

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS PARA TITULO PROFESIONAL
INFLUENCIA DEL TECTOSILICATO - ZEOLITA EN LA
RETENCIÓN DEL NITRÓGENO DURANTE LA
PREPARACIÓN DE COMPOST EN TINGO MARÍA.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRONOMO**

Elaborado por

JOSÉ LUIS ROJAS ALLJAHUAMAN

Tingo María – Perú

2021



VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

I. DATOS GENERALES DE PREGRADO

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	:	Facultad de Agronomía
Título de Tesis	:	Influencia del tectosilicato - zeolita en la retención del nitrógeno durante la preparación de compost en Tingo María
Autor	:	José Luis Rojas Alljahuaman
Asesor de Tesis	:	Ing. Luis German Mansilla Minaya
Escuela Profesional	:	Agronomía
Programa de Investigación	:	Suelos y Fertilizantes
Línea (s) de Investigación	:	Recuperación y manejo de suelos
Eje temático de investigación	:	Sistema agrícola de producción
Lugar de Ejecución	:	Facultad de Agronomía - Universidad Nacional Agraria de la Selva
Duración	:	6 meses
Fecha de Inicio	:	Agosto del 2017
Término	:	Febrero del 2018
Financiamiento	:	S/. 3,300.00
FEDU	:	No
Propio	:	Si
Otros	:	No

DEDICATORIA

A Dios, por ser siempre mi guía y por haberme brindado la fortaleza y sabiduría para culminar mis estudios.

A mis queridos padres Antonio Rojas Perales y Alejandrina Alccahuaman Secce por su confianza, apoyo, comprensión incondicional que me permitieron superar adversidades con madurez.

A mis queridos hermanos Sofía, Fredy y José Antonio por mostrarme gran ejemplo de humildad y sabiduría para afrontar las adversidades.

A mi esposa Sullivan Carol Navarro Esquivel, por su comprensión, y apoyo incondicional; a mi hija Amira Valeria Rojas Navarro, por su amor y razón de mi ser.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal que la conforman, por su apoyo y confianza, en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en mi formación profesional.
- A mi asesor Ing. Luis German Mansilla Minaya, por su apoyo en el proyecto, ejecución y culminación.
- Al Dr. José W. Zavala Solórzano presidente de la tesis, por su revisión y contribución sustancial académica, técnico - científico en la investigación.
- A los miembros del jurado de tesis. Dr. Hugo Huamaní Yupanqui, Ing. Luis Fernando García Carrión, por su contribución en la revisión académica científica del estudio.
- A todas las personas que me brindaron su colaboración, conocimientos, ayuda y sobre todo su amistad.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	2.1. Zeolita	3
	2.2. Zeolitas naturales.....	4
	2.3. Composición química.....	5
	2.4. Estructura.....	6
	2.5. Aplicaciones de las zeolitas	6
	2.6. Fertilización y retención de nutrientes.....	7
	2.7. Efecto de la zeolita en la disponibilidad del nitrógeno.....	9
	2.8. Actividad microbiana y la zeolita	11
	2.9. Compost y compostaje.....	12
	2.9.1. Etapa mesófila y termófila del compostaje	13
	2.10. Tectosilicato y zeolita	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	17
	3.1. Ubicación del campo experimental	17
	3.2. Materiales y equipos	17
	3.3. Metodología	18
	3.4. Tratamientos en estudio.....	18
	3.5. Diseño experimental	19
	3.6. Elaboración del compost y mezcla con la zeolita para los tratamientos	21
	3.7. Nitrógeno amoniacal y nitratos.....	21
	3.8. Temperatura y pH durante el proceso.....	21

3.9. Respiración microbiana.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Influencia del tectosilicato - zeolita en la retención de nitrógeno durante la preparación de los abonos orgánicos.....	23
4.1.1. Nitrógeno amoniacal, nitratos y nitrógeno total.....	23
4.1.2. Correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno (amoniacal más nitrato)	31
4.1.3. Correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno total.....	35
4.1.4. Correlación entre los niveles de zeolita y pH.....	36
4.1.5. Correlación entre los niveles de zeolita y materia orgánica.....	38
4.2. Producción de CO ₂ generado durante la preparación del compost.	41
4.2.1. Correlación entre los niveles de zeolita y CO ₂ (mg/g/día)	45
4.3. Determinar las variaciones de temperatura durante la preparación del compost.....	48
V. CONCLUSIONES.....	58
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. RESUMEN.....	60
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	62
IX. ANEXO	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Descripción de los tratamientos en estudio.	19
2. Análisis de variancia (ANVA).	20
3. Cuadrado medios y significación del ANVA del nitrógeno (amoniacoal y nitratos), nitrógeno total base seca, pH, materia orgánica.	24
4. Prueba de Duncan del nitrógeno amoniacoal y nitratos, nitrógeno total, pH y materia orgánica.	25
5. ANVA del CO ₂ mg/g/día.	42
6. Prueba de Duncan del CO ₂ mg/g/día, por efecto de la zeolita y compost.	43
7. Cuadrado medios y significancia del ANVA de la variación de la temperatura en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero	48
8. Prueba de Duncan de la temperatura en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero.	51
9. Nitrógeno amoniacoal y nitratos (%)	82
10. Nitrógeno total base seca	82
11. pH del compost.	82
12. Materia orgánica base seca (%)	82
13. Respiración microbiana (CO ₂ mg/g/día)	83
14. Temperatura promedio de la etapa mesófila registrado en la primera semana.	83

