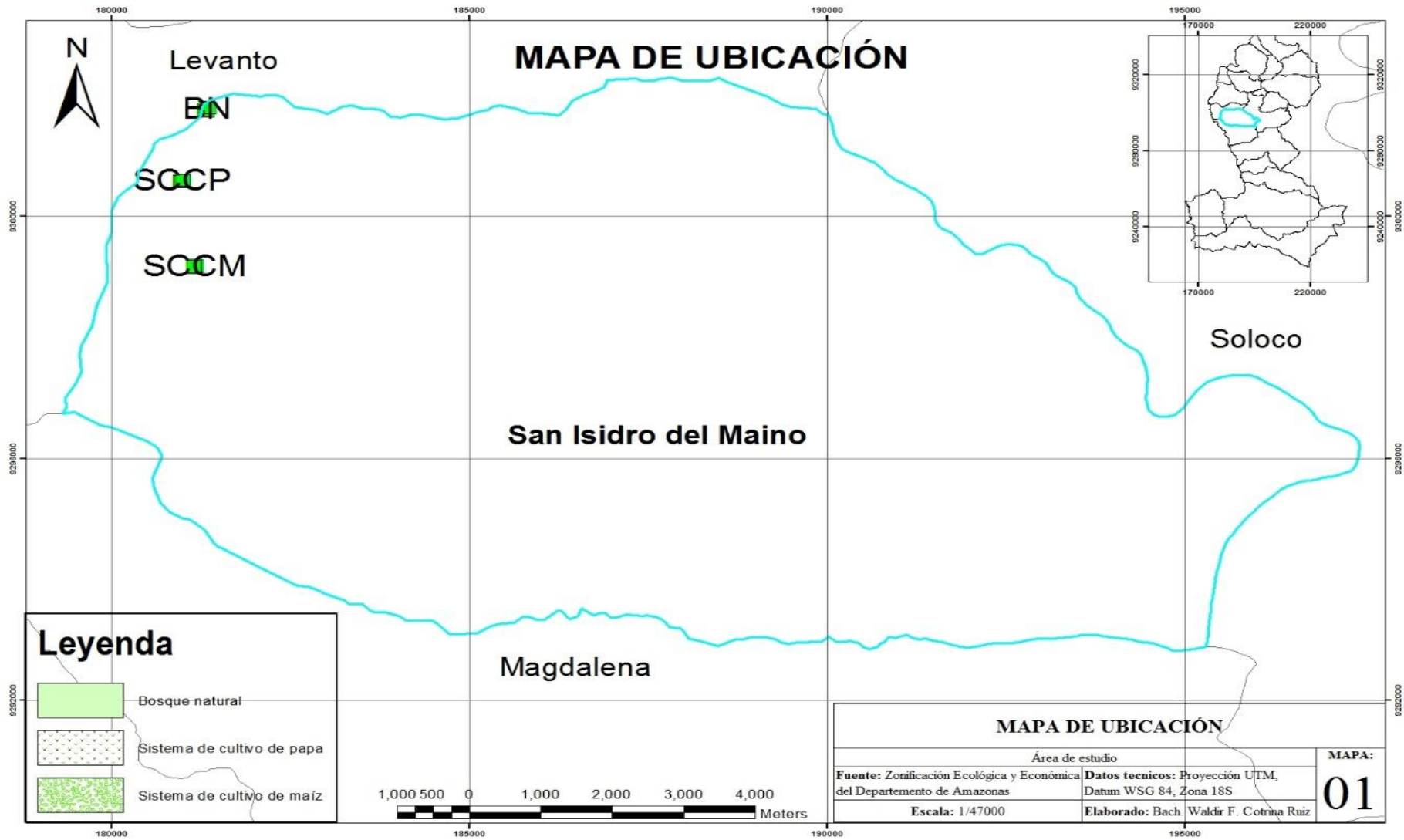


Figura 1. Mapa de ubicación de las parcelas de estudio

Clima:

Según la distribución temporal de la Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas, las precipitaciones en el sector nor-oriental del país y, fueron influenciadas, principalmente por dos factores: (1) La Zona de convergencia intertropical y (2) La cordillera oriental de los andes, los mismos que generan dos grandes sectores: primero el sector de Selva y segundo, el sector de Valle Interandino (Vargas, 2010).

a) Precipitación

El área de investigación se determinó en el segundo sector de Valle Interandino al Sur-Este del departamento de Amazonas, y se vio influenciado por la cordillera Oriental de los Andes, que en esta parte del país tiene una tendencia a disminuir su altura, quedando por debajo de los 4000 m.s.n.m. (MINAM, 2014).

En la Tabla 2 se resumen las precipitaciones total promedio anual de las estaciones meteorológicas de este sector de valle interandino, donde se observaron que estos valores de precipitación desarrollaron una gradación ascendente, aunque no muy rígida, que se correspondió con la altitud, es decir, de menores precipitaciones en los pisos inferiores y mayores precipitaciones en los pisos superiores (Vargas, 2010).

Tabla 2. Precipitación total promedio mensual

Estación	Altitud (m.s.n.m)	Precipitación total mensual (mm.)	Periodo analizado (años)
Bagua	434	673.5	1999-2003
Magunchal	632	844.0	2000-2003
Jamalca	1200	---	---
Jazán	1350	998.0	1999-2003
Jumbilla	1935	670.0	1969-1973
Pomacochas	2220	886.1	1966-1974
Chachapoyas	2490	805.2	1999-2003
Leimebamba	2800	1166.5	1985-1989

Fuente: Vargas, J. 2010, ZEE-Amazonas.

b) Temperatura

El área de estudio, debido a su compleja topografía presentó grandes diferencias altitudinales, además, la influencia de las grandes masas de humedad que se mantuvieron al norte y este de esta región, hicieron que las temperaturas del aire registraron grandes variaciones en su distribución; presumiéndose que existe una secuencia térmica gradual, desde el patrón cálido en los niveles inferiores hasta el frío acentuado en los niveles superiores.

En la Tabla 3, resumen información para el estudio de las temperaturas de la región Amazonas, los datos procedieron de nueve estaciones meteorológicas, seis en funcionamiento y tres paralizadas. Donde las temperaturas variaron notablemente, fluctuando entre 26 °C en los niveles inferiores y 14,7 °C en los niveles medios (Vargas, 2010).

Tabla 3. Temperatura promedio anual

Estación	Periodo (años)	Altitud (m.s.n.m)	Temperatura promedio anual (°C)
En funcionamiento			
S. M. de Nieva	2001-2003	275	25.4
Bagua	1999-2003	434	26.3
Chiriaco	1999-2003	336	24.9
Aramango	1999-2003	575	24.3
Jazán	1999-2003	1350	19.9
Chachapoyas	1999-2003	2490	14.7
Paralizadas			
Imacita	1967-1971	311	24.7
Pomacochas	1969-1973	2220	15.1
R. de Mendoza	1964-1967	1648	19.2

Fuente: Vargas, J. 2010, ZEE-Amazonas.

c) Clasificación climática

Se hizo uso de la clasificación climática de Thornthwaite que es ampliamente conocida en el mundo, el cual está dirigida fundamentalmente para fines agroclimáticos (Vargas, 2010).

El distrito de San Isidro del Maino, fue el área de estudio y presentó tres tipos de climas: (ligeramente húmedo), (húmedo y templado cálido) y (muy húmedo y templado frío), de lo cual se desprendió que el clima del área de investigación fue húmedo y templado cálido (Figura 2). Este tipo de climas se presentó en las estaciones de Chachapoyas y Pomacochas (Vargas, 2010).

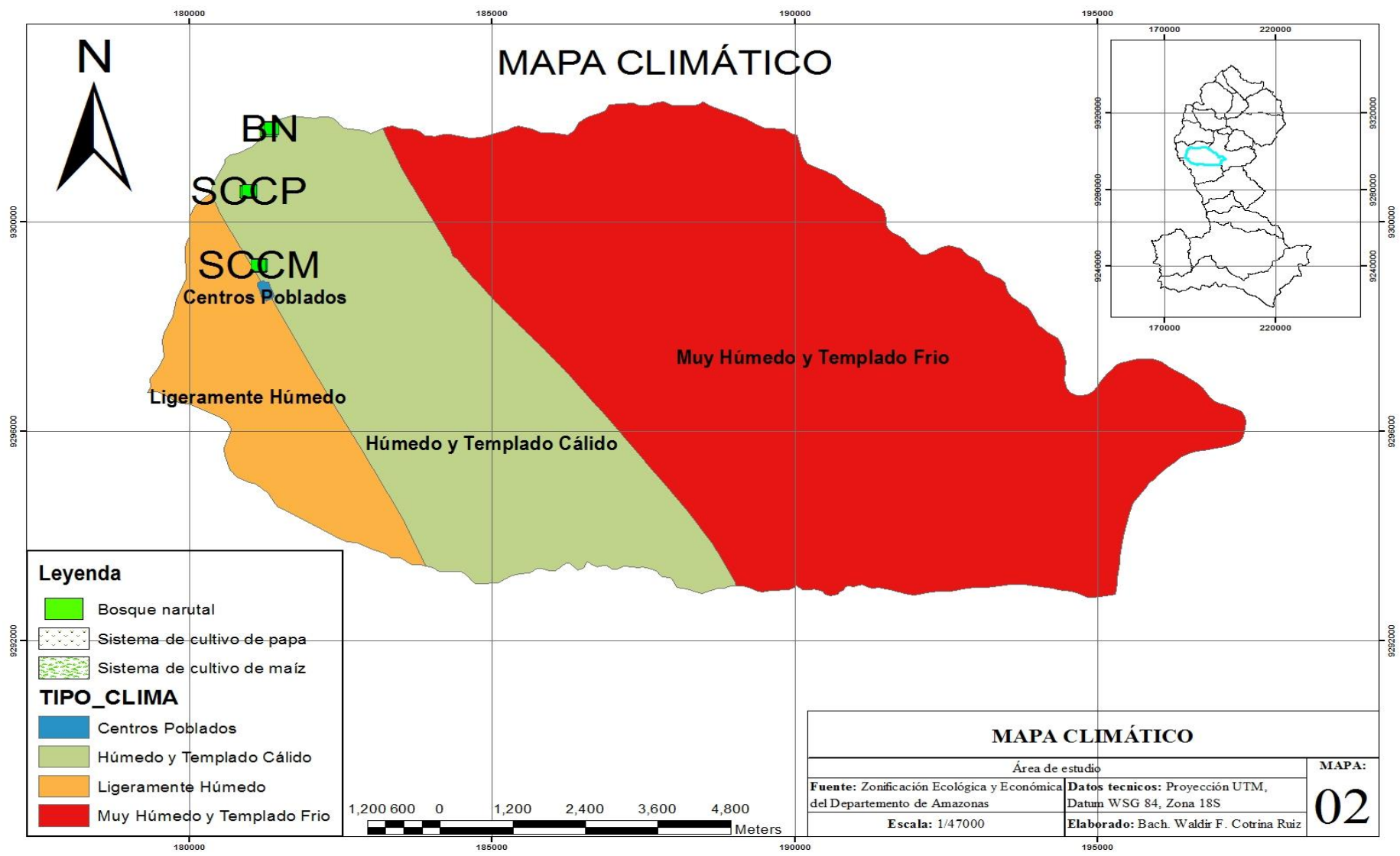


Figura 2. Mapa climático de las parcelas de estudio

Geomorfología:

La región Amazonas presentó tres formaciones de geoformas relevantes:

a) La cordillera interandina, constituyó la zona de transición entre las Cordilleras Occidental y Oriental. Se encontró configurada por cadenas montañosas que sobrepasan los 2000 m que albergaron principalmente rocas cretácicas generadas en diferentes fases de sedimentación. Manifestándose con relieves montañosos altos y bajos de origen estructural, montañas de litofacies emergentes (cretácicas), valles sinclinales e intramontanos, mesetas estructurales, planicies aluviales disectadas y subrecientes, y llanura de sedimentación fluvial.

b) Cordillera oriental, alberga cadenas de montañas altas alargadas de litofacies antiguas (precámbricas y paleozoicas), montañas volcánicas paleozoicas y moderadas depresiones intramontanos no cartografiables (como la cuenca del Marañón).

c) La cordillera subandina, manifiestan la mayor cantidad de relieves presentes en el área; y es por ello que se ha optado por separar en tres grandes bloques: La Cordillera del Condor-Huaracayo, la Cordillera Campanquiz y la Cordillera Ventilla-Quinquiza (Castro, 2010).

El distrito de San Isidro del Maino, materia y área de investigación alberga dos tipos de geoformas: (montañas altas detríticas paleozoicas) y (montañas altas calcáreas mesozoicas), donde en específico la geoforma estudiada fue montañas altas detríticas paleozoicas (Figura 3). Estas corresponden a montañas originadas por los efectos de sedimentación detrítica muy antiguos del paleozoico superior. Perteneció a relieves muy accidentados y de origen denudacional, con alturas superiores a los 1000 m y pendientes entre 25 % y 70 %. Se emplazaron en el sector occidental y suroccidental de la región, formando parte de la Cordillera Oriental. Igualmente, presentó formas irregulares, laderas fuertemente empinadas cortados por algunos valles profundos. Se localizaron en las provincias de Rodríguez de Mendoza, Chachapoyas, Bongará, Utcubamba y Bagua (Castro, 2010).

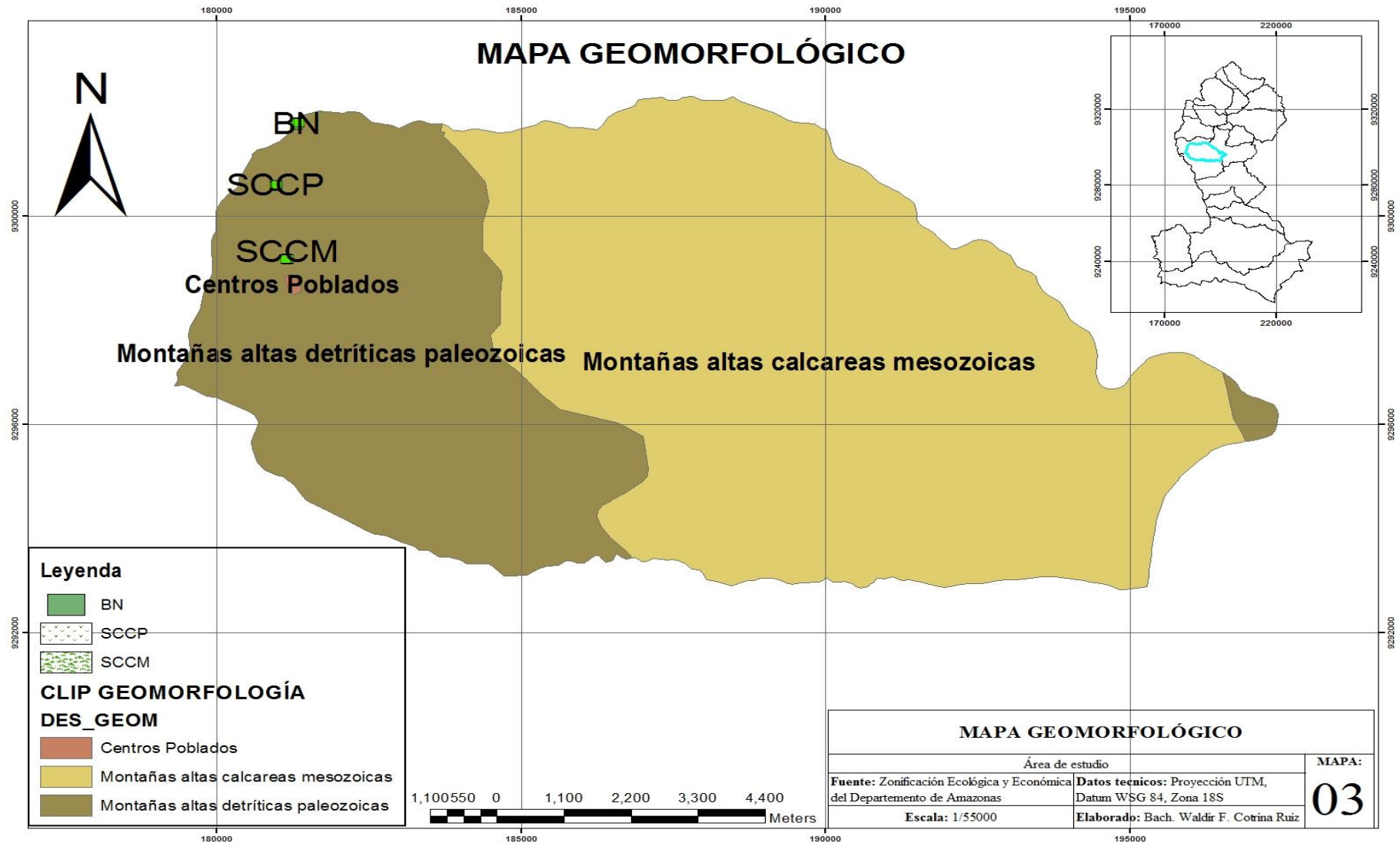


Figura 3. Mapa geomorfológico de las parcelas de estudio

Geología del área de estudio:

Las unidades lito-estratigráficas que afloraron en la región Amazonas fueron originadas desde el Precámbrico hasta nuestros tiempos (cuaternario). Por su complejidad, fueron separadas y caracterizadas en cuatro grandes bloques: Bloque Pre-cambriano, Bloque Paleozoico, Bloque Mesozoico y Bloque Cenozoico (Castro, 2010).

El distrito de San Isidro del Maino, materia de estudio presentó tres tipos de unidades litoestratigráficas: (Grupo Pucará) formado en el mesozoico, (Grupo Mitu) y (Grupo Ambo) estas dos últimas formadas en el paleozoico, donde en específico la unidad litoestratigráfica del área de investigación fue el Grupo Pucará (Figura 4).

a. Serie Calera I

Taxonómicamente pertenece al orden (Entisol), suborden (Orthents), gran grupo (Udorthents), subgrupo (Lithic Udorthents), serie Calera I. Conformados por suelos derivados de materiales residuales de naturaleza calcárea (lutitas y calizas). Se ubicaron en áreas de fuerte pendiente de colinas altas y montañas principalmente; son suelos muy superficiales, con un horizonte A débilmente desarrollado, de escaso espesor con buen drenaje, de textura variable, de reacción neutra (pH 6,3), con contenido medio de materia orgánica (2,3 %) por sus limitaciones de pendiente y profundidad (Escobedo, 2010).

b. Serie Pillualla

Taxonómicamente pertenece al orden (Inceptisol), suborden (Udepts), gran grupo (Dystrudepts), subgrupo (Lithic Dystrudepts), serie Pillualla. Son suelos moderadamente profundos, con desarrollo genético incipiente con perfiles tipo ABC; de coloración pardo oscuro o amarillo parduzco, de textura media a moderadamente fina, de drenaje bueno, de reacción muy fuertemente ácida (pH 3,9), con bajo contenido de materia orgánica (Escobedo, 2010).

