



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN FORMA DE NITRATOS Y AMONIO EN
DIFERENTES USOS DEL SUELO EN EL PEÑÓN Y LOS TIMBRES,
TEMASCALTEPEC, MÉXICO**

TESIS

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

PRESENTAN:

ALEXANDRA MORA BENÍTEZ

KEVIN EMMANUEL HERNANDEZ PERALES

ASESORA:

DRA. FRANCISCA AVILÉS NOVA

TEMASCALTEPEC, MÉXICO, NOVIEMBRE 2025

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue medir el contenido de nitratos y amonio en el suelo con diferentes usos: forestal, agrícola y pastizal, a dos profundidades de muestreo: 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. El trabajo se realizó en la comunidad del Peñón y en la comunidad de los Timbres, del municipio de Temascaltepec Estado de México. El contenido de nitratos y amonio se determinaron por el método de colorimetría por medio del fotómetro Multiparamétricos HANNA se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar donde la parcela mayor son las dos unidades productivas el Peñón y los Timbres Temascaltepec. La parcela menor son los tres usos del suelo; pastizal, forestal y agrícola. La subparcela fueron los periodos de medición (7 meses). En los sistemas ganaderos el mayor contenido de nitratos en el sistema ganadero de los timbres presento una media significativamente mayor que el sistema del peñón. En cuanto a los tres usos de suelo, el uso forestal presento una media más alta, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los tres usos ($p=0.3908$) y en las profundidades se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las dos profundidades ($p=0.0184$) el contenido de nitratos fue mayor en la profundidad de 0 a 10 cm con una media de 30.211 mg/l. A comparación de la profundidad de 10 a 20 cm que el contenido fue de 13.558 mg/l. El contenido de amonio en los dos sistemas ganaderos no se observaron diferencias significativas entre los dos sistemas ganaderos, ambos presentaron medias similares ($p=0.7065$). Se encontraron diferencias significativas entre los distintos usos de suelo. Los de uso de pastizal presento el valor más alto siendo significativamente superior a los suelos forestales y agrícolas ($p=0.0449$). La profundidad de 0 a 10 cm mostro una mayor media (1.8131) en comparación con la de 10 a 20 cm (1.0579) esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0.0838$). Se encontraron diferencias altamente significativas entre los meses evaluados a lo largo de los meses del año ($p<0.001$). Octubre presento la mayor concentración (4.7350), siendo significativamente superior al resto de los meses. La concentración más baja fue en Agosto (0.2650).

ÍNDICE

RESUMEN	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El suelo	3
2.1.1 Horizontes del suelo	3
2.1.1.1 Horizonte O	4
2.1.1.2 Horizonte A.....	4
2.1.1.3 Horizonte B.....	4
2.1.1.4 Horizonte C	4
2.2 Situación actual del suelo	5
2.2.1 Erosión en Suelos de México	5
2.2.1.1 Erosión extrema.	7
2.2.1.2 Erosión fuerte.....	8
2.2.1.3 Erosión moderada.....	8
2.2.1.4 Suelo estable.....	8
2.3 Importancia del suelo.....	9
2.4 Propiedades físicas del suelo	9
2.4.1 La Textura del Suelo	9
2.4.1.1 Componentes del suelo	10
2.4.2Tipos de suelos.....	11
2.4.2.1 Suelos arcillosos	11
2.4.2.2 Suelos limosos	12
2.4.2.3 Suelos arenosos.....	12
2.4.2.3 Suelos francos.....	12
2.4.3 Estructura del Suelo	13
2.4.4 Color del Suelo	13
2.4.5 Porosidad del Suelo	14
2.4.6 Densidad del Suelo	14
2.4.7 Humedad.....	14
2.5 Propiedades químicas del suelo.....	15
2.5.1 El pH.....	15
2.5.2 Conductividad eléctrica	15
2.5.3 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	15
2.5.4 Contenido de materia orgánica	16

2.5.4.1	Impacto en el suelo	16
2.5.4.2	Disponibilidad de micronutrientes	16
2.5.4.3	Actividad supresora frente a hongos.....	17
2.5.4.4	Actividad enzimática.....	17
2.5.4.5	Importancia de la materia orgánica	17
2.6	Calidad del suelo	18
2.7	Suelos agrícolas	19
2.8	Suelos forestales	19
2.9	Suelos de sistemas silvopastoriles.....	19
2.10	Fertilidad del suelo	20
2.11	Degradación del suelo	20
2.12	Nitrógeno.....	21
2.12.1	Importancia del nitrógeno	23
2.12.2	El ciclo del nitrógeno	25
2.12.2.1	Fijación	25
2.12.2.2	Nitrificación o mineralización.....	26
2.12.2.3	Asimilación.....	26
2.12.2.4	Amonificación	26
2.12.2.5	Inmovilización	27
2.12.2.6	Desnitrificación	27
2.12.3	Aportaciones de nitrógeno por la lluvia.....	27
2.12.4	Lixiviación	27
2.12.5	Volatilización	28
2.12.6	Pérdidas de N desde el suelo.....	28
2.13	Fijación del nitrógeno.....	28
2.14	Fertilizantes nitrogenados.....	29
2.15	Bioquímica del carbono y nitrógeno en pastizales pastoreados	29
2.16	Cambio climático.....	30
2.17	Nitrógeno y agricultura.....	30
2.18	Nitratos y nitritos	31
2.19	Amonio	31
III.	JUSTIFICACIÓN	33
IV.	HIPÓTESIS	34
V.	OBJETIVOS.....	35

5.1	Objetivo general.....	35
5.2	Objetivos específicos.....	35
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
6.1	Localización del sitio experimental.....	36
6.2	Material de campo para tomar muestras de suelo.....	38
6.3	Toma de muestras.....	38
6.5	Análisis de nitratos.....	41
6.6	Análisis de Amonios.....	46
6.7	Análisis estadístico.....	49
6.8	Diseño experimental.....	49
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
6.1	Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona alta.....	52
6.1.1	Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los Timbres en la zona alta.....	55
6.1.2	Contenido de Nitratos en la unidad de producción del Peñón en la zona alta.....	58
6.2	Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona baja.....	60
6.2.1	Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los timbres en la zona baja.....	62
6.2.1	Contenido de Nitratos en la unidad de producción del Peñón la zona baja.....	64
6.3	Contenido de Amonios en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona alta.....	65
6.3.1	Contenido de amonio en la unidad de producción de los Timbres en la zona alta.....	68
6.3.2	Contenido de amonio en la unidad de producción del Peñón en la zona alta.....	71
6.2	Contenido de Amonio en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona baja.....	73
6.4.1	Contenido de amonio en la unidad de producción de los Timbres en la zona baja.....	75
6.4.1	Contenido de amonio en la unidad de producción del Peñón en la zona baja.....	77
VIII.	CONCLUSIÓN.....	79
IX.	LITERATURA CONSULTADA.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Contenido de Nitratos en los sistemas ganaderos.....	52
Tabla 2 Contenido de nitratos en los tres usos de suelo de los timbres.....	53
Tabla 3 Contenido de nitratos en las diferentes profundidades.....	54
Tabla 4 Contenido de nitratos en las diferentes profundidades de los Timbres	56
Tabla 5 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo de los Timbres	56
Tabla 6 Contenido de nitratos en los usos del suelo del Peñón	58
Tabla 7 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo en el Peñón	59
Tabla 8 Contenido de Nitratos en los sistemas ganaderos.....	59
Tabla 9 Contenido de nitratos en los usos de suelo	62
Tabla 10 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo de los Timbres	62
Tabla 11 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo en el Peñón	65
Tabla 12 Contenido de amonios en los sistemas ganaderos	66
Tabla 13 Contenido de amonios en los tres usos de suelo	66
Tabla 14 contenido de amonio en los usos de suelo	68
Tabla 15 Contenido de amonio en los periodos de muestreo de los Timbres	69
Tabla 16 Contenido de amonio en los usos del suelo del Peñón	71
Tabla 17 Contenido de amonio a diferentes profundidades en la zona alta del Peñón	72
Tabla 18 Contenido de amonio en los periodos de muestreo en el Peñón	72
Tabla 19 Contenido de amonio en los sistemas ganaderos	73
Tabla 20 Contenido de amonio en los usos del suelo del Peñón	73
Tabla 21 Contenido de amonio en los usos de suelo	75
Tabla 22 Contenido de amonio en los usos de suelo	77
Tabla 23 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo en el Peñón	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1 Contenido de nitratos de 0-10 cm de los Timbres.....	54
Gráfica 2 Contenido de nitratos de 10-20 cm de los Timbres.	55
Gráfica 3 Contenido de nitratos de 0-10 cm del Peñón.....	57
Gráfica 4 Contenido de nitratos de 10-20 cm del Peñón.....	58
Gráfica 5 Contenido de nitratos de 0-10 cm de los Timbres.....	60
Gráfica 6 Contenido de nitratos de 10-20 cm de los Timbres.	61
Gráfica 7 Contenido de nitratos de 0-10 cm del Peñón.....	63
Gráfica 8 Contenido de nitratos de 10-20 cm del Peñón.....	64
Gráfica 9 Contenido de amonio de 0-10 cm de los Timbres.....	67
Gráfica 10 Contenido de amonio de 10-20 cm de los Timbres.	68
Gráfica 11 Contenido de amonio de 0-10 cm del Peñón.....	70
Gráfica 12 Contenido de amonio de 10-20 cm del Peñón.....	71
Gráfica 13 Contenido de amonio de 0-10 cm de los Timbres.	74
Gráfica 14 Contenido de amonio de 10-20 cm de los Timbres.	75
Gráfica 15 Contenido de amonio de 0-10 cm del Peñón.....	76
Gráfica 16 Contenido de amonio de 10-20 cm del Peñón.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Horizontes en un suelo real (por Lurdes rodrigues)	3
Figura 2 principales procesos de degradación en México, 2002.	7
Figura 3 Indicador Integrado de Degradación del Recurso Edáfico. En México.....	8
Figura 4 Gráfico para la denominación de los suelos según la textura.....	10
Figura 5 Clasificación de suelos	11
Figura 6 Colores de la tabla correspondientes al matiz 10R (Adaptada de Munsell Color, 1990).....	13
Figura 7 Términos usuales para describir los intervalos de pH en el suelo	15
Figura 8 Ciclo del nitrógeno en un suelo cultivado (Pascual y Noguera, 1987).....	23
Figura 9 El Peñon.....	36
Figura 10 Los Timbres.....	36
Figura 11 Secado de muestras	38
Figura 12 Toma de muestra	39
Figura 13 Muestras de suelo.....	40
Figura 14 Fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01.....	41
Figura 15 Centrifugadora HERMLE	42
Figura 16 Muestra en tubos cónicos	43
Figura 17 Llenado del frasco con la muestra.....	44
Figura 18 Colocación de la muestra	45
Figura 19 Pesado de la muestra	47
Figura 20 Llenado de la muestra	48
Figura 21 Muestras con reactivos de amonio	49
Figura 22 apreciación de los niveles de fertilidad para las dos formas del nitrógeno mineral, el nítrico y el amoniacal determinadas por los métodos rápidos de los laboratorios.....	53

I. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas y clorofila. Durante el ciclo vital de las plantas, hay ciertos cambios fitohormonales y proteómicos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre los procesos fundamentales esta la expansión, el crecimiento del área foliar y el rendimiento de biomasa (Anas et al., 2020). Actúa en procesos tales como absorción iónica, fotosíntesis, respiración, multiplicación, diferenciación de células y fundamentalmente en el crecimiento, formación vegetativa de la planta y la producción, ya que estimula el desarrollo de yemas florales y fructíferas, aumentando también el contenido de proteína. Por lo tanto, en ausencia de este nutriente, el crecimiento se retrasa, el tamaño de la planta es reducido y desarrolla ramas delgadas (Rodríguez-Yzquierdo et al., 2020)

Es importante recordar que su principal función del nitrógeno radica en la creación de moléculas esenciales que juegan un papel en el metabolismo primario. Este elemento es un componente clave de varios elementos celulares, como aminoácidos y ácidos nucleicos. Por este motivo, una falta de nitrógeno afecta de manera significativa e instantánea el crecimiento de las plantas (AVENRUT, 2023)

El nitrógeno tiene muchas ventajas en sus usos. Su aplicación más importante es la producción de amoníaco en la industria. Este compuesto se utiliza para fabricar fertilizantes, ácido nítrico, urea, hidracina, aminas y explosivos. Las ventas de ácido nítrico son clave para sintetizar compuestos significativos como el nitrato de amonio que es el componente principal de los fertilizantes (Cruz et al., 2019)

Aumentar la eficacia del uso del nitrógeno en toda la cadena alimentaria y disminuir la pérdida de este elemento puede contribuir a elevar la producción de alimentos. En la actualidad, es imprescindible mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno en el suelo para conseguir una agricultura más sostenible (Emma Orchardson, 2020)

Aunque el nitrógeno es el gas más abundante en nuestra atmósfera gaseosa (comprendiendo el 78% del total de los gases atmosféricos) pocos organismos son capaces de reducir este gas y utilizarlo como fuente de nitrógeno. La mayoría tienen que incorporarlo en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). La mayoría de las

plantas son capaces de utilizar el nitrógeno del nitrato (NO_3^-) del suelo como fuente de nitrógeno, pero a su vez este nitrógeno orgánico es soluble, facilitándose su pérdida del suelo por lixiviación. También es rápida su pérdida por desnitrificación anaerobia (Emma Orchardson, 2020)

La cantidad de nitrógeno en el suelo varía según los aportes y las pérdidas que ocurren. Estos procesos son distintos y tienen efectos específicos en cada sistema de producción, por lo que se debe realizar un análisis del suelo para determinar cuanta cantidad de este nutriente está disponible. Esta información nos permitirá determinar los requerimientos de fertilizante (nutrimentos) para obtener los rendimientos deseados de cada cultivo establecido en cada zona de producción (Fertilab, 2021)

Dada la relevancia del nitrógeno en el suelo para el desarrollo de las plantas, el propósito del presente trabajo se hizo con el objetivo del trabajo es medir la disponibilidad del nitrógeno en forma de nitratos y amonio en diferentes usos de suelos: pastizales, forestales y agrícolas, en dos unidades productiva de ganado de las comunidades del Peñón y en los Timbres, municipio de Temascaltepec, México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El suelo

El suelo es un recurso natural limitado y no renovable, este ofrece diversos servicios ambientales o ecosistémicos. Por ejemplo, está involucrado en los ciclos bioquímicos de elementos esenciales para la vida, como el ciclo del carbono, el nitrógeno y el fósforo. Estos elementos se mueven constantemente, impulsados por la energía disponible (Burbano-Orjuela, 2016).

Toda la producción agrícola depende en gran medida de las características fisicoquímicas del suelo. El ecosistema del suelo, por tanto, es un medio anisótropo formado por capas u horizontes (figura 1) que pueden mostrar diferencias significativas entre ellos. Las características fisicoquímicas de estos horizontes son fundamentales para determinar la productividad del suelo. Además, cada una de estas capas u horizontes del suelo están compuestas por tres fases: sólida, líquida y gaseosa (Ramón Bienes Allas, 2009)

2.1.1 Horizontes del suelo



Figura 1 Horizontes en un suelo real (por Lurdes rodrigues)

2.1.1.1 Horizonte O

Este horizonte consiste en suelos minerales orgánicos. Se desarrolla en la capa superior del suelo mineral, aunque no siempre. Normalmente, hay presencia significativa de material orgánico fresco. Con un nivel de materia orgánica que alcanza alrededor del 30% cuando la parte mineral contiene más del 50% de arcilla, o más de un 20% de materia orgánica si la fracción mineral no tiene arcilla (Ramón Bienes Allas, 2009)

2.1.1.2 Horizonte A

Este conjunto se compone de horizontes minerales en la parte superior donde hay acumulación de materia orgánica en la superficie o en áreas cercanas a ella, aunque esta materia orgánica no es suficiente para ser clasificada como un horizonte orgánico (Ramón Bienes Allas, 2009)

2.1.1.3 Horizonte B

Bajo el horizonte A se encuentra el horizonte B donde se acumulan los elementos que han sido transformados o alterados del nivel anterior, se encuentra una acumulación de arcilla, hierro, aluminio o materia orgánica, horizonte un color más oscuro o rojizo en comparación con otros horizontes. La transformación de los minerales es considerable, dando como resultado un material que se distingue mucho de la roca madre (El moderno prometeo, 2016)

2.1.1.4 Horizonte C

Esta capa del suelo se compone de la roca madre modificada. La transformación que ha sufrido puede ser resultado de la intemperie en áreas con menor actividad biológica, cementación que se puede revertir, aumento de fragilidad, acumulación de carbonatos, ya sea con o sin cementación, acumulación de sales solubles o cementación de sílice o hierro (El moderno prometeo, 2016)

EL suelo se ve como un sistema que está conectado, donde hay entradas de aire y salidas que pueden ser en la superficie, como el escurrimiento y la erosión, dentro del suelo ocurren varios cambios que incluyen la acción de microorganismos, agua,

raíces, el intercambio de gases, la descomposición y la formación de nuevos elementos, entre muchos otros procesos (Cotler et al., 2007)

La gestión sostenible del suelo es un proceso que necesita un análisis de laboratorio efectivo y relevante. Para ello es fundamental realizar un muestreo de suelo que facilite la lectura de los resultados obtenidos en el laboratorio, contribuyendo así a las decisiones más acertadas desde un enfoque productivo, ambiental o de planificación territorial. El muestreo de suelo se refiere a la recopilación de una porción de suelo en un momento y lugar específico, destinada a análisis de laboratorio, y se lleva a cabo en el campo con objetivos específicos (Mendoza & Espinoza, 2017)

En términos generales, esta muestra de suelo refleja las condiciones específicas del suelo en el momento en que fue tomada. La calidad del muestreo se relaciona con el procedimiento de recolección que optimiza la sección de cantidades y lugares de muestreo según el objetivo del estudio (Mendoza & Espinoza, 2017)

2.2 Situación actual del suelo

Los suelos de manera crítica sufren una creciente degradación debido a la intensidad de su uso en las múltiples actividades productivas. La agricultura, en particular, se enfrenta actualmente a problemas significativos como la erosión y la disminución de la fertilidad del suelo (Hernandez et al., 2009).

En términos generales solo se reconocen hasta el momento dos tipos de deterioro: uno de ellos es el causante del desplazamiento de suelo (erosión) afectando la calidad del suelo. Mas del 50% sufre erosión ocasionada por el agua (erosión hídrica) considerada esta la principal causa de degradación en México (SERMANAT, 2008)

2.2.1 Erosión en Suelos de México

La palabra erosión tiene su origen en el latín erosio, que se traduce como el deterioro que ocurre en la capa superficial del suelo debido a la influencia de factores externos como el viento y el agua, y que se intensifica por la actividad humana (INEGI, 2014)

La variedad de métodos que se pueden emplear para analizar la degradación del suelo complica la creación de un sistema único de medición. En México se han llevado a cabo diversos estudios que, debido a sus diferentes enfoques, métodos y definiciones, hacen difícil la comparación de sus hallazgos. Un claro ejemplo de esta variedad es la estimación publicada en 2013 por la comisión Nacional Forestal (Conafor) y la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) en el marco del estudio para establecer la línea Base Nacional de Degradación de Tierras, que calculo en 61.7% el área del país afectada por la erosión hídrica, eólica y la degradación química y física (Conafor y UACH, 2013)

Por otro lado, en 2014 el Instituto Nacional de Estadística y geografía (INEGI) presento los resultados preliminares de un mapa de erosión de suelos en México a escala 1:250000, indicando que alrededor del 55% del territorio nacional sufre erosión hídrica y eólica (INEGI, 2014)

De acuerdo con la investigación, en el año 2002, un 44% del territorio nacional en México mostro signos de degradación, mientras que el 55.1% no presentaba indicios de deterioro. Este análisis también clasifica la degradación de los procesos, que incluyen degradación química y física, así como también hídrica y eólica. Además, identifica niveles que van desde ligero, moderado, fuerte y extremo (SEMARNAT, 2014). Las razones detrás del deterioro del suelo del país están relacionadas con diversas actividades. Un 35% de las áreas degradadas se vincula a prácticas agrícolas y ganaderas. Además, un 7.4% se atribuye a la perdida de la vegetación. El resto de la superficie se reparte entre urbanización, explotación excesiva de la flora y actividades industriales (SEMARNAT, 2014)

En términos de la superficie perjudicada por los distintos métodos de degradación, la degradación química era la más prevalente, afectando a 34.04 millones de hectáreas, que representan el 17.8% del país. En segundo lugar, estaba la degradación hídrica, con 22.72 millones. Luego le siguió la erosión eólica con 18.12 millones y por último la degradación física 10.84 millones (Figura 2) (SEMARNAT, 2014)

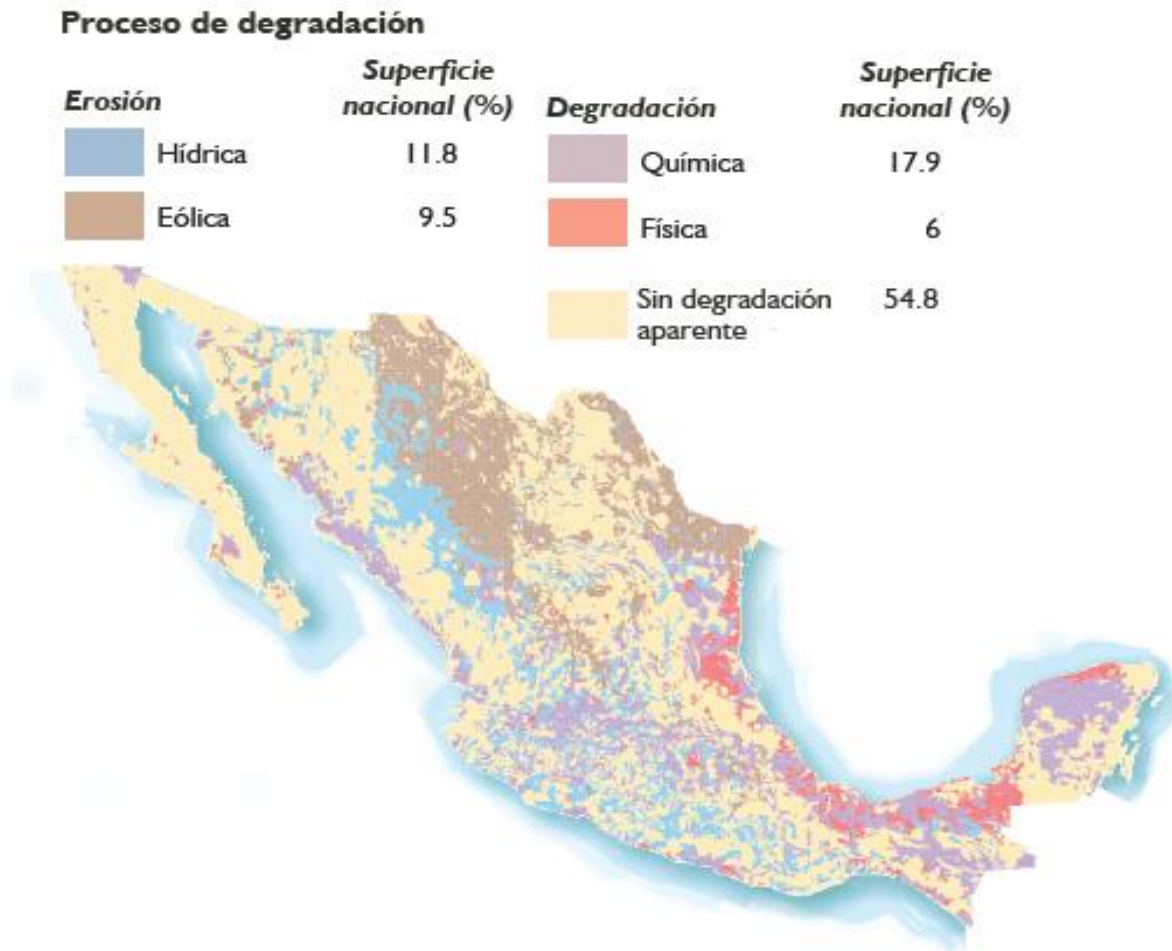


Figura 2 principales procesos de degradación en México, 2002.