15. Temperatura promedio de la etapa termófila registrado en la segunda y tercera semana	83
16. Variación de la temperatura en etapa de enfriamiento de los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero después de la cuarta semana.....	84
17. Detalles del costo de producción del experimento.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno (amoniaco más nitrato).....	34
2. Correlación y regresión entre los niveles de zeolita y nitrógeno total.....	35
3. Correlación entre los niveles de la zeolita y pH.....	38
4. Correlación y regresión entre los niveles de zeolita y materia orgánica.	40
5. Correlación entre los niveles de zeolita y CO ₂ (mg/g/día)	47
6. Variación de temperatura en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero según tratamientos.	55
7. Correlación entre los niveles de zeolita y la temperatura en el cuarto meses	57

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país principalmente agrícola, exportador de, café, cacao, entre otros, lo que sugiere la aplicación de abonos orgánicos obtenidos con métodos e insumos que no dañen el ambiente y económico. La zeolita es un mineral de origen volcánico, por sus características físicas y químicas constituye un recurso importante de gran aplicación en la agricultura y en la preparación de abonos orgánicos, ya que durante el proceso de transformación hay una gran pérdida de nitrógeno por volatilización en forma de amoníaco - NH_3 . Para poder evitar esta acción se utilizará la zeolita ya que tiene una gran afinidad para el ion Amonio - NH_4 .

La aplicación de estos minerales conlleva a numerosos beneficios, como al incremento entre el 5 y 44% del rendimiento de la avena (FLOREZ *et al.*, 2007), *Triticum* (OSUNA *et al.*, 2012) y *Zea mays* (GONZÁLEZ *et al.*, 2012; Rabai *et al.*, 2013), también produce una disminución de la concentración del NO_3^- en el lixiviado en relación con el NH_4^+ del suelo e incremento del potencial de acumulación de agua y minerales (nutriente) disuelto (TORMA *et al.*, 2014; COLOMBANI *et al.*, 2015). La eficiencia del nitrógeno es bajo por la pérdida por volatilización en forma de amoníaco (NH_3^-) y lixiviación en nitrato (NO_3^-), y amonio (NH_4^+) (DIVITO *et al.*, 2011), y emisión de gases efecto invernadero (STUART *et al.*, 2014). La zeolita por sus propiedades fisicoquímicas, debido a su estructura cristalina, porosa y capacidad de intercambiar cationes sin la alteración de su estructura atómica puede retener el amonio (MA *et al.*, 2015).

En la actualidad la creciente demanda de los países importadores de productos orgánicos alimenticios, libres de contaminantes, sin aplicación de fertilizantes sintéticos, ha generado la necesidad de utilizar abonos orgánicos en los cultivos. Además, los abonos producidos con insumos naturales con propiedades físicas, química y biológicas que contribuyen a mejorar los suelos en mal estado nutricional. Frente a ello la preparación de abonos orgánicos con la aplicación de la zeolita constituye una alternativa potencial para optimizar el nitrógeno orgánico (de la materia orgánica) evitando su pérdida por lixiviado y reducir el consumo de nitrógeno (urea). En tal sentido el presente trabajo de investigación, introduce el uso de la zeolita en el proceso de compostaje con los siguientes objetivos:

Objetivos generales

1. Determinar la influencia del tectosilicato - zeolita en la retención del nitrógeno (amoniaco más nitratos), durante la preparación del compost.

Objetivos específicos

1. Determinar la influencia del tectosilicato - zeolita en la retención de nitrógeno durante la preparación de los abonos orgánicos.
2. Determinar el efecto de la zeolita y compost en la producción de CO₂ por respiración microbiana
3. Determinar las variaciones de temperatura durante la preparación del compost

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Zeolita

La zeolita tiene un conjunto de cavidades "microporos" hidratados. Son minerales de la familia de los aluminosilicatos, se encuentran en la naturaleza y al secarse desarrollan gran porosidad. Concentran cationes con capacidad de intercambiar de los grupos de los elementos 1A y 2A (Na, K, Mg y Ca) y toda su estructura (conjunto de celdas) de microporos le confiere actuar como tamices de moléculas con alta capacidad de retener y liberar selectivamente muchas moléculas por adsorción según su forma y tamaño (POOLE y PRIJATAMA, 2001). VEZZALINI (1997) valoraron esta definición para las zeolitas después de una nueva propuesta de la International Zeolitic Association (IZA): "una zeolita está caracterizada por una estructura de tetraedros enlazados que contiene cavidades en forma de canales y cajas que comúnmente están ocupadas por moléculas de agua y cationes. En la fase hidratada ocurre la deshidratación a temperatura moderada (fundamentalmente por debajo de 400°C) y ésta es altamente reversible".

Las zeolitas son de fórmula general aluminosilicatos cristalinos: $Mex/n(AlO_2)x(SiO_2)ymHxO$ donde x , m y n son números enteros correspondientes a la celdilla unidad y Me es un catión metálico de valencia n (POOLE y PRIJATAMA, 2001), también su relación entre el oxígeno y metal, en tetraedros con una composición neta $[SiO_2]$ y $[AlO_2]$ y una carga negativa (-) equivalente a los átomos(numero) de aluminio en su ubicación estructural. La estructura física se integra por conexiones (redes) tridimensionales cristalinos

(tetraedro) de SiO_4 y AlO_4^- , conteniendo al silicio o al aluminio en el centro (átomos T), mientras que el oxígeno (O) en los vértices. Los tetraedros (unidad de los silicatos) pueden unirse por los oxígenos dando lugar a una estructura poliédrica que será la estructura de segundo orden. Al final, los poliedros se integran (unen) originando la estructura terciaria con relativa complejidad. Estas numerosas formas de coordinación de los tetraedros, y su relación Si/Al dan lugar a las distintas clases de zeolita. Durante el proceso descrito, se origina las celdas (cavidades) o canales de con variable diámetro, en este espacio se retendrá los cationes, moléculas y sales disueltas, además estos canales se conectan por sus poros con diámetros constantes. Por un átomo de Al^{+3} que sustituye isomórficamente a uno de Si^{+4} genera una carga negativa, que se neutraliza con las cargas positivas que aportan los cationes.