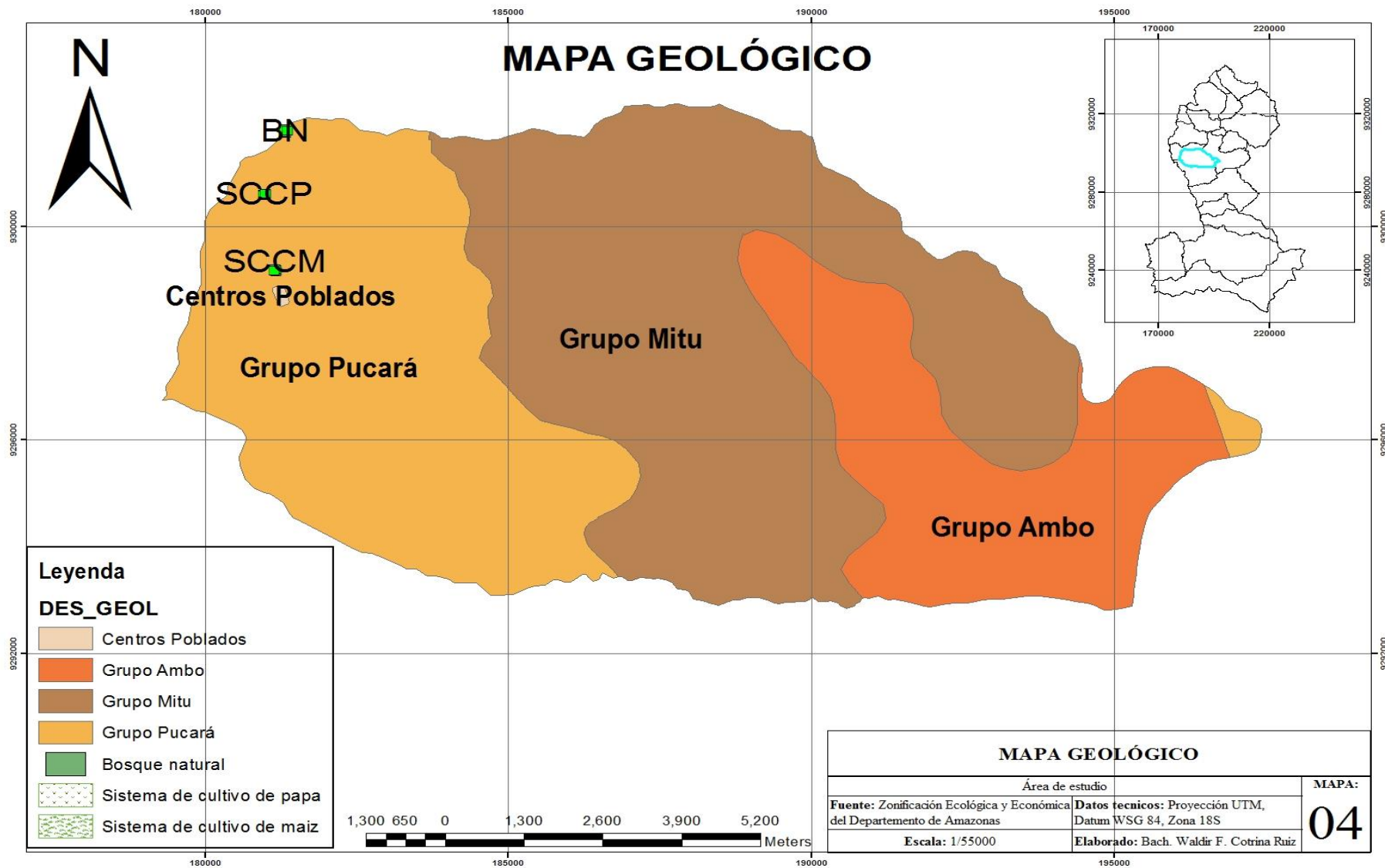


Figura 4. Mapa geológico de las parcelas de estudio

Tipos de suelo del área de estudio:

Los suelos del departamento de Amazonas, por su material de origen, en forma general fueron agrupados en tres grupos: Suelos aluviales recientes, suelos aluviales antiguos y suelos residuales. Donde se identificaron a nivel de subgrupo, treinta y dos unidades de suelos, que constituyen quince consociaciones de subgrupo y 20 asociaciones de subgrupo de suelo (Escobedo, 2010).

El distrito de San Isidro del Maino, materia área de estudio presentó un solo tipo de suelo: Asociación Calera I-Pillualla (Figura 5). Está constituida por suelos desarrollados sobre materiales residuales de caliza y conformado por los suelos de la serie Calera I (60 % de la asociación) y la serie Pillualla (40 % restante) (Escobedo, 2010).

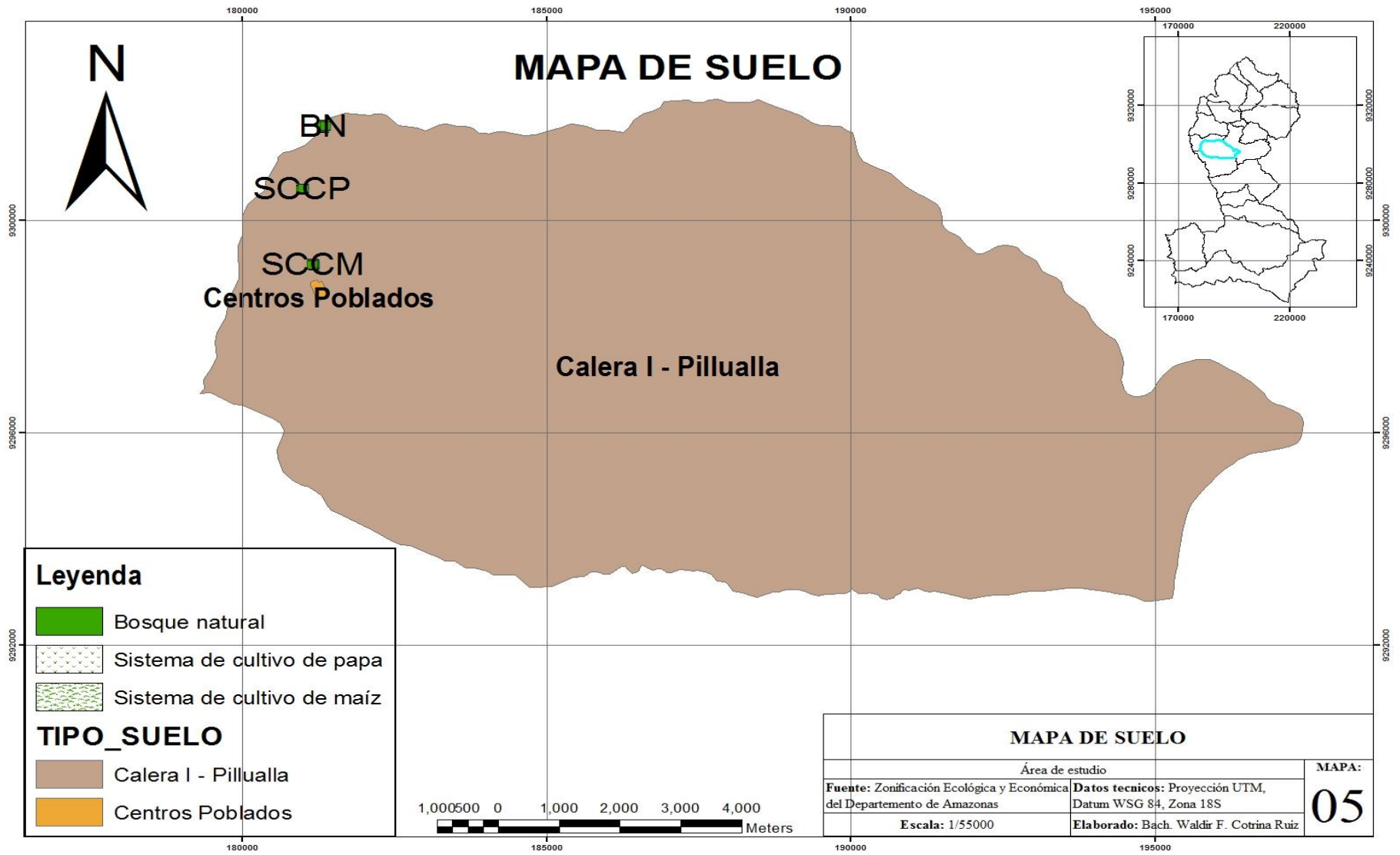


Figura 5. Mapa tipos de suelo de las parcelas de estudio

Uso actual del suelo del área de estudio:

El departamento de Amazonas, presentó una gran diversidad de especies cultivadas tanto de climas tropicales como templados. Las cuales fueron agrupadas en tres categorías para facilitar su descripción y análisis: Cultivos anuales, cultivos permanentes y pastos (Vargas, 2010).

Entre las especies de climas tropicales sobresalen el arroz, maíz amarillo duro, yuca, plátano, café, caña de azúcar, cacao, cítricos y pastos como elefante, braquiaria y Kudzú. Mientras que respecto a especies de clima templado a frío destacan el maíz amiláceo, frijoles, habas y otras menestras, papa, olluco y otros tubérculos y raíces, hortalizas (ajo, cebolla, col-repollo, coliflor, brócoli, zanahoria, nabo, zapallo, etc.), cebada, trigo, flores, frutos y diversas especies de pasto cultivado como grama chilena, King grass, rye flaber y trébol entre otros.

Luego del análisis de la información de la región Amazonas, se estableció que las unidades del mapa de uso actual del suelo, quedan conformado de la siguiente manera: (Ramírez, 2010).

- Frente productivo de predominio arrocero,
- Frente productivo de predominio cafetalero,
- Frente productivo de predominio de cultivos andinos,
- Frente productivo de predominio de agricultura de subsistencia de sistemas inter-montañosos,
- Frente productivo de predominio de agricultura de subsistencia de clima tropical subhúmedo a muy húmedo,
- Frente productivo de predominio ganadero,
- Frente extractivo de predominio forestal,
- Frente extractivo de predominio minero,
- Frente de conservación de comunidades nativas,
- Frente de conservación de áreas naturales protegidas y
- Frente de conservación de tierras de protección.

El distrito de San Isidro del Maino, presentó dos tipos de unidades de uso de suelo: Frente productivo de predominio de cultivos andinos y Frente de Conservación de Tierras de Protección (Figura 6), donde en específico el *Uso Actual del Suelo* fue frente productivo de predominio de cultivos andinos. La característica especial de este frente es que, está constituido en su mayoría por especies vegetales cultivadas que requieren clima templado para desarrollarse, lo cual se alcanzó en altitudes superiores a los 2000 m.s.n.m. Otra característica de esta unidad, es que, debido a la falta de infraestructura de riego, la gran mayoría de cultivos se realizaron en condiciones de secano, es decir, solo aprovechando el agua de lluvia. Sin embargo, en el área existen un gran número de quebradas que originaron riachuelos naturales que bajan de las alturas, muchos productores aprovechan esta situación para encausarlos en pequeñas acequias para irrigar sus campos de cultivos, que por lo general son de tamaño pequeños (Ramírez, 2010).

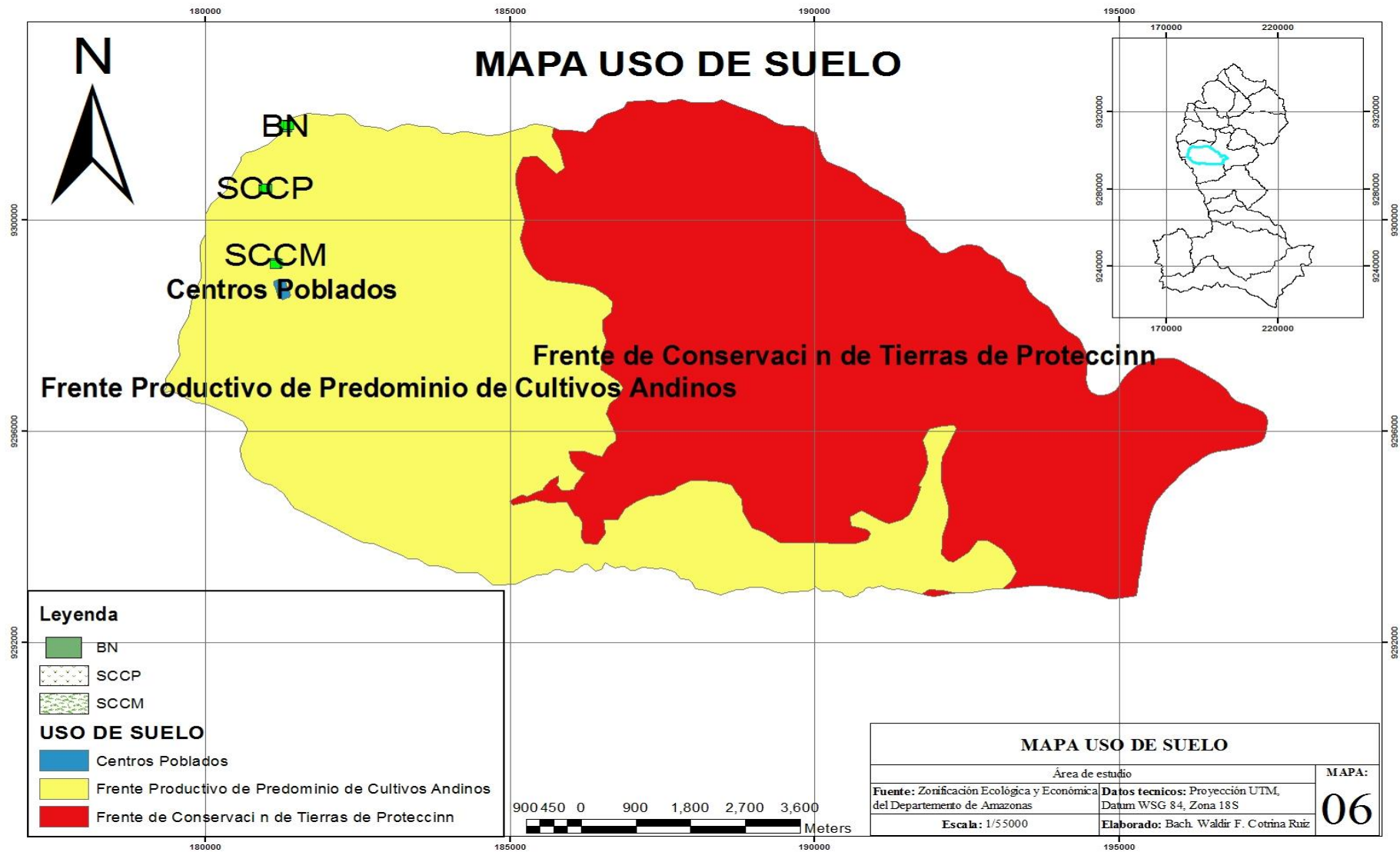
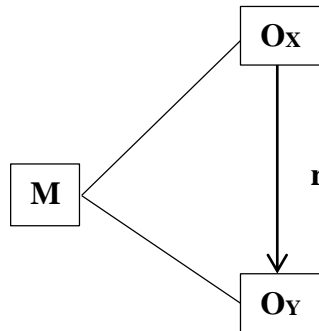


Figura 6. Mapa uso actual del suelo de las parcelas de estudio

4.2. Diseño de investigación

Se tomaron 90 muestras, durante la etapa de siembra, florecimiento y cosecha de los cultivos, en cada etapa se tomaron 30 muestras, sometidos a un diseño transeccional-correlacional.



Donde:

M : Muestra

O_X : Variables independientes, características del suelo (materia orgánica, densidad del suelo, humedad, pH y temperatura)

O_Y : Variables dependiente, emisiones de CO₂ del suelo

r : Relación o influencia.

4.3. Población, muestra y muestreo

Población: Fueron parcelas identificadas en las que se hizo uso de sistemas de cultivos de papa, maíz y de bosque natural, en el distrito de San Isidro del Maino, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.

Muestra: Se tomaron 10 muestras de CO₂ de cada parcela en las etapas de siembra, florecimiento y cosecha del cultivo.

Muestreo: Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia.

4.4. Métodos, técnicas e instrumentos

El método utilizado fue el analítico-sintético para la ejecución del proyecto, procesamiento de la información recolectada y ejecución del informe; y,

matemático–estadístico, para el cálculo de los valores obtenidos durante la ejecución de la investigación; en el análisis de los datos obtenidos.

Tabla 4. Evaluación de los parámetros y característica ambiental del suelo

Evaluación de las características del suelo	
Parámetros físicos	Método
Materia orgánica	Método Walkley y Black
Densidad aparente del suelo	Método de los cilindros
Humedad	Método de secado en estufa
Temperatura	Método del termómetro
Parámetros Químicos	
pH	Medida con potenciómetro
Característica ambiental	
Emisiones de CO ₂ del suelo	Método de absorción alcalina
Parámetros Morfológicos	
Edad del cultivo	Entrevista

Fuente: Elaborado por el tesista.

Se seleccionaron y delimitaron las parcelas con los dos sistemas de cultivos convencionales y bosque natural (papa, maíz y bosque natural) con un área aproximada de 300 m² cada una, las cuales se encuentran a una altura de 2260, 2242, 2312 m.s.n.m. respectivamente (Figuras 7, 8 y 9).

Luego se establecieron los puntos de muestreo con los protocolos correspondientes, verificando la ubicación en las capas de la Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas y con la ayuda del Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS) se obtuvieron las coordenadas exactas.

M01, M02, M03, M04, M05, M06, M07, M08, M09 y M10: Puntos ubicados en la parcela de sistema de cultivo de maíz, donde se determinó la emisión de CO₂ del suelo y los parámetros físico-químicos del suelo.

M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17, M18, M19 y M20: Puntos ubicados en la parcela de sistema de cultivo de papa, donde se determinó la emisión de CO₂ del suelo y los parámetros físico-químicos del suelo.