Semarnat . Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000.

2.2.1.1 Erosión extrema.

Según Bolaños González et al. (2016) la erosión extrema es la “remoción del horizonte superficial o exposición frecuente de la cementación o lecho rocoso en más del 90% de la superficie del polígono de erosión cuando la forma erosiva dominante es linear o planar”.

2.2.1.2 Erosión fuerte

“Remoción del horizonte superficial o exposición frecuente de la cementación o lecho rocoso entre un 50 y 90% de la superficie del polígono de erosión cuando esta es linear o planar” (Bolaños González et al., 2016)

2.2.1.3 Erosión moderada

De acuerdo con Bolaños González et al. (2016) “no hay evidencias visuales de erosión fuerte o extrema en la imagen de satélite, por lo que fue necesario un análisis de elementos de fotointerpretación tales como patrones de drenaje típicos, coberturas de vegetación abierta, posición en la geoforma”

2.2.1.4 Suelo estable

“Cuando el suelo no presenta evidencias de erosión tanto en la imagen de satélite como evidencias de campo que indiquen afectación por escurrimiento superficial en el terreno” (Bolaños González et al., 2016)

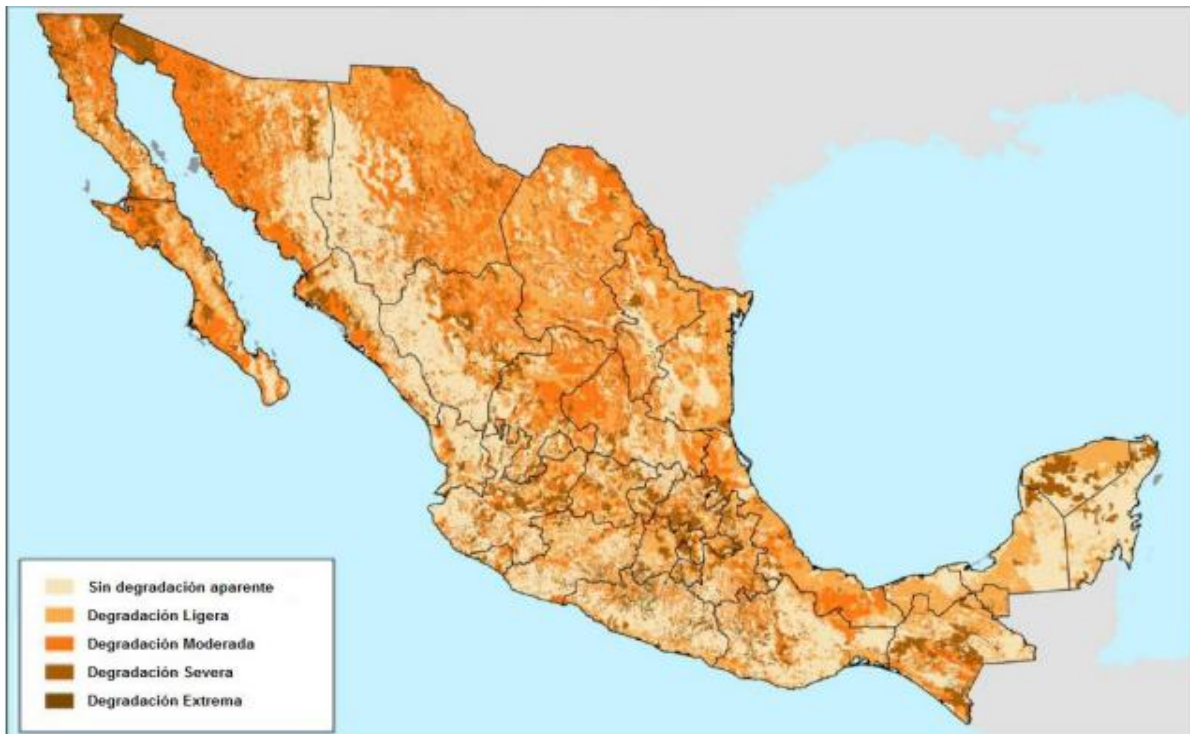


Figura 3 Indicador Integrado de Degradación del Recurso Edáfico. En México

Fuente: CONAFOR-UACH (2013)

2.3 Importancia del suelo

Uno de los recursos más importantes para la humanidad es el suelo, ya que su calidad afecta en el buen estado de los hábitats naturales, así como las actividades agrícolas, ganaderas y forestales y urbanas (Hernandez et al., 2009)

El suelo es el entorno donde las plantas se desarrollan, formando un ecosistema con partes claramente diferenciadas que componen la estructura del medio agrícola. Es esencial para la vida vegetal y es la fuente principal de nutrientes. La función del suelo es un asunto que afecta a muchos sectores, y es importante reconocer esto, ya que diversos ámbitos económicos dependen de él y contribuyen a su degradación (Burbano-Orjuela, 2016)

El suelo ya no es una capa infinita de fertilidad y se ha convertido en un recurso natural que necesita un buen manejo. En la actualidad es un recurso valioso y escaso. Es por eso por lo que tiene un papel crucial en el progreso de la humanidad, ya que es donde se produce vegetación, y de manera indirecta, también se relaciona con la producción animal, ya que de él dependen los animales que son útiles para los seres humanos. Cuando sus características físicas y químicas son adecuadas, se convierte en un hábitat ideal para una gran variedad de seres vivos. La vida en el suelo es fundamental para los cambios que suceden a diario en este ya que ahí se pueden encontrar numerosos organismos (ONDA RURAL, s.f.)

2.4 Propiedades físicas del suelo

2.4.1 La Textura del Suelo

La textura del suelo se refiere a la cantidad de materiales inorgánicos que son diferentes en tamaño y forma, como la arena, el limo y la arcilla. Esta propiedad es muy importante porque esta puede afectar la fertilidad del suelo, gracias a su habilidad para retener agua, a su circulación del aire, el drenaje y la cantidad de materia orgánica y otras características (FAO, 2023)

El triángulo de textura de suelos (Figura 4) es una herramienta de clasificación que utiliza la FAO para determinar la textura del suelo. Las partículas de suelo que tienen un tamaño mayor a 2.0mm se clasifican como piedra y grava. Por ejemplo, un suelo

que tiene un 20% de grava se considera franco arenoso con grava. Si hay una gran cantidad de componentes orgánicos, se forman suelos orgánicos en lugar de suelos minerales (FAO, 2023)

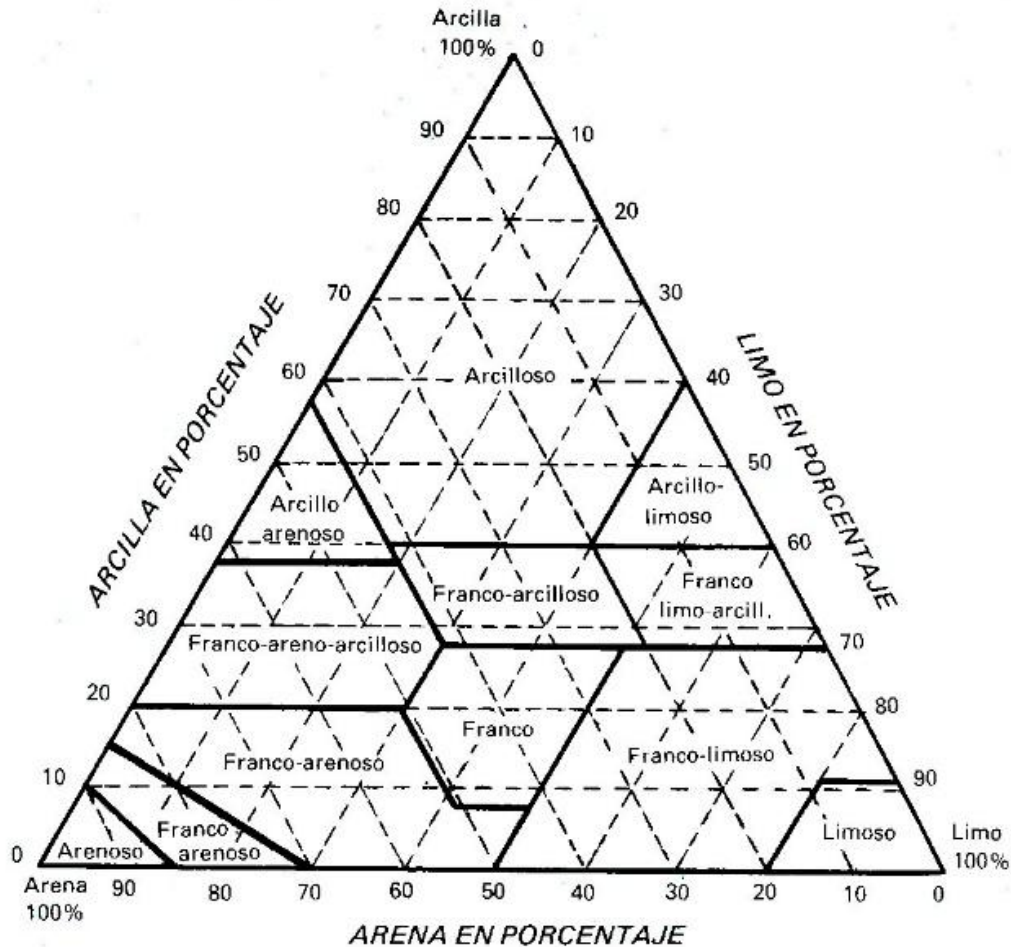


Figura 4 Gráfico para la denominación de los suelos según la textura

2.4.1.1 Componentes del suelo

El suelo se encuentra compuesto por miles de partículas minerales, materia orgánica, agua y aire en diferentes proporciones. Las partículas minerales que dependen del tamaño poseen diversos nombres en donde las más grandes son grava, las intermedias son arena y limo y las que poseen un menor tamaño se llaman arcillas (figura 5). Los suelos poseen diversos minerales que son obtenidos de la roca madre los cuales representan una enorme variedad referente a su

composición química, así como también a la velocidad de meteorización (Konijnenburg, 2006)



Figura 5 Clasificación de suelos

El suelo se forma a partir de la roca original o madre que hay en una determinada zona que por efecto del clima la roca se fragmenta y se desintegra en partículas más pequeñas, en donde más tarde aparecen los organismos vivos los cuales aportan materia orgánica generadora de vida en el suelo (Konijnenburg, 2006)

2.4.2 Tipos de suelos

2.4.2.1 Suelos arcillosos

Se les llama suelos fuertes o ardientes porque tienen una capacidad de retener el agua fuertemente. Esta es una buena característica cuando los años son de lluvia media o alta. Sin embargo, cuando los años son secos el suelo retiene el agua con fuerza y no permite que la planta lo tome. Este es el motivo de denominarse como suelos fuertes. También se les llama suelos pesados porque son suelos que cuando están húmedos son muy pesados para el laboreo, principalmente por esa alta capacidad de retener agua que tienen.

Este tipo de suelos son suelos que tienden a la compactación si no tienen una buena estructura a través de un buen manejo de ese suelo. Estos suelos se suelen labrar porque se agrietan en época de sequía. Sin embargo, la mejor forma de manejarlos

sería mediante el fomento de una buena estructura a través de materiales orgánicos.

Suelen ser suelos fértiles donde la capacidad de retención de nutrientes es alta, por lo que responden bien a la nutrición externa y evitan que se laven fácilmente los nutrientes aportados.

2.4.2.2 Suelos limosos

Los suelos de albero son otro nombre para los suelos limosos. Tienen un color amarillo anaranjado y tienden a compactarse demasiado, lo que provoca que el agua no pueda infiltrarse bien y que las raíces de las plantas tengan problemas para recibir aire. Además, los suelos limosos suelen tener una fertilidad baja o media, lo que complica su manejo.

2.4.2.3 Suelos arenosos

Se les conoce como suelos sueltos o flojos debido a que, cuando tienen una cantidad adecuada de humedad, son fáciles de trabajar. También se les llama suelos que secan rápidamente porque poseen una gran capacidad de drenaje, lo que les permite deshidratarse con rapidez. Gracias a su notable capacidad de absorción, son suelos porosos que están bien aireados, favoreciendo así una rápida transformación de la materia orgánica en minerales. A diferencia de los suelos de tipo arcilloso, los arenosos presentan una menor erosión, principalmente porque el agua se filtra en ellos con mayor facilidad. Los suelos arenosos, en comparación con los arcillosos, tienen una fertilidad inferior debido a que contienen menos partículas que son químicamente activas.

2.4.2.3 Suelos francos

Estos suelos tienen una textura intermedia que les permite retener agua de manera efectiva y también liberarla cuando las plantas lo necesitan. Por esta razón, se les denomina suelos frescos.

Al estar compuestos entre arcilla y arena, su fertilidad es promedio, así como su resistencia a la erosión y su capacidad de mineralizar materia orgánica.

2.4.3 Estructura del Suelo

Los distintos tamaños de partículas del suelo, que incluyen arena, limo y arcilla, se unen para formar agregados y estructuras más grandes. Esta característica regula las interacciones entre las fases físicas del suelo y como fluyen líquidos y gases en su interior, afectando propiedades como la porosidad, la densidad aparente, el manejo de agua, el comportamiento térmico, la permeabilidad, la aireación y la distribución de materia orgánica, entre otras. Por eso, es habitual evaluar el deterioro del suelo basado en el daño que sufre su estructura (Jaramillo-Jaramillo, 2002).

2.4.4 Color del Suelo

El color del suelo depende de sus componentes, y varía según la humedad, el contenido de materia orgánica y la oxidación de los minerales. Esto puede servir como un método indirecto para medir ciertas características del suelo (FAO, 2023)

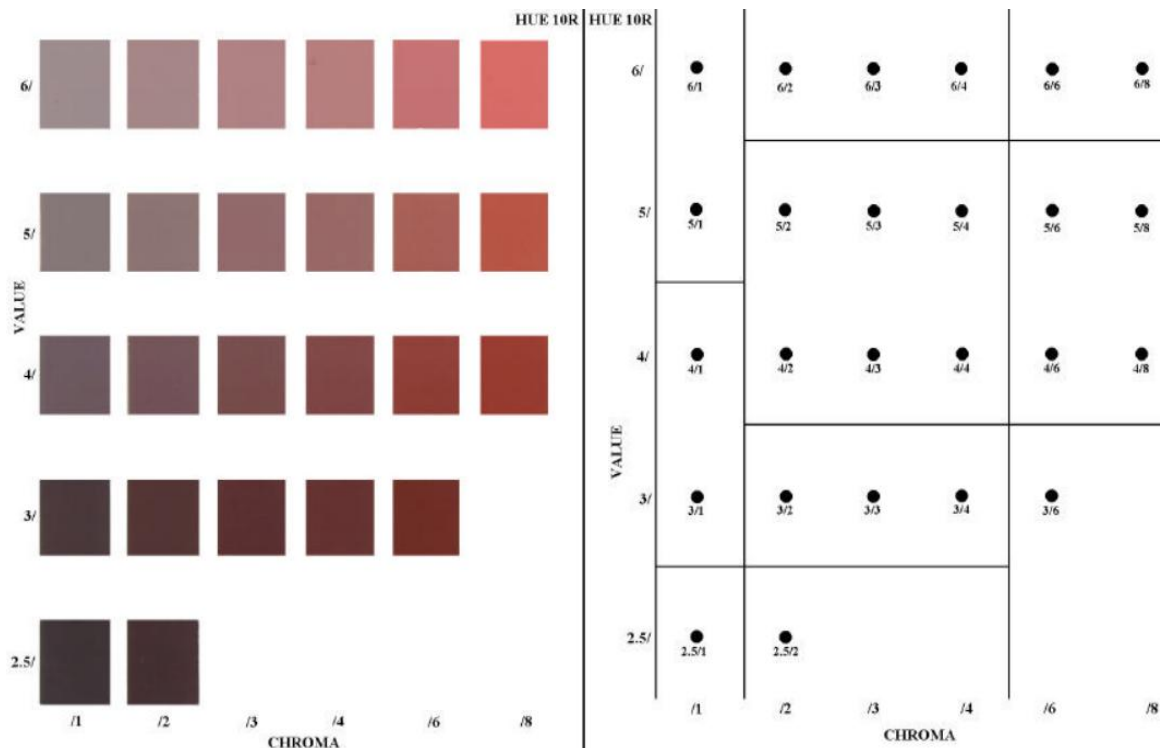


Figura 6 Colores de la tabla correspondientes al matiz 10R (Adaptada de Munsell Color, 1990)

En la práctica se establece el color del suelo para comparar una muestra del mismo con un catálogo de colores organizados en secuencias específicas, que se encuentra en un cuaderno llamado “La tabla de colores Munsell” (Munsell Color, 1990), el cual es muy sencillo de usar y generalmente se usa en el campo. (FAO, 2023)

2.4.5 Porosidad del Suelo

El término espacio poroso en el suelo se refiere al porcentaje del volumen que no está ocupado por partículas sólidas. Normalmente, en el suelo las partículas constituyen un 50% del volumen, de los cuales 45% son minerales y el 5% de materia orgánica, mientras que el otro 50% corresponde al espacio poroso. Dentro de este espacio poroso se pueden identificar macro poros y microporos, donde circulan o se retienen agua, nutrientes, aire y gases. Los macro poros no mantienen agua en contra de la gravedad; son fundamentales para el drenaje y la aireación del suelo, además de ser el lugar donde se desarrollan las raíces. Por otro lado, los microporos almacenan agua, parte de la cual es accesible para las plantas. La porosidad del suelo puede ser determinada midiendo su densidad, que está relacionada con el peso en relación con el volumen del suelo. (FAO, 2023).

2.4.6 Densidad del Suelo

A través de la medición de la densidad es posible determinar la porosidad total del suelo. Esta se relaciona con el peso con relación al volumen del suelo. Hay dos clases de densidad: la densidad real, corresponde de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65. Un valor alto de densidad aparente sugiere que el suelo es compacto o tiene muchas partículas granulares, como la arena. Por otro lado, la densidad aparente baja no siempre significa que el entorno sea ideal para el desarrollo de las plantas (FAO, 2023)

2.4.7 Humedad

La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua hay en un gas. Esto se puede definir usando diferentes medidas. La humedad del suelo puede variar de acuerdo con el tipo de suelo, cantidad de arcilla y porcentaje de materia orgánica que se

encuentre en el suelo ya que entre más alta sea la cantidad de materia orgánica y de arcilla mayor será la cantidad de agua retenida, es por eso por lo que en suelos arenosos es más probable que se saturen en comparación de suelos arcillosos (Martines, 2007)

2.5 Propiedades químicas del suelo

2.5.1 El pH

Según Thompson & Troeh (1988) la escala de pH sirve para medir la acidez y alcalinidad, todo pH inferior a 7,0 es ácido, y todo pH superior a 7,0 es alcalino. De manera más práctica, una estrecha zona alrededor de 7,0 puede considerarse neutra.