2.2. Zeolitas naturales

La zeolita puede encontrarse en muchos lugares geológicos, generalmente como producto de la alteración de minerales autigénicos, bajo temperatura y presión especial; como mineral o minerales primarios en los sistemas metamórficos y como minerales secundarios en lugares producidos por efecto del interperismo (meteorización) físico y químico. Además, es frecuente en zonas hidrotermales. En la actualidad la zeolita (s) se limita a grupos geológicos autigénicos (originados por precipitación química), y productos alterados de las rocas sedimentarias. La zeolita (s) también es indicador grupos (lugares) metamórficos de muy bajo grado, definiendo la llamada "facies zeolítica". Las zeolitas son incoloras a blancas, y densidad que

fluctúa desde 2.0 a 2.3 g/cm, aunque algunas tienen densidades mayores debido a la presencia de Ba y Sr y dureza 3.5 - 5.5 (XU *et al.*, 2007).

Han sugerido, mayor abundancia de la zeolita en rocas sedimentarias (analcima, clinoptilolita, heulandita, laumonita y philipsita). Y establecieron que las zeolitas naturales de elevada concentración (metales alcalinos) son: analcima, clinoptilolita, heroinita, mordenita y natrolita, y la proporción de metales alcalinos y/o calcio depende de la forma de ocurrencia y de la relación $Si / (Al^{3++}Fe^{3+})$ en la estructura cristalina (BISH y MING, 2001).

2.3. Composición química

Los materiales zeolíticos (zeolita), se agrupan entre los tectosilcatos con los feldespatos, cuarzo. Ambos minerales tienen como unidad básica cristalina (tridimensional) al tetraedro de silicio (SiO_4) sobre estos el ion oxígeno de cada tetraedro se comparten con el tetraedro adyacente (XU *et al.*, 2007). Este intercambio (compartición) de oxígenos minimiza el cociente total Si: O a 2:1, y si cada tetraedro concentra sobre su estructura Si como catión central, la estructura es electrostáticamente neutra, igual que al cuarzo (SiO_2). Otras fuentes de silicio (otros silicios) tetravalentes pueden remplazarse por Al trivalentes, creando cargas positivas insatisfechas. Las cargas pueden equilibrarse con los cationes presentes (monovalentes y divalentes), estos pueden ser Na^{+} , Ca, K, etc., en otros sitios su estructura cristalina. La fórmula (celda unitaria) de la clinoptilolita (zeolita) y su expresión en proporción de óxidos es el siguiente: $(NaKp - (/g5'4^{\circ}) 096 \cdot 24H_2O (Na, K \setminus O \cdot Aip \cdot 1 OSiO \cdot 6HO)$ (BISH y MING, 2001).

2.4. Estructura

El feldespato y los grupos de feldespatoideos como mineral primario están más relacionado con la zeolita, y que explican la sustitución isomórfica de un cation (monovalente) con el aluminio por el silicio (FLANIGEN, 1993), la fórmula propuesta (básica): $xM + xAl (SiO_2) - a M, (AlO_2)_x (SiO_2)_y$ reemplazando la fórmula empírica, deduce una fórmula cristalográfica de la celda (unidad) se puede desarrollar de la siguiente forma: $Ma_w [(AlO_2)_a (SiO_2)_b] \cdot w H_2O$: Donde M es el catión de valencia (n), w es el número de moléculas de H₂O, y a y b son números enteros.

La suma (a + b) es el total del tetraedro en la celda unitaria, y el cociente b/a se extiende a partir de 1 a 5. Por lo tanto, la estructura de la zeolita puede dividirse en 3 componentes: el armazón del aluminosilicato, los espacios vacíos interconectados en el armazón que contiene los cationes del metal (M), y las moléculas de H₂O presentes como una fase ocluida (FLANIGEN, 1993). Esta unidad incluirá la unidad primaria de la estructura del tetraedro TO₄, ahora las supuestas unidades de estructura secundarias (SBU) consistentes en ambos anillos sencillos de 4, 5, 6, 8, 10 y 12 tetraedros y anillos dobles de 4, 6, y 8 tetraedros, y poliedros simétricos de mayor tamaño que fue descrito en términos de los sólidos de Arquímedes.

2.5. Aplicaciones de las zeolitas

Numerosos yacimientos depósitos de zeolitas con elevado grado de pureza en las rocas sedimentarias de origen volcánico desde 1950 han dirigido

y desarrollado variables usos, con el aprovechamiento a bajo costo de explotación de depósitos pocos profundos es decir superficiales. El uso y la aplicación potencial de la zeolita es extendido en la industria papelera, empaquetamiento, incremento de corrientes de gas natural con menos por calorífico, eliminación de Cs con elevada radioactividad en agua residual, además la zeolita puede utilizarse en suplemento de aves de corral, porcinos, etc (MUMPTON, 1978).

2.6. Fertilización y retención de nutrientes

La alta capacidad de intercambio catiónico y elevada capacidad de retener agua, y su capacidad de remediar suelos contaminados ha conducido a una demanda alta de la zeolita natural en la agricultura, principalmente en Japón. Taiwan fue un importador importante de zeolita. Se ha informado una especial selectividad de la zeolita (clinoptilolita) por el amonio, lo que conlleva a su explotación e industrialización con la industria de los fertilizantes para incrementar y optimizar la eficiencia de los nutrientes nitrogenados, entre otros. La zeolita también se utilizó para mejorar las propiedades químicas del suelo, produciendo el incremento de la capacidad de intercambio catiónico, y evitando la pérdida significativa del nitrógeno (amonio), al retenerlo y liberarlo lentamente (MINATO, 1997).