M21, M22, M23, M24, M25, M26, M27, M28, M29 y M30: Puntos ubicados en la parcela de bosque natural, donde se determinó la emisión de CO₂ del suelo y los parámetros físico-químicos del suelo.

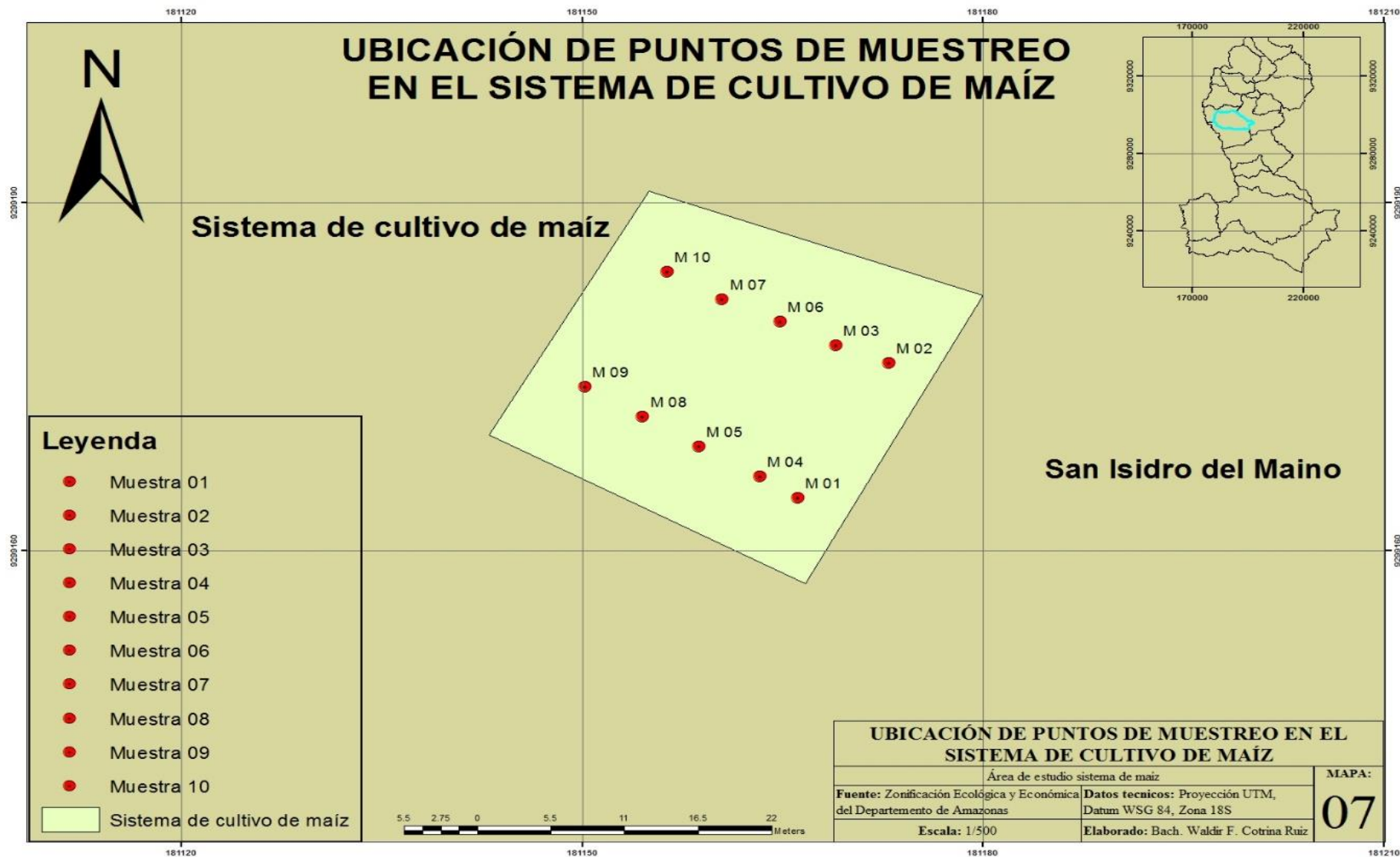


Figura 7. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en el sistema de cultivo de maíz

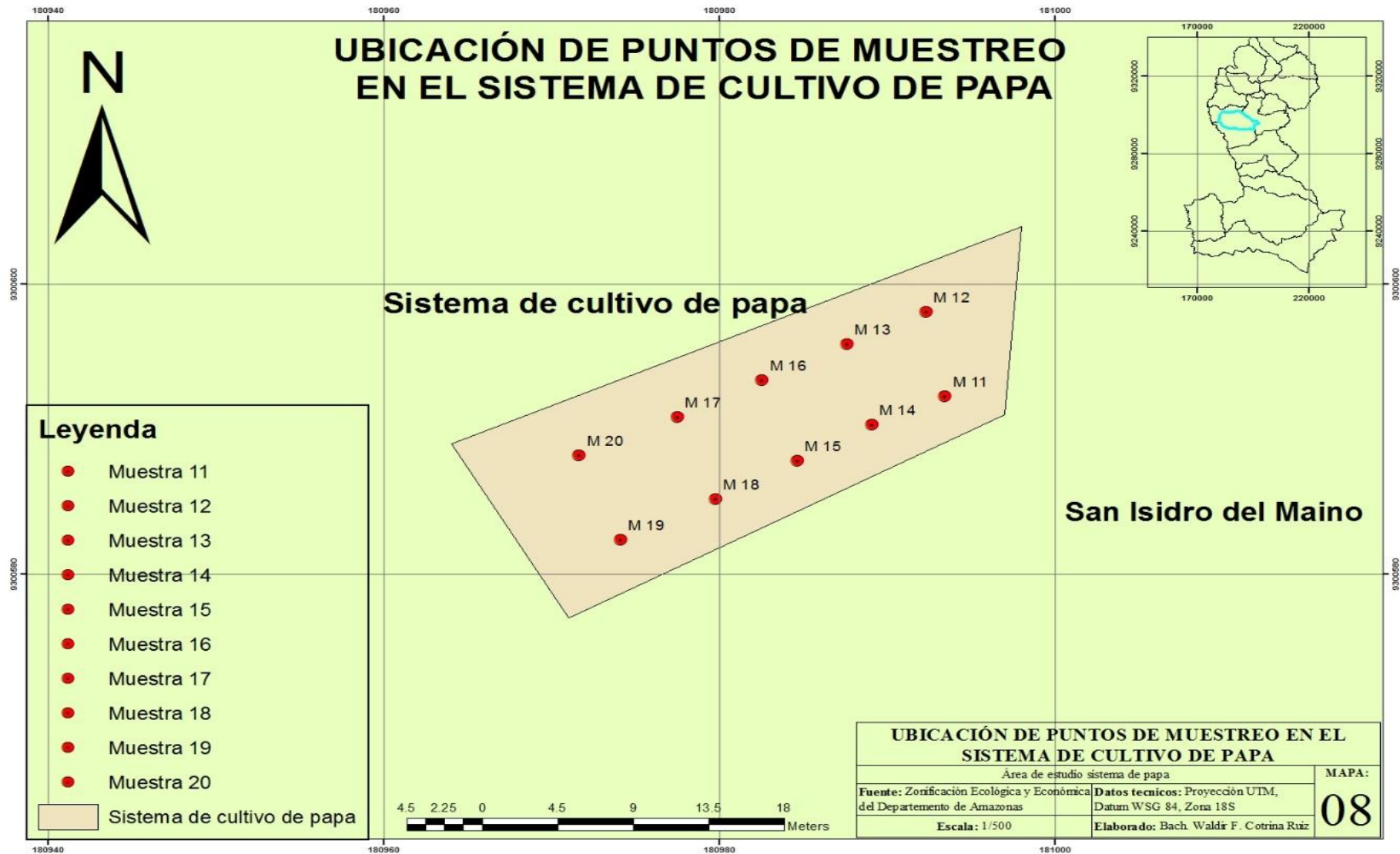


Figura 8. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en el sistema de cultivos de papa

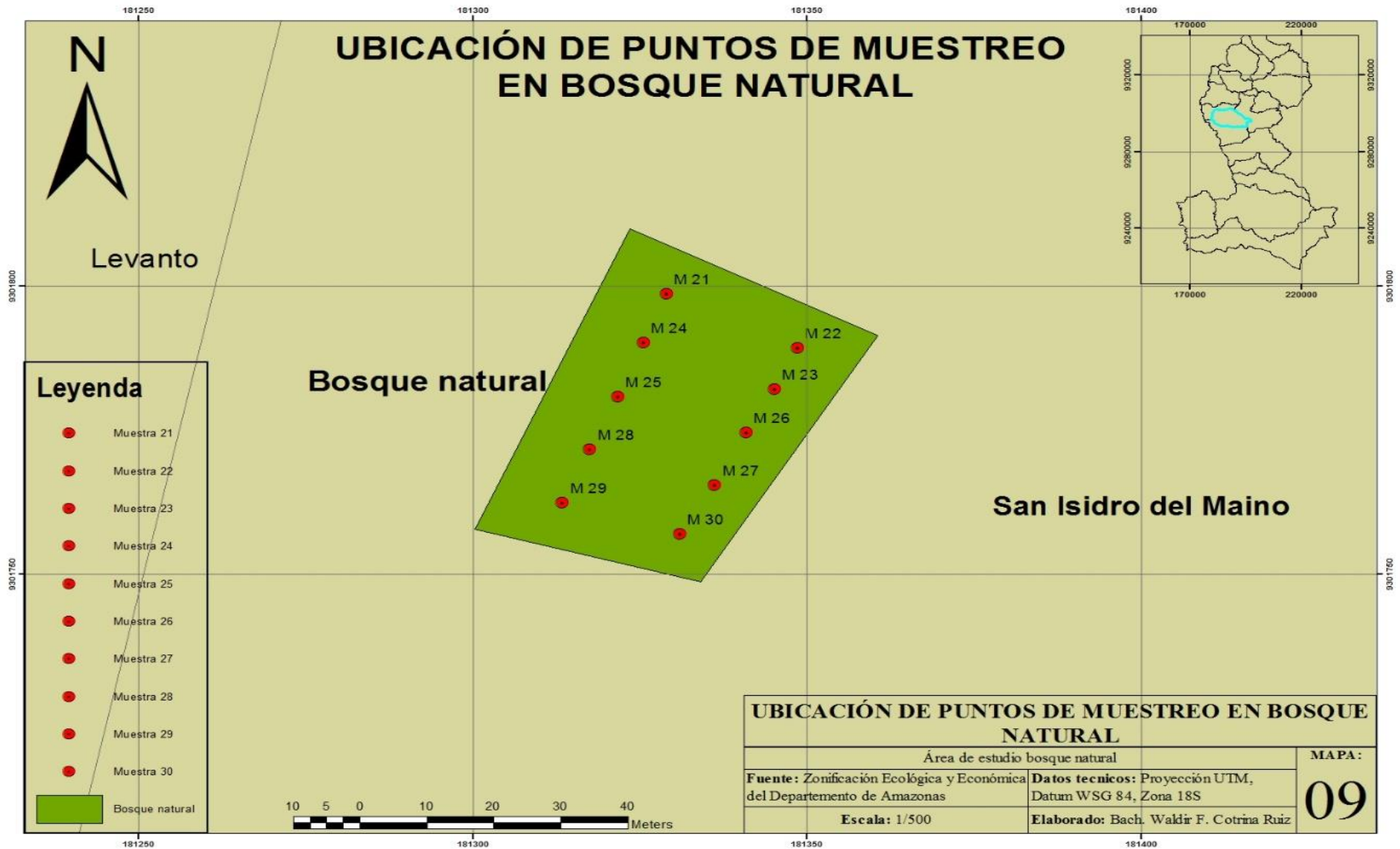


Figura 9. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en el bosque natural

Toma de muestras

Para la toma de muestras en campo de cada punto de muestreo se realizó mediante el protocolo de muestreo de suelo, establecido por el Ministerio del Ambiente en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo (MINAM, 2014).

Los parámetros medidos en campo fueron: (Emisión de CO₂, temperatura, humedad, densidad y edad del cultivo), el muestreo se realizó directamente en las parcelas de estudio. Los equipos y materiales utilizados fueron (solución de NaOH 0,5 M, BaCl₂, balanza analítica de precisión, higrómetro, termómetro ambiental Daltrak, cilindro de densidad y fichas de campo), se realizó en tres etapas (etapa de siembra del cultivo, etapa de florecimiento del cultivo y etapa de cosecha del cultivo).

Los parámetros determinados en el laboratorio fueron: Ambiental (emisión de CO₂), físicos (materia orgánica, temperatura, humedad, densidad) y químicos (pH). Se utilizaron diferentes equipos y materiales (reactivos químicos, HCl, fenolftaleína, estufa, balanza de precisión, pHmetro, agitador de muestras).

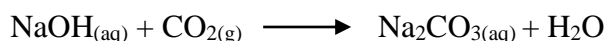
Emisión de CO₂ del suelo fase de campo

Se establecieron 10 puntos de muestreo en las tres parcelas, tratando que se encuentren entre las hileras de los cultivos y mantengan una distancia constante en los sistemas de cultivos, la distancia entre puntos de muestreo fueron 5 m de largo por 5 m de ancho, con bordes de 2,5 m en ambos extremos (Gomes *et al.*, 2016). Para la obtención óptima de las muestras, se retiró la cobertura vegetal y otro tipo de cobertura diferente de la superficie del punto de muestreo, 24 horas antes de instalar las cámaras cerradas para la captura del CO₂ (Heinemeyer *et al.*, 2011).

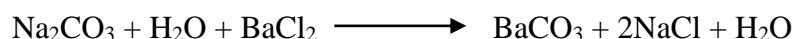
Se obtuvieron muestras de emisiones de CO₂ del suelo con el método de absorción alcalina (AA) en cámaras estáticas cerradas colocadas en las superficies del suelo (Anderson, 1982). Se instaló en cada punto de muestreo cámaras cerradas de plástico de 18 cm de largo con un diámetro interno de 20

cm, luego se introdujo un recipiente de plástico con un contenido de 25 mL de solución NaOH 0,5 M (Belleza *et al.*, 2005), el cual se colocó a una altura aproximada de 2 a 3 cm del suelo sujetado por un trípode hecho de alambre, luego se cerró con la cámara de plástico de manera inversa, a una profundidad de 2 cm del suelo. Se dejó el contenido de la solución dentro de la cámara cerrada por un tiempo de 24 h, para que la emisión de CO₂ del suelo reaccione con la solución alcalina (Ewel *et al.*, 1987).

La reacción global que ocurrió en el CO₂ del suelo y la solución de NaOH 0,5 M (González, 2013), fue:



Pasado el tiempo se extrajeron los recipientes de plástico con el contenido de solución ya reaccionado con las emisiones de CO₂ del suelo. Luego se precipitó el carbonato contenido en la disolución de NaOH añadiendo 10 mL de BaCl₂ 1,5 N. Donde la cantidad de cristales blancos formados es proporcional a la concentración de carbono presente en la disolución alcalina. La reacción fue la siguiente:



Luego las muestras fueron transportadas cuidadosamente al laboratorio para su análisis. Para las muestras de cada parcela se consideró un blanco o testigo el cual se obtuvo de cámaras cerradas instaladas en campo, utilizando el mismo procedimiento.

Emisión de CO₂ fase de laboratorio

Se realizó en el Laboratorio de Investigación Rivelab SAC, los cuales fueron complementados con los análisis realizados en el laboratorio LABISAG, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Se titularon las muestras obtenidas en campo por el método de titulación con HCl 0,1N. Primero se obtuvo una muestra de 5 mL de NaOH de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se añadió 10 mL de H₂O destilada, dos gotas de fenolftaleína, donde la disolución se cambia a un color rosa.

Luego se procedió con la titulación agregando lentamente gotas de HCl 0,1N a la muestra, después de cada adición se paró y mezcló la disolución agitando suavemente con una varilla de cristal. Cuando el color de la muestra cambio de rosa a blanco o incoloro (punto de vire o equivalencia), se terminó la titulación se registró del volumen de HCl usado.

Se repitió la titulación dos veces más para cada muestra, para encontrar un volumen medio de HCl 0,1N requerido en la titulación. Terminado este procedimiento se cuantificó la concentración de CO₂ absorbido por el NaOH de las muestras, utilizando la siguiente formula:

$$QCO_2 = (T-C) \times (N) \times (E) \times (V_{tr}/V_{ti})$$

Donde:

QCO₂: Cantidad de concentración de CO₂ de las muestras.

T: Volumen medio de HCl usado para valorar el CO₂ en el control.

C: Volumen de HCl necesario para valorar el CO₂ en cada una de las muestras.

N: Normalidad del HCl usado = 0,1

E: Factor de conversión: Se empleó 22 para obtener en mg de CO₂ o 6 para obtener los mg de C absorbido por el captador.

V_{tr}: Volumen del NaOH en el captador = 25 mL.

V_{ti}: Volumen de NaOH usado en la valoración = 5 mL.

Se anotaron los resultados en las fichas de laboratorio, y se cuantificó las emisiones de CO₂ del suelo. Este cálculo tuvo en cuenta la superficie del suelo expuesta y el tiempo de incubación. La respiración del suelo se calculó como la tasa de producción de CO₂ por superficie durante un periodo de tiempo dado y por tanto se definió como la emisión de CO₂ del suelo (mg/m².h), usando la siguiente formula:

$$ECO_2 = \frac{QCO_2}{(A)(t)}$$

Donde:

ECO₂: Flujo de CO₂ del suelo.

QCO₂: Cantidad de concentración de CO₂ de las muestras.

A: Área expuesta del suelo.

t: Tiempo de incubación en horas.

Se anotaron los resultados obtenidos en la ficha de laboratorio, se realizó esta metodología para las tres etapas del cultivo siembra, florecimiento y cosecha.

Materia orgánica del suelo fase de campo

En cada área de estudio, se escogió 6 puntos muestrales, tratando de abarcar toda el área de estudio, cada uno de estos puntos tendrá una distancia de 10 m de largo con bordes de largo de 5 m y bordes de ancho de 2,5 m, sumando un total de 18 puntos muestrales en las tres parcelas de estudio. En cada punto de muestreo se limpió el ras de suelo para eliminar a la cobertura vegetal u otro tipo de cobertura diferente a la tierra del cultivo.