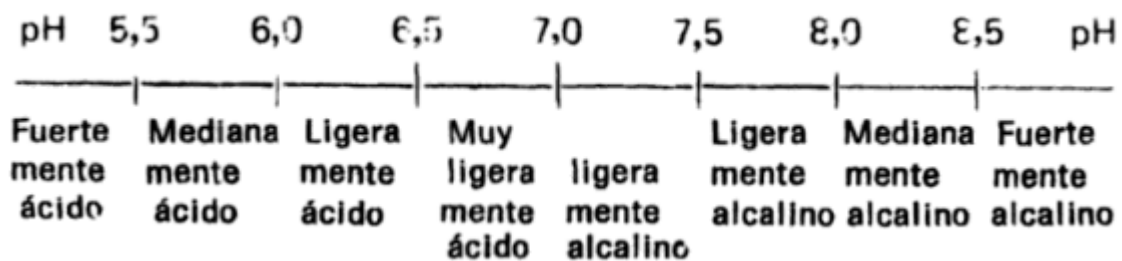


Figura 7 Términos usuales para describir los intervalos de pH en el suelo

2.5.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la cantidad de sales que contiene un suelo. Suelos que tienen una alta capacidad de conducción eléctrica dificultan el crecimiento saludable de las plantas (Garrido-Valero, 1994)

2.5.3 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se refiere a la cantidad de cargas negativas que se encuentran en las superficies de minerales y componentes orgánicos del suelo, como la arcilla y la materia orgánica. Esta medida muestra cuantos cationes, como Ca, Mg, Na, K, y NH₄ pueden ser sostenidos por esas superficies. Estos cationes pueden ser remplazados por otros y por iones de hidrogeno que están en la solución del suelo y que están liberados por las raíces. El nivel de CIC da información sobre la capacidad de los suelos para guardar

cationes y sobre la disponibilidad y cantidad de nutrientes que las plantas pueden usar, así como su potencial de pH y otros factores. Un suelo que tiene un CIC bajo significa que tiene poco potencial para retener nutrientes y es arenoso o carece de materia orgánica (FAO, 2023)

2.5.4 Contenido de materia orgánica

La materia orgánica (M.O.) se expresa en forma de porcentaje. Esta indica la cantidad de residuos orgánicos que han sido modificados y que, por consiguiente, pueden ayudar a aumentar los nutrientes en el suelo. Esta materia tiene una alta habilidad para intercambiar cationes, lo que significa que puede mantener cationes en el suelo de manera eficaz (Garrido Valero, 1994).

2.5.4.1 Impacto en el suelo

La materia orgánica presenta una menor conductividad en comparación con la materia mineral. Sin embargo, las variaciones en la capacidad calorífica son mínimas y dependen de la cantidad de humedad. Esto significa que, debido a su conductividad térmica baja, la materia orgánica ayuda a mantener una temperatura estable al regular las fluctuaciones térmicas. Además, su color oscuro en comparación con el suelo mineral reduce la radiación reflejada, lo que provoca un aumento de su temperatura (Garrido Valero, 1994)

2.5.4.2 Disponibilidad de micronutrientes

Dentro de los principales se encuentra el hierro, manganeso, zinc y cobre, así mismo también ayuda en la reducción de algunos efectos tóxicos de los cationes libres. Muchos de los metales que se precipitaran en los suelos con condiciones normales se encuentran mantenidos en la solución del suelo en forma quelatada, también es muy probable que los micronutrientes sean transportados hacia las raíces en forma de quelatos complejos. La formación de los complejos arcillo húmicos o de la quelación contribuyen a la solubilización de fosfatos inorgánicos, parece que las sustancias húmicas aumentan la liberación de potasio el cual se encuentra fijado en la arcilla (Garrido Valero, 1994)

2.5.4.3 Actividad supresora frente a hongos

Actúan para combatir hongos patógenos en donde la supresión puede ser biótica o abiótica lo cual puede ser por diversos factores tales como la disponibilidad de oxígeno, pH inadecuado para el desarrollo de microorganismos o la ausencia o presencia de elementos como el nitrógeno (Garrido Valero, 1994)

2.5.4.4 Actividad enzimática

Existen enzimas absorbidas al humus o a las partículas de arcilla las cuales no se encuentran ligadas a las fracciones vivas, una de las enzimas más comunes es la ureasa. Hablando en forma general las enzimas ayudan a la hidrolización de moléculas haciéndolas disponibles para las plantas algunos elementos que son resultado de la hidrolisis. La materia orgánica del suelo posee una composición muy completa y a su vez heterogénea y por lo general esta mezclada o asociada a los minerales del suelo; así mismo se han desarrollado diversas técnicas de separación lo cual ayuda a identificar los constituyentes de la materia orgánica (Garrido Valero, 1994)

2.5.4.5 Importancia de la materia orgánica

La materia orgánica es un componente fundamental, el cual determina la calidad y productividad del suelo. La fertilidad, disponibilidad del agua, susceptibilidad a la erosión, compactación e incluso la resistencia de las plantas hacia los insectos y enfermedades dependen en gran medida a la materia orgánica del suelo ya que es un enlace de las propiedades biológicas, químicas y físicas en el suelo, como por ejemplo el ciclo de los nutrientes, la supresión a enfermedades y la remediación de la contaminación (Docampo, 2012).

La materia orgánica es considerada como un elemento clave en el suelo ya que regula diversas funciones como son el almacenamiento de carbono, disponibilidad de nutrientes, porosidad, estructura, capacidad para retención de agua, conductividad hídrica entre otros. La relación que existe entre la materia y el carbono orgánicos es conocida desde hace muchos años atrás cuando se analiza la fertilidad de los suelos, donde ahora lo más reciente es el papel que representa el carbono orgánico con relación al cambio climático y su control de CO₂ atmosférico, ya que

ahora se sabe que el carbono orgánico presente en el suelo representa casi tres veces el carbono de la biomasa de las plantas donde después los suelos son sumideros y reservorios de carbono. Un dato importante es que el suelo es considerado el segundo reservorio de carbono terrestre con un total de 2500 billones de toneladas en los primeros dos metros de profundidad. La materia orgánica posee ciertas influencias sobre la estructura del suelo evitando la erosión y ayudando a la retención del agua, el deterioro de la estructura que acompaña a un cultivo intensivo es menos erosivo que un suelo provisto de materia orgánica, por lo tanto, cuando la materia orgánica se pierde por completo los suelos tienden a compactarse y endurecerse lo cual tiende a formar terrones (Docampo, 2012)

2.6 Calidad del suelo

La calidad del suelo es referida como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema, así como sostener la productividad biológica, mantener la calidad de agua, así como del aire para apoyar la vida humana (Doran & Zeiss, 2000) así mismo también puede considerarse como indicador de perturbaciones naturales y ambientales o inducidas por el hombre, contribuye a establecer la sustentabilidad del suelo y de los distintos sistemas de producción. El funcionamiento máximo del suelo depende considerablemente de diversos factores tanto climáticos y del manejo que se le proporcione al suelo (Martinez, 2006)

En los ecosistemas agrícolas, la calidad del suelo depende principalmente de la cantidad, calidad y la dinámica de las reservas de carbono orgánico del suelo los cuales son afectadas por la temperatura, humedad, textura del suelo, así como su estructura (Lal, 2001)

La calidad en la que se encuentre el suelo es fundamental para realizar prácticas agrícolas ya que un suelo fértil y sano es capaz de proveer todos los nutrientes necesarios para poder crecer y desarrollarse. Las características físicas del suelo y estructura le permiten al agua y oxígeno poder llegar a las raíces de las plantas y ser aprovechados, los suelos también son descritos como suelos sanos y de calidad los cuales al tener propiedades tanto físicas como biológicas para mantener

a flote la productividad y al mismo tiempo promover la sanidad de plantas y animales (PennState, 2023)

2.7 Suelos agrícolas

Las actividades agrícolas tienen un papel clave en la vida del suelo, así como en su diversidad y funciones. La tala de árboles o el cambio de praderas a tierras de cultivo alteran seriamente el entorno del suelo, lo que causa una disminución en la cantidad y variedad de organismos. Asimismo, la menor cantidad y calidad de los restos de plantas que llegan al suelo, junto con la disminución de especies de plantas superiores, provoca una reducción en los hábitats y las fuentes de alimento para los seres vivos que habitan en el suelo (FAO, 2022)

En México el manejo de los suelos agrícolas es responsable de un 6.21% de las emisiones de efecto invernadero, la quinta comunicación ante la convención de las naciones unidas indica que las causas de esto son por la labranza y el uso de fertilizantes en los suelos agrícolas

2.8 Suelos forestales

Según (Moffat, 2001) los suelos forestales se caracterizan por haberse formado bajo la influencia de la vegetación forestal específica o por sostenerla.

Este concepto es también utilizado para referirse a los suelos de bosques establecidos artificialmente (plantaciones forestales). En este caso, el término suelo forestal adjetiva el suelo explorado con plantaciones forestales, por tanto, como una entidad con atributos propios, reflejando la relación bosque-suelo, considerando las diferencias estructurales y funcionales de este tipo de cobertura vegetal (Oscar Thiers et al., 2014)

2.9 Suelos de sistemas silvopastoriles

El método silvopastoril hace que la cría de animales sea más sostenible, ya que la relación entre los diferentes elementos trae ventajas al suelo, a la hierba, al ganado y a los árboles. También se observa un incremento en la producción y una mayor variedad en los productos (Gamarra et al., 2018)

Los sistemas silvopastoriles son considerados herramientas sostenibles los cuales son capaces de favorecer o contrarrestar efectos negativos mediante el implemento de especies de gramíneas y leguminosas en un mismo espacio las cuales son destinadas a la alimentación animal, por otro lado estos sistemas son capaces de aportar al suelo enormes cantidades de materia orgánica a través de la acumulación de hojarasca, raíces entre otros y así poder generar condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo

2.10 Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo hace referencia a la capacidad del suelo para tener condiciones químicas, físicas y biológicas favorables para proporcionar a las plantas todos los nutrientes esenciales para su crecimiento, por otro lado es importante entender que los nutrientes minerales no son alimento para las plantas ya que las plantas pueden producir su propio alimento por medio de la fotosíntesis si no que más bien los nutrientes minerales son un suplemento que proporciona más energía para poder desarrollarse (Vega-Blancas et al., 2022)

2.11 Degradación del suelo

En términos generales, se puede entender la degradación del suelo como un empoderamiento de su calidad. La degradación de suelo se refiere a la disminución o perdida de energía del suelo. Dado que todas las funciones y aplicaciones del suelo dependen de esta energía, se podría afirmar que la degradación del suelo implica una disminución o perdida de sus funciones o usos (López-Falcon, 2002)

Cuando el suelo se daña, los efectos más claros incluyen problemas en sus partes y características. Estos se ven en la pérdida de su estructura y en cómo se agrupan, en la reducción de su habilidad para absorber agua, en el aumento de su acidez, en la acumulación de sales, en el incremento de la toxicidad, en la menor disponibilidad de nutrientes, así como en la reducción de organismos y materia muerta en el suelo. Todo esto afecta la capacidad de los sistemas ambientales para resistir eventos naturales y actividades humanas (Alvarez-Arteaga et al., 2020)

El término calidad del suelo se definió al reconocer las funciones que cumple el suelo: (1) aumentar la productividad del sistema sin comprometer sus características físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) reducir los contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) promover la salud de plantas, animales y seres humanos. En la elaboración de este concepto, se ha tenido en cuenta que el suelo es el soporte fundamental para las plantas; absorber, almacenar y liberar agua; y actúa como un filtro ambiental eficiente. Por lo tanto, este concepto muestra la capacidad del suelo para operar dentro de los límites del ecosistema al que pertenece y con el que tiene interacciones (Cruz et al., 2004)

Una manera de medir la degradación del suelo es utilizar índices de calidad que se basan en indicadores específicos de los suelos analizados, el tipo de cultivo y su manejo. Estos indicadores pueden ser propiedades del suelo que son físicas, químicas y biológicas, y son medicinales. Dichas propiedades influyen en la capacidad del suelo para cumplir con alguna de sus funciones. Por un lado, los indicadores físicos están relacionados con el uso eficiente de agua, nutrientes y agroquímicos. Por otro lado, los indicadores químicos se asocian con las condiciones químicas que afectan la relación entre el suelo y las plantas, la calidad del agua, la capacidad de amortiguamiento del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas y otros organismos. Finalmente, los indicadores biológicos son aquellos organismos o procesos que surgen a partir de ellos, y su presencia o abundancia puede indicar cambios en ciertas propiedades o procesos del suelo (Nuñez-Peñaloza et al., 2023)

2.12 Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento crucial, considerado un macronutriente, para todos los organismos vivos. Además de ser parte fundamental de las proteínas, se encuentran en la mayoría de las combinaciones orgánicas en las plantas. El nitrógeno (N) actúa como el impulsor del crecimiento vegetal. Representa entre uno y cuatro por ciento del contenido seco de la planta. Este elemento es tomado del suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). Dentro de la planta, se encuentra

un elemento derivado del metabolismo de los carbohidratos para crear aminoácidos y proteínas. Como un componente fundamental de las proteínas, el nitrógeno juega un papel en todos los procesos clave del desarrollo de las plantas y en la producción de rendimiento (Benimeli et al., 2019)

El nitrógeno (N) actúa como el impulsor del crecimiento vegetal. Representa entre uno y cuatro por ciento del contenido seco de la planta. Este elemento es tomado del suelo en forma de nitrato o amonio. Dentro de la planta, se encuentra un elemento derivado del metabolismo de los carbohidratos para crear aminoácidos y proteínas. Como un componente fundamental de las proteínas, el nitrógeno juega un papel en todos los procesos clave del desarrollo de las plantas y en la producción de rendimiento (Fertilab, 2021)

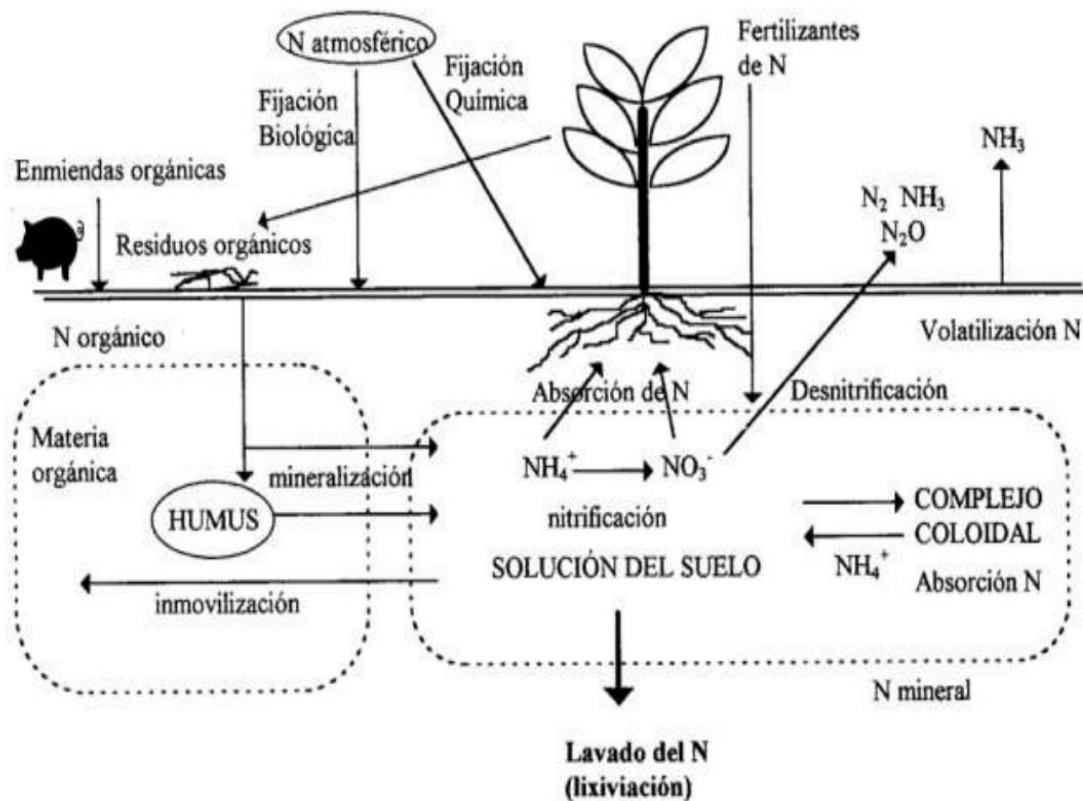


Figura 8 Ciclo del nitrógeno en un suelo cultivado (Pascual y Noguera, 1987).

El nitrógeno (N) es, después de la temperatura y del agua, el tercer factor limitante de la producción agrícola. Durante muchos años, la investigación y experimentación, así como las recomendaciones derivadas de ellas, se han centrado en optimizar la producción con un enfoque a nivel parcela. Se han trabajado y desarrollado estrategias para determinar las cantidades, momento y forma en que se deben aplicar los abonos nitrogenados con base en dosis óptimas técnicas y económicas (Emma Orchardson, 2020)

2.12.1 Importancia del nitrógeno

Hoy en día, se ha confirmado que es el factor más combinado, limita el crecimiento de las plantas, y una falta de este nutriente puede resultar en una reducción significativa de la producción. Tanto sus carencias como sus excesos en el suelo

impactan de manera importante en la salud y la productividad de los ecosistemas globales (Benimeli et al., 2019)

Entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas el N es considerado el más importante, por ser el que se encuentra en mayor proporción, 1 a 3 % con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, de la etapa fenológica, del órgano, etc. Las funciones del N son de tipo estructural y osmótico. Las primeras son específicas y se relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides. La función osmótica está asociada al efecto del ion nitrato y a otras formas reducidas del N (R.Cárdenas-Navarro et al., 2004)

El N es el elemento más abundante entre los gases que constituyen la atmósfera (representa el 78 % volumétricamente), sin embargo, se encuentra en forma de gas inerte y no es utilizable directamente por las plantas, cuyas raíces lo absorben principalmente en forma de iones nitrato y amonio. El nitrógeno en el suelo está sujeto a un conjunto de transformaciones y procesos de transporte que se denomina ciclo del nitrógeno. Es necesario conocer cómo influyen en las prácticas agrícolas y los factores ambientales en los diversos procesos de este ciclo (Fertilab, 2021)

Los requerimientos específicos de nutrientes para las plantas silvestres son un aspecto fundamental del conocimiento agrícola. Uno de los nutrientes más cruciales es el nitrógeno (N), ya que forma parte de las proteínas y de algunos compuestos orgánicos. Estos elementos son determinantes en el crecimiento y la productividad tanto de cultivos como de plantas silvestres. La falta de este nutriente reduce la producción de las plantas. El nitrógeno molecular (N_2) no tiene actividad biológica y es inerte. Sin embargo, hay microorganismos que se encuentran en las raíces de las leguminosas, las cuales se encargan de fijar el N_2 . Estos microorganismos transforman el nitrógeno en formas aminadas (NH_2), las cuales las plantas pueden usar al similares gracias a la enzima glutamina sintetasa. Al aplicar fertilizantes amoniacales en el suelo, las raíces de las plantas son capaces de absorber una parte de ellas en forma de amonio, mientras que otra parte se convierte en NO_2^- o NO_3^- por bacterias nitrificantes presentes en el suelo. Generalmente, las plantas

absorben el NO_3^- como la forma principal de nitrógeno. El N se asimila sobre todo en forma de iones disueltos de nitrato y amonio. El NO_3^- es el que se absorbe más en las plantas y es más móvil en el suelo, mientras que el NH_4^+ , que es captado principalmente por microorganismos, se asimila en menor cantidad. La cantidad de N en el tejido vegetal, especialmente en las hojas como NO_3^- , varía entre diferentes especies. Sin embargo, muchos estudios han demostrado que mezclar NO_3^- y NH_4^+ aporta ventajas a las plantas (Benimeli et al., 2019)

2.12.2 El ciclo del nitrógeno

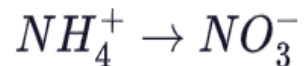
El ciclo del nitrógeno en el suelo (Figura 8) está vinculado a la actividad de microorganismos y fauna del suelo como lombrices, nematodos, protozoos, hongos, bacterias y artrópodos. La biología del suelo es clave para la composición y las propiedades del suelo. Los organismos que habitan en el suelo descomponen la materia orgánica que proviene de restos de plantas y animales, lo que libera nutrientes que las plantas pueden absorber (FAO, 2023).