Las zeolitas son aluminosilicatos que tienen una alta selectividad principalmente por cationes, dentro de su estructura porosa contienen metales alcalinos y alcalinotérreos, como sodio, calcio y potasio, así como agua. Son

sólidos que se pueden encontrar en la naturaleza y tienen una estructura cristalina bien definida, la cual determina las dimensiones de los poros (Son minerales de la familia de los aluminosilicatos, se encuentran en la naturaleza y al secarse desarrollan gran porosidad (PERRY, 1992). La zeolita (s) clasificado como alúminosilicato tiene una estructura formada por cavidades (huecos o microporos) saturados (ocupados) el agua con iones y moléculas complejas, y están en movimiento frecuente facilitando el intercambio de cationes (SMITH, 2000).

La elevada capacidad de intercambiar cationes de algunas zeolitas no es la única característica con aplicaciones deseables en la agricultura. Además, pueden retener cationes (metales pesados) contaminantes evitando su liberación y bioacumulación en la cadena alimenticia, FUGII (1974) informó que las zeolitas molidas (pulverizadas) disminuyeron significativamente la bioacumulación (transferencia) de metales (Cu, Cd, Pb, y Zn) pesados de los fertilizantes (fertilizante contaminado) del suelo a las plantas. La especial selectividad de la zeolita (clinoptilolita) en la retención de numerosos metales pesados fue informado por muchos investigadores (SEMMONS y SEYFARTH, 1978).

La estructura cristalina (tetraedro) de la zeolita muestra el silicio (átomo) con estado de oxidación más cuatro (+4), entendiéndose al tetraedro conteniendo el silicio no está cargado eléctricamente. En contraste, los átomos de aluminio presentaran un estado de oxidación (+3) (no satisface la regla del octeto), y al formar parte del tetraedro presentan una carga eléctrica (-1), el

mismo que puede balancearse por un catión, este puede ser el amonio (NH_4^+), el mismo puede ser vaporizado (eliminar amonio) como amoniaco produciendo puntos (lugares) de reactividad de tipo ácido de Brønsted en el proceso de manufacturación de la zeolita. (SADEGHBEIGI, 2000).

2.7. Efecto de la zeolita en la disponibilidad del nitrógeno

La eficiencia en el uso del nitrógeno por los cultivos, varía entre 33 y 50%, debido entre otros factores a la fluctuación temporal y espacial de los nitratos en el perfil del suelo (HIREL *et al.*, 2011). Cuando se utiliza fertilizantes nitrogenados solo una parte del nitrógeno (menos del 50%) es absorbido por las plantas (COLLING *et al.*, 2007), mientras que otra permanece en las capas más profundas del perfil y se lixivia (HATCH *et al.*, 2002), provocando contaminación de acuíferos (DELGADO *et al.*, 2000). La lixiviación de nitratos se ve incrementada por la cantidad y la forma de aplicación de las láminas de riego ya sea de forma continua o intermitente (TAFTEH y REZA, 2012). Otra fracción importante se pierde por volatilización en formas reducidas de nitrógeno (NH_3), donde el 67% de estas emisiones a la atmósfera desde el suelo y la agricultura son de carácter antrópico proveniente de fertilizantes nitrogenados principalmente (FOWLER *et al.*, 2013).

Las zeolitas, son aluminosilicatos, del grupo de los tectosilicatos cuya estructura tridimensional permite el intercambio iónico sin cambios en su estructura atómica (OSORIO, 2014). Son de origen sedimentario o volcánico y poseen una alta capacidad de intercambio catiónico, favoreciendo la retención

de iones NH_4^+ y otros cationes provenientes de los fertilizantes minerales (HE *et al.*, 2002).

La incorporación de zeolitas naturales en la formulación de fertilizantes minerales puede ser una alternativa para favorecer la retención del NH_4^+ y otros cationes provenientes de los fertilizantes (HE *et al.*, 2008). De acuerdo con De CAMPOS *et al.* (2013) estas pueden actuar ya sea como abonos de liberación lenta incrementando el uso de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo o como enmiendas al aumentar la capacidad de retención de humedad en los suelos. De igual manera, han sido reportados los beneficios de su aplicación en la reducción de la volatilización del nitrógeno hasta en un 47% cuando se combina con fertilizantes nitrogenados como la urea (URQUIAGAY ZAPATA, 2002).

Las formulaciones de zeolita con urea, han permitido reducir dosis de aplicación sin disminución de los rendimientos, en cultivos como trigo (OSUNA *et al.*, 2012), Soja (RODRÍGUEZ y GATTI, 2010), hortalizas y papa (JOHN *et al.*, 2001), avena (FLÓREZ *et al.*, 2007), cebolla puerro (ÁLVAREZ *et al.*, 2010), girasol (GHOLAMHOSEINI *et al.*, 2013) y maíz (GONZÁLEZ *et al.*, 2012). Las zeolitas se han aplicado como mejorador de diferentes de suelos y cultivos, a voleo o de forma localizada, en el fondo del surco a ambos lados de la semilla y a una profundidad de 10 cm, provocando en estos, un incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico y mayores contenidos en los suelos de fósforo y potasio (FEBLES *et al.*, 2014).

El nitrógeno inorgánico del suelo incluye las formas: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^+ , N_2O , NO . Se cree también que existe NH_2OH , pero como compuesto intermediario en la formación de nitritos a partir del amoníaco, y en determinadas circunstancias. El nitrógeno orgánico se halla como proteínas, aminoácidos libres, aminoazúcares y otras sustancias complejas, en gran parte no identificadas. Estas últimas se originan en las distintas etapas de la humificación y son altamente resistentes a su degradación (NAVARRO Y NAVARRO, 2003).