Las muestras se obtuvieron excavando con la palana de forma que la palana forme una “V” o un ángulo de 45 grados con el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm, por 30 cm largo por 30 cm de ancho. Luego las seis muestras obtenidas se homogenizaron en un saco donde se mezclaron para tener una mejor homogenización. Después se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 0,5 - 1 kg, utilizando el método de cuarteo.

Las muestras representativas de cada parcela fueron etiquetadas con los siguientes datos: nombre de la parcela, etapa de muestreo. Luego se trasladaron las muestras cuidadosamente al laboratorio para su posterior análisis.

Materia orgánica del suelo fase de laboratorio

Para determinar la materia orgánica del suelo se utilizó el método de (Walkley y Black, 1934).

Se secaron las muestras de suelo llevando a una estufa a 40 °C por 24 horas. Luego, se molió el suelo con el mortero, se tamizó la muestra por malla, se cuarteó y se dispuso la muestra en un depósito de plástico.

Determinación del carbono orgánico

Se pesó 0,5 g de muestra seca de suelo y se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 250 ml, con una pipeta se agregó 10 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) de concentración 1 N y se agitó manualmente durante 1 min. Luego la muestra se llevó a la cámara de extracción de aire y con mucho cuidado se añadió 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (añadiendo lentamente por la pared del matraz), se agitó manualmente durante 1 min, luego se observó si ha obtenido un color pardo, si no se obtuvo ese color y presente un color verdusco (indica mayor cantidad de materia orgánica), se agregó 10 mL más de dicromato de potasio, en estos casos presentaron un color pardo desde un inicio.

Se dejó reposar a temperatura ambiente por 1 hora para la oxidación de la materia orgánica y se enrazó a 100 mL con agua destilada, dejando reposar durante 12 – 24 horas. Pasado el tiempo se tomó 10 mL de muestra en un vaso precipitado de 50 mL y se agregó 2 gotas de difenilamina.

Luego se empezó a titular con sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) también llamado Sal de Mohr, el cambio de color en la titulación fue de verde oscuro a verde brillante el cual indicó el final de la titulación. Se anotaron los mL de sulfato ferroso gastados y se empezó con la conversión de los datos para determinar la cantidad de materia orgánica.

Además, se preparó un blanco paralelo a este procedimiento sin muestra de suelo, el cual va a servir para calcular la cantidad de la materia orgánica total en el suelo y con el fin de determinar el punto de vire final.

Cálculo el porcentaje de carbono orgánico

Primero se determinó el gasto de Sal de Mohr del blanco en volumen y en concentración, para determinar el factor de corrección.

Luego se determinó el gasto de Sal de Mohr de la muestra en volumen y en concentración, para luego determinar el gasto real de Sal de Mohr gastado.

Luego se determinó el volumen de dicromato de potasio que reaccionó en la oxidación, utilizando el gasto real de Sal de Mohr.

Después se convirtió el volumen gastado de dicromato de potasio en la oxidación a porcentaje de carbono.

Se consideró que el 75 % del carbono orgánico se oxidó, por lo tanto, el peso equivalente se tomó como 4 mgC.

Luego se determinó el porcentaje de carbono orgánico, utilizando el porcentaje de carbono obtenido en la conversión del volumen de dicromato de potasio gastado en la oxidación.

Se calculó el porcentaje de materia orgánica del suelo con la siguiente formula:

$$\% \text{ M.O} = \% \text{ C.O} \times 1,724$$

Donde:

% M.O: Porcentaje de materia orgánica.

% C.O: Porcentaje de carbono orgánico.

1,724: Factor de Van Vammelen.

Se anotaron los resultados obtenidos; se realizó esta metodología para las tres etapas del cultivo siembra, florecimiento y cosecha. Para la decisión del tipo del suelo en función al contenido de materia orgánica (Velasco, 1983).

Tabla 5. Tipo del suelo en función al contenido de materia orgánica

Clase	% M.O.
Extremadamente pobre	< 0,6
Pobre	0,6 – 1,2
Medianamente pobre	1,21 – 1,8
Medio	1,81 – 2,4
Medianamente rico	2,4 – 3,0
Rico	3,1 – 4,2
Extremadamente rico	> 4,21

Fuente: Determinación de materia orgánica del suelo (Velasco, 1983)

Temperatura del suelo

En cada punto de muestreo, se excavó el suelo cuidadosamente con la pala a una profundidad de 12 cm, y se midió la temperatura del suelo con un termómetro ambiental Daltrack (Fonseca *et al.*, 2010).

Se anotó los resultados en la ficha de campo 01; se realizó esta metodología para las tres etapas del cultivo siembra, florecimiento y cosecha.

Densidad aparente del suelo fase de campo

Se despejó la cobertura vegetal y otros materiales en los puntos de muestreo, luego se insertó el cilindro de fierro en el suelo mediante golpes regulares hasta que el cilindro se sumerja en su totalidad.

Se escavó de forma cuidadosa el suelo alrededor del cilindro y se extrajo el cilindro con la palana y manos. Luego se enrasó ambos extremos cuidadosamente, cortando el exceso de suelo en ambos lados, seguidamente se depositó la muestra de suelo obtenida a una bolsa plástica y se cerró. Luego se pesó la muestra en la balanza de precisión y se anotaron los resultados en la ficha de campo 02, después se transportaron las muestras al laboratorio cuidadosamente.

Densidad aparente del suelo fase de laboratorio

En el laboratorio se depositó la muestra de suelo en un recipiente de porcelana

etiquetado, y se llevó a la estufa por 24 horas a una temperatura constante de 105 °C, pasado el tiempo, se sacó cuidadosamente la muestra de suelo de la estufa, se dejó enfriar a temperatura ambiente, luego se pesó la muestra con el plato de porcelana en la balanza analítica correctamente tarado, se anotaron los resultados en la ficha de campo 02, hasta que el suelo tenga un peso constante.

Se calculó la densidad aparente utilizando la siguiente relación:

$$Da = \frac{W_{ss}}{V_t}$$

Donde:

Da: Densidad aparente

W_{ss}: Peso de suelo seco

V_t: Volumen total de la muestra (volumen del cilindro)

Se anotaron los resultados en la ficha de campo 02; se realizó esta metodología para las tres etapas del cultivo siembra, florecimiento y cosecha.

Humedad

Se tomaron muestras representativas de suelo, se obtuvieron los pesos iniciales y finales de las muestras, para los cuales se aplicaron la relación matemática correspondiente. Entonces se calculó el porcentaje de humedad del suelo utilizando la siguiente relación:

$$\%H = \frac{W_{si} - W_{ss}}{W_{ss}} \times 100$$

Donde:

% H: Contenido de humedad.

W_{si}: Peso del suelo inicial.

W_{ss}: Peso del suelo seco.

Se anotaron los resultados en la ficha de campo 02; se realizó esta metodología para las tres etapas del cultivo siembra, florecimiento y cosecha.

pH

Se tomaron de las muestras de materia orgánica inmediatamente después de llegar al laboratorio, primero se tamizó una muestra de 50 g de suelo, luego se sacó 4 cucharadas de suelo de 5 g de suelo cada una, y se depositó en el recipiente de pH, después se agregó 20 mL de agua destilada, y luego se llevó al agitador de muestras durante 10 min.

Luego se ajustó el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras 4, 7 y 10. Pasados los 10 min, se midió el pH con el potenciómetro.

Se anotaron los resultados; se realizó esta metodología para las tres etapas del cultivo siembra, florecimiento y cosecha.

Tabla 6. Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH

Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	< 5,0
Moderadamente ácido	5,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Medianamente alcalino	7,4 – 8,5
Fuertemente alcalino	>8,5

Fuente: Evaluación del suelo según su pH (Nom-021-Recnat-2000)

Edad del cultivo fase campo

Se realizó una entrevista simple al dueño de los sistemas de cultivo para determinar la edad del cultivo, y otras características de dichos cultivos.

V. RESULTADOS

En las parcelas estudiadas se establecieron 10 puntos de muestreo respectivamente para cada parcela. Para la mejor interpretación de los resultados obtenidos se ha clasificado en cuatro grupos: Ambiental, físicos, químicos y morfológicos.

5.1. Variable ambiental

5.1.1. Emisión de CO₂ del suelo

Las emisiones de CO₂ más significativas, fueron del sistema de cultivo de papa, seguido del sistema de cultivo de maíz y del bosque natural.

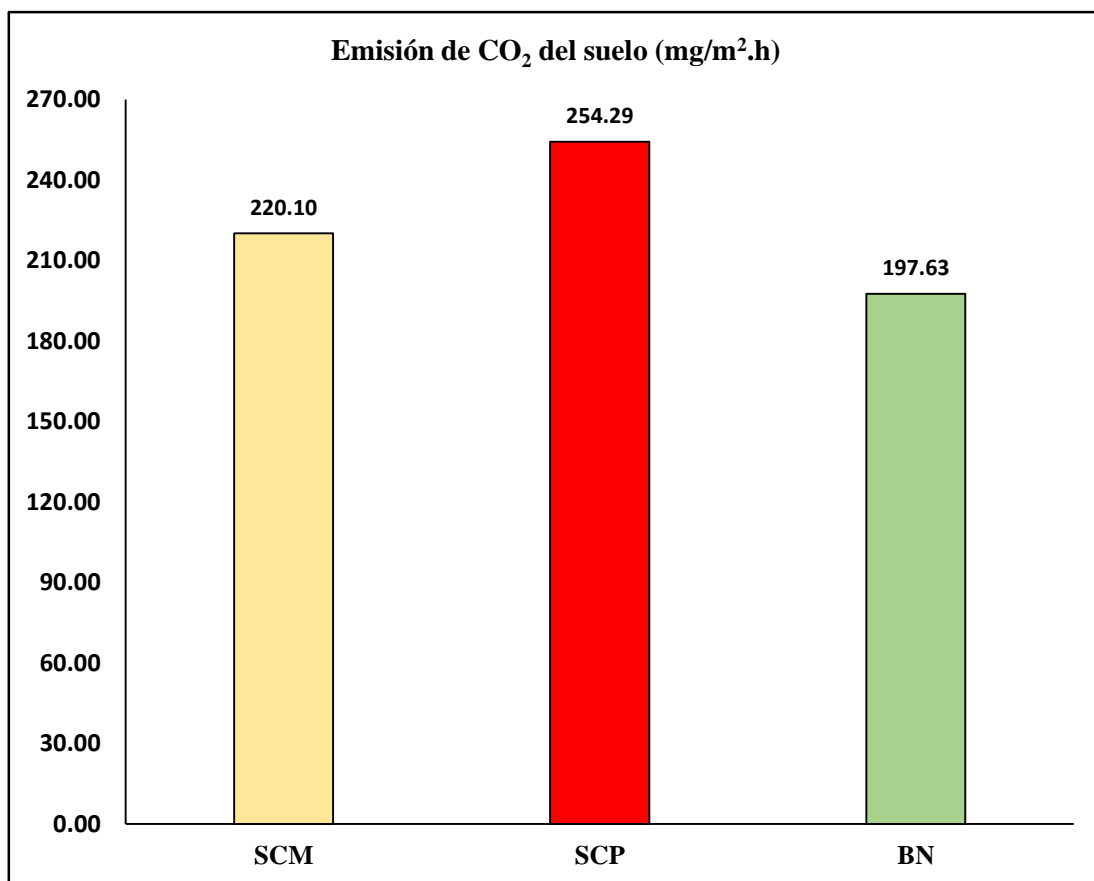


Figura 10. Valores de emisiones de CO₂ de sistemas de cultivo y bosque natural

Se registraron valores de emisión de CO₂ del suelo de 254,29, 220,10 y 197,63 mg de CO₂/m².h, del sistema de cultivo de papa, sistema de cultivo de maíz y bosque natural respectivamente como se muestra en la Figura 10, donde se observó que el sistema de cultivo de papa presenta mayor emisión de CO₂ del suelo.

5.2. Variables físicas

5.2.1. Materia orgánica del suelo

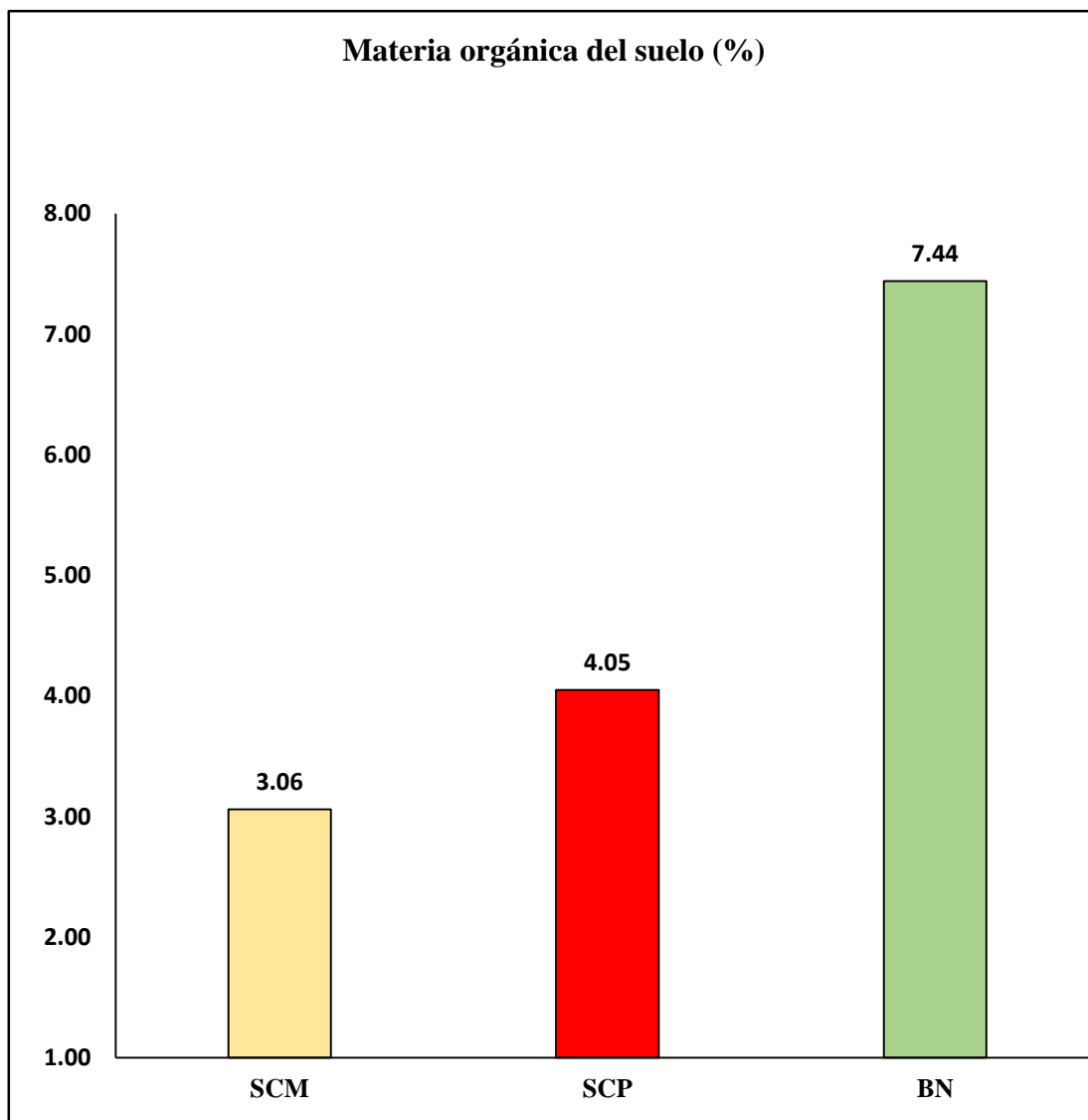


Figura 11. Valores de M. O. del suelo: Sistemas de cultivo y bosque natural

Se registraron valores de materia orgánica del suelo de 7,44, 4,05 y 3,06 %, del bosque natural, sistema de cultivo de papa y del sistema de cultivo de maíz respectivamente, como se muestra en la Figura 11, donde se observó que la materia orgánica del bosque natural es significativamente mayor a los sistemas de cultivo.

5.2.2. Densidad aparente del suelo

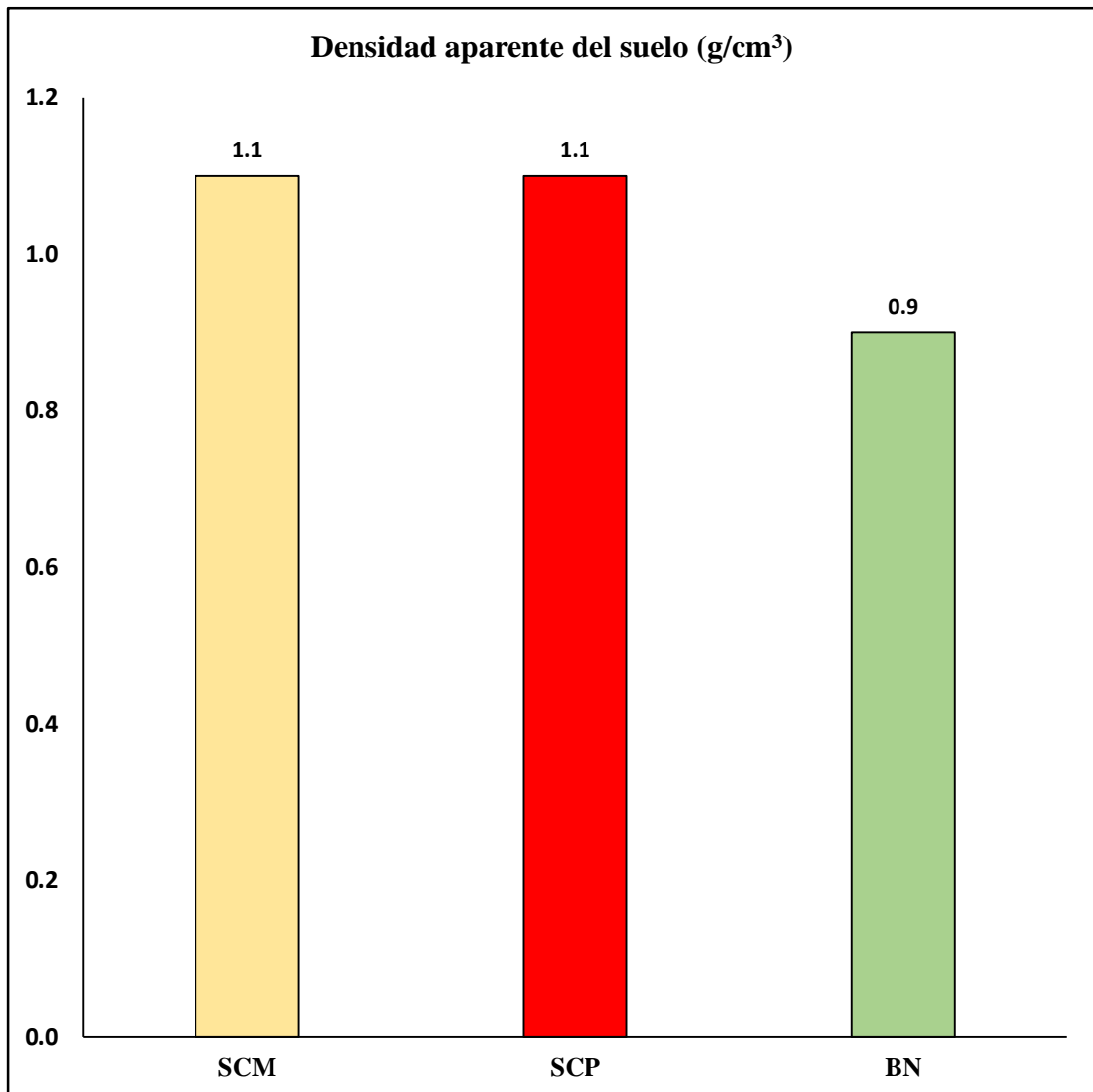


Figura 12. Valores de densidad aparente del suelo de sistemas de cultivo y bosque natural

Se registraron valores de densidad aparente del suelo de 1,1 g/cm³, 1,1 g/cm³, y 0,9 g/cm³, del sistema de cultivo de maíz, sistema de cultivo de papa y bosque natural respectivamente, como se muestra en la Figura 12, donde se observó que la densidad aparente del suelo de los sistemas de cultivo es mayor que la del bosque natural.