Los ciclos biogeoquímicos del fósforo y del nitrógeno son sistemas que cambian constantes en la biosfera, y la disponibilidad de estos elementos para las diversas formas de vida depende de cómo se transforman. Se reconoce que la variedad y la acción de las poblaciones microbianas son fundamentales en el manejo de los nutrientes, por lo que es importante entender cómo reaccionan a las condiciones del entorno. La actividad de los microorganismos en los suelos está influenciada tanto por el estado del recurso como por sus características químicas, físicas y biológicas (Cerón & Aristizábal, 2012)

2.12.2.1 Fijación

Este proceso implica la captura del nitrógeno del aire por algunas bacterias y cianobacterias que están en el suelo y en ambientes acuáticos. La fijación se produce cuando el nitrógeno gaseoso (N_2) se transforma en amoníaco (NH_3) o nitratos (NO_3^-). Para hacer esto, estos organismos utilizan la enzima nitrogenasa. Sin embargo, como la nitrogenasa solo puede funcionar sin oxígeno, las bacterias deben encontrar la forma de proteger la enzima de estar en contacto con el oxígeno (CICEANA, 2015)

2.12.2.2 Nitrificación o mineralización.



Las raíces de las plantas pueden absorber ambas formas, aunque algunas especies prefieren los nitratos sobre el amonio. El amonio se convierte en nitrato gracias a la acción de microorganismos en un proceso conocido como nitrificación. Este proceso ocurre en dos etapas y requiere diferentes bacterias: primero, las bacterias del suelo como Nitrosomonas y Nitrococcus convierten el amonio en nitrito (NO_2^-), luego otra bacteria llamada Nitrobacter transforma el nitrito en nitrato. La nitrificación necesita oxígeno para llevarse a cabo, por tanto, este proceso solo puede ocurrir en lugares donde hay mucho oxígeno, como en las aguas en movimiento y en las partes superiores de los suelos y sedimentos (Harrison, 2003)

2.12.2.3 Asimilación

La asimilación ocurre cuando las plantas capturan nitrato (NO_3^-) o amoniaco (NH_3) a través de sus raíces, los cuales son resultados de la fijación del nitrógeno o de la nitrificación. Posteriormente, estas moléculas se incluyen tanto en las proteínas como en los ácidos nucleicos de las plantas. Cuando los animales consumen las plantas, también adquieren nitrógeno y lo transforman en compuestos que forman parte de su organismo (CICEANA, 2015)

2.12.2.4 Amonificación

Compuestos similares a las proteínas y otros elementos son los principales componentes de la materia nitrogenada que se añade al suelo, pero tienen un bajo valor para las plantas cuando se aplican directamente. Cuando los organismos generan residuos que contienen nitrógeno, como la urea en la orina o el ácido úrico en los excrementos de aves, así como organismos que han fallecido, las bacterias en el suelo y el agua descomponen estos materiales, liberando nitrógeno en forma de amonio (NH_3). En este proceso de incorporación del nitrógeno al ciclo, las bacterias fijadoras realizan digestión enzimática, transformando el amonio en compuestos aminados, como las proteosomas, peptonas y, finalmente, aminoácidos (CICEANA, 2015)

2.12.2.5 Inmovilización

Este proceso es opuesto a la mineralización, durante el cual el nitrógeno en formas inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-) se convierte en nitrógeno orgánico, lo que lo hace no asimilable. La inmovilización ocurre cuando el nitrógeno inorgánico, como NH_4^+ y NO_3^- es asimilado por los microorganismos. A medida que los microorganismos descomponen los residuos orgánicos carbonosos, pueden requerir más nitrógeno del que contienen. Posteriormente, asimilan el nitrógeno inorgánico en sus componentes celulares, el cual deja de estar disponible para la absorción de las plantas (Harrison, 2003)

2.12.2.6 Desnitrificación

Se denomina desnitrificación al proceso en el que los nitratos se convierten en nitrógeno gaseoso y el amonio se transforma en amoniaco. Este proceso es realizado por las bacterias desnitrificadoras, que invierten el trabajo de las fijadoras de nitrógeno, devolviendo el nitrógeno a la atmósfera en forma gaseosa. Esto provoca una reducción de nitrógeno en el ecosistema y ocurre en condiciones de exceso de materia orgánica, ambientes anaerobios, escasez de agua y pH alto, además de que puede estar relacionado con el escurrimiento de fertilizantes al suelo (Harrison, 2003)

2.12.3 Aportaciones de nitrógeno por la lluvia

La lluvia transporta diversas cantidades de nitrógeno, que se encuentran como amonio, nitrato y óxidos de nitrógeno, y representa una fuente significativa de nitrógeno para los ecosistemas naturales. La cantidad de nitrógeno que aporta la lluvia varía entre 5 y 15 Kg. N/ha/año. Sin embargo, este aporte es considerablemente menor en comparación con la cantidad suministrada por los fertilizantes químicos en los sistemas agrícolas (Fertilab, 2021)

2.12.4 Lixiviación

La lixiviación, o el lavado del nitrato, se refiere al desplazamiento de este compuesto por el agua del suelo que penetra más allá de la zona donde están las raíces. Este proceso es responsable de la contaminación de las aguas subterráneas con nitratos,

ya que, por lo general, una vez que el nitrato ya no está accesible para las raíces, sigue su curso hacia los acuíferos casi sin sufrir transformación química o biológica (Intagri, 2015)

2.12.5 Volatilización

La volatilización de nitrógeno en forma de amoníaco es un proceso habitual en los suelos que resulta de la descomposición del nitrógeno orgánico. Sin embargo, cuando se trata de fertilizantes químicos, las pérdidas por este tipo de volatilización son más elevadas. Depende de la fuente, estas pérdidas pueden variar entre el 3% y el 55 %. Varios factores como los procesos químicos, biológicos y biológicos influyen en estas pérdidas, incluyendo el clima, el tipo de suelo, las prácticas de manejo, la temperatura, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica, la cobertura del suelo, la calidad de los residuos, así como la cantidad física y ubicación del fertilizante (Larios-González et al., 2021)

2.12.6 Pérdidas de N desde el suelo

- Desnitrificación, que es la reducción de nitratos a través de procesos bioquímicos en ambientes sin oxígeno.
- Liberación de amoníaco, especialmente en suelos que son alcalinos, cálidos y húmedos.
- Lixiviación de nitratos.
- Asimilación de nitratos por plantas más grandes - Extracción por cultivos.
- Retención de amonio por las arcillas.

2.13 Fijación del nitrógeno

La conversión del nitrógeno es un procedimiento en el que el N_2 se transforma en amonio. Esto es fundamental ya que es la única forma en que los seres vivos pueden obtener nitrógeno directamente del aire. Para que este proceso ocurra, se necesitan condiciones sin oxígeno, o al menos con niveles bajos de este. La habilidad para fijar nitrógeno se observa en varios grupos fisiológicos. Todos ellos comparten la característica de ser procariontes. El organismo que ha sido mejor

estudiado en ambientes aerobios es el *Azotobacter*. En ambientes anaerobios, el organismo más conocido es el *Clostridium*. Además, varias cianobacterias también han sido estudiadas de manera precisa (JULIO CAFFA, 2006)

2.14 Fertilizantes nitrogenados

El nitrógeno que se añade como fertilizante puede estar en forma de urea, NH_4^+ o NO_3^- . Este tipo de nitrógeno reacciona de manera similar al nitrógeno que se libera a través de procesos bioquímicos que provienen de residuos vegetales. Por lo tanto, la urea pasa por un proceso de amonificación, donde se convierte en NH_4^+ , y luego se nitrifica, lo que permite que los microorganismos y plantas lo usen. El amonio puede ser transformado en nitratos, los cuales pueden ser absorbidos por las partículas del suelo o ser utilizados directamente por los microorganismos y plantas. Los microorganismos y plantas pueden absorber nitratos de manera directa, aunque también hay riesgo de que se pierdan por volatilización o lavado (Martínez Gaspar et al., 2011)

La fertilización orgánica es un método de gestión que apoya al medio ambiente de manera natural. Este proceso permite que el suelo reciba nutrientes, lo que asegura una nutrición adecuada para las plantas y un desarrollo efectivo a lo largo de su vida. Así, se contribuye a suministrar materia orgánica y prevenir la degradación del suelo. Los fertilizantes orgánicos contienen nutrientes que provienen del propio suelo agrícola. Estos abonos tienen una menor solubilidad y permiten que las plantas obtengan nutrientes de forma más gradual. Al aumentar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo, se pueden retener más nutrientes, lo que a su vez reduce las pérdidas por lixiviación (Martínez Gaspar et al., 2011)

2.15 Bioquímica del carbono y nitrógeno en pastizales pastoreados

La biogeoquímica es la disciplina que investiga cómo se mueven los nutrientes en la biosfera, lo que es fundamental para comprender cómo están estructurados y operan los ecosistemas. La transferencia de energía y el movimiento de nutrientes son aspectos que están estrechamente conectados. En términos generales, la interacción del carbono y el nitrógeno resume e integra gran parte del funcionamiento de los ecosistemas. Los enlaces carbono-carbono en las moléculas

orgánicas representan la principal forma de almacenamiento y transferencia de energía, mientras que el nitrógeno es el nutriente que más frecuentemente limita la productividad en los ecosistemas terrestres. (Piñeiro, 2006)

2.16 Cambio climático

El cambio climático es definido como el posible aumento de temperatura del planeta el cual se produce a consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero como lo son el dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, metano y clorofluorocarbono (Luccini et al., 2018)

El uso de los combustibles fósiles y el uso de cambio de uso del suelo son considerados las principales fuentes emisoras de dióxido de carbono hacia la atmósfera las cuales se relacionan con el cambio climático (Mintzer, 1992).

Actualmente el exceso de dióxido de carbono modifica el ciclo de carbono lo cual influye sobre las condiciones climáticas ya que por una parte se produce la captación de dióxido de carbono sobre la atmósfera mediante la fotosíntesis que realizan las plantas, las talas de árboles y las quemaduras concentrando el dióxido de carbono en la atmósfera (Carvajal, 2011).

2.17 Nitrógeno y agricultura

El manejo de nitrógeno en pastoreo es un dilema que se debe controlar a través de la fertilización y la inclusión de pasturas polísticas que poseen especies capaces de hacer un uso eficiente del nitrógeno. Las pérdidas de nitrógeno a través de la orina representan un problema de eficiencia de uso en los animales que provoca volatilización como óxido nitroso y lixiviación a través del suelo en forma de nitrato contaminando las aguas subterráneas. El crecimiento de las plantas se ve más influenciado por el nitrógeno, que forma parte de compuestos orgánicos. Esto incluye las hormonas de crecimiento que son vitales para el metabolismo de las plantas. También está presente en proteínas, ácidos nucleicos, clorofilas y enzimáticos, como los citocromos, que son esenciales para procesos como la fotosíntesis y la respiración. Además, se encuentran en diferentes coenzimas, como los dinucleótidos de nicotinamida y adenina (Rolando Demanet Filippi, 2020)

La relevancia del análisis del nitrógeno en los sistemas orgánicos y convencionales radica en que este elemento es uno de los más restrictivos en la agricultura. En tiempos recientes, el nitrógeno ha cobrado relevancia debido a su papel en los problemas ambientales, ya que el uso excesivo de fertilizantes que contienen nitrógeno genera desnitrificación, lo que aumenta las emisiones de N_2O en la tierra, además de causar lixiviación que contamina los acuíferos. Se ha comprobado que ambos fenómenos se venden potenciado con el aumento en la utilización de fertilizantes minerales a base de nitrógeno en la producción (Rolando Demanet Filippi, 2020)

2.18 Nitratos y nitritos

Los iones de nitratos y nitritos están presentes de forma natural y son parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato es una forma de nitrógeno esencial para el crecimiento de todas las plantas. En la agricultura y en jardinería, se emplean fertilizantes que contienen nitrógeno para mejorar la calidad del suelo. Las plantas son capaces de utilizar el nitrógeno únicamente en forma de nitratos. El tipo de fertilizante que se usa afecta la cantidad de nitrógeno que las plantas pueden absorber. Por lo tanto, el nitrógeno que no es utilizado por ellas se filtra en el acuífero. La cantidad de nitrato en el agua que se filtra depende del tipo de fertilizante utilizado, y también de la frecuencia, la cantidad y la forma en que se aplica. Además, influye el nitrógeno orgánico o inorgánico que ya está en el suelo, así como la permeabilidad, la humedad y otras características del suelo (Fernández & Vázquez, 2006)

El nitrógeno que las bacterias fijan suele ser rápidamente absorbido en forma de proteína y otros compuestos de nitrógeno orgánico, ya sea por la planta que lo recibe, por la misma bacteria, o por otros seres en el suelo. Cuando los organismos en la parte alta de la cadena alimentaria, como los humanos, se alimentan, utilizan el nitrógeno que en un principio fue fijado por estas bacterias (Fernández & Vázquez, 2006)

2.19 Amonio

El ion amonio (NH_4^+) constituye una de las principales fuentes de nitrógeno que las plantas necesitan para alimentarse. Este compuesto se genera a partir de la

mineralización de la materia orgánica en procesamiento. El amonio puede generarse por fijación de nitrógeno , reducción de nitrato o degradación de materia orgánica (mineralización). La fijación de nitrógeno, catalizada por la nitrogenasa , permite que algunos procariotas simbióticos o de vida libre reduzcan el gas dinitrógeno (N_2) a amonio (Cabello et al., 2009)

III. JUSTIFICACIÓN

La necesidad urgente de conocer y caracterizar la calidad del suelo en zonas rurales cuya dinámica productiva y ambiental puede favorecer la acumulación de nitrógeno inorgánico. Los compuestos nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) son formas reactivas del nitrógeno que, en concentraciones elevadas, representan riesgos para la salud humana. El estudio del contenido de nitratos y amonio en la comunidad de El Peñón y Los Timbres, Temascaltepec, Estado de México, surge de la necesidad de conocer la calidad del suelo que utilizan las familias de la región. Estos compuestos se relacionan principalmente con el uso de fertilizantes en la agricultura, la cría de animales y la forma en que se manejan los desechos. Cuando se encuentran en niveles altos, pueden afectar la salud de las personas y también dañar al medio ambiente. En estas comunidades, la mayoría de las familias dependen de actividades agrícolas y pecuarias para su sustento, por lo que es común el uso de fertilizantes y el contacto directo con fuentes de agua cercanas. Conocer esta información es importante, ya que la contaminación del suelo y agua puede traer consecuencias como enfermedades o la pérdida de la fertilidad de la tierra. La investigación se justifica porque permitirá tener un panorama real de la situación en El Peñón y Los Timbres.

IV. HIPÓTESIS

El suelo agrícola puede contener mayores concentraciones de nitrógeno inorgánico (nitratos y amonio) respecto a los suelos de uso forestal y de pastizal, debido al manejo agronómico y la aplicación de fertilizantes, y dichas concentraciones varían estacionalmente durante el año.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la disponibilidad de nitrógeno en forma de nitratos y amonio en suelos con diferentes usos (agrícola, pastizal y forestal), a distintas profundidades (0-10 cm y 10-20 cm), en dos unidades productivas del municipio de Temascaltepec, México.

5.2 Objetivos específicos

- Cuantificar el contenido de nitratos y amonio en suelos agrícolas cultivados con maíz, a profundidades de 0–10 cm y 10–20 cm, en siete periodos de medición.
- Determinar el contenido de nitratos y amonio en suelos de pastizales, a profundidades de 0–10 cm y 10–20 cm, en siete periodos de medición.
- Evaluar el contenido de nitratos y amonio en un sistema silvopastoril (bosques de pino y encino con pastos), a profundidades de 0–10 cm y 10–20 cm, en siete periodos de medición.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del sitio experimental

El trabajo se desarrolló en dos unidades productivas ganaderas, la primera se encuentra ubicada en la comunidad del Peñón y la segunda se encuentra en Los Timbres, comunidades ubicadas en el municipio de Temascaltepec, México.

La unidad de producción se ubicó en El Peñón se encuentra ubicada a 1,862 m.s.n.m, con las coordenadas geográficas $19^{\circ} 03' 07''$ N, $100^{\circ} 07' 10''$ W; por otro lado, la unidad de producción ubicada en los Timbres se encuentra a 1,769 m.s.n.m, con las coordenadas $19^{\circ} 02' 16''$ N, $100^{\circ} 05' 29''$ W (Google earth, 2020).

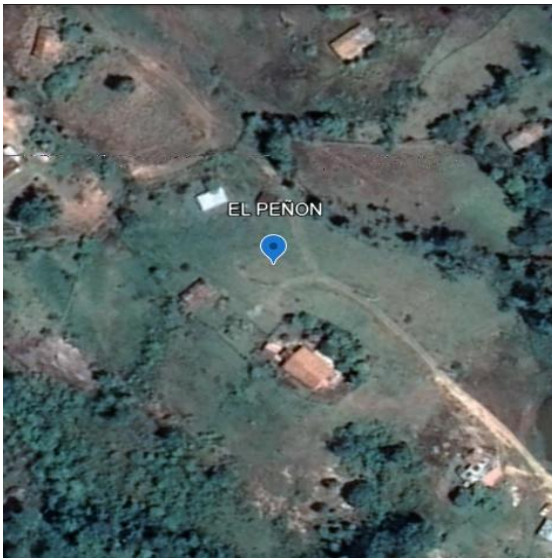


Figura 9 El Peñon

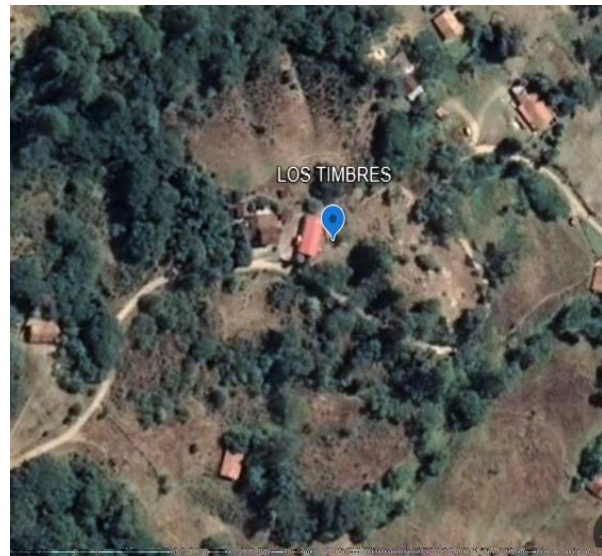


Figura 10 Los Timbres



El clima en Temascaltepec se caracteriza por ser templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (INEGI, 2010)

El suelo dominante es, Andosol con un 46.42%, Cambisol (25.35%), Phaeozem (10.26%), Luvisol (6.54%), Vertisol (6.02%), Leptosol (4.7%) y Regosol (0.53%) (INEGI, 2010)

Según el INEGI (2010) en cuanto a su vegetación está compuesta por bosques ocupando el 61.81% y pastizales con 11.55% y uso de suelo agrícola con 26.46%

6.2 Material de campo para tomar muestras de suelo.

- Bolsas de plástico ziploc
- Marcador permanente de color negro.
- Regla.
- Pico.
- Pala pequeña

6.3 Toma de muestras

Antes de iniciar el muestreo se identificó el área en donde se recolectaron las muestras de suelo, en cada uso del suelo se realizó 1 muestreo por un periodo de 7 meses iniciando en los meses de marzo-abril, junio, julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre en los cuales se tomaron dos muestras por uso del suelo, a diferentes profundidades las cuales fueron de 0-10 y de 10-20 cm utilizando una regla, pico pequeño y una pala, la cual se utilizó para la recolección de las muestras



Figura 11 Secado de muestras

almacenándose en bolsas de plástico nuevas siendo etiquetadas (sitio-uso de suelo-profundidad-fecha) con la información necesaria las cuales se llevaron al laboratorio para ser secadas a temperatura ambiente (Figura 12) y posteriormente se procesaron para la realización de los análisis correspondientes.

Proceso

El primer paso para realizar el muestreo fue determinar el área o zona, la cual se limpió de los restos de materia orgánica tales como son hojas, troncos o restos de pasto.

Posteriormente con la ayuda del pico se procedió a escarbar con cuidado para poder extraer la muestra del suelo y con ayuda de la regla se realizó la medición para verificar la profundidad deseada ya que la primera muestra se tomó de 0 – 10 cm y la segunda de 10-20 cm.



Figura 12 Toma de muestra

Con ayuda de la pala se extrajo la cantidad (250 g) de suelo deseada para ser colocada dentro de la bolsa de nylon correspondiente (figura 13), la cual se etiquetó con la información correspondiente como son: fecha de muestra, sistema de producción en la que se recolectó, nombre del productor y la profundidad a la cual se muestreo.



Figura 13 Muestras de suelo

Al finalizar las muestras recolectadas se llevaron al laboratorio de suelos del Centro Universitario UAEM Temascaltepec para iniciar el proceso necesario para el análisis y obtención de resultados de estas.

6.5 Análisis de nitratos

Los nitratos se determinaron por el método de colorimetría por medio del fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01 (Figura 14), el cual nos dio los valores de Nitrógeno en forma de nitrato y nitratos en mg/l.



Figura 14 Fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01

Material y equipo:

- Fotómetro
- Centrifugadora
- Tubos de plástico para centrifugadora de 50ml
- Matraz de 250 ml
- Papel filtro
- Embudos
- Muestra de suelo

- Balanza analítica
- Charolas de pesado
- Espátula
- Agua destilada
- Reactivos (reactivo de nitrato: HI93728-0).

Procedimiento:

Paso 1: Se pesaron 5 g de la muestra ya seca y tamizada

Paso 2: Se colocó la muestra en un tubo cónico de plástico de centrifugadora de 50ml y se le agregaron 50 ml de agua destilada



Figura 15 Centrifugadora HERMLE

Paso 3: se pusieron los tubos de la muestra en la centrifugadora durante 10 minutos a 6000 revoluciones por minuto (Figura 15)



Figura 16 Muestra en tubos cónicos

Paso 4: En matraces de 250 ml se colocó un embudo y papel filtro para proceder a colocar la muestra ya procesada en la centrifugadora, para que se filtrara el agua.

Nota: las muestras filtradas tenían que ser claras o en caso de ser turbias se les colocaba carbono activado para la eliminación de impurezas y contaminantes orgánicos.

Paso 5: Antes de comenzar a realizar las lecturas en el fotómetro de las muestras, se calibraba con un blanco con agua destilada; se llenaba el frasco con 10 ml de agua destilada (hasta la marca), se tapaba y colocaba el frasco en el compartimiento

del equipo y se cerraba la tapa, como último paso se ponía la tecla Zero y cuando la pantalla mostraba "-0.0-" estaba listo para su medición.



Figura 17 Llenado del frasco con la muestra

Paso 6: Se seleccionaba el método de Nitratos en el fotómetro para continuar con el procedimiento.

Paso 7: Se llenaba el frasco con 10 ml de muestra sin reaccionar (hasta la marca), se tapaba el frasco en el compartimiento del equipo y se cerraba la tapa

Paso 8: Se retiraba el frasco y se agregaba un sobre del HI93728-0 reactivo de nitrato se ponía la tapa y se movía vigorosamente por exactamente 10 segundos. Después de los 10 minutos se continuaba mezclando el frasco invirtiendo suavemente la misma durante 50 segundos más evitando que se crearan burbujas, y que el polvo se disolviera por completo.

Paso 9: volver a colocar el frasco en el equipo y cerrar la tapa. Presionábamos reloj (timer) y la pantalla mostraba la cuenta regresiva de 4 minutos 30 segundos.



Figura 18 Colocación de la muestra

Paso 10: Cuando finalizaba el reloj (timer), el equipo mostraba la lectura en pantalla, los resultados se expresaban en mg/L (ppm).

Presioabamos las flechas (arriba o abajo) para acceder a las funciones del segundo nivel.