2.8. Actividad microbiana y la zeolita

La variación del CO_2 es un indicador (parámetro) relacionado con el manejo de la materia orgánica, y constituye la cuantificación (medida) integral de respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono a partir de diferentes "pools" del carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana (GARCÍA y RIVERO, 2008). El término "*respiración*" en edafología es empleado para la descripción del intercambio del O_2 y CO_2 , el dióxido de carbono es producto de los organismos en un ambiente y sobre un sustrato. La respiración del suelo (s) o sustrato (s) en ausencia de plantas es producto de un proceso de la actividad biológica o actividad microbiana, producida por la fauna presente, transformando (descomponiendo) las fuentes o material orgánico presente. Uno de los métodos para cuantificar la velocidad de descomposición de la materia orgánica se realiza midiendo el consumo de O_2 y producción de CO_2 producto del metabolismo de la fauna presente en la muestra de suelo (HERNÁNDEZ y GARCÍA, 2003).

La característica del material orgánico (calidad) es variable y está definida sus constituyentes orgánicos y concentración de minerales (nutrientes). La calidad del carbono de la planta es afectado por la proporción del carbono fácilmente disponible, celulosa (hemicelulosa) y la lignina; La calidad está referida a la energía disponible para los organismos descomponedores presentes en el medio, en la fase inicial de mineralización (descomposición). SÁNCHEZ *et al.*, 2008). Durante la respiración es significativo el efecto de las características del material en descomposición, como, porosidad, diámetro de poros y continuidad que pueden incrementar o reducir la dinámica del flujo gaseoso afectando la tasa de respiración (LUO y ZHOU, 2006).

2.9. Compost y compostaje

El compost son productos de la digestión de organismos o biosólidos tratados en general, producto estable que resulta del reciclaje de residuos orgánicos. Se utiliza como acondicionador del suelo y fuente de nutrientes para las plantas (SANABRIA-LEÓN *et al.*, 2007). El compostaje es el proceso biooxidativo de materiales orgánicos en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, en la cual participan grupos microbianos, dependiendo de la etapa del proceso (BRADY y WEIL 1999, citado por VELASCO, 2004). compostaje, es la conversión, de un material orgánico inestable, a un producto estabilizado, a través de respiración aerobia (ADAMS *et al.*, 2007).

2.9.1. Etapa mesófila y termófila del compostaje

Según CANALES (2010) la fase de compostaje se divide en cuatro etapas (periodos), según el cambio de la T° (evolución de T°) en **(a)** Mesófila; El material vegetal tiene una temperatura ambiente y los organismos presentes (mesófilos) se multiplican muy rápido. La T° se incrementa a causa de la actividad metabólica produciéndose ácidos orgánicos que acidifican el medio (reducen el pH). **b)** Termófila; El medio al alcanzar la T° (40 °C), inician su actividad los llamados microorganismos termófilos actuando y convirtiendo el nitrógeno en amoníaco, incrementado el pH del entorno. Cuando el medio llega a 60 °C los organismos (entre hongos) termófilos desaparecen. **c)** Enfriamiento; Cuando la temperatura es menor de 60 °C, vuelven a aparecer los hongos termófilos e invaden el sustrato descomponiendo la celulosa. Cuando se reduce la T° a 40 °C los mesófilos vuelven a iniciar su actividad y el pH del sustrato se reduce parcialmente. **d)** De maduración; periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

En la fase del compostaje, la T° del ambiente afecta a los microorganismos (mesófilos) en la fase de descomposición (hasta 40 °C), luego para los termófilos, entre 40 °C y 75 °C. Durante la etapa mesófila la descomposición de azúcares es rápida. En cambio, los almidones, las proteínas y las grasas más lento liberado grandes cantidades de energía produciendo la multiplicación e incremento veloz de los microorganismos, con incremento de la T° en el interior de la pila superando 50° C (VENTO, 2000), la fase mesófila puede tener un periodo de 24 a 72 horas y es muy notorio

después que el material se incorpora al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida (OPS, 1999).

Sin embargo, según MORENO (2008) se observa tres etapas en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial ($T < 45^{\circ}\text{C}$), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$); y la fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial. Cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva: $15\text{-}40^{\circ}\text{C}$ para los microorganismos mesófilos y $40\text{-}70^{\circ}\text{C}$ para los termófilos.

El compost maduro posee elementos difíciles de digerir, “poco degradables” (lignina, lignocelulosa y minerales) (SCHUCHARDT, 2005). Ello da lugar a la inmovilización de los nutrientes en la planta y causar fitotoxicidad debido a la biodegradación insuficiente de la materia orgánica (BUTLER *et al.*, 2001). El vermicompost es el resultado de la biotransformación de materia orgánica a través del tubo digestivo de la lombriz, (GABRIEL *et al.*, 2011).

Según, RESTREPO *et al.* (2014) los factores a tener en cuenta para elaborar un buen compostaje son: Humedad ideal para iniciar el proceso de compost debe estar alrededor de 40 a 55%, temperatura ideal que oscile entre 40 y 50 °C, oxígeno es aproximadamente del 5%, el pH adecuado para un compost oscila en un rango entre 6 y 8, relaciones de C/N altas ocasionan que el proceso de descomposición sea más lento y relaciones de C/N bajas hacen que se pierda Nitrógeno por falta de estructuras de carbono, que

permitan que lo retengan. Según ISAZA-ARIAS *et al.* (2009) Asimismo, la relación C/N es un parámetro que indica cuando la degradación de la materia orgánica se ha estabilizado. Según GARCIA *et al.* (2003) la actividad microbiana del suelo puede estimarse de forma indirecta con la determinación de la respiración microbiana, que consiste en la cuantificación de la producción de O₂ o en la concentración del CO₂ que se libera.