5.2.3. Humedad del suelo

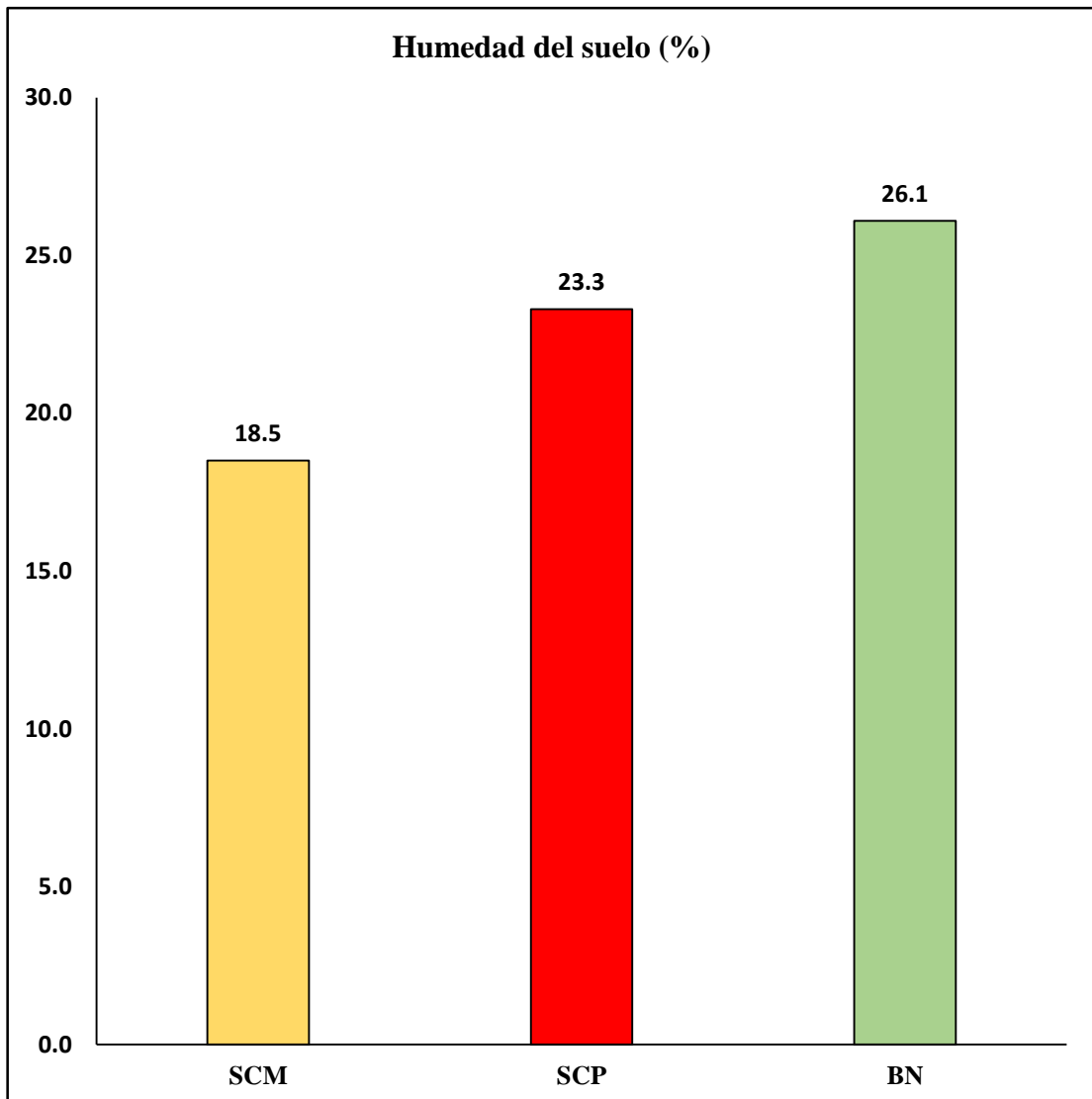


Figura 13. Valores de humedad del suelo de sistemas de cultivo y bosque natural

Se registraron valores de humedad del suelo de 26,1 %, 23,3 % y 18,5 % del bosque natural, sistema de cultivo de papa y sistema de cultivo de maíz respectivamente, como se muestra en la Figura 13, donde se observó que la humedad del suelo del bosque natural es mayor a la humedad del suelo de los sistemas de cultivo.

5.2.4. Temperatura del suelo

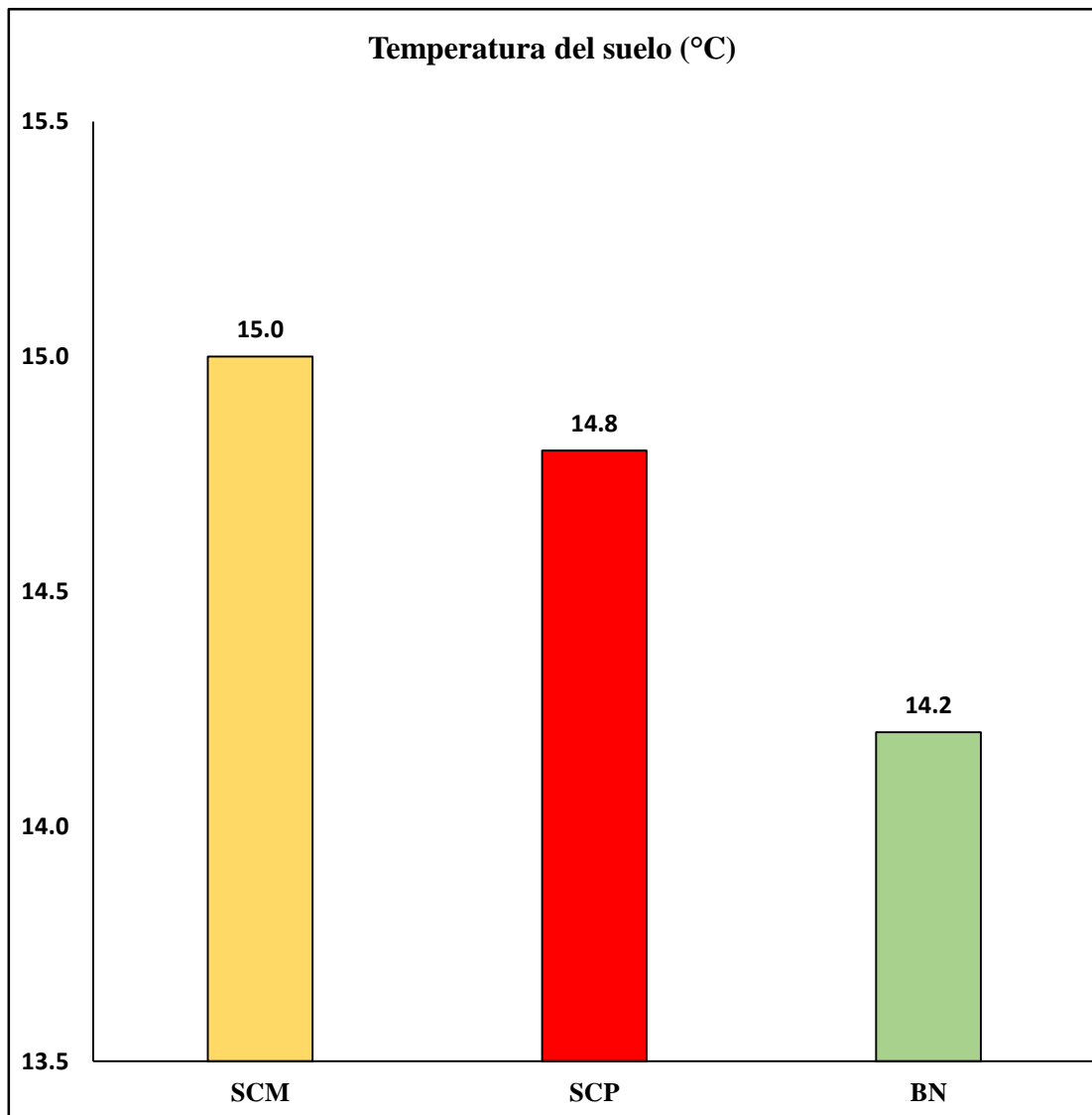


Figura 14. Valores de temperatura del suelo de sistemas de cultivo y bosque natural

Se registraron valores de temperatura del suelo de 15,0, 14,8 y 14,2 °C, del sistema de cultivo de maíz, sistema de cultivo de papa y bosque natural respectivamente, como se muestra en la Figura 14, donde se observó que la temperatura del suelo del sistema de cultivo de maíz es mayor que el sistema de cultivo de papa y del bosque natural.

5.3. Variables químicas

5.3.1. pH del suelo

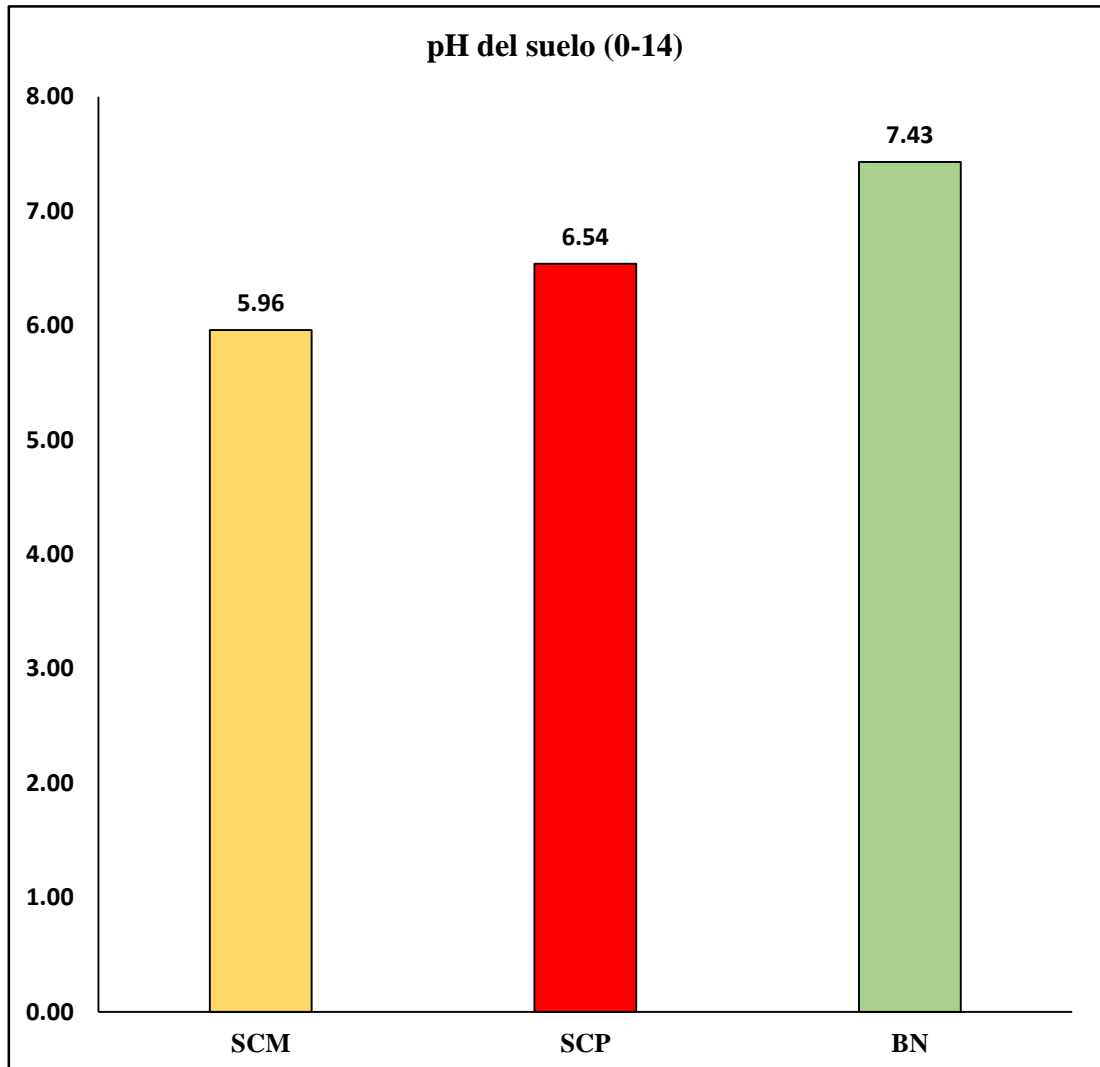


Figura 15. Valores de pH del suelo de los sistema de cultivo y bosque natural

Se registraron valores de pH del suelo de 7,43, 6,54 y 5,96, del bosque natural, sistema de cultivo de papa y sistema de cultivo de maíz respectivamente, como se muestra en la Figura 15, donde se observó que el pH del suelo del bosque natural es medianamente alcalino, el pH del suelo del sistema de cultivo de papa es moderadamente ácido y el pH del suelo del cultivo de maíz es moderadamente ácido.

5.4. Variable morfológica

5.4.1. Edad del cultivo

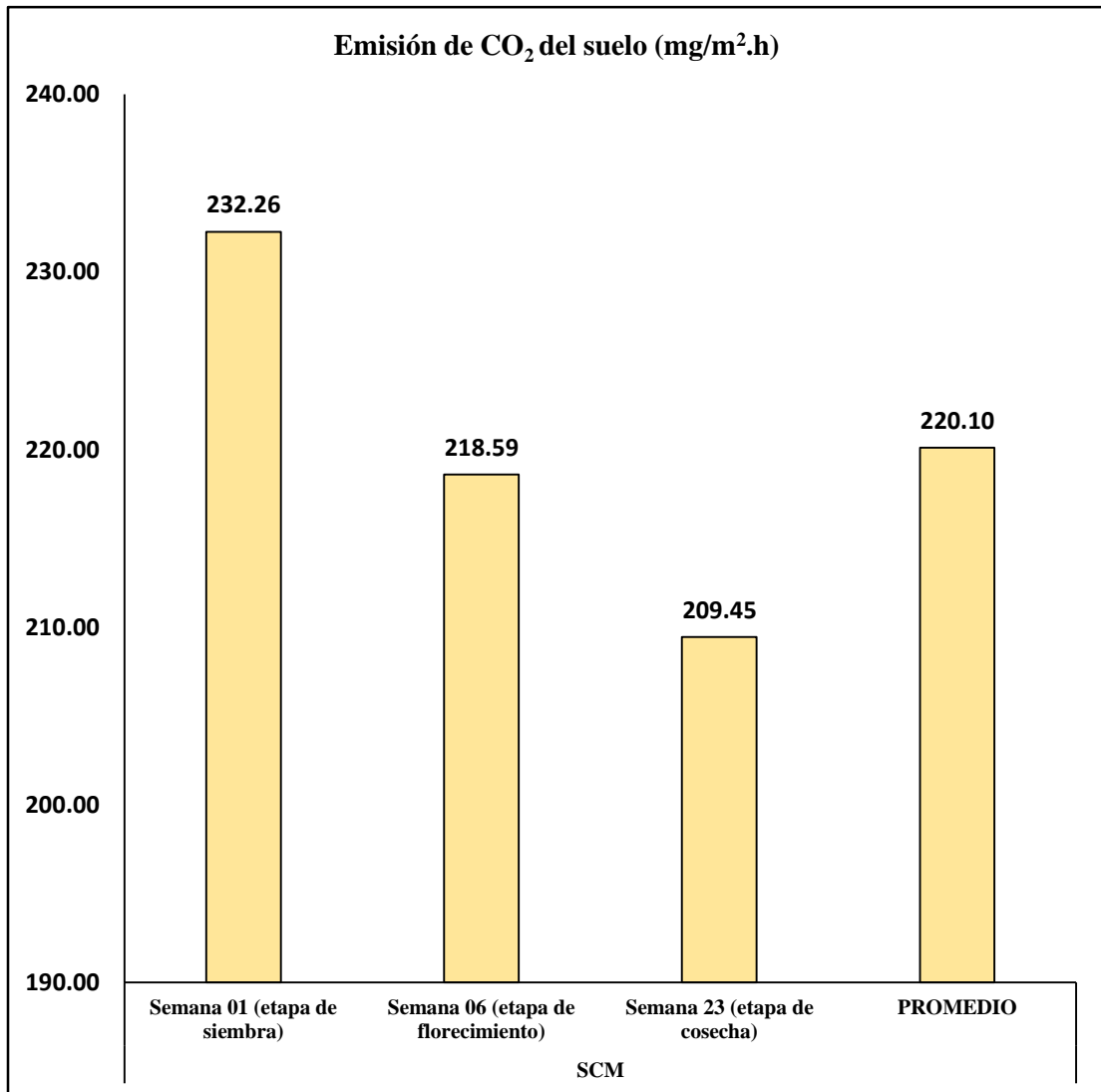


Figura 16. Valores de emisiones de CO₂ de suelo del sistema de cultivo de maíz

Se registraron valores de emisión de CO₂ del suelo de 232,26 mg CO₂/m².h, 218,58 mg CO₂/m².h y 209,45 mg CO₂/m².h, del sistema de cultivo de maíz según su edad respectivamente, como se muestra en la Figura 16, donde se observó que la emisión de CO₂ del suelo es mayor en la primera etapa del cultivo con respecto a las otras dos etapas de medición de CO₂ del suelo, obteniendo un promedio de emisión de 220,10 mg CO₂/m².h del suelo.