Y como último paso se presionaba la tecla Chem Form para convertir el resultado en mg/l (ppm) a (NO_3^-) .

6.6 Análisis de Amonios

El amonio se determinó por el método de colorimetría por medio del fotómetro Multiparamétricos HANNA HI83325-01, el cual nos daba los valores de amonio, nitrógeno en forma de amoniaco y amoniaco en mg/l.

Materiales y equipo:

- Fotómetro
- Centrifugadora
- Tubos de plástico para centrifugadora de 50ml
- Matraz de 250 ml
- Papel filtro
- Embudos
- Muestra de suelo
- Balanza analítica
- Charolas de pesado
- Espátula
- Agua destilada
- Frascos de 10 ml para fotómetro
- Reactivos (reactivo de amonio: HI93733B-0 y HI93733A-0).

Procedimiento:

Paso 1: Se pesaron 5 g de la muestra ya seca y tamizada

Paso 2: Se colocó la muestra en un tubo cónico de plástico de centrifugadora de 50ml y se le agregaron 50 ml de agua destilada.



Figura 19 Pesado de la muestra

Paso 3: se pusieron los tubos de la muestra en la centrifugadora durante 10 minutos a 6000 revoluciones por minuto.

Paso 4: En matraces de 250 ml se colocó un embudo y papel filtro para proceder a colocar la muestra ya procesada en la centrifugadora, para que se filtrara el agua.

Nota: las muestras filtradas tenían que ser claras o en caso de ser turbias se les colocaba carbono activado para la eliminación de impurezas y contaminantes orgánicos.

Paso 5: Antes de comenzar a realizar las lecturas en el fotómetro de las muestras, se calibraba con un blanco con agua destilada; se llenaba el frasco con 10 ml de agua destilada (hasta la marca), se tapaba y colocaba el frasco en el compartimiento del equipo y se cerraba la tapa, como último paso se ponía la tecla Zero y cuando la pantalla mostraba "-0.0-" estaba listo para su medición.

Paso 6: Seleccionamos en el fotómetro la opción de Amoniac.

Paso 7: llenamos el frasco con 10 ml de muestra sin reaccionar (hasta la marca), tapamos y colocamos el frasco en el compartimiento del equipo y cerramos la tapa (figura 19).

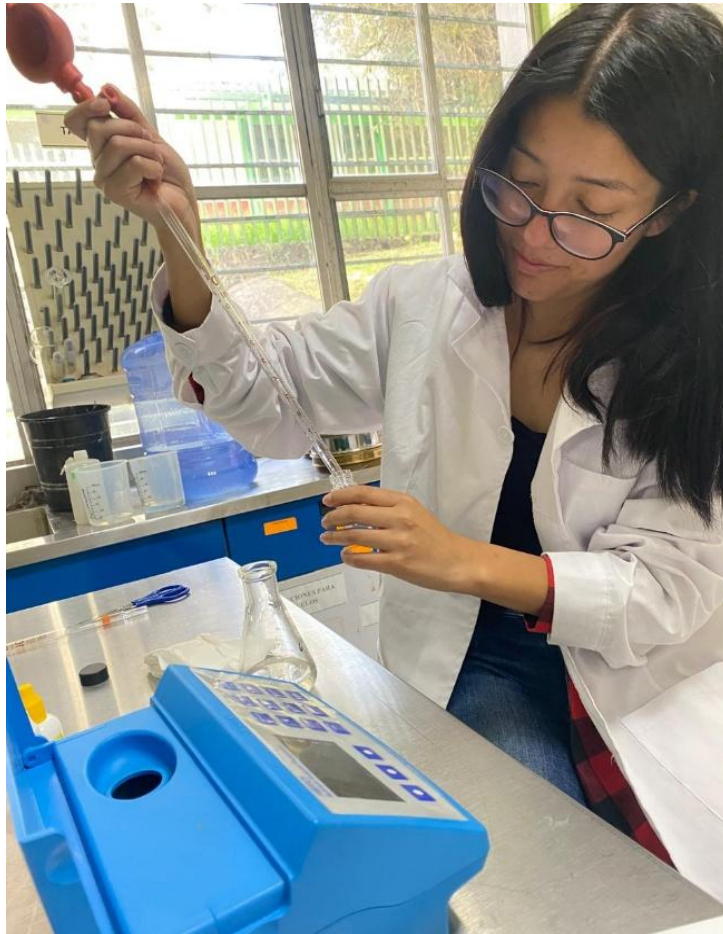


Figura 20 Llenado de la muestra

Paso 8: retiramos el frasco y agregamos 4 gotas del 1er. reactivo HI93733A-0, tapamos y comenzamos a mezclar.

Paso 9: volvemos a colocar el frasco en el equipo y cerramos la tapa, presionamos reloj (timer) y la pantalla mostro la cuenta regresiva de 3 minutos y 30 segundos, cuando finalizo el reloj (timer), el equipo mostro la lectura en pantalla, los resultados se expresaron en mg/L (ppm) de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), presionamos las flechas (arriba o abajo para acceder a las funciones del segundo nivel y

presionamos la tecla Chem Form para convertir el resultado en mg/L (ppm) de amoníaco (NH_3) y amonio (NH_4^+).

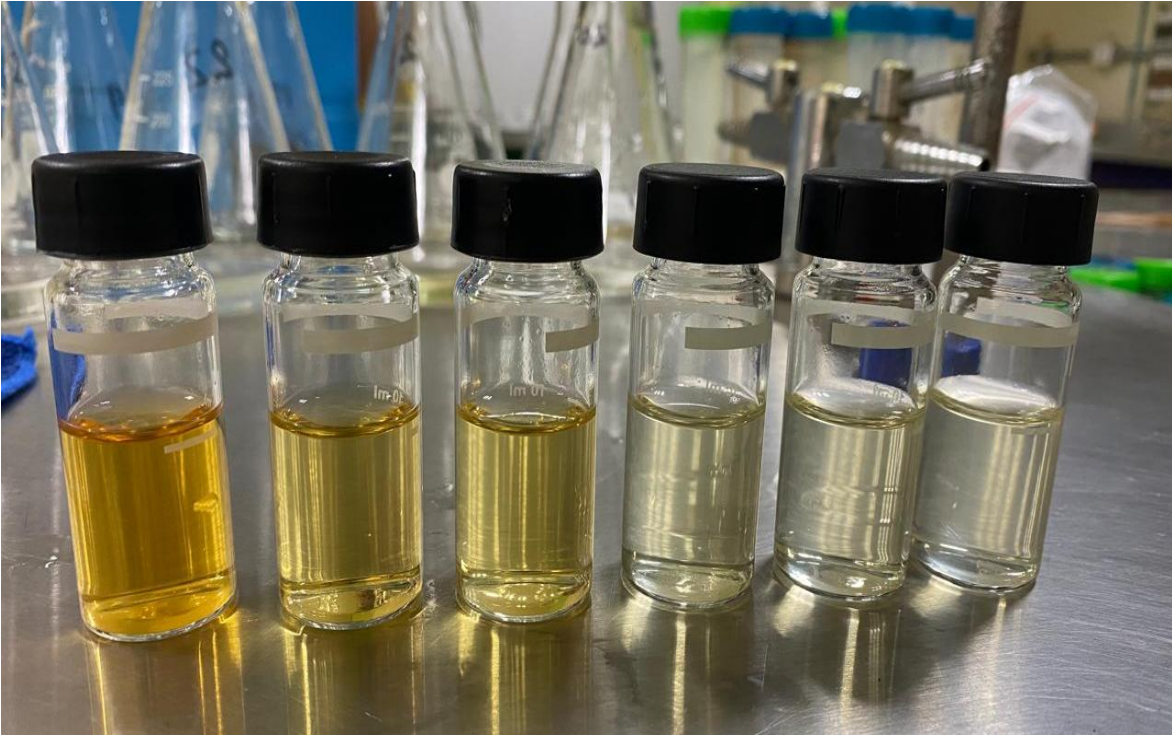


Figura 21 Muestras con reactivos de amonio

6.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de medias y una prueba de Tukey con una confiabilidad del 95% utilizando el software SAS System for Windows 9.0 para identificar diferencias significativas entre las medias de los grupos

6.8 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de subparcelas divididas con medidas repetidas, donde los factores fueron: parcela mayor sistemas, parcela menor usos de suelo y subparcelas profundidad, con repeticiones a través del tiempo (7 meses).





(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se evaluaron dos sistemas ganaderos; sistema numero 1 corresponde a la comunidad de los Timbres, el sistema numero 2 a la comunidad del Peñón Temascaltepec. Se estimó el contenido de amonio y nitratos presente en el suelo a diferentes profundidades; 0 a 10 cm (1) y 10 a 20 cm (2), y con diferentes usos; agrícola (A), forestal (F) y agrícola (A). Así como también en las zonas altas y bajas de la unidad de producción.

6.1 Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona alta

De manera general en la zona alta se evaluó el contenido de nitratos en los dos sistemas ganaderos (tabla 1) el sistema ganadero 1 presento una media significativamente mayor que el sistema 2.

Tabla 1 Contenido de Nitratos en los sistemas ganaderos

Sistemas ganaderos	Media	Valor P
1	31.749 <i>a</i>	0.056
2	12.021 <i>b</i>	

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

La tabla 1 muestra el contenido de nitratos, ya que es una forma de nitrógeno disponible en el suelo. Los nitratos en forma de nitrógeno tienen una concentración promedio de 31.749 para la unidad de producción de los timbres, y 12.021 para el Peñón, los cuales, son muy ricos de acuerdo con el rango que se toma en los niveles de fertilidad para la forma de nitrógeno mineral ya que son < 4.5 (figura 20), para nitratos (López Galán, 1988)

Apreciación	(mg/l) Nitrógeno mineral	
	Nitratos	Amonio
Muy bajo	< 4,5	< 4
Bajo	4,5 – 8	4 – 8
Satisfactorio	8 – 14	8 – 13
Rico	14 – 20	13 – 19
Muy rico	> 20	> 19

Figura 22 apreciación de los niveles de fertilidad para las dos formas del nitrógeno mineral, el nítrico y el amoniacal determinadas por los métodos rápidos de los laboratorios

Como se muestra en la tabla 2 el uso forestal presento una media más alta, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los tres usos (p=0.3908)

Tabla 2 Contenido de nitratos en los tres usos de suelo de los timbres

Usos	Media	Valor P
F	28.55 a	0.3908
P	19.34 a	
A	17.75 a	

F: Uso Forestal

P: Uso Pastizal

A: Uso Agrícola

Valor de P: Diferencia significativa p<0.05

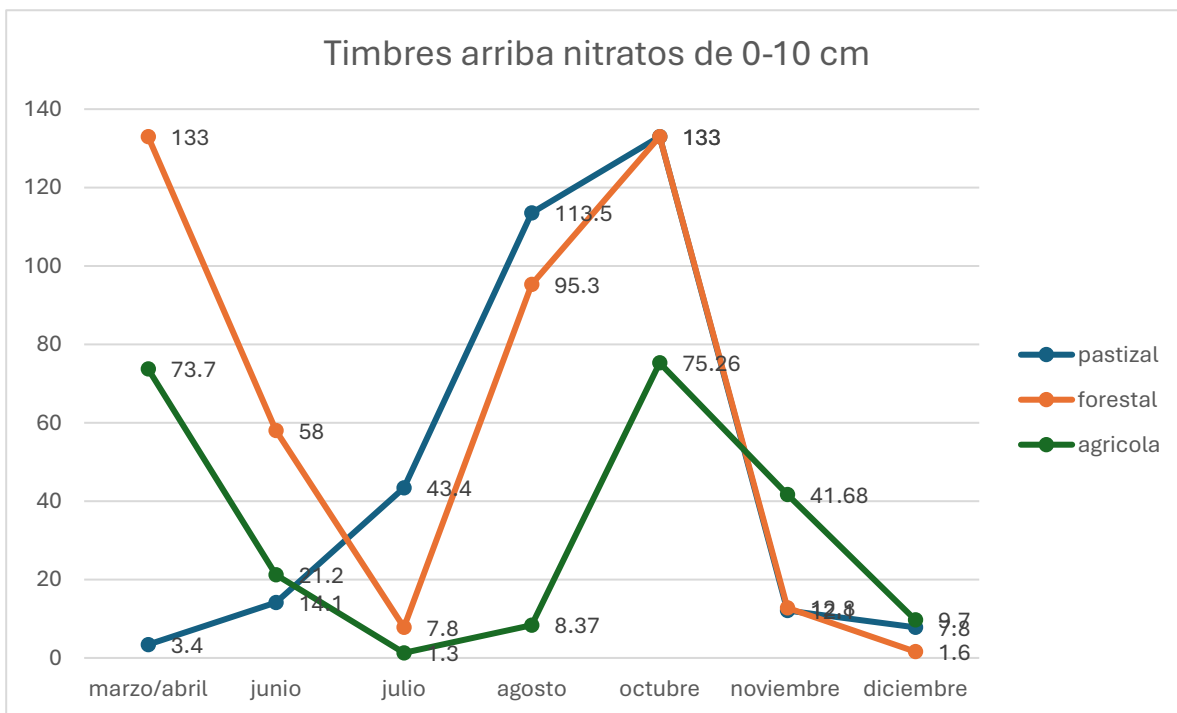
De acuerdo con Acevedo et al. (2011) el contenido de nitratos en sistemas de producción agrícola orgánico, en la capa superficial tuvo un contenido de 29 mg/kg mientras que de 0 a 60 cm fueron significativamente menores que en el convencional cuyos contenidos fluctuaron de 10 a 20 mg/kg. Comparado con los nitratos en la zona alta la cual fue de 0-10 cm los valores promedio fueron de 17.75 mg/l

Tabla 3 Contenido de nitratos en las diferentes profundidades

Profundidad	Media	Valor P
1	30.211 a	0.0184
2	13.558 b	

1: 0-10 cm
 2: 10-20 cm
 Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

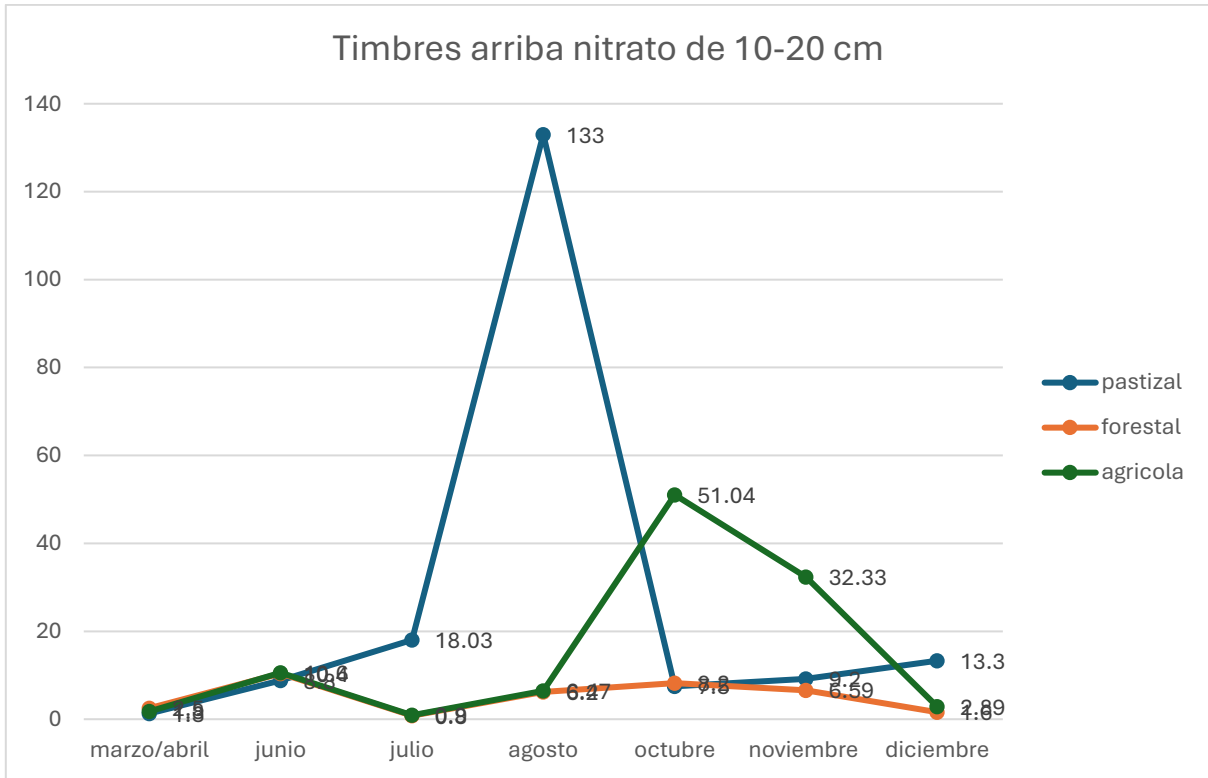
Se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las dos profundidades ($p=0.0184$) el contenido de nitratos fue mayor (tabla 3) en la profundidad de 0 a 10 cm.



Gráfica 1 Contenido de nitratos de 0-10 cm de los Timbres.

En la gráfica 1 se aprecia que, a lo largo del año, el sistema forestal muestra el mayor contenido de nitratos en la zona alta de los Timbres a una profundidad de 0-10cm teniendo picos en el mes de marzo/abril y octubre, mientras que el sistema agrícola al igual que el forestal muestra sus mayores concentraciones en los meses

de marzo/abril y octubre. A lo contrario de los otros dos sistemas, el sistema agrícola en el mes de marzo/abril presento su menor concentración de nitratos, pero en el mes de agosto y octubre teniendo sus picos más altos.



Gráfica 2 Contenido de nitratos de 10-20 cm de los Timbres.

En la gráfica 2 se observa que, a lo largo del año, el uso forestal mantiene las concentraciones más bajas desde los primeros meses. El uso agrícola los primeros meses se mantiene constante teniendo su pico entre los meses octubre y noviembre. Mientras que el uso pastizal tuvo su mayor concentración en el mes de agosto.

6.1.1 Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los Timbres en la zona alta

En los usos de suelo (pastizal: 37.03 a, forestal: 34.13 a, agrícola: 24.09 a) el contenido de nitratos en la zona alta de los timbres de 0-10 cm, el análisis estadístico no mostro diferencias significativas entre ellas ($p=0.5483$), eso quiere decir que los usos de suelo no influyo en el contenido de nitratos.

Tabla 4 Contenido de nitratos en las diferentes profundidades de los Timbres

Profundidad	Media	Valor P
1	47.620 <i>a</i>	0.051
2	15.879 <i>b</i>	

1: 0-10 cm

2: 10-20 cm

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

Aunque el valor de ($p=0.051$) no alcanza el umbral de significancia convencional ($p < 0.051$) la diferencia se considera marginalmente significativa. Lo cual entre las 2 profundidades evaluadas la concentración de nitratos fue mayor en la capa de 0 a 10 cm comparado con la de 10 a 20 cm.