Se ha sugerido que la definición propuesta por ZUCCONI y DE BERTOLDI (1987) a la comunidad científica es una descripción más completa de compostaje: “proceso biooxidativo controlado, en que un sustrato orgánico heterogéneo en estado sólido experimenta una etapa termofílica y una posible liberación transitoria de compuestos fitotóxicos, obteniéndose como productos dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada denominada compost”, un ejemplo fitotóxico se presenta en el compost con una relación C/N muy bajo que da lugar a la liberación del amoniacó que puede ser fitotóxico. El carbono orgánico del suelo, COS, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su: 1) calidad (WANDER *et al.*, 2002), 2) sustentabilidad (CARTER, 2002) y 3) capacidad productiva (SÁNCHEZ *et al.*, 2004).

2.10. Tectosilicato y zeolita

Los tectosilicatos son minerales primarios del grupo de los silicatos, mientras que la zeolita es un mineral secundario agrupado como silicato fibroso. La zeolita también llamada aluminosilicato puede clasificarse por su tamaño de poro, estructura cristalina (7 grupos) o grupos de silicatos

(tectosilicato). En la clasificación de los silicatos, la zeolita pertenece al grupo de los tectosilicatos tridimensionales con relación 1:2 (Si:Al) o "redes de andamiaje", donde todos los átomos de oxígeno pertenecen a dos tetraedros. La unidad estructural de todas zeolitas son tetraedros integrado por un átomo de silicio en su centro y cuatro de oxígeno que dan origen al ion ortosilicato (XU *et al.*, 2007).

En la actualidad se conocen 195 especies de zeolitas, entre estas se encuentran más de 45 naturales y 150 sintéticas. De las zeolitas, varias de ellas se han encontrado en cantidades explotables: la mordenita, la chabazita, la clinoptilolita, la ferrerita, la filipsita y la analcima (BOSCH y SCHIFTER, 2001). Los tetraedros suelen unirse compartiendo varios vértices y dando lugar a diferentes estructuras, y suelen ilustrarse con una línea recta que representa el puente de oxígeno.

Los átomos de oxígeno constituyen los cuatro vértices de cada tetraedro, estos átomos se hayan estrechamente ligados a un átomo central de silicio o aluminio y cada átomo central se enlaza a sus cuatro átomos vecinos, por medio de un oxígeno intermedio. La carga negativa que resulta de la sustitución isomórfica de silicio por aluminio en la zeolita, se balancea por la presencia de cationes intercambiables de sodio, potasio o calcio (POOLE y PRIJATAMA, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del campo experimental

La ejecución de este trabajo de investigación fue en el vivero de la Facultad de Agronomía en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. La fase de laboratorio se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Las características climáticas corresponden a un clima de Bosque Muy Húmedo Tropical (Bmh-t) (HOLDRIDGE, 1987), con una temperatura que fluctúa de 18 a 35°C, humedad relativa promedio anual de 77.5%, precipitación anual media de 3,000 mm, cuyas coordenadas UTM son: Este: 390448 m, norte 8970073 m, y altitud: 671 m.s.n.m

3.2. Materiales y equipos

Materiales

- Aserrín
- Gallinaza
- Tierra agrícola
- Carbón, melaza de caña
- Cal agrícola
- Zeolita, palas
- Carretilla,
- Mantada, guantes de PVC reforzado "T9"
- Zaranda con mallas de 1 cm x 1 cm.
- Wincha (Cinta métrica 60 m)

- Bolsas herméticas Ziploc

Equipos

- Termómetro Higrómetro digital (Margen de error: Humedad relativa: 5% y temperatura: 1°C).
- Medidor de pH/mV/°C portátil con ATC y calibración automática cast.pm hi 8424 (0.01– +)

3.3. Metodología

La investigación se inició con la preparación del compost, mezclando los materiales o insumos en distintas proporciones, estos fueron: gallinaza (42.4 %), aserrín (42.4 %), carbón (8.3 %), tierra agrícola (6.4 %), cal agrícola (0.2 %), melaza de caña (0.3 %), luego la mezcla fue humedecido a capacidad de campo y compostados durante unos días; posteriormente este compost obtenido fue mezclado con la zeolita según los cálculos correspondientes para cada tratamiento. Las evaluaciones de la investigación fueron durante cinco meses, desde septiembre del 2017 hasta enero del 2018.

3.4. Tratamientos en estudio

El Cuadro 1 muestra los tratamientos estudiados que corresponden a la mezcla del compost que se preparó inicialmente, este compost fue mezclado con cuatro niveles de zeolita (50, 100, 150 y 200 kilos de zeolita por cada tonelada de compost); es decir los tratamientos expresados en porcentaje fueron: 0, 5, 10, 15 y 20 % de zeolita completado con compost. Los componentes materia de investigación fueron:

Compost

a₁: Compost obtenido con la mezcla de: gallinaza (42.4 %), aserrín (42.4 %), carbón (8.3 %), tierra agrícola (6.4 %), cal agrícola (0.2 %), melaza de caña (0.3 %).

Niveles de zeolita

b₁: 0 kg

b₂: 50 kg

b₃: 100 kg

b₄: 150 kg

b₅: 200 kg

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamientos	Descripción			
	Clave	Peso (kg) de zeolita y compost para preparar 1000 kilos		Expresado en % (Niveles de zeolita en mezcla con el compost)
		Zeolita (Tectosilicato)	Compost	
T ₁		0 kg	1000	0 %
T ₂		50 kg	950	5 %
T ₃		100 kg	900	10 %
T ₄		150 kg	850	15 %
T ₅		200 kg	800	20 %

3.5. Diseño experimental

El Diseño experimental empleado para el presente trabajo de tesis fue el Diseño Completamente al Azar (DCA), con cinco tratamientos en 4 repeticiones. Las características evaluadas de cada uno de los componentes

fueron sometidos a la prueba del análisis de variancia (F. tab. = 0.05) y la comparación de medias por la prueba de Duncan con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$ (CALZADA, 1982). El esquema del análisis de variancia se presenta en el Cuadro 2.

A. Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \sigma_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta del i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

σ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental.

Para:

i = 1, 2, ..., 4 Tratamientos.

j = 1, 2, ..., 3 Repeticiones.

B. Análisis de variancia

Cuadro 2. Análisis de variancia (ANVA).

Fuente de variabilidad	Fórmula	G. L.
Repeticiones	(r-1)	3
Tratamientos	(t-1)	4
Error experimental	(r-1)(t-1)	12
Total	(tr-1)	19

3.6. Elaboración del compost y mezcla con la zeolita para los tratamientos

El compost para el experimento se preparó mezclando aserrín (42.4 %), gallinaza (42.4 %), tierra agrícola (6.4 %), carbón (8.3 %), melaza de caña (0.3 %) y cal agrícola (0.2 %), formando dos capas con cada uno de estos materiales; al quinto día se procedió a voltear (mezclado) y se obtuvo el material homogéneo. Luego este material orgánico fue dividido según el peso para cada tratamiento y fue mezclado con la zeolita (Cuadro 1) y distribuido por tratamiento, que permaneció durante cinco meses, durante este periodo la humedad fue mantenida a capacidad de campo.

3.7. Nitrógeno amoniacal y nitratos

El nitrógeno amoniacal y nitratos se determinó según la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 0226 (1978), que se fundamenta en la reducción de los nitratos y nitritos a amoníaco, mediante el agente reductor “aleación de Devarda” (aleación de aluminio, cobre y zinc), y se determina el amoníaco por acidimetría. El nitrógeno total (método de Kjendall) se determinó, según BAZÁN (1996).

3.8. Temperatura y pH durante el proceso

La temperatura durante el proceso de compostaje se determinó con un termómetro de composta TFA y para el pH se utilizó un medidor portátil. La temperatura se tomó en dos lados de la pila a 20 cm de profundidad en las distintas pilas de compost. Cada lado a la vez fue dividido en tres puntos en la

parte media de la pila, registrándose en total 6 lecturas de temperatura para cada pila.

3.9. Respiración microbiana

La cuantificación de la producción de dióxido de carbono fue a través de la respiración microbiana y esta se midió a través de la determinación del CO_2 desprendido en el tiempo. Se empleó el método por titulación descrito por ANDERSON y INGRAM (1993) empleando trampas de álcali (10g muestra + 10mL NaOH 0,25M(25°C/24h) y 2mL BaCl_2 0,5 M+3 ó 4 gotas fenolftaleína y titulación con HCl 0,25M). La respiración microbiana se realizó al finalizar el experimento, con la interrupción del proceso de compostaje, al quinto mes después de iniciarse el compostaje.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Influencia del tectosilicato - zeolita en la retención de nitrógeno durante la preparación de los abonos orgánicos.

4.1.1. Nitrógeno amoniacal, nitratos y nitrógeno total

La concentración del nitrógeno amoniacal y nitratos (%) por efecto de la aplicación de la zeolita y materia orgánica (gallinaza) se presenta en el Cuadro 10 (anexo), nitrógeno total base seca (%) en el Cuadro 11 (anexo), pH en el Cuadro 12 (anexo) y materia orgánica en el Cuadro 13 (anexo). Según la prueba de Fisher (F) al 5 % del análisis de varianza (ANVA) no se encontró diferencias estadísticas (ns) (Cuadro 3), entre los tratamientos en la concentración de nitrógeno amoniacal y nitratos, y nitrógeno total, es decir que la aplicación de la dosis de zeolita (0, 50, 100, 150, 200 kg/ha) durante el proceso de compostaje no ha producido un efecto diferente en la concentración del nitrógeno amoniacal y nitratos, en el periodo evaluado.

Según la prueba de Fisher (F) al 5 % del análisis de varianza (ANVA) no se encontró diferencias estadísticas (ns) entre los tratamientos en la concentración de, materia orgánica, es decir que la aplicación de la dosis de zeolita (0, 50, 100, 150, 200 kg/ha) no ha producido un efecto diferente en la concentración del nitrógeno total en base seca, y materia orgánica (Cuadro 3), sin embargo si existió diferencias estadísticas en el pH durante el proceso de compostaje, en el periodo evaluado es decir que la aplicación de la dosis de zeolita (0, 50, 100, 150, 200 kg/ha) ha producido un efecto diferente en el pH (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrado medios y significación del ANVA del nitrógeno (amoniaco y nitratos), nitrógeno total base seca, pH, materia orgánica.

F.V.	GL	Cuadrados medios			
		Nitrógeno amoniacal y nitratos	Nitrógeno total base seca	Ph	Materia orgánica %
Tratamiento	4	0,011 ns	0,11 ns	0,344 *	73116 ns
Error	15	0,006	0,05	0,089	90823
Total	19				
		CV: 16.2 %	Cv: 19.98 %	CV:3.35 %	CV: 45.17
* =	Significancia estadística al 5 % de probabilidad				
NS =	No significativo				

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) no se encontró diferencias estadísticas en la concentración del nitrógeno amoniacal y nitratos con la aplicación de los niveles de zeolita (Cuadro 4), es decir la zeolita aplicado con las dosis 0, 50, 100, 150 y 200 kilos por tonelada de compost, no ha producido un efecto diferente en la retención del nitrógeno amoniacal más nitratos durante el proceso de compostaje (4 meses).