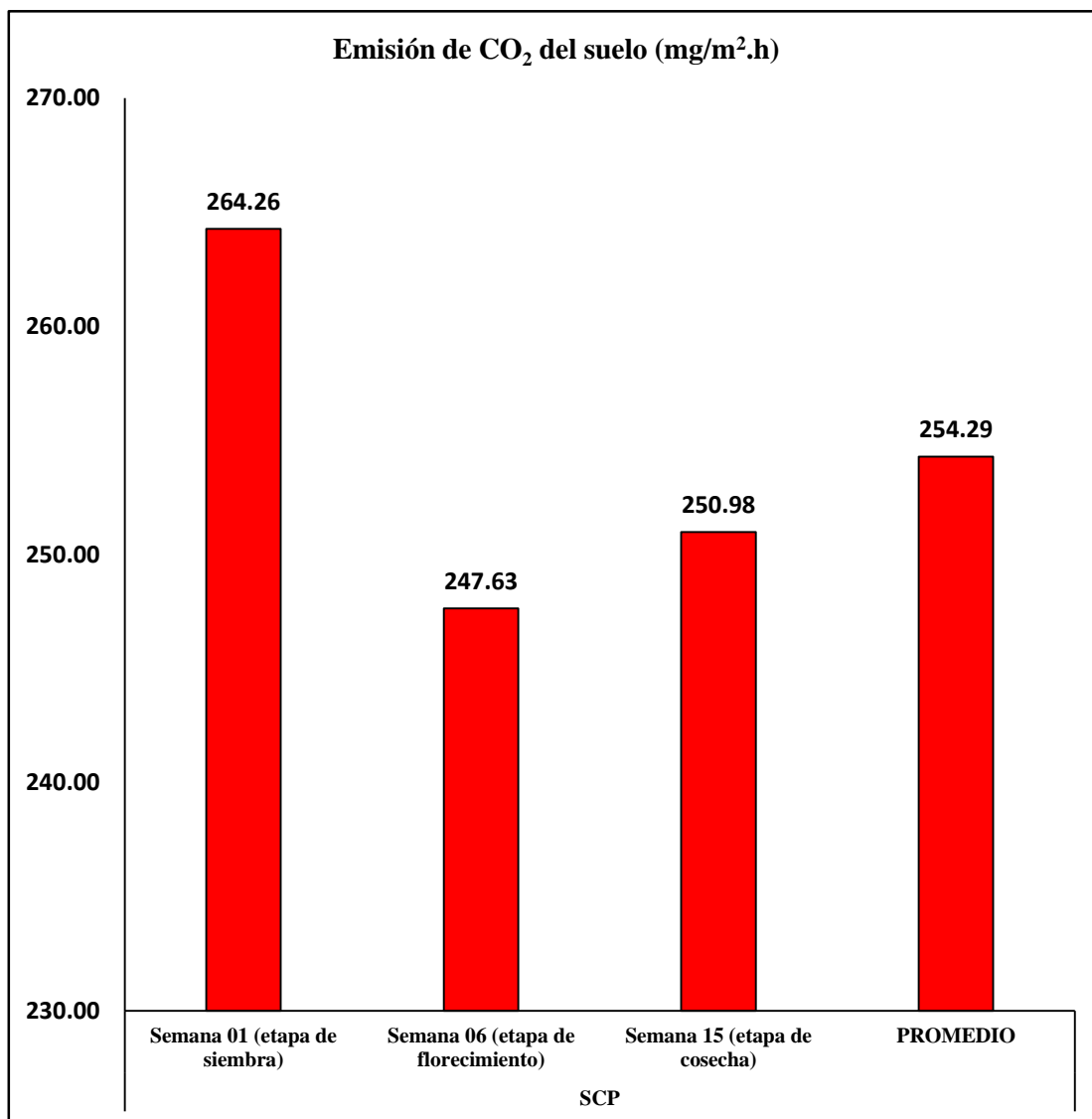


Figura 17. Valores de emisiones de CO₂ del suelo del sistema de cultivo de papa

Se registraron valores de emisión de CO₂ del suelo de 264,26, 247,63 y 250,98 mg CO₂/m².h, del sistema de cultivo de papa según su edad respectivamente, como se muestra en la Figura 17, donde se observó que la emisión de CO₂ del suelo es mayor en la primera etapa del cultivo con respecto a las otras dos etapas de medición de CO₂ del suelo, obteniendo un promedio de emisión de 254,29 mg CO₂/m².h del suelo.

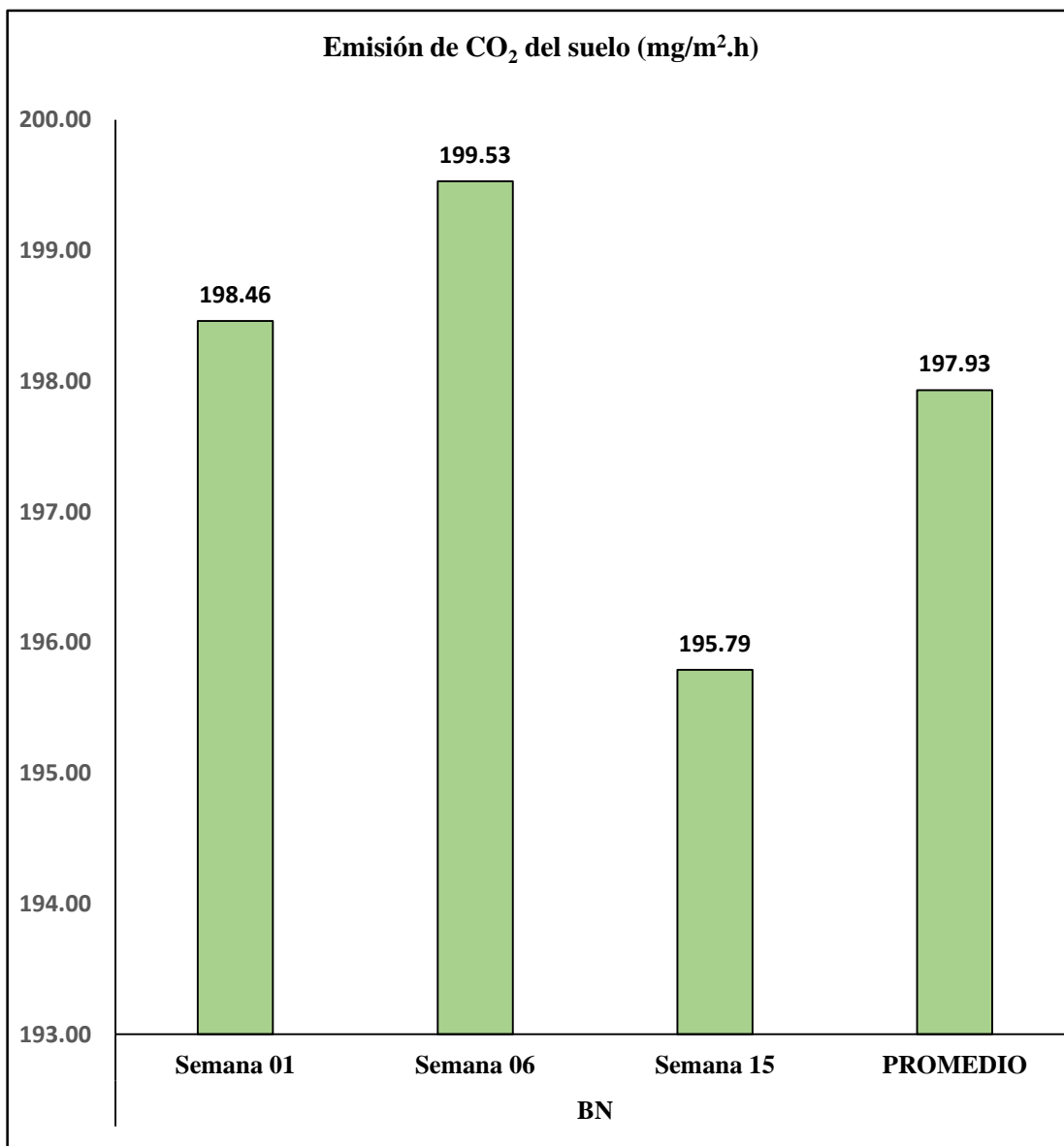


Figura 18. Valores de emisiones de CO₂ del suelo del bosque natural

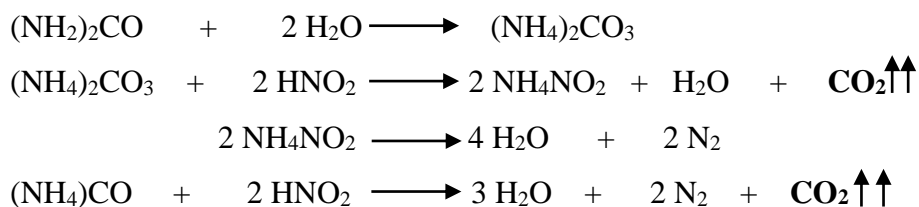
Se registraron valores de emisión de CO₂ del suelo de 198,46 mg CO₂/m².h, 199,53 mg CO₂/m².h y 195,79 mg CO₂/m².h, del bosque natural respectivamente, como se muestra en la Figura 18, donde se observó que la emisión de CO₂ del suelo es mayor en la sexta semana de medición que las otras dos semanas de medición de CO₂ del suelo, obteniendo un promedio de emisión de 197,93 mg CO₂/m².h del suelo.

VI. DISCUSIÓN

Emisión de CO₂ del suelo

La emisión de CO₂ del suelo, es muy importante al estar relacionado con el incremento de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, lo que se corroboró con la evaluación de los sistemas utilizados en la presente investigación.

En este estudio se obtuvieron valores de emisiones de CO₂ del suelo de 254,29 mg de CO₂/m².h del sistema de cultivo de papa, 220,10 mg de CO₂/m².h del sistema de cultivo de maíz y 197,63 mg de CO₂/m².h del bosque natural, siendo el sistema de cultivo de papa el más significativo en la emisión de CO₂ del suelo; contribuyendo con mayor cantidad de emisión CO₂ del suelo respecto al sistema de cultivo de maíz y bosque natural. La papa como tal se diferencia del maíz y foresta, porque debajo del suelo forma un tubérculo de diverso tamaño; el cual para su formación requiere de un alto consumo de nitrógeno el cual normalmente es agregado en los cultivos mediante la adición de fertilizante externo como urea CO(NH₂)₂ (46 % de nitrógeno) y fosfato de mono amónico (11 % de nitrógeno y 52 % de fósforo en forma de P₂O₅) y en algunos casos nitrato amónico (NH₄NO₃, con 35 % de nitrógeno); sustancias que al entrar en contacto con el suelo van a sufrir reacciones de amonificación, nitrificación y desnitrificación; las cuales dan lugar a la formación de anhídrido carbónico, entre otros productos, tal como se evidencia en las siguientes reacciones de descomposición para el caso de la urea.



Es decir, la urea al igual que otros fertilizantes nitrogenados son generadores de nutrientes para la planta, pero además son sustancias químicas cuya descomposición en el interior del suelo emite más anhídrido carbónico (CO₂).

El maíz y el cultivo forestal a diferencia del cultivo de papas, generalmente no requiere de fertilización nitrogenada, su desarrollo metabólico es en base a los nutrientes propios y naturales que tiene el suelo. A pesar de ello, los sistemas de cultivo de maíz y bosque natural contribuyen también en moderadas cantidades de emisiones de CO₂ del suelo hacia la atmósfera alterando así la cantidad de concentración de dicho gas en la atmósfera. La emisión de éste gas se debe a similares procesos de descomposición como la amonificación, nitrificación y desnitrificación de la materia orgánica que de manera natural se generan en el tiempo, por la existencia de una comunidad bacteriana propia del suelo.

Parámetros físicos

Los parámetros físicos, son muy importantes e influyentes en la determinación de las emisiones de CO₂ del suelo, y para establecer cuál de los sistemas o bosque natural emiten mayor cantidad de CO₂ del suelo.

El contenido de materia orgánica indicó la calidad del suelo, por ejemplo, Jenkinson, 1988, encontró en su investigación que el contenido de materia orgánica para el bosque natural fue de 7,44%, para la papa fue de 4,05 % y para el cultivo de maíz fue de 3,06 %. Forma general y estándar se sabe que el contenido promedio de un suelo de materia orgánica es del 5,0 % (Sánchez, 2011); entonces el valor de bosque que alcanzó Jenkinson, fue la textura de un suelo forestal con más de 100 años de desarrollo biológico ininterrumpidamente.

Medir la materia orgánica del suelo es muy importante porque está directamente relacionada con la emisión de CO₂ del suelo ya que depende significativamente de éste parámetro (Vicente y Suarez, 2010). En este estudio se obtuvieron valores de materia orgánica del suelo de 7,44% del bosque natural, 4,05 % sistema de cultivo de papa y 3.06 %, del sistema de cultivo de maíz; siendo más significativo en el bosque natural, debido a que éste último es el resultado de muchos de años de descomposición de hojas, estiércol de animales, hojas, ello explica porque suelo forestal puede albergar el cultivo de árboles. A diferencia de suelo cultivable para papas y maíz, que presentaron un contenido de materia orgánica de acuerdo a los estándares normales (Velasco, 1983).

La densidad aparente del suelo que presentaron los sistemas de cultivo fueron similares de 1,1, 1,1, y 0,9 g/cm³, para el sistema de cultivo de maíz, sistema de cultivo de papa y bosque natural respectivamente, éste parámetro es muy importante ya que reguló el oxígeno disponible que presente el suelo según (Lacasta *et al.*, 2006).

La humedad regula la temperatura del suelo y afecta directamente a las condiciones de biodegradabilidad de la materia orgánica del suelo (Krebs, 2003). En ésta investigación se obtuvieron valores de humedad del suelo de 26,1% del bosque natural, 23,3% sistema de cultivo de papa y 18,5 % sistema de cultivo de maíz, presentando mayor cantidad de humedad el suelo del bosque natural seguido por el sistema de cultivo de papa y presentando una menor cantidad de humedad de suelo el sistema de cultivo de maíz. Debido a que el suelo del bosque natural por su sombra natural permite menor entrada de radiación solar con la consecuente temperatura fría bajo el bosque y por ende conservar mejor la humedad del suelo.

La temperatura del suelo influye con gran predominio en los organismos que tiene el suelo para la descomposición de la materia orgánica presente, además influyó en el pH y el oxígeno presente del suelo (GWW, 2005). Inclusive un incremento de temperatura de 10 °C a partir de temperaturas sub-óptimas, puede duplicar la emisión de CO₂ del suelo y crecimiento de microorganismos (Thamdrup *et al.*, 1998). En ésta investigación se obtuvieron valores de temperatura del suelo de 15,0 °C, 14,8 °C y 14,2 °C, del sistema de cultivo de maíz, sistema de cultivo de papa y bosque natural, donde el sistema de cultivo de papa presenta mayor temperatura, debido probablemente al conjunto de reacciones bioquímicas que se produjeron por la adición de sustancias nitrogenadas como la urea. Además se encontraron valores similares en el estudio de (Gomes *et al.*, 2016).

Parámetro químico

El parámetro químico, es muy importantes en la determinación de las emisiones de CO₂ del suelo, pues indica el nivel de alcalinidad o acides del suelo. Respecto al pH, éste factor tiene predominio en el crecimiento de organismos presentes en el suelo, al promover la descomposición de la materia orgánica del suelo presente (Bowman y Delfino, 1980). En ésta investigación se obtuvieron valores de pH del suelo de 7,43

del bosque natural, 6,54 del sistema de cultivo de papa y 5,96 del sistema de cultivo de maíz, donde se observó que el pH del suelo del bosque natural es medianamente alcalino, el pH del suelo del sistema de cultivo de papa y maíz es moderadamente ácido.

VII. CONCLUSIONES

- La actividad agrícola es con justa razón una de las labores más contaminadoras de los recursos naturales, no solamente por el uso de fertilizantes que requieren los diferentes cultivos, sino porque es una actividad que de alguna manera genera dióxido de carbono que se emite a la atmósfera, como resultado de las reacciones de descomposición de la materia orgánica (desechos) y materia inorgánica (fertilizantes). Por otra parte, es la actividad agropecuaria la que consume enormes cantidades de agua dulce, respecto a otras actividades industriales.
- Los parámetros físicos del suelo como la materia orgánica del suelo para el bosque natural mostraron una diferencia significativa mayor con respecto a los sistemas de cultivo de papa y maíz. En cuanto a la temperatura del suelo el sistema de cultivo de maíz mostró una temperatura mayor que el sistema de cultivo de papa y del bosque natural. En cambio, la humedad del suelo del bosque natural presentó una diferencia significativa mayor que los sistemas de cultivo de papa y maíz. Además, la densidad del suelo de los sistemas de cultivo de papa y maíz presentaron una densidad relativamente similar mientras que la densidad del suelo del bosque natural fue menor.
- El parámetro químico del suelo pH presentó un pH medianamente alcalino en el bosque natural, mientras que el pH del sistema de cultivo de papa y maíz presentaron un pH moderadamente ácido.
- Las emisiones de anhídrido de carbono (CO_2) formados en el suelo presentaron resultados diferentes en todos los casos, es decir, $220,10 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2.\text{h}$ en el sistema de cultivo de maíz, $245,29 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2.\text{h}$ en el sistema de cultivo de papa y $197,63 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2.\text{h}$ en el bosque natural. Siendo de ésta manera el cultivo de papa el que contribuye con mayor emisión de CO_2 al medio atmosférico, respecto al maíz y la foresta.