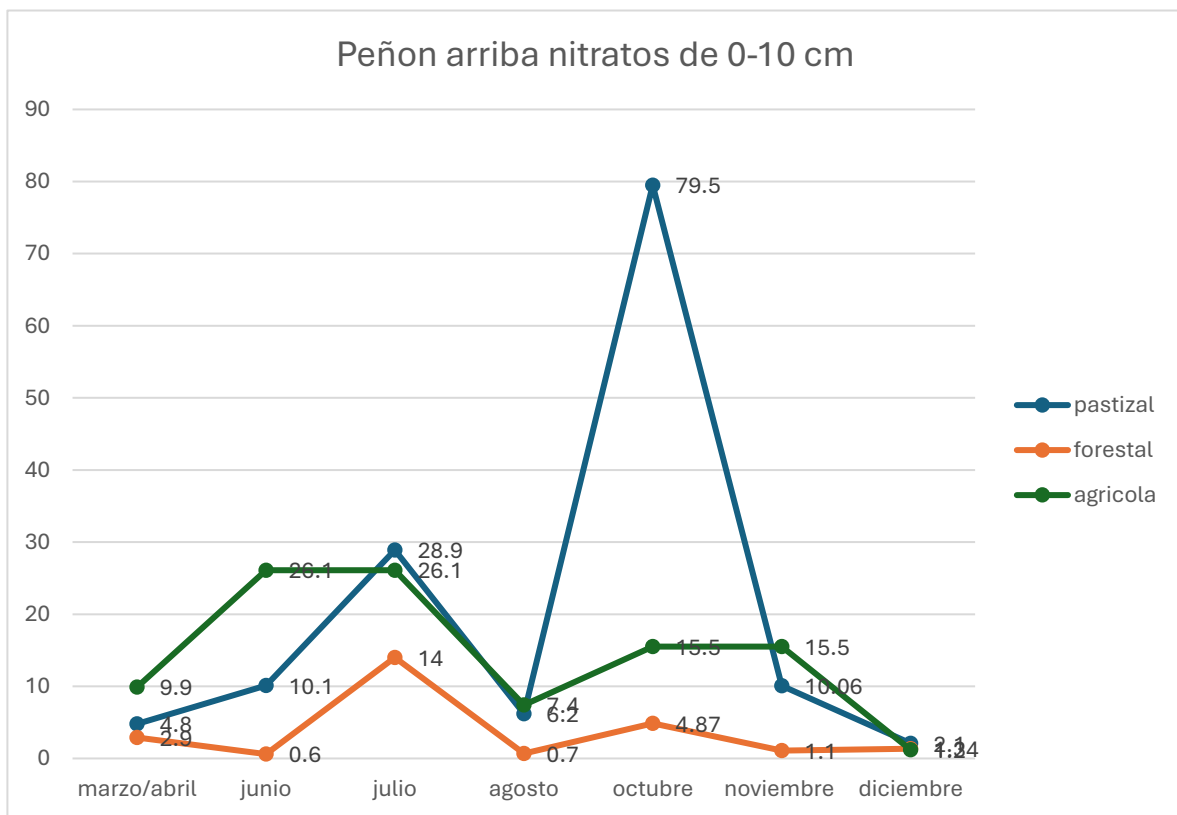
Tabla 5 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo de los Timbres

Meses	Media	Valor P
Octubre	68.00 <i>a</i>	0.0213
Agosto	60.47 <i>ba</i>	
Marzo/Abril	35.95 <i>ba</i>	
Junio	20.52 <i>ba</i>	
Noviembre	19.12 <i>ba</i>	
Julio	12.04 <i>ba</i>	
Diciembre	6.15 <i>b</i>	

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

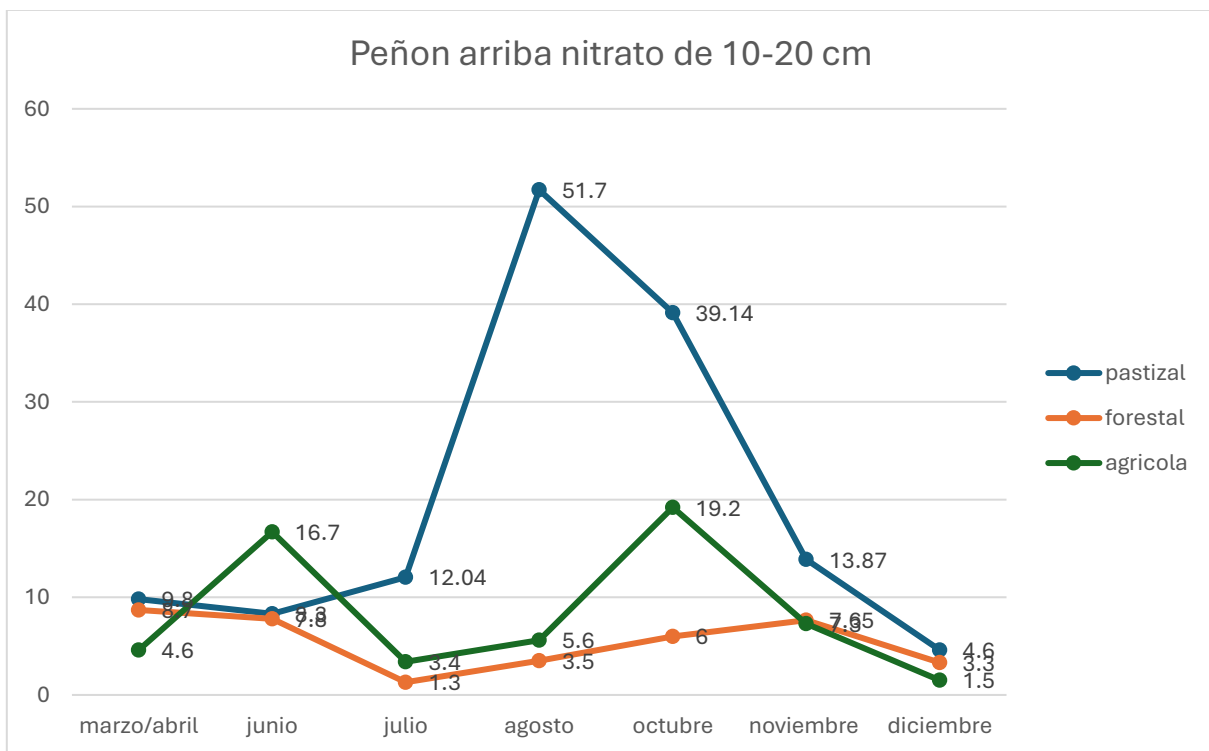
En un estudio realizado por Aruani & Cristina (2007) durante la aplicación de la primera dosis de N (octubre) se obtuvo un incremento significativo en la concentración de nitratos, por lo que en el muestreo realizado en el mes de octubre se obtuvieron los promedios más altos, en comparación del resto de los meses.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los meses evaluados ($p=0.0213$). El mes de octubre presentó la concentración más alta (68.00), significativamente superior a la del mes de Diciembre (6.15).



Gráfica 3 Contenido de nitratos de 0-10 cm del Peñón

En la zona alta del sistema ganadero del Peñón los resultados del uso forestal y agrícola mantuvieron los valores más bajos y estables a lo largo del año (grafica 2) mientras que el uso pastizal la mayor concentración de nitratos fue en el mes de octubre, lo cual se puede deber a la liberación de nitrógeno en el suelo.



Gráfica 4 Contenido de nitratos de 10-20 cm del Peñón

En el sitio del Peñón a 10-20 cm de profundidad, la concentración de nitratos, el sistema pastizal presento los valores más altos, con un pico en agosto de 51.7, seguido de octubre con 39.14. El sistema agrícola mostro una variación a lo largo del año, mientras que el forestal se mantuvo más estable.

6.1.2 Contenido de Nitratos en la unidad de producción del Peñón en la zona alta

Tabla 6 Contenido de nitratos en los usos del suelo del Peñón

Usos de suelo	Media	Valor P
P	20.079 a	0.079
A	11.429 ab	
F	4.554 b	

P: Pastizal
A: Agrícola
F: Forestal
Valor de P: Diferencia significativa p<0.05

Aunque el análisis no mostro diferencias estadísticamente significativas entre los usos del suelo (tabla 6), se observó que el uso pastizal presento una mayor concentración de nitratos (20.079) en comparación con el forestal (4.554), mientras que el sistema agrícola es similar al pastizal y al agrícola

No se encontraron diferencias significativas en la concentración de nitratos entre las profundidades de 0-10 cm (12.0803) y de 10-20 cm (11.24) con valor de (p=0.6643)

Tabla 7 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo en el Peñón

Meses	Media	Valor P
Octubre	27.368 <i>a</i>	0.0420
Julio	14.290 <i>ba</i>	
Agosto	12.517 <i>ba</i>	
Junio	11.600 <i>ba</i>	
Noviembre	9.247 <i>ba</i>	
Marzo/Abril	6.783 <i>ba</i>	
Diciembre	2.340 <i>b</i>	

Valor de P: Diferencia significativa p<0.05

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los meses evaluados (p=0.0420). El mes de octubre presento la concentración más alta (27.368), significativamente superior a la del mes de Diciembre (2.340).

Tabla 8 Contenido de Nitratos en los sistemas ganaderos

Sistemas ganaderos	Media	Valor P
1	19.607 <i>a</i>	0.0442
2	9.711 <i>b</i>	

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa p<0.05

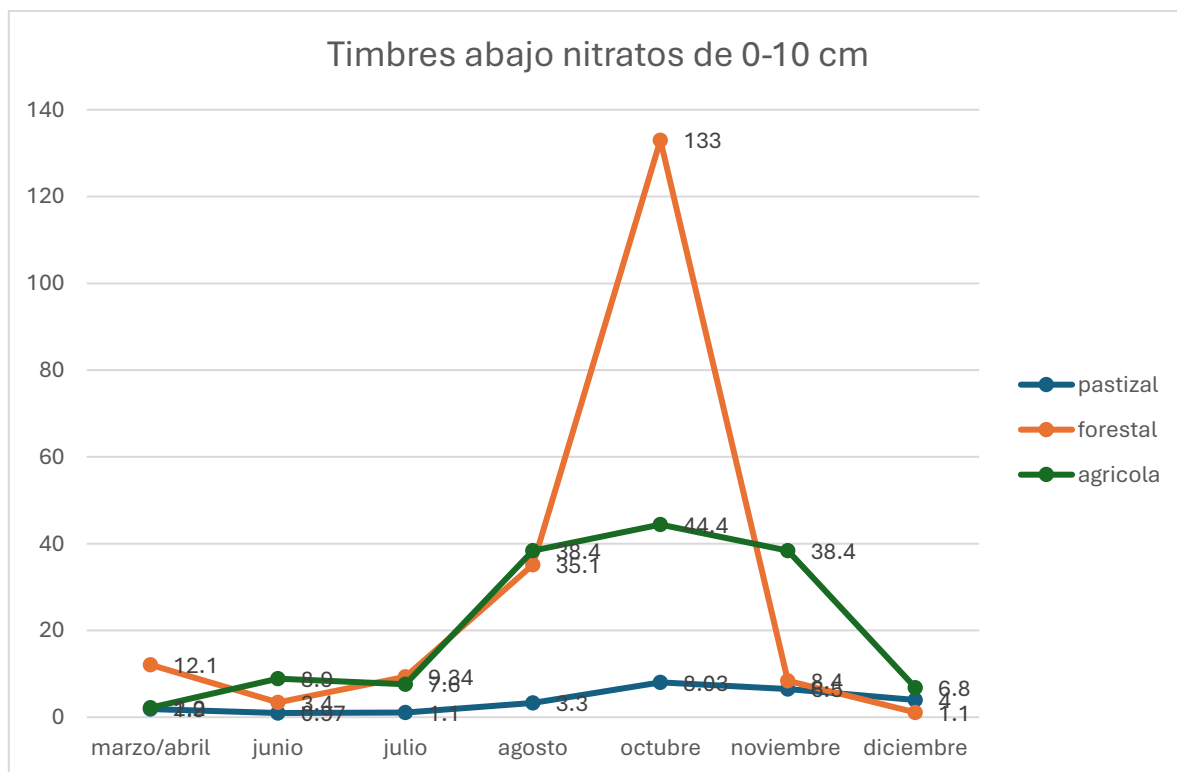
Como se muestra en la tabla 8 se detectaron diferencias significativas entre los sistemas ganaderos evaluados ($p=0.0442$). El sistema 1 presento una concentración mayor (19.607) que el sistema 2 (9.711)

6.2 Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona baja

Así mismo se evaluó el contenido de nitratos de manera general la zona baja de los dos sistemas ganaderos

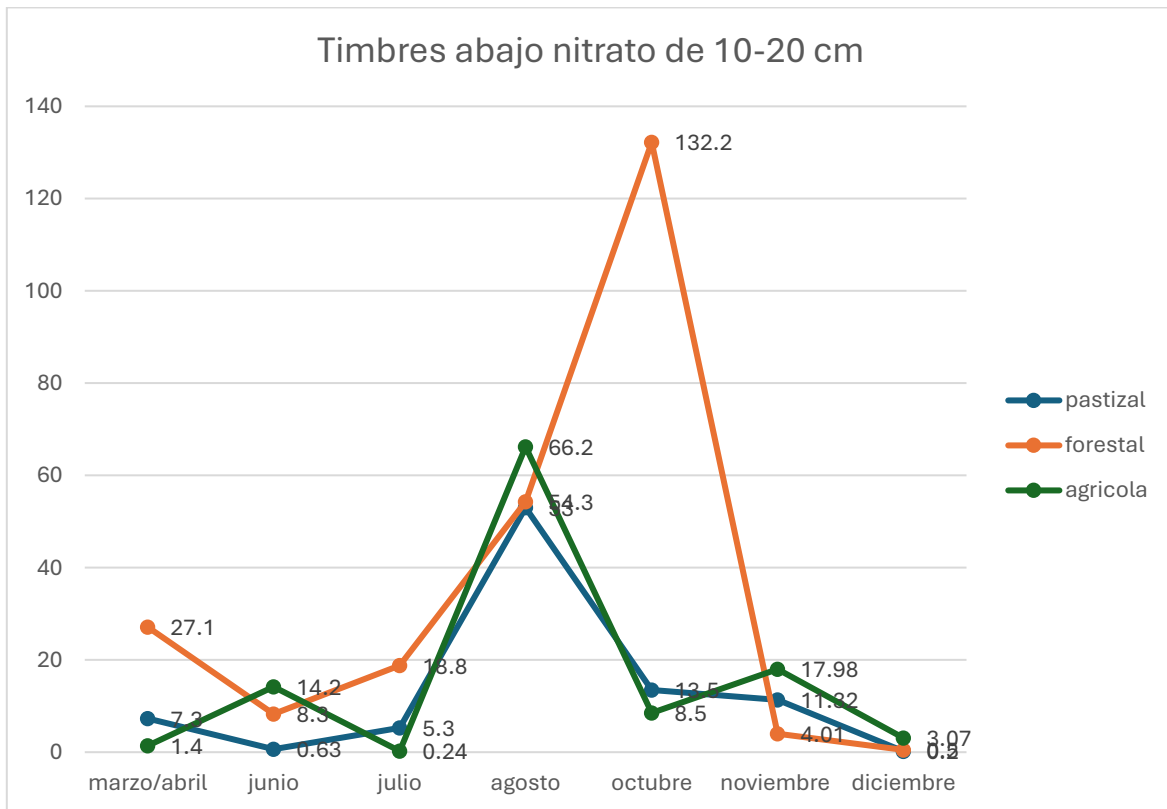
En los diferentes usos de suelo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque el uso forestal mostro una mayor media (20.43) comparado con el pastizal (8.68).

En cuanto a las profundidades no se observaron diferencias significativas en la concentración de nitratos en las profundidades de 0-10 cm y 10-20cm



Gráfica 5 Contenido de nitratos de 0-10 cm de los Timbres.

En la gráfica 5 se aprecia que, a lo largo del año, el sistema forestal muestra el mayor contenido de nitratos en la zona alta de los Timbres, teniendo picos en el mes octubre y bajando su concentración en un mes, mientras que el sistema agrícola en los meses de agosto, octubre y noviembre se mantienen constantes. Y el uso pastizal es el que tuvo las menores concentraciones de nitratos durante los 7 periodos de muestreo.



Gráfica 6 Contenido de nitratos de 10-20 cm de los Timbres.

En la gráfica 6 se observa que las concentraciones de los 3 usos se mantuvieron en los primeros 3 meses y para el cuarto mes incrementaron, en el uso forestal el mes de octubre fue el pico más alto, mientras que en el pastizal y el agrícola las concentraciones bajaron.

6.2.1 Contenido de Nitratos en la unidad de producción de los timbres en la zona baja

Tabla 9 Contenido de nitratos en los usos de suelo

Usos de suelo	Media	Valor P
F	31.975 <i>a</i>	0.002
A	18.44 <i>b</i>	
P	8.39 <i>b</i>	

P: Pastizal

A: Agrícola

F: Forestal

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes usos de suelo ($p=0.002$). el uso forestal mostro la mayor concentración siendo significativamente superior a los usos agrícola y pastizal.

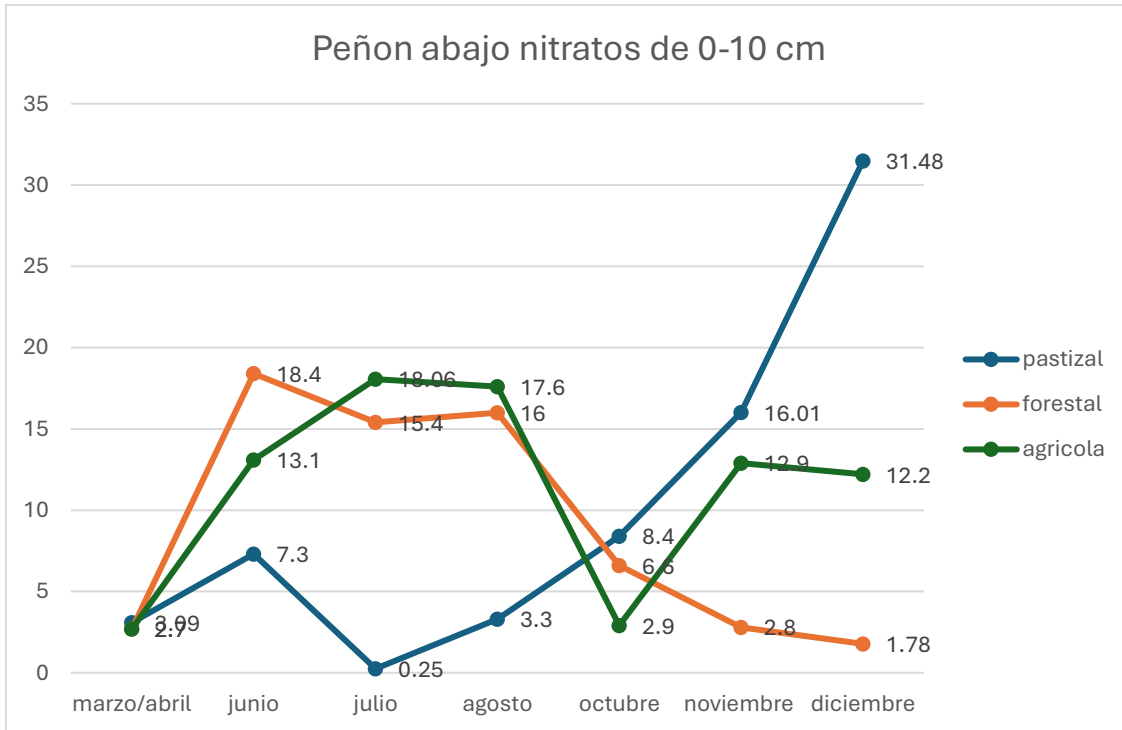
La profundidad del suelo en las zonas bajas no influyo en el contenido de nitratos, ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 10 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo de los Timbres

Meses	Media	Valor P
Octubre	56.605 <i>a</i>	< 0.001
Agosto	41.717 <i>a</i>	
Noviembre	14.435 <i>b</i>	
Marzo/Abril	8.667 <i>b</i>	
Julio	7.063 <i>b</i>	
junio	6.067 <i>b</i>	
Diciembre	2.695 <i>b</i>	

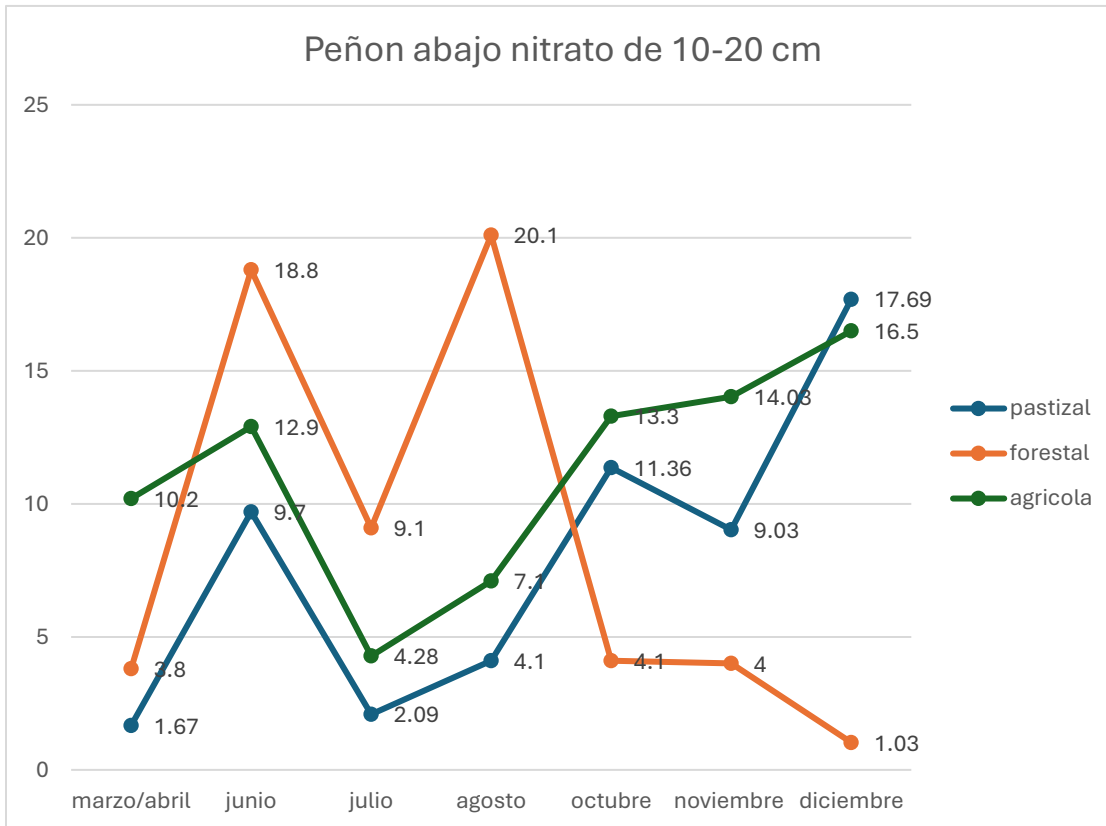
Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los meses evaluados ($p \leq 0.001$). El mes de octubre y agosto mostraron las mayores concentraciones siendo superiores al resto de los meses.



Gráfica 7 Contenido de nitratos de 0-10 cm del Peñón

En la gráfica 7 se puede apreciar que, en los primeros meses el uso forestal y agrícola eran los que mayor contenido de nitratos, y después van bajando de manera gradual, en cambio el uso de suelo pastizal los primeros meses son los que menor concentración tiene y para el mes de diciembre llega a su pico más alto.



Gráfica 8 Contenido de nitratos de 10-20 cm del Peñón

En el sitio del Peñón a 10-20 cm de profundidad, la concentración de nitratos fue muy variable ya que se puede observar que el sistema forestal, tuvo los dos picos más altos en los meses de junio y agosto (18.8 y 20.1 respectivamente) y para el mes de diciembre bajo su concentración a 1.03. en los usos pastizal y agrícola la concentración fue aumentando a lo largo de los meses de muestreo.

6.2.1 Contenido de Nitratos en la unidad de producción del Peñón la zona baja

No se mostraron diferencias significativas en los usos de suelo.

Tampoco se mostraron diferencias en cuanto a la profundidad del suelo teniendo una media de 10.141 en la profundidad de 0-10 cm y una media de 9.28 en la profundidad de 10-20 cm

Tabla 11 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo en el Peñón

Meses	Media	Valor P
Diciembre	13.447 <i>a</i>	0.0270
Junio	13.367 <i>a</i>	
Agosto	11.367 <i>ba</i>	
Noviembre	9.795 <i>ba</i>	
julio	8.197 <i>ba</i>	
octubre	7.777 <i>ba</i>	
Marzo/Abril	4.027 <i>b</i>	

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

Se encontraron diferencias significativas entre los meses evaluados ($p=0.0270$). las concentraciones más altas se observaron en diciembre y junio, siendo significativamente mayores que las registradas en el resto de los meses, teniendo como la más baja en el mes de marzo/abril.