VIII. RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de mediciones de CO₂ del suelo más frecuente (semanal) en todos los cultivos que se implementan en la agricultura buscando en lo posible encontrar formas de reducción del CO₂ que se forma espontáneamente por las reacciones de degradación que se producen en el suelo, sin mermar la productividad de los productos cultivados.
- Instalar e implementar unidades de control ambiental con equipos modernos que puedan permitir medir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del suelo como los medidores tipo (InfraRed Gas Analyzer, IRGA; LI-820 LI-COR, Lincoln NE, USA).
- Que, las investigaciones de éste tipo se realicen en épocas de secano, que para el área de trabajo seleccionada fue entre Febrero y Julio, lo cual hizo más difícil la toma de lecturas por las lluvias. Es decir, una fecha adecuada sería entre Julio y Noviembre en el que hay ausencia de lluvias.
- Que, las autoridades municipales y regionales gestionen y financien estudios en tema de emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero del suelo, con el fin de controlar mejor las emisiones de éste gas invernadero. Es decir, con una base de datos adecuada se podría instrumentar un programa de emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de cultivo de importancia económica rural.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R. (2006). Balance de carbono en los suelos. INTA-Estación Experimental Agropecuaria Rafael. Información Técnica de trigo campaña 2006. Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Publicación Miscelánea N° 105. 37 – 43.
- Alef K, 1995. Soil Respiration. Methods in applied soil. Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.
- Anderson, J.P.E. (1982). Soil Respiration. Part 2. Chemical and biological properties. Ed.Madison: Soil science society of America.Coleman, D.C. (1973). Soil Carbon balance in a successional grassland. Oikos. V. 24. P. 195 – 199.
- Belleza, E.A., Siqueira, D.V., y Gomes, A.C. (2005). Medidas do fluxo de CO₂ do solo pelos Métodos da absorção Alcalina e Analisador de Gás infravermelho em diferentes sistemas de manejo no cerrado. Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária Embrapa Ceerrados. Ministerio de Agricultura, pecuária e abastecimento. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Planaltina-Brasil.
- Bocco, G. (1998): “Instrumentos para la medición de cambio de cobertura de suelo”; En <http://www.oikos.unam.mx/cus/instrumentos.html>
- Cueva, A., Yépez, A., Garatuza, J., Watts, C., Rodríguez, J., (2012). Diseño de un sistema portátil para medir la respiración de suelo en ecosistemas. Terra latinoamericana. Vol. 30, n 4: 327-336.
- Castro, W. 2010. Geomorfología, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú.
- Castro, W. 2010. Geología, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú.

- Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C., Mata, R., (2014). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía costarricense*. Vol. 39, n 1: 37-46.
- Escobedo, R. (2010). Suelo y Capacidad de Uso Mayor de la Tierra, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú.
- Ewel, K.C., Cropper, W.P., Gholz, H.L. (1987). Soil CO₂ evolution in florida slash pine plantations. I. Changes through time. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, (17) 325 – 329.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2015). Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. Año internacional de los suelos. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4737s.pdf>. Agosto 31, 2016. 10:08 pm.
- Fonseca, A., Naves, M.L., França, D.A., Curi, N., & Silva, C.A. (2010). Variabilidade espacial do fluxo de CO₂ do solo em povoamento de eucalipto. *FLORESTA*, Curitiba. V. 41, n 2: 407 – 422.
- Gomes, L.C., Cardoso, I.M., Mendoca, E.S., Fernandes, R.B.A., Lopes, V. S., y Oliveira, T.S. (2016). Tree modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and forest meteorology*. 224, 30-39.
- González, P. (2013). Estudo da absorção de CO₂ de gases exaustos de usinas termelétricas em reator cilíndrico contendo solução de NaOH. Universidad Federal do Rio de Janeiro, Brazil. Pp. 80.
- Guerrero, P., Quintero, R., Espinoza, V., Benedicto, G., Sánchez, M., (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de lupinus. *Terra latinoamericana*. Vol. 30, n 4: 355-362.

- Hidalgo, M. (2013). La influencia del cambio climático en la seguridad alimentaria. Seguridad alimentaria y seguridad global, España. Pp. 67-89.
- Heinemeyer, A., *et al.* (2011). Soil respiration: implications of the plant-soil continuum and respiration chamber collar-insertion depth on measurement and modelling of soil CO₂ efflux rates in three ecosystems. *Eur.J.Soil Sci.* 62 (2) 82 – 94.
- Houghton, R.A., E.A. Davidson., and G.M. Woodwell. (1998). Missing sinks, feedbacks, and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance. *Biogeochemical Cycles*: 12: 25-34.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014), Climate change: Mitigation of climate change. Working group III contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university. USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013), Climate change: The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university. USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000), Climate change: Emission scenarios. A special report of working group III contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university. USA.
- Jenkinson, D.S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. *In*: Wild, A. (Ed.). Russel's soil conditions and plant growth. 11th ed. Longman. New York, USA. p. 564-607.
- Krebs, L. (2003). "Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono". Tesis de grado Magister en ciencias. Escuela Superior

Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar.
Guayaquil – Ecuador. 67p

- Lacasta, C.; M. Benítez; N. Maire; y R. Meco. (2006). Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. Toledo, España.
- Longdoz, B., Yernaux, M., & Aubinet, M. (2000) Soil CO₂ efflux measurements in a mixed forest: impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution. *Glob. Chang. Biol.* 6. 907 – 917.
- Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & tillage research.* 43(1-2): 81-107.
- Lloyd, J., y Taylor, A., (1994). On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology.* 8: 315-323.
- Nom-021-Reclat (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial*, 31 de diciembre de 2002.
- Moniet, G., Cierrad, E., Hunt, J.N., Fraser, A., Turnbull, M.H., y Whitehead, D., (2016). Soil heterotrophic respiration is insensitive to changes in soil water content but related to microbial access to organic matter. *Geoderma.* 274, 68-78.
- Moitinho, M.A. (2013) Emissão do CO₂ e sua relação com propriedades, manejo do solo e palha em áreas de cana de açúcar. *Universidade Estadual Paulista UNESP.* El editor. Brasil. Pp. 68.
- Martínez, E., López, F., Rubio, E., Dadi, T., Andrés, M., García, A., Lucas, M., Candel, D., Wic, C., (2013). El flujo de CO₂ del suelo y sus variaciones espaciales y temporales en un monte mixto de *Pinus pinaster* Ait. y *Quercus ilex* L. *Sociedad española de ciencia forestales.* 192: 297-311.

- Mendiara, S. (2012). Efectos de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del valle del Ebro (Tesis de Final de Carrera). Universitat de Vic Escola Politècnica Superior, España.
- MINAM, (Ministerio del Ambiente) (2014). Guía para el muestreo de suelos. Dirección general de calidad ambiental. Lima. MINAM.
- MINAM, (Ministerio del Ambiente) (2010). Plan de adaptación y mitigación frente al cambio climático. Lima. MINAM.
- Mora, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Recuperado de: <http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/9cc8db94revista5-6-9>. Septiembre 01, 2016. 11:20 am.
- Meyer, W. y Turner, B. (1994): "Changes in land use and cover: A global perspective: Papers arising from the 1991 global change institute"; University of Cambridge.
- Panosso, A., Pereira, G., Marques, J., & Scala, J., (2008). Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolos sob cultivo de cana-deaçúcar em diferentes sistemas de manejo. Eng. Agríc., 28:227-236.
- PCNN (Programa Nacional de Cambio Climático). (2003). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Bolivia para la década de 1990-2000 y su análisis tendencial. La Paz: Ministerio de desarrollo sostenible y planificación, Viceministerio de medio ambiente y recursos naturales.
- Ramírez, J. (2010). Uso actual de la tierra, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú.
- Raich, J. and W. Schlesinger. (1992). The global carbondioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus, Series B – Chem. Phys. Meteorol. 44(2):81-99.

- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N., Rice, C., Robledo, C., Romanovskaya, A., Sperling, F., Tubiello, F., (2014): Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Sánchez, M. (2011). La medida de la respiración del suelo como herramienta docente en edafología. Universidad de Granada. Revista iberoamericana para la investigación y el Desarrollo Educativo V. 2: (3), 26 – 37.
- Sebillotte, M., (1987). Los sistemas de cultivos. Reflexiones sobre el interés y el empleo de esta noción a partir de la experiencia adquirida en región de grandes explotaciones. Bol. Sis. Agrarios, Lima, No. 3: 4-16.
- Thamdrub, B. J. W. Hansen, y B. B. Jorgensen. 1998. Temperature dependence of aerobic respiration in a coastal sediment. Microbiology Ecology. 25:189-200.
- Vargas, J. 2010. Clima, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú.
- Vicente, F., Suarez, L., (2010). Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales-valle del Mantaro. Cambio climático en la cuenca del Mantaro. Vol. 1, n 1: 27-31.
- Velasco, R., (1983). Uso y manejo del suelo. Ed. Limusa. 191 p.

- Wang, R., Wang, Z., Sun, Q., Zhao, M., Du, L., Wu, D., Li, R., Gao, X., Guo, S., (2016). Effects of crop types and nitrogen fertilization on temperature sensitivity of soil respiration in the semi-arid loess plateau. *Soil & tillage research*. 163, 1-9.
- Woods end Research. (1997). Guide to solvita testing and managing your soil. Woods EndResearchLaboratory, Inc., Mt. Vernon, ME.
- Walkley, A., y Black, A., (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*. 37: 29-38.
- Yepes, F., Del Castillo, D., Honorio, E., Baker, T., Chung, J., (2010). Monitoreo de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en suelos de la Amazonia Peruana. *Xilema*. Vol. 23, n 1: 27-28.

ANEXOS

Anexo 1. Emisión de CO₂ del suelo en las tres etapas de

Parámetro/ Etapas	Emisión de CO ₂ del suelo (mg/m ² .h)		
	SCM	SCP	BN
Siembra	232.26	264.26	198.46
Florecimiento	218.59	247.63	199.53
Cosecha	209.45	250.98	195.79

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 2. Parámetro químico del suelo en las tres etapas de muestreo

Parámetro/ Etapas	pH del suelo (0-14)		
	SCM	SCP	BN
Siembra	5.97	6.69	7.35
Florecimiento	5.77	6.36	7.50
Cosecha	6.13	6.57	7.44

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 3. Parámetros físicos del suelo en las tres etapas de muestreo

Parametro/ Etapas	Materia orgánica del suelo (%)			Densidad Aparente del suelo (g/cm³)			Humedad del suelo (%)			Temperatura del suelo (°C)		
	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN
Siembra	3.35	4.10	7.08	1.0	1.0	0.9	21.1	25.1	29.0	16.0	15.5	14.6
Florecimiento	3.12	4.65	7.70	1.1	1.1	0.9	19.3	24.7	26.1	14.8	14.5	14.0
Cosecha	2.70	3.40	7.55	1.1	1.1	1.0	15.2	20.2	23.2	14.3	14.4	13.9

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 4. Distribución de indicadores estadísticos de los parámetros físicos, químicos y característica ambiental del suelo en las tres etapas de muestreo

Característica y Parámetros/ indicadores estadísticos	C. ambiental			P. físicos												P. químicos		
	Emisión de CO ₂ del suelo (mg/m ² .h)			Materia orgánica del suelo (%)			Densidad aparente del suelo (g/cm ³)			Humedad del suelo (%)			Temperatura del suelo (°C)			pH del suelo (0-14)		
	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN	SCM	SCP	BN
Muestras	30	30	30	3	3	3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	3	3	3
Promedio	220.10	254.29	197.63	3.06	4.05	7.44	1.1	1.1	0.9	18.5	23.3	26.1	15.0	14.8	14.2	5.96	6.54	7.43
Mínimo	209.45	247.63	195.79	2.70	3.40	7.08	1.0	1.0	0.9	15.2	20.2	23.2	14.3	14.4	13.9	5.77	6.36	7.35
Máximo	232.26	264.26	199.53	3.35	4.65	7.70	1.1	1.1	1.0	21.1	25.1	29.0	16.0	15.5	14.6	6.13	6.69	7.50
Rango	22.81	16.63	3.74	0.65	1.25	0.62	0.1	0.1	0.1	5.9	4.9	5.8	1.7	1.1	0.7	0.36	0.33	0.15
Desviación estándar	11.48	8.80	1.93	0.33	0.63	0.32	0.06	0.06	0.06	3.02	2.72	2.90	0.87	0.61	0.38	0.18	0.17	0.08
Coefficiente de variación	5.22%	3.46%	0.97%	10.78%	15.47%	4.35%	5.41%	5.41%	6.19%	16.32%	11.66%	11.11%	5.81%	4.11%	2.67%	3.03%	2.55%	1.02%

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 5. Recolección de muestra para el análisis físico del suelo (etapa de siembra)

Ficha de campo 01: Recolección de muestra para el análisis físico (etapa de siembra)					
Nº de muestra	Hi	Hf	Ti (°C)	Tmd (°C)	Tf (°C)
SCCM					
M1	09:20	09:20	15.5	16.5	15.9
M2	09:24	09:24	15.8	16.4	15.6
M3	09:29	09:28	15.8	16.7	15.8
M4	09:33	09:32	15.9	16.6	16.0
M5	09:38	09:35	15.5	16.6	16.0
M6	09:42	09:38	15.7	16.5	15.4
M7	09:45	09:42	15.8	16.6	15.8
M8	09:49	09:46	15.5	16.8	15.8
M9	09:53	09:49	15.9	16.4	15.9
M10	09:58	09:53	15.9	16.7	15.7
Promedio			15.7	16.6	15.8
SCCP					
M11	08:26	08:26	15.1	16.2	15.2
M12	08:32	08:29	15.0	16.0	15.0
M13	08:35	08:34	15.0	16.2	15.0
M14	08:39	08:38	15.2	16.2	14.9
M15	08:43	08:42	15.0	16.5	15.4
M16	08:48	08:44	14.9	16.2	15.0
M17	08:52	08:49	15.2	16.4	15.2
M18	08:55	08:53	15.4	16.5	15.0
M19	08:59	08:57	15.2	16.0	15.0
M20	09:03	09:02	15.0	16.2	15.4
Promedio			15.2	16.2	15.2
BN					
M21	07:00	07:00	14.5	15.2	13.8
M22	07:06	07:04	14.7	15.0	14.0
M23	07:10	07:07	14.2	15.2	13.9
M24	07:15	07:12	14.9	15.2	14.3
M25	07:20	07:16	14.5	15.4	14.3
M26	07:26	07:20	14.5	15.2	14.0
M27	07:29	07:25	14.7	15.4	14.3
M28	07:34	07:29	14.9	15.2	14.0
M29	07:39	07:33	14.6	15.3	14.4
M30	07:44	07:38	14.4	15.4	14.0
Promedio			14.6	15.2	14.2

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 6. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de florecimiento)

Ficha de campo 01: Recolección de muestra para el análisis físico (etapa de florecimiento)					
Nº de muestra	Hi	Hf	Ti (°C)	Tmd (°C)	Tf (°C)
SCCM					
M1	08:29	08:29	14.4	15.0	14.6
M2	08:33	08:32	14.0	15.2	14.5
M3	08:37	08:35	14.2	15.2	14.6
M4	08:41	08:39	14.5	15.4	14.8
M5	08:47	08:43	14.2	15.5	14.8
M6	08:52	08:47	14.2	15.2	14.9
M7	08:57	08:50	14.5	15.5	14.7
M8	09:02	08:59	14.4	15.5	14.8
M9	09:08	08:57	14.6	15.4	14.9
M10	09:12	09:08	14.5	15.4	14.9
Promedio			14.4	15.3	14.8
SCCP					
M11	07:34	07:34	13.9	14.9	14.5
M12	07:38	07:38	14.0	14.9	14.5
M13	07:43	07:41	14.0	15.0	14.7
M14	07:48	07:45	13.7	14.7	14.6
M15	07:52	07:48	13.9	14.9	14.5
M16	07:56	07:51	14.0	15.0	14.6
M17	07:59	07:55	14.2	15.2	14.7
M18	08:04	07:59	13.9	15.0	14.7
M19	08:08	08:04	14.0	15.4	14.6
M20	08:13	08:09	14.2	15.2	14.8
Promedio			14.0	15.0	14.6
BN					
M21	06:15	06:15	13.9	14.7	14.1
M22	06:20	06:18	13.8	14.9	14.0
M23	06:24	06:22	13.6	14.8	14.4
M24	06:30	06:22	13.8	14.8	14.0
M25	06:33	06:28	13.9	14.7	14.0
M26	06:37	06:30	14.0	14.9	14.2
M27	06:42	06:34	13.9	14.9	14.1
M28	06:46	06:39	13.9	14.8	14.2
M29	06:51	06:42	14.0	14.7	14.4
M30	06:57	06:50	13.7	14.9	14.4
Promedio			13.9	14.8	14.2

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 7. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de cosecha)

Ficha de campo 01: Recolección de muestra para el análisis físico (etapa de cosecha)					
Nº de muestra	Hi	Hf	Ti (°C)	Tmd (°C)	Tf (°C)
SCCM					
M1	08:20	08:20	13.9	14.9	13.5
M2	08:24	08:24	13.7	15.0	13.5
M3	08:28	08:28	13.9	14.9	13.7
M4	08:32	08:32	14.0	14.9	13.6
M5	08:36	08:36	14.0	15.0	13.7
M6	08:41	08:41	14.2	15.0	13.6
M7	08:45	08:45	14.0	15.2	13.5
M8	08:49	08:49	14.3	15.3	13.6
M9	08:54	08:54	14.2	15.5	13.8
M10	08:59	08:59	14.2	15.5	13.8
Promedio			14.0	15.1	13.6
SCCP					
M11	07:15	07:15	13.7	14.4	14.5
M12	07:19	07:19	13.8	14.6	14.5
M13	07:24	07:24	13.8	14.5	14.7
M14	07:28	07:28	13.9	14.5	14.6
M15	07:33	07:33	13.9	14.7	14.5
M16	07:37	07:37	14.0	14.6	14.6
M17	07:42	07:42	14.2	14.6	14.7
M18	07:46	07:46	14.0	14.8	14.7
M19	07:50	07:50	14.0	14.7	14.6
M20	07:55	07:55	14.2	14.8	14.8
Promedio			13.9	14.6	14.6
BN					
M21	06:05	06:05	13.5	14.3	13.3
M22	06:09	06:09	13.7	14.5	13.3
M23	06:13	06:13	13.4	14.2	13.4
M24	06:17	06:17	13.5	14.2	13.2
M25	06:22	06:22	13.8	14.6	13.6
M26	06:26	06:26	13.9	14.6	13.6
M27	06:30	06:30	13.8	14.4	13.5
M28	06:34	06:34	13.9	14.6	13.5
M29	06:39	06:39	13.7	14.5	13.4
M30	06:44	06:44	13.9	14.7	13.5
Promedio			13.7	14.7	13.5

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 8. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de siembra)

Ficha de campo 02: Recolección de muestra para el análisis físico del suelo (etapa de siembra)					
Nº de muestra	Wsi (g)	Wss (g)	Vt (cm ³)	Da del suelo (g/cm ³)	%H del suelo
SCCM					
M1	247	207	206.12	1.0	29.3
M2	239	200	206.12	1.0	29.5
M3	301	243	206.12	1.2	23.9
M4	268	212	206.12	1.0	26.4
M5	244	202	206.12	1.0	20.8
M6	260	223	206.12	1.1	16.6
M7	251	217	206.12	1.1	15.7
M8	245	209	206.12	1.0	20.1
M9	268	203	206.12	1.0	32.0
M10	234	200	206.12	1.0	17.0
Promedio				1.0	21.1
SCCP					
M11	275	217	206.12	1.1	26.7
M12	265	207	206.12	1.0	28.0
M13	261	201	206.12	1.0	29.9
M14	273	217	206.12	1.1	25.8
M15	280	229	206.12	1.1	22.3
M16	256	213	206.12	1.1	20.2
M17	260	217	206.12	1.1	19.8
M18	266	211	206.12	1.0	26.1
M19	283	224	206.12	1.1	26.3
M20	277	220	206.12	1.1	25.9
Promedio				1.0	25.1
BN					
M21	251	184	206.12	0.9	36.4
M22	236	177	206.12	0.9	33.3
M23	209	161	206.12	0.8	29.8
M24	172	124	206.12	0.6	38.7
M25	219	181	206.12	0.9	21.0
M26	315	275	206.12	1.3	14.5
M27	242	195	206.12	0.9	24.1
M28	267	207	206.12	1.0	29.0
M29	280	213	206.12	1.0	31.5
M30	274	208	206.12	1.0	31.7
Promedio				0.9	29.0

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 9. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de florecimiento)

Ficha de campo 02: Recolección de muestra para el análisis físico del suelo (etapa de florecimiento)					
N° de muestra	Wsi (g)	Wss (g)	Vt (cm³)	Da del suelo (g/cm³)	%H del suelo
SCCM					
M1	252	220	206.12	1.1	14.5
M2	246	211	206.12	1.0	16.6
M3	290	233	206.12	1.1	24.5
M4	277	220	206.12	1.1	25.9
M5	276	230	206.12	1.1	20.0
M6	268	235	206.12	1.1	14.0
M7	254	216	206.12	1.0	17.6
M8	234	202	206.12	1.0	15.8
M9	263	213	206.12	1.0	23.5
M10	271	224	206.12	1.1	21.0
Promedio				1.1	19.3
SCCP					
M11	286	221	206.12	1.1	29.4
M12	268	217	206.12	1.1	23.5
M13	275	213	206.12	1.0	29.1
M14	279	219	206.12	1.1	27.4
M15	297	236	206.12	1.1	25.8
M16	255	226	206.12	1.1	12.8
M17	261	214	206.12	1.0	22.0
M18	274	208	206.12	1.0	31.7
M19	259	216	206.12	1.0	19.9
M20	281	224	206.12	1.1	25.4
Promedio				1.1	24.7
BN					
M21	244	180	206.12	0.9	35.6
M22	240	169	206.12	0.8	42.0
M23	215	187	206.12	0.9	15.0
M24	172	124	206.12	0.6	38.7
M25	203	180	206.12	0.9	12.8
M26	269	239	206.12	1.2	12.6
M27	255	209	206.12	1.0	22.0
M28	276	212	206.12	1.0	30.2
M29	249	204	206.12	1.0	22.1
M30	274	210	206.12	1.0	30.5
Promedio				0.9	26.1

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 10. Recolección de muestras para el análisis físico del suelo (etapa de cosecha)

Ficha de campo 02: Recolección de muestra para el análisis físico del suelo (etapa de cosecha)					
Nº de muestra	Wsi (g)	Wss (g)	Vt (cm³)	Da del suelo (g/cm³)	%H del suelo
SCCM					
M1	240	207	206.12	1.0	15.9
M2	236	201	206.12	1.0	17.4
M3	264	240	206.12	1.2	10.0
M4	248	219	206.12	1.1	13.2
M5	269	226	206.12	1.1	19.0
M6	272	235	206.12	1.1	15.7
M7	266	225	206.12	1.1	18.2
M8	259	218	206.12	1.1	18.8
M9	270	248	206.12	1.2	8.9
M10	268	234	206.12	1.1	14.5
Promedio				1.1	15.2
SCCP					
M11	255	224	206.12	1.1	13.8
M12	252	210	206.12	1.0	20.0
M13	275	213	206.12	1.0	29.1
M14	286	230	206.12	1.1	24.3
M15	275	228	206.12	1.1	20.6
M16	263	232	206.12	1.1	13.4
M17	281	235	206.12	1.1	19.6
M18	263	218	206.12	1.1	20.6
M19	278	229	206.12	1.1	21.4
M20	273	230	206.12	1.1	18.7
Promedio				1.1	20.2
BN					
M21	256	195	206.12	0.9	31.3
M22	233	172	206.12	0.8	35.5
M23	224	191	206.12	0.9	17.3
M24	239	183	206.12	0.9	30.6
M25	217	191	206.12	0.9	13.6
M26	299	269	206.12	1.3	11.2
M27	283	237	206.12	1.1	19.4
M28	288	226	206.12	1.1	27.4
M29	276	219	206.12	1.1	26.0
M30	250	209	206.12	1.0	19.6
Promedio				1.0	23.2

Fuente: Elaboración personal del tesista.

Anexo 11. Análisis ambiental de muestras en laboratorio de sistemas de cultivo y bosque natural (etapa de siembra)



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



REPORTE DE ANALISIS N° 325A-2017-RIVELAB

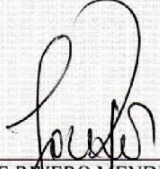
I. DATOS GENERALES:

Solicitante	Sr. Waldir Francisco Cotrina Ruiz - Chachapoyas
Ensayo	Análisis ambiental atmosférico
Identificación de la muestra:	
Muestra	Suelo de maíz, papa y bosque natural
Análisis solicitado	Determinación de dióxido de carbono (CO ₂)
Códigos de muestra	SCCM, SCCP, BN
Procedencia de las muestras	Distrito de San Isidro del Maino - Chachapoyas
Número de muestras	30
Presentación de muestra	500 gr. suelo en bolsas de plástico sellado
Fecha de muestreo	15/02/2017 al 19/02/2017
Método	Absorción alcalina

II. RESULTADOS:

SCCM		SCCP		BN	
N°	ECO ₂ (mg/m ² .h)	N°	ECO ₂ (mg/m ² .h)	N°	CO ₂ (mg/m ² .h)
M1	234.40	M11	263.58	M21	205.22
M2	233.43	M12	264.55	M22	212.52
M3	235.37	M13	262.61	M23	193.55
M4	231.97	M14	266.01	M24	178.47
M5	229.54	M15	263.58	M25	181.39
M6	229.54	M16	264.06	M26	206.19
M7	235.86	M17	265.04	M27	213.97
M8	232.45	M18	263.58	M28	186.74
M9	230.02	M19	264.55	M29	202.79
M10	230.02	M20	265.04	M30	203.76

Trujillo, 28 febrero del 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
CIP 20384

José F. Rivero Méndez
Ms. ING° QUIMICO
C.I.P. 20384

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297

Anexo 12. Análisis ambiental de muestras en laboratorio de sistemas de cultivo y bosque natural (etapa de florecimiento)



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



REPORTE DE ANALISIS N°471A-2017-RIVELAB

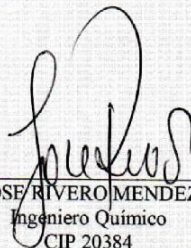
I. DATOS GENERALES:

Solicitante	Sr. Waldir Francisco Cotrina Ruiz - Chachapoyas
Ensayo	Análisis ambiental atmosférico
Identificación de la muestra:	
Muestra	Suelo de maíz, papa y bosque natural
Análisis solicitado	Determinación de dióxido de carbono (CO ₂)
Códigos de muestra	SCCM, SCCP, BN
Procedencia de las muestras	Distrito de San Isidro del Maino - Chachapoyas
Número de muestras	30
Presentación de muestra	500 gr. suelo en bolsas de plástico sellado
Fecha de muestreo	02/04/2017 al 06/04/2017
Método	Absorción alcalina

II. RESULTADOS:

SCCM		SCCP		BN	
N°	ECO ₂ (mg/m ² .h)	N°	ECO ₂ (mg/m ² .h)	N°	CO ₂ (mg/m ² .h)
M1	217.38	M11	251.91	M21	201.82
M2	213.49	M12	249.47	M22	193.06
M3	222.24	M13	246.56	M23	198.41
M4	225.65	M14	251.42	M24	210.57
M5	217.86	M15	248.02	M25	190.63
M6	207.65	M16	244.61	M26	196.95
M7	213.00	M17	244.13	M27	196.47
M8	221.27	M18	249.47	M28	212.03
M9	226.13	M19	243.15	M29	193.55
M10	221.27	M20	247.53	M30	201.82

Trujillo, 15 de abril 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
CIP 20384
José F. Rivero Méndez
Ms. ING° QUIMICO
C.I.P. 20384

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297

Anexo 13. Análisis ambiental de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de cosecha)



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



REPORTE DE ANALISIS N°645A-2017-RIVELAB


I. DATOS GENERALES:

Solicitante	Sr. Waldir Francisco Cotrina Ruiz - Chachapoyas
Ensayo	Análisis ambiental atmosférico
Identificación de la muestra:	
Muestra	Suelo de maíz, papa y bosque natural
Análisis solicitado	Determinación de dióxido de carbono (CO ₂)
Códigos de muestra	SCCM, SCCP, BN
Procedencia de las muestras	Distrito de San Isidro del Maino - Chachapoyas
Número de muestras	30
Presentación de muestra	500 gr. suelo en bolsas de plástico sellado
Fecha de muestreo	01/06/2017 al 05/06/2017
Método	Absorción alcalina

II. RESULTADOS:

SCCM		SCCP		BN	
N°	ECO ₂ (mg/m ² .h)	N°	ECO ₂ (mg/m ² .h)	N°	CO ₂ (mg/m ² .h)
M1	213.49	M11	254.82	M21	199.39
M2	210.08	M12	254.34	M22	198.90
M3	207.17	M13	251.42	M23	197.93
M4	211.54	M14	249.47	M24	196.47
M5	208.14	M15	251.91	M25	189.66
M6	205.71	M16	248.99	M26	203.76
M7	206.68	M17	251.91	M27	197.44
M8	209.60	M18	252.88	M28	186.74
M9	213.97	M19	248.02	M29	196.95
M10	208.14	M20	246.07	M30	190.63

Trujillo, 15 de Junio del 2017


 JOSE RIVERO MÉNDEZ
 Ingeniero Químico
 C.I.P. 20384
 José F. Rivero Méndez
 Mtro. ING. QUÍMICO
 C.I.P. 20384

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297

Anexo 14. Análisis físico-químico de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de siembra)



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



REPORTE DE ANALISIS N°326A-2017-RIVELAB

I. DATOS GENERALES:

Solicitante	Sr. Waldir Francisco Cotrina Ruiz – Chachapoyas.
Ensayo	Físico químico
Identificación de la muestra:	
Muestra	Suelo de maíz, papa y bosque natural
Análisis solicitado	% materia orgánica y pH
Códigos de muestra	SCCM, SCCP, BN
Procedencia de las muestras	Distrito de San Isidro del Maino - Chachapoyas
Número de muestras	30
Presentación de muestra	500 gr. suelo en bolsas de plástico sellado
Fecha de muestreo	15/02/2017 al 19/02/2017

II. RESULTADOS:

	SCCM	SCCP	BN
Materia Orgánica	3.35	4.10	7.08
Ph	5.97	6.69	7.35

Trujillo, 28 febrero del 2017

Jose Rivero Mendez
JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
CIP 20384

José F. Rivero Méndez
Ms. ING. QUÍMICO
C.I.P. 20384

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297

Anexo 15. Análisis físico-químico de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de florecimiento)



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



REPORTE DE ANALISIS N°472A-2017-RIVELAB


I. DATOS GENERALES:

Solicitante	Sr. Waldir Francisco Cotrina Ruiz – Chachapoyas.
Ensayo	Físico químico
Identificación de la muestra:	
Muestra	Suelo de maíz, papa y bosque natural
Análisis solicitado	% materia orgánica y pH
Códigos de muestra	SCCM, SCCP, BN
Procedencia de las muestras	Distrito de San Isidro del Maino - Chachapoyas
Número de muestras	30
Presentación de muestra	500 gr. suelo en bolsas de plástico sellado
Fecha de muestreo	02/04/2017 al 06/04/2017

II. RESULTADOS:

	SCCM	SCCP	BN
Materia Orgánica	3.12	4.65	7.70
pH	5.77	6.36	7.50

Trujillo, 15 de abril del 2017


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico
CIP 20384

José F. Rivero Méndez
Ma. ING. QUÍMICO
C.I.P. 20384

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297

Anexo 16. Análisis físico-químico de muestras en laboratorio de sistemas de cultivos y bosque natural (etapa de cosecha)



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



REPORTE DE ANALISIS N°646A-2017-RIVELAB


I. DATOS GENERALES:

Solicitante	Sr. Waldir Francisco Cotrina Ruiz- Chachapoyas
Ensayo	Físico químico
Identificación de la muestra:	
Muestra	Suelo de maíz, papa y bosque natural
Análisis solicitado	% materia orgánica y pH
Códigos de muestra	SCCM, SCCP, BN
Procedencia de las muestras	Distrito de San Isidro del Maino - Chachapoyas
Número de muestras	30
Presentación de muestra	500 gr. suelo en bolsas de plástico sellado
Fecha de muestreo	01/06/2017 al 05/06/2017

II. RESULTADOS:

	SCCM	SCCP	BN
Materia Orgánica	2.70	3.40	7.55
pH	6.13	6.57	7.44

Trujillo, 15 de junio del 2017


JOSE RIVERO MÉNDEZ
Ingeniero Químico
CIP 20384

José F. Rivero Méndez
Ing. QUÍMICO
C.I.P. 20384

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. #955805353
RPM: #942101990
Fijo: 044 346297

Anexo 17. Entrevista simple al dueño del sistema de cultivo de maíz

ENTREVISTA SIMPLE

Nombre del propietario del sistema de cultivo:

Diodoro Vargaray Barrera

Sistema de cultivo: de maíz

Lugar: San Isidro del Maino Fecha: 14/02/2017

Dirección: A.v. levanto. sin #

SOBRE EL CULTIVO

1.-¿En qué fecha realizó Ud. la última siembra de su cultivo de maíz?

El 09/02/2017

2.-¿Hace cuánto tiempo Ud. siembra el cultivo de maíz?

Desde hace unos 25 años

3.-¿Ud. realiza algún método o técnica para cultivar adecuadamente, o simplemente cultiva de forma tradicional?

No, cultivo de forma tradicional, aprendido de nuestros padres, igual que la mayoría de comuneros.

4.-¿Qué tipos de fertilizantes utiliza Ud. para su cultivo de maíz?

No, utilizo fertilizantes para este cultivo.

5.-¿Qué tipos de insecticidas, pesticidas y fungicidas utiliza Ud. para su cultivo de maíz?

No, utilizo ninguna insecticida, pesticida, fungicida para este cultivo.

Anexo 18. Entrevista simple al dueño del sistema de cultivo de papa

ENTREVISTA SIMPLE

Nombre del propietario del sistema de cultivo:

Diodoro Vergaray Barrera

Sistema de cultivo:

de maíz

Lugar:

San Isidro del Maiwo

Fecha:

14/02/2017

Dirección:

Av. levanto. sin #

SOBRE EL CULTIVO

1.-¿En qué fecha realizo Ud. la última siembra de su cultivo de papa?

El 11/02/2017

2.-¿Hace cuánto tiempo Ud. siembra el cultivo de papa?

Desde hace unos 25 años

3.-¿Ud. realiza algún método o técnica para cultivar adecuadamente, o simplemente cultiva de forma tradicional?

No, cultivo de forma tradicional aprendido de nuestros padres, igual que la mayoría de comuneros.

4.-¿Qué tipos de fertilizantes utiliza Ud. para su cultivo de papa?

NPK → 20-20-20

5.-¿Qué tipos de insecticidas, pesticidas y fungicidas utiliza Ud. para su cultivo de papa?

Furadán, Tamarou, S-K-Mata, entre otros.

Anexo 19. Galería fotográfica



Fotografía 1. Evaluación del volumen gaseoso en suelo de papa.



Fotografía 2. Evaluación del volumen gaseoso en suelo de papa



Fotografía 3. Captura de CO₂ del suelo de maíz



Fotografía 4. Recojo de muestra de CO₂ del suelo de maíz



Fotografía 5. Captura de CO₂ del suelo del bosque



Fotografía 6. Recojo de muestra de CO₂ del suelo de bosque



Fotografía 7. Muestra de suelo de papa para materia orgánica



Fotografía 8. Muestra de suelo de maíz para materia orgánica



Fotografía 9. Muestra de suelo de bosque para materia orgánica



Fotografía 10. Muestra de suelo de bosque para densidad aparente



Fotografía 11. Medida de temperatura del suelo de papa.



Fotografía 12. Medida de temperatura del suelo del bosque



Fotografía 13. Toma de puntos GPS en el bosque



Fotografía 14. Toma de puntos GPS en el cultivo de papa



Fotografía 15. Preparación de muestras de CO₂ del suelo



Fotografía 16. Adición de fenolftaleína a la muestra



Fotografía 17. Titulación con HCl 0,1N.



Fotografía 18. Punto final de la titulación con HCl 0,1N.



Fotografía 19. Pesado de muestras para densidad aparente



Fotografía 20. Pesado de muestras para humedad



Fotografía 21. Agitación de muestras para medir pH



Fotografía 22. Medición de pH del suelo.