6.3 Contenido de Amonios en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona alta

De manera general en la zona alta se evaluó el contenido de amonio en los dos sistemas ganaderos (tabla 12) no se observaron diferencias significativas entre los dos sistemas ganaderos, ambos presentaron medias similares

Tabla 12 Contenido de amonios en los sistemas ganaderos

Sistemas ganaderos	Media	Valor P
2	1.5169 <i>a</i>	0.7065
1	1.340 <i>a</i>	

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

Como se muestra en la tabla 13 se encontraron diferencias significativas entre los distintos usos de suelo. Los de uso de pastizal presento el valor más alto siendo significativamente superior a los suelos forestales y agrícolas

Tabla 13 Contenido de amonios en los tres usos de suelo

Usos	Media	Valor P
P	1.9718 <i>a</i>	0.0449
A	1.6525 <i>ba</i>	
F	0.6821 <i>b</i>	

F: Uso Forestal

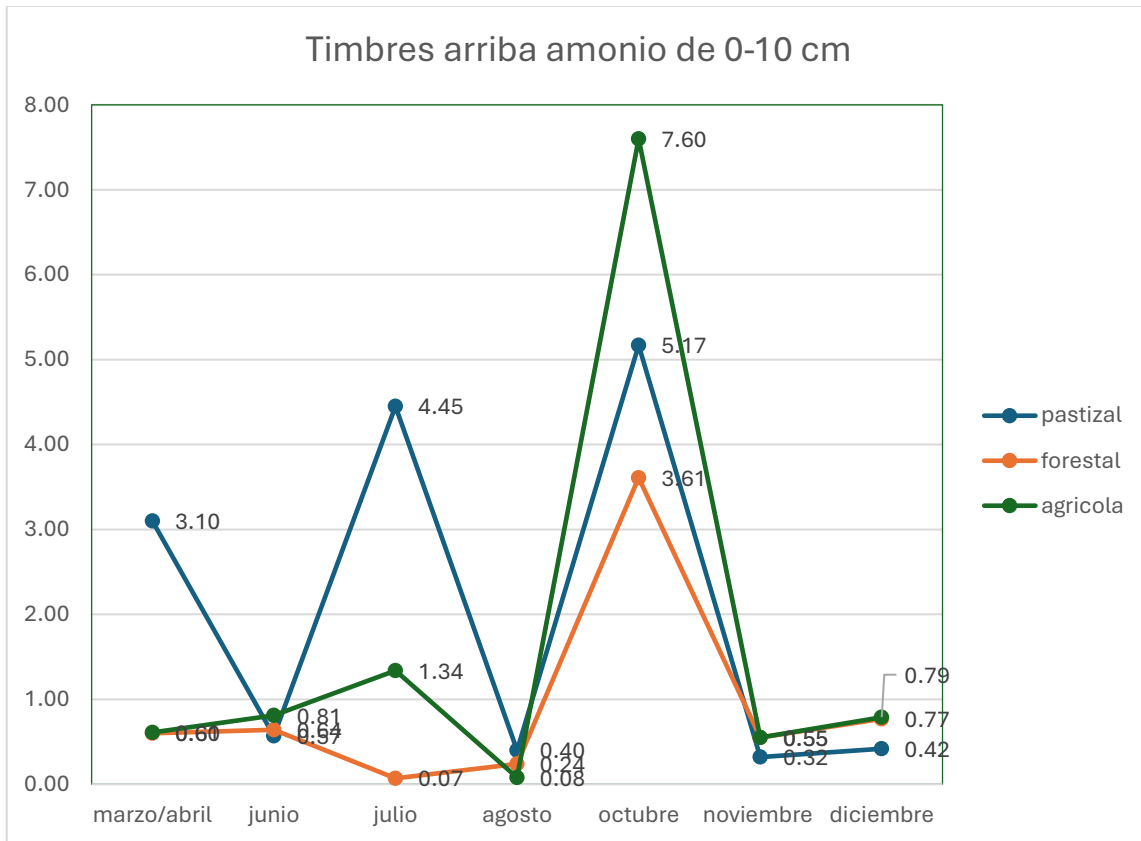
P: Uso Pastizal

A: Uso Agrícola

Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

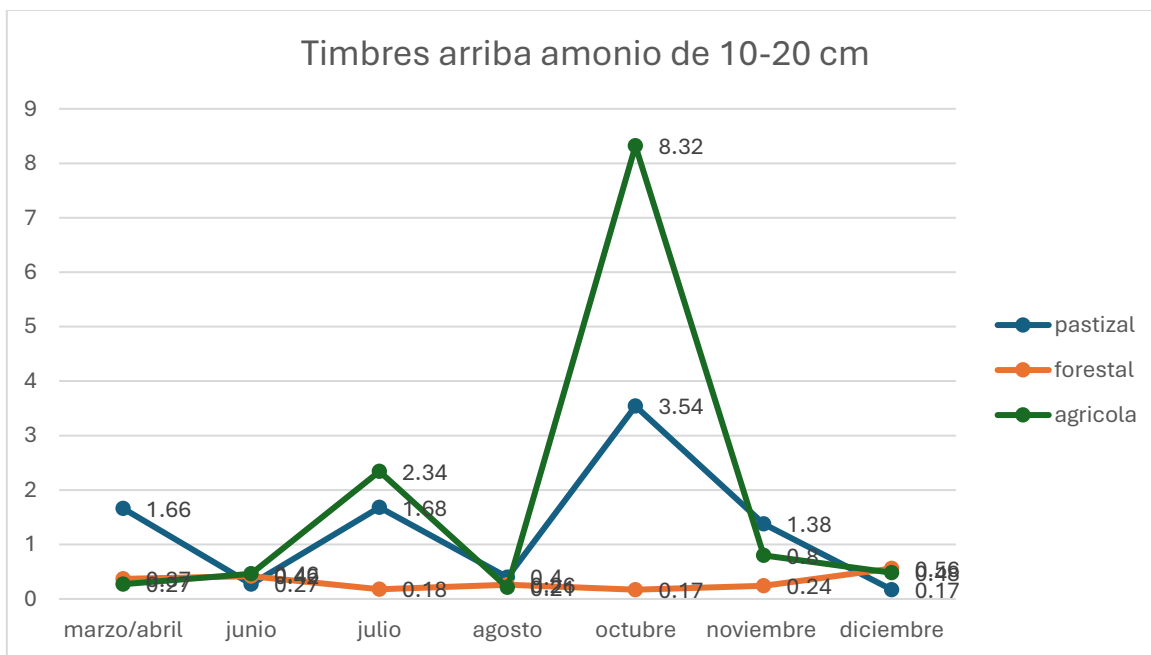
Según (Aruani & Cristina, 2007) la capa superficial, donde la concentración de amonio disminuyó a 15 mg/kg mientras que en este estudio se presentaron los valores más bajos de 1.5169 mg/l y acuerdo con (Acevedo et al., 2011) son contenidos muy bajos.

La profundidad de 0 a 10 cm mostro una mayor media (1.8131) en comparación con la de 10 a 20 cm (1.0579) esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0.0838$).



Gráfica 9 Contenido de amonio de 0-10 cm de los Timbres.

En la gráfica 9 se puede observar que los sistemas agrícola y pastizal contaron con las concentraciones más bajas de amonio en los primeros 4 meses, teniendo su pico en el mes de octubre. A diferencia del pastizal que su comportamiento en cuanto a la concentración de amonio fue más variado y estuvo subiendo y bajando a lo largo de los meses.



Gráfica 10 Contenido de amonio de 10-20 cm de los Timbres.

El uso de suelo con el menor contenido de nitratos fue el sistema forestal manteniéndose por abajo a lo largo de los meses. El pastizal a su vez no tuvo concentraciones muy bajas teniendo como pico en el mes de octubre con 3.54. y por último el uso agrícola que estuvo subiendo, llegando a su pico en el mes de octubre con 8.32.

6.3.1 Contenido de amonio en la unidad de producción de los Timbres en la zona alta

Tabla 14 contenido de amonio en los usos de suelo

Usos de suelo	Media	Valor P
A	1.7614 a	0.0013
P	1.6807 a	
F	0.6200 b	

A: Agrícola
P: Pastizal
F: Forestal
Valor de P: Diferencia significativa p<0.05

Se encontraron diferencias significativas entre los usos de suelo ($p=0.0013$). los suelos agrícolas y pastizal presentaron valores similares y estadísticamente superiores a los suelos forestales

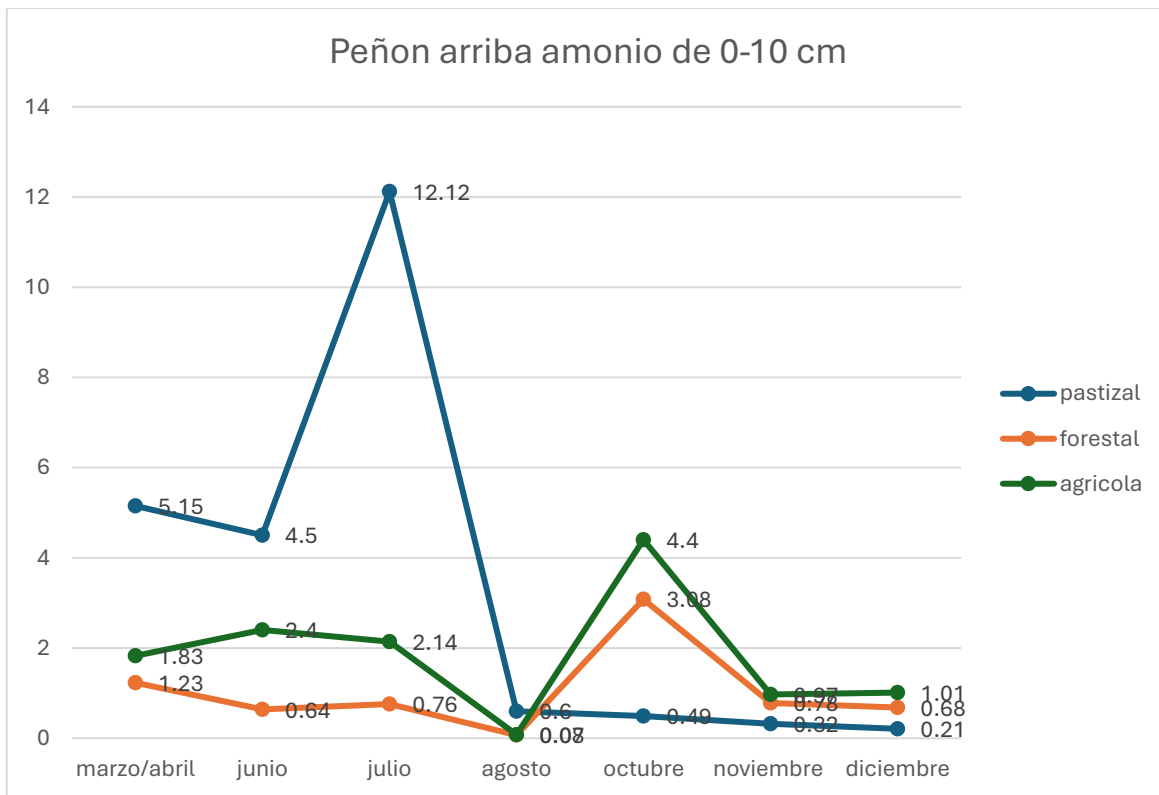
La profundidad del suelo en la zona alta no existió diferencias significativas teniendo un valor en la profundidad de 0-10 cm (1.5567) y de 10-20 cm (1.1514).

Tabla 15 Contenido de amonio en los periodos de muestreo de los Timbres

Meses	Media	Valor P
Octubre	4.7350 <i>a</i>	<0.001
julio	1.6767 <i>b</i>	
Marzo/Abril	1.1017 <i>b</i>	
Noviembre	0.6400 <i>b</i>	
Diciembre	0.5317 <i>b</i>	
Junio	0.5283 <i>b</i>	
Agosto	0.2650 <i>b</i>	

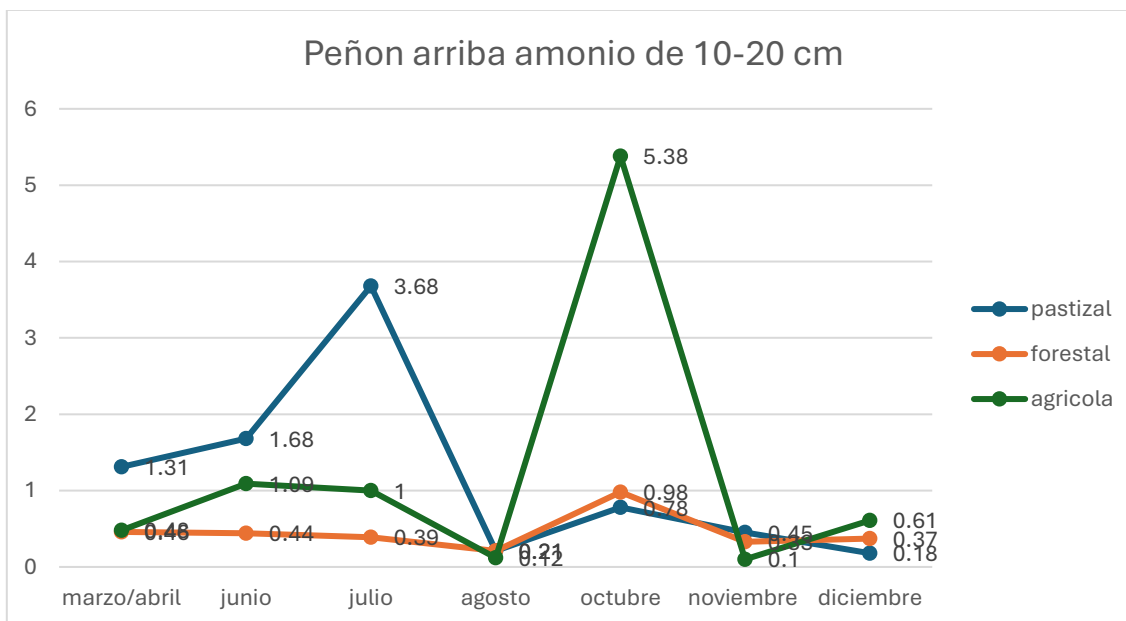
Valor de P: Diferencia significativa $p<0.05$

Se encontraron diferencias altamente significativas entre los meses evaluados a lo largo de los meses del año ($p=<0.001$). Octubre presento la mayor concentración (4.7350), siendo significativamente superior al resto de los meses. La concentración más baja fue en Agosto (0.2650).



Gráfica 11 Contenido de amonio de 0-10 cm del Peñón

El uso de suelo forestal se mantiene con concentraciones bajas la mayor parte del año, excepto en el mes de octubre que llegó a tener su pico más alto de 3.98. a diferencia del pastizal que tuvo su pico más alto en el mes de julio y en agosto comenzó a bajar sus concentraciones de amonio. El uso de suelo agrícola tiene concentraciones más bajas los primeros meses alcanzando su pico más alto en el mes de octubre 4.4, al igual que el forestal.



Gráfica 12 Contenido de amonio de 10-20 cm del Peñón

Como se puede observar en la gráfica 12 el contenido de amonio con menor concentración fue uso de suelo forestal. El uso pastizal comienza los primeros meses de muestreo con las concentraciones más altas y para el mes de agosto las concentraciones comienzan a bajar. El agrícola alcanza su pico en el mes octubre con las concentraciones más altas.

6.3.2 Contenido de amonio en la unidad de producción del Peñón en la zona alta

Tabla 16 Contenido de amonio en los usos del suelo del Peñón

Usos de suelo	Media	Valor P
P	2.2620 a	0.0317
A	1.5436 ba	
F	0.7443 b	

P: Pastizal
A: Agrícola
F: Forestal
Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

El contenido de amonio de los usos con diferente uso en la zona alta fue diferente ($p=0.0317$). El uso de suelo pastizal fue el que mayor concentración de amonio tuvo, mientras que el agrícola y forestales fueron similares.

Tabla 17 Contenido de amonio a diferentes profundidades en la zona alta del Peñón

Profundidad	Media	Valor P
1	2.0695 <i>a</i>	0.0187
2	0.9643 <i>b</i>	

1: 0-10 cm

2: 10-20 cm

Valor de P: Diferencia significativa $p<0.05$

Se encontraron diferencias significativas según la profundidad del suelo ($p=0.0187$). cómo se observa en la tabla 17 la profundidad de 0-10 cm presento valores significativamente más altos en comparación con la capa de 10-20 cm

Tabla 18 Contenido de amonio en los periodos de muestreo en el Peñón

Meses	Media	Valor P
Julio	3.3483 <i>a</i>	0.0074
Octubre	2.5183 <i>ba</i>	
Junio	1.7917 <i>ba</i>	
Marzo/Abril	1.7433 <i>ba</i>	
Diciembre	0.5100 <i>b</i>	
Noviembre	0.4917 <i>b</i>	
Agosto	0.2150 <i>b</i>	

Valor de P: Diferencia significativa $p<0.05$

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores analizados ($p=0.0074$). Julio presentó la media más alta significativamente superior a los meses de diciembre, noviembre y agosto que tuvieron las concentraciones más bajas, mientras que octubre, junio marzo/abril fueron similares entre sí.

6.2 Contenido de Amonio en la unidad de producción de los Timbres y el Peñón en la zona baja

De manera más general, se evaluó el contenido de amonio en la zona baja de los sistemas ganaderos. Para saber si hay diferencias significativas.

Tabla 19 Contenido de amonio en los sistemas ganaderos

Sistemas ganaderos	Media	Valor P
1	1.0943 <i>a</i>	0.8707
2	1.0510 <i>a</i>	

1: Unidad de producción ubicada en Los Timbres

2: Unidad de producción de El Peñón

Valor de P: Diferencia significativa $p<0.05$

Como se muestra en la tabla 19 no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas ganaderos evaluados ($p=0.8707$) las medias fueron similares para ambos sistemas

Tabla 20 Contenido de amonio en los usos del suelo del Peñón

Usos de suelo	Media	Valor P
P	1.8279 <i>a</i>	0.0007
A	0.7218 <i>b</i>	
F	0.6682 <i>b</i>	

P: Pastizal

A: Agrícola

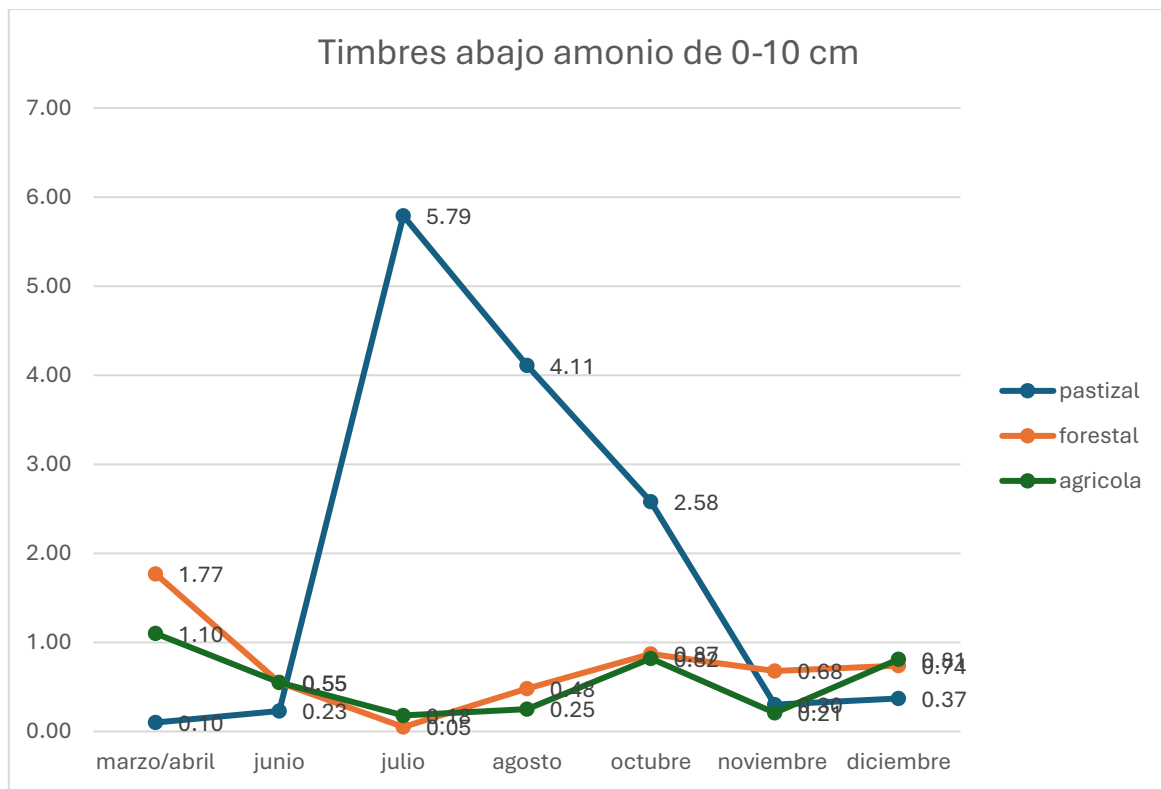
F: Forestal

Valor de P: Diferencia significativa $p<0.05$

Se encontraron Diferencias significativas entre los usos de suelos ($p=0.0007$). El uso de suelo pastizal presentó la media más alta significativamente superior a los usos de agrícola y forestal los cuales fueron similares entre sí.

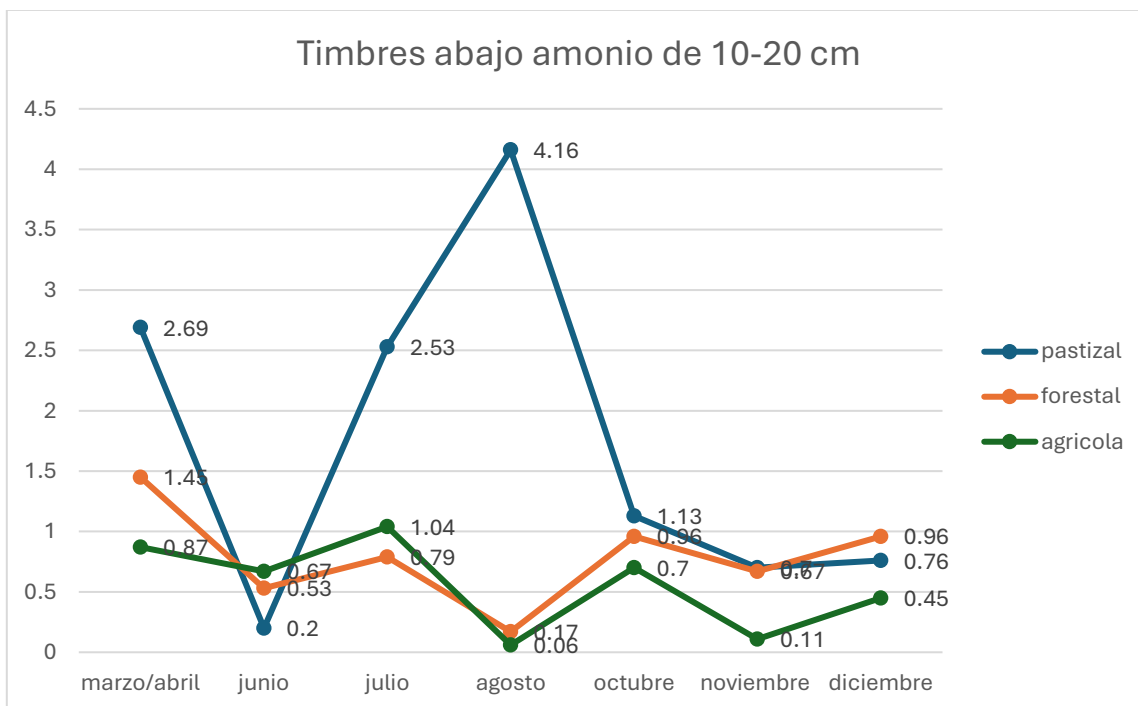
En cuanto a las profundidades no se observaron diferencias significativas en la concentración de amonio en las profundidades de 0-10 cm y 10-20cm

En los sistemas no hubo diferencias significativas ya que en el sistema ganadero del Peñon el valor de la media fue de 1.0943 y en el sistema ganadero de los timbres fue de 1.0510.



Gráfica 13 Contenido de amonio de 0-10 cm de los Timbres.

En la gráfica 13 se aprecia que, a lo largo del año, los sistemas forestal y agrícola tuvieron las concentraciones de amonio más bajo. Por otro lado, el pastizal se mantuvo con valores altos los meses de junio, julio, agosto y octubre comenzaron a bajar las concentraciones



Gráfica 14 Contenido de amonio de 10-20 cm de los Timbres.

En la gráfica 14 se observa que las concentraciones de los usos agrícola y forestal tuvieron concentraciones bajas a lo largo de los meses de muestreo. El uso pastizal alcanzó su pico en el mes de agosto con la mayor concentración de amonio en el suelo.

6.4.1 Contenido de amonio en la unidad de producción de los Timbres en la zona baja

Tabla 21 Contenido de amonio en los usos de suelo

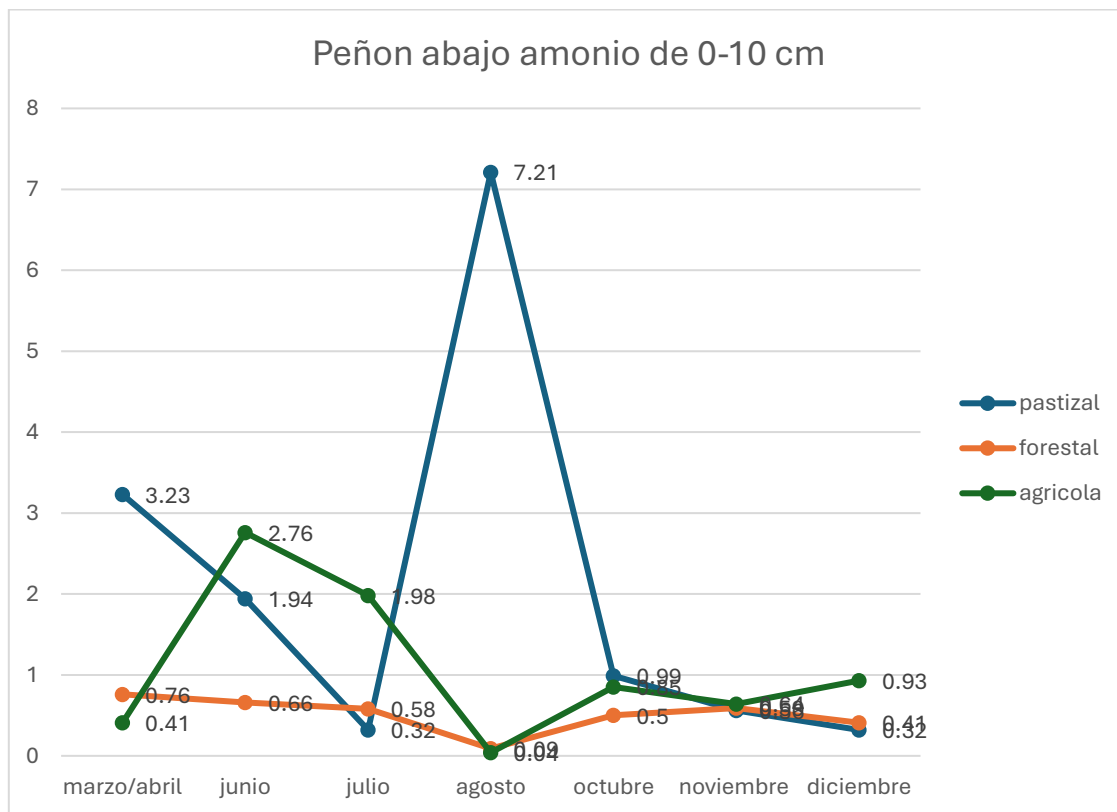
Usos de suelo	Media	Valor P
P	1.8321 <i>a</i>	0.0007
F	0.7621 <i>b</i>	
A	0.5586 <i>b</i>	

P: Pastizal
A: Agrícola
F: Forestal
Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

Se observaron diferencias altamente significativas entre los usos de suelo ($p=0.0007$). El uso pastizal mostró la media más alta, superando significativamente a los usos forestal y agrícola que fueron similares entre sí

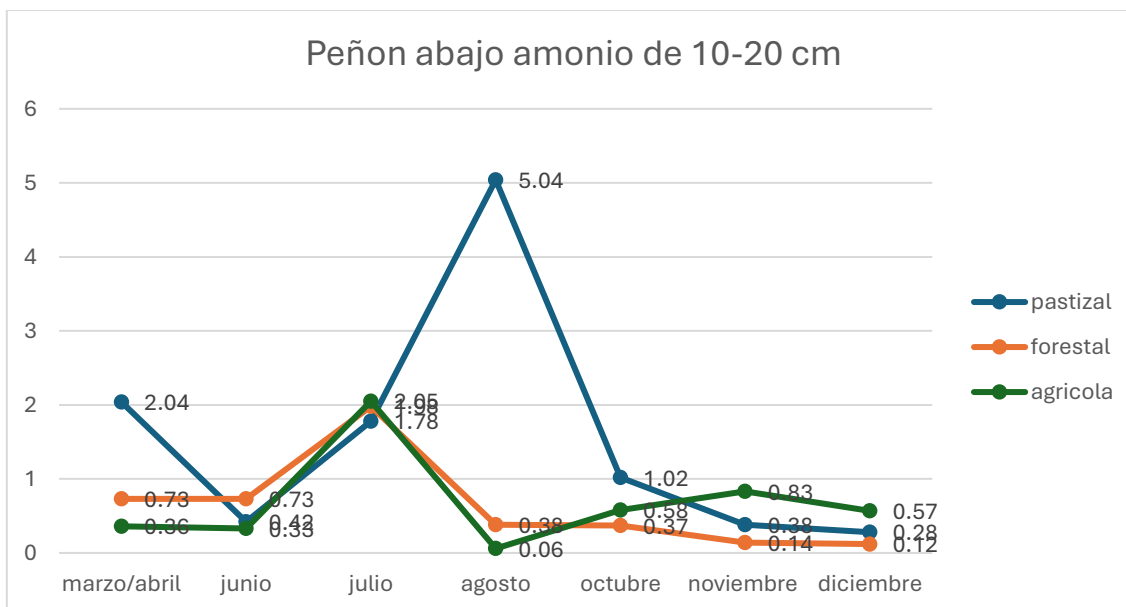
La profundidad del suelo en las zonas bajas no influyo en el contenido de amonio, ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

No hay diferencias significativas entre los meses individualmente Teniendo el valor más alto en Julio con una media de 1.7300 y la más baja en el mes de noviembre con una media de 0.450



Gráfica 15 Contenido de amonio de 0-10 cm del Peñón

En la gráfica 15 el pastizal presenta el valor más alto en agosto muy por encima de los demás meses y usos lo que indica una concentración guion más alta. El uso agrícola tiene su valor máximo en junio seguido de Julio. Y por último el uso forestal se mantiene más estable a lo largo de los meses sin cambios extremos con valores entre 0.09 y 0.76



Gráfica 16 Contenido de amonio de 10-20 cm del Peñón

Como se muestra en la gráfica 16 El contenido de amonios en el uso forestal y agrícola fue ah bajo alcanzando sus picos máximos en el mes de Julio. A su vez el pastizal su pico más alto en el mes de Julio y agosto.

6.4.1 Contenido de amonio en la unidad de producción del Peñón en la zona baja

Tabla 22 Contenido de amonio en los usos de suelo

Usos de suelo	Media	Valor P
P	1.8236 <i>a</i>	0.0003
A	0.8850 <i>b</i>	
F	0.5743 <i>b</i>	

P: Pastizal
A: Agrícola
F: Forestal
Valor de P: Diferencia significativa $p < 0.05$

El contenido de amonio de los suelos con diferente uso en la zona baja ($P=0.003$). El uso de suelo pastizal presentó la mayor concentración, y el uso agrícola y forestal las menores siendo similares.

No se mostraron diferencias en cuanto a la profundidad del suelo teniendo una media de 1.2271 en la profundidad de 0-10 cm y una media de 0.9614 en la profundidad de 10-20 cm.

Tabla 23 Contenido de nitratos en los periodos de muestreo en el Peñón

Meses	Media	Valor P
Agosto	2.1367 <i>a</i>	0.0043
Julio	1.4483 <i>ba</i>	
Marzo/Abril	1.2550 <i>ba</i>	
Junio	1.1400 <i>ba</i>	
Octubre	0.7183 <i>b</i>	
Noviembre	0.5233 <i>b</i>	
Diciembre	0.4383 <i>b</i>	

Valor de P: Diferencia significativa $p<0.05$

Se encontraron diferencias significativas entre los meses evaluados ($p=0.0043$). las concentraciones más altas se observaron en agosto, siendo significativamente mayor que las registradas en el resto de los meses, teniendo como la más baja en octubre, noviembre y diciembre

VIII. CONCLUSIÓN

Medir el contenido de nitratos y amonio en el suelo es fundamental porque son las principales formas de nitrógeno que las plantas pueden absorber, por lo que determinan directamente su nutrición y crecimiento. Conocer sus niveles permite manejar mejor la aplicación de fertilizantes, evitando tanto deficiencias que reducen el rendimiento como excesos que encarecen la producción y contaminan el ambiente. Además, estos análisis reflejan la calidad y fertilidad del suelo, ayudan a comprender el ciclo del nitrógeno y contribuyen a una agricultura más eficiente, sostenible y económica. El análisis del contenido de nitratos y amonio en los sistemas ganaderos de Los Timbres y El Peñón mostró que las concentraciones de nitrógeno en el suelo están fuertemente influenciadas por la época del año, particularmente por la estación de lluvias y los momentos de fertilización.

En el caso de los nitratos, las mayores concentraciones se registraron en octubre y agosto, coincidiendo con la temporada de lluvias y la aplicación de fertilizantes. Esto sugiere que la combinación de humedad y aporte externo de nitrógeno favorece la mineralización y disponibilidad de este nutriente en la capa superficial (0–10 cm), especialmente en los usos forestales y agrícolas. Sin embargo, también implica un riesgo de lixiviación en suelos con menor capacidad de retención, lo que exige un manejo cuidadoso para evitar pérdidas y contaminación.

Respecto al amonio, las concentraciones más altas se observaron en julio y octubre, también dentro del período de lluvias y posterior a fertilizaciones. El amonio tendió a acumularse más en los suelos de pastizal, lo que refleja la influencia de la cobertura vegetal y las descomposiciones de residuos orgánicos. En contraste, los suelos forestales mostraron valores consistentemente más bajos.

En conjunto, los resultados evidencian que el ciclo de lluvias incrementa la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, potenciando los efectos de la fertilización, pero al mismo tiempo aumentando el riesgo de pérdidas por lixiviación y desnitrificación. Por ello, se recomienda ajustar el calendario de fertilización a las condiciones climáticas, privilegiando aplicaciones fraccionadas y en momentos de

mayor absorción por los cultivos, para mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno y minimizar los impactos ambientales.

De manera general los nitratos alcanzaron sus mayores concentraciones a una profundidad de 0–10 cm en la zona alta, entre los usos de suelo, el forestal presentó la media más alta (28,55 mg/l) en las zonas más altas.

De manera general los amonios fueron mayor en la capa de 0–10 cm en la zona alta, entre los usos de suelo, el pastizal presentó la media más alta (1,340 mg/l) en las zonas más altas.

IX. LITERATURA CONSULTADA

- Acevedo, C., Álvarez-Sánchez, M. E., Hernández-Acosta, E., & Améndola-Massiotti, R. (2011). Concentración de Nitrógeno en Suelo por Efecto de Manejo Orgánico y Convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3).
- Alvarez-Arteaga, G., Ibáñez-Huerta, A., Orozco-Hernández, M. E., & García-Fajardo, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 22(2). <https://doi.org/10.36677/qret.v22i2.13302>
- Anas, M., Liao, F., Verma, K. K., Sarwar, M. A., Mahmood, A., Chen, Z. L., Li, Q., Zeng, X. P., Liu, Y., & Li, Y. R. (2020). Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. In *Biological Research* (Vol. 53, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4>
- Aruani, A., & Cristina, M. (2007). Variacion de la concentracion de nitratos en un suelo franco limoso del Alto Valle de Rio Negro. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, XXXIX(2).
- AVENRUT. (2023, July 25). *El invaluable papel del nitrógeno en el ecosistema*.
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F., & Ullivari, J. (2019). El nitrógeno del suelo. *Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán: Tucumán, Argentina*.
- Bolaños González, M. A., Paz Pellat, F., Cruz Gaistardo, C. O., Argumedo Espinoza, J. A., Romero Benítez, V. M., & de la Cruz Cabrera, J. C. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *TierraLatinoamericana*, 34(3).
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria The soil and its relationship with ecosystem services and food security . *Cienc. Agr. Julio-Diciembre*, 2016(2).
- Cabello, P., Roldán, M. D., Castillo, F., & Moreno-Vivián, C. (2009). Nitrogen Cycle. *Encyclopedia of Microbiology, Third Edition*, 299–321. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00055-9>
- Cerón, L., & Aristizábal, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1).
- CICEANA. (2015). Ciclo del Nitrogeno. *Wiki*, 4. http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/webfm_send/109
- Conafor y UACH. (2013). *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final*.
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83, 5–71.

- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).
- Cruz, D. C., Cabrera, E. P., Vázquez, M. A., & Villegas Gómez, C. (2019). *Nitrógeno: ¿Elemento esencial? Importancia en la Química de los Productos Naturales*.
- Docampo, R. (2012). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. *INIA Serie Actividades de Difusión*, 687.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1). [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
- El moderno prometeo. (2016, August 4). *Suelos: componentes y horizontes*.
- Emma Orchardson. (2020, December 4). *El nitrógeno en la agricultura*.
- Enrique López Galán, F. M. F. (1988). *MÉTODOS RÁPIDOS DE ANÁLISIS DE SUELOS*.
- FAO. (2022). Agricultura de Conservación Qué hacemos. *División de Producción y Protección de Plantas*.
- FAO. (2023). *Clasificación de Suelos | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. 2019.
- Fernández, C. M., & Vázquez, Y. M. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 22(3).
- Fertilab. (2021). *Nitrogeno disponible en el suelo*.
- Gamarra, C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortiz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Garrido Valero, M. S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación*.
- Harrison, J. A. (2003). El Ciclo del Nitrógeno. In *Visionlearning: Vol. EAS-2 (Issue 4)*.
- Hernandez, A., Ojeda, D., Vences, C., & Chavez, C. (2009). Situación actual del recurso suelo y la incorporación de abonos orgánicos como estrategia de conservación. *Aventuras Del Pensamiento*.
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010 Temascaltepec*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15086.pdf
- INEGI. (2014). *Erosión de suelos en México, escala 1: 250 000. Boletín de prensa Núm. 295/14 2014*.

- Intagri. (2015). *Lixiviación de nitratos en agricultura* Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/lixivacion-de-nitratos-en-agricultura> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.
- Jaramillo-Jaramillo, D. F. (2002). La estructura del suelo. *Introducción a La Ciencia Del Suelo*, 97-116.
- JULIO CAFFA, S. D. B. (2006). *EL CICLO DEL NITROGENO: LA FIJACION DEL NITRÓGENO*.
- Konijnenburg, A. (2006). Agricultura orgánica El suelo: sus componentes físicos. In *Estacion Experimental Agropecuaria*.
- LaI, R. (2001). World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. In *Advances in Agronomy* (Vol. 71). [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(01\)71014-0](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(01)71014-0)
- Larios-González, R. C., García Centeno, L., Ríos, M. J., Avalos Espinoza, C. del S., & Castro Salazar, J. R. (2021). Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. *Siembra*, 8(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2475>
- López-Falcon, R. (2002). Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. In *Centro interamericano de desarrollo e investigacion ambiental y territorial universidad de los andes*.
- Luccini, E., Flores, M., Rmírez, K., Pérez, H., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Gómez, J., Barrea, L., Mechini, M., & Calcagno, G. (2018). Análisis comparativo de la captura y almacenamiento de CO₂ por especies vegetales de tres ecosistemas en Perú. *Energeia*, 15(15).
- Martines L., E. (2007). Definiciones de humedad y su equivalencia. *ENME*.
- Martínez Gaspar, Felipe., Ojeda Barrios, Dámaris., Hernández Rodríguez, Adriana., Martínez Tellez, Jaime., & De la O Quezada, Guadalupe. (2011). El exceso de nitratos: un problema actual en la agricultura. *Universidad Autónoma de Chihuahua*.
- Martinez, L. J. (2006). Modelo para evaluar la calidad de las tierras: caso del cultivo de papa. *Agronomía Colombiana*, 24(1).
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para muestreo de suelos. In *Universidad Nacional Agraria*.
- Moffat, A. J. (2001). Fisher, R.F. & Binkley, D. Ecology and Management of Forest Soils. *European Journal of Soil Science*, 52(1). <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00373-4.x>
- Nuñez-Peñaloza, J. L., Pérez-Nieto, J., & Prado-Hernández, J. V. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(6). <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i6.3148>
- ONDA RURAL. (n.d.). *Importancia de los suelos en la agricultura*.

- Oscar Thiers, Javier Reyes, Víctor Gerding, & y Juan E. Schlatter. (2014). Suelos ecosistemas forestales. *January*, 1(1).
- PennState. (2023). Introducción a los suelos: el manejo de los suelos. *El Manejo de Los Suelos*.
- Piñeiro, G. (2006). Biogeoquímica del carbono y nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de la Plata: Un análisis basado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo. *Facultad de Agronomía*.
- Ramón Bienes Allas. (2009). Capítulo 2: El perfil del suelo: formación y clasificación. In Walter (Ed.), *Técnicas Experimentales e Instrumentales de Análisis en Edafología* (2ª, pp. 17–54).
- R.Cárdenas-Navarro, J. M. Sánchez-Yáñez, R. Farías-Rodríguez, & J. J. Peña-Cabriales. (2004). LOS APORTES DE NITRÓGENO EN LA AGRICULTURA. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173–178.
- Rodríguez-Yzquierdo, G. A., Pradenas-Aguila, H. E., Basso-de-Figuera, C. A., Barrios-García, M., León-Pacheco, R. I., & Pérez-Macias, M. (2020). Efecto de dosis de nitrógeno en la agronomía y fisiología de plantas de maracuyá. *Agronomía Mesoamericana*.
<https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36815>
- Rolando Demanet Filippi. (2020). *Manejo de pastoreo*.
- SEMARNAT. (2014). *Degradacion de suelos en Mexico*.
- SERMARNAT. (2008). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2018. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
- Thompson, L., & Troeh, F. (1988). Los suelos y su fertilidad. In *Editorial Reverté* (Vol. 4, Issue 1).
- Vega-Blancas, V. de J., Fernández-Reynoso, D. S., Macedo-Cruz, A., Rios-Berber, J. D., & Ruiz-Bello, A. (2022). Análisis de la fertilidad del suelo mediante la validación e interpolación Kriging de sus variables. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 40.
<https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1573>