Este resultado se podría explicar a la dosis baja de la zeolita empleado en el experimento es decir que la dosis aplicado en el experimento es equivalente al 0, 5, 10, 15, 20 % de zeolita en mezcla con el compost, por lo tanto habría sido necesario dosis más altas de zeolita para para mayor retención del nitrógeno, este resultado sugiere la necesidad de cantidades mayores de zeolita, en este sentido en el Cuadro 4 se observa que el tratamiento (t_5) es decir con la mayor dosis de zeolita (20%) fue mayor numéricamente la retención del nitrógeno ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), ésta retención correspondería principalmente al nitrógeno amoniacal (NH_4^+) por la condición

poco estable y carga negativa del NO_3^- aun cuando TSITSISHVILI y COL (1992) también informó la capacidad de la zeolita para retener amoniaco.

El amonio es adsorbido por la zeolita y posteriormente liberado y absorbido por la planta. Por lo tanto, la zeolita puede evitar que el amonio (NH_4^+) se transforme en amoniaco (NH_3), y la liberación del hidrogeno que incrementaría el pH, de forma indirecta. Por lo tanto, la zeolita evita la formación del amoniaco, al retener el amonio en forma disponible.

La retención del nitrógeno amoniacal (NH_4^+) se explica por un mecanismo de retención del amonio y se fundamenta en la carga negativa de la zeolita generada por sustitución isomórfica y capacidad de CIC de ésta. La sustitución del silicio por el aluminio en la zeolita genera una carga insatisfecha (-) con capacidad de retener iones de amonio NH_4^+ , la zeolita por sustitución isomórfica genera su carga negativa, esta carga negativa es ocupada por el NH_4^+ (CHICA TORO, 2006).

Cuadro 4. Prueba de Duncan del nitrógeno amoniacal y nitratos, nitrógeno total, pH y materia orgánica

Tratamiento	Nitrógeno amoniacal y nitratos (%)		Nitrógeno total (%)		pH		Materia orgánica (%)	
	Promedio		Promedio		Promedio		Promedio	
T ₁ 0 % (0 + 100)	0,53	a	1,72	a	8.98	a	17,02	a
T ₂ 5 % (5 + 95)	0,47	a	1,52	ab	9.28	a	18,74	a
T ₃ 10% (10 + 90)	0,43	a	1,41	ab	8.83	ab	18,73	a
T ₄ 15% (15 + 85)	0,43	a	1,26	b	8.48	b	27,32	a
T ₅ 20% (20 + 80)	0,54	a	1,47	ab	9.00	a	23,67	a

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

Después la CIC continua, porque el Na^+ puede ser remplazado por el amonio por intercambio catiónico (MOZGAWA *et al.*, 2005), además Blanchard *et al.* (1984) citado por RODRÍGUEZ (2016) reporta que la zeolita (clinoptilolita), tiene una selectividad alta por el amonio, en el orden de $\text{Pb}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Cu}^{2+}, \text{Cd}^{2+}, \text{Sr}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{CO}^{2+}$.

TSITSISHVILI y COL., (1992) informaron que la zeolita también puede retener amoníaco (NH_3) de mezclas gaseosas y soluciones, DYER (1988) informo también puede controlar el pH del suelo. Además, la zeolita por su estructura física de malla y tuberías (microtúbulos) llamado también red, puede retener moléculas y estas también retener otros cationes y aniones.

La zeolita por sus propiedades fisicoquímicas, debido a su estructura cristalina, porosa y habilidad de intercambiar iones sin modificar su estructura atómica (MA *et al.*, 2015) puede retener el amonio. Según HE *et al.*, (2002) la zeolita favorece la retención de iones de amonio (NH_4^+) y otros cationes por su alta capacidad de intercambio catiónico. La zeolita captura el amonio y previene la formación del amoníaco (CHICA TORO *et al.*, 2006). Los residuos orgánicos de aves contienen una gran cantidad de nitrógeno orgánico el cual se convierte rápidamente en amoníaco (GARCÍA, 2010). El uso de las zeolitas en la agricultura es, para la captura de nitrógeno, almacenamiento y liberación lenta, demostrándose que las zeolitas, con su selectividad específica para el amonio (NH_4^+), pueden captar este catión del estiércol, los compost y reduce las pérdidas de nitrógeno en el medio ambiente (KOCAKUSAK *et al.*, 2001). Los fertilizantes nitrogenados no son absorbidos en su totalidad por la

planta (COLLING *et al.*, 2007), una gran cantidad se lixivia en las capas más profunda del suelo (HATCH *et al.*, 2002), puede volatilizarse en formas reducidas de nitrógeno (NH_3) a la atmosfera (FOWLER *et al.*, 2013). Frente a esta situación diversos estudios fueron desarrollados con la aplicación de la zeolita aplicados solos o en mezcla con los fertilizantes, informando la reducción de pérdida del nitrógeno y mayores rendimientos en cultivo como trigo (OSUNA *et al.*, 2012), Soja (RODRÍGUEZ y GATTI, 2010), hortalizas y papa (JOHN *et al.*, 2001).

La clinoptilolita es la zeolita natural más abundante en la naturaleza. Posee una alta capacidad de intercambio catiónico y una gran afinidad por los iones NH_4^+ (INGLESAKIS, 2004). Las zeolitas mejoran la eficiencia del uso de nutrientes incrementando la disponibilidad del nitrógeno amoniacal (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) y reduciendo las pérdidas por lixiviación (PICKERING *et al.*, 2002). Las zeolitas también mejoran la eficiencia del uso del agua al aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y su disponibilidad para las plantas (BERNARDI *et al.*, 2008).

BLANCHARD *et al.* (1984) citado por RODRÍGUEZ (2016) informó que la zeolita clinoptilolita, tiene una selectividad en el orden de $\text{Pb}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Cu}^{2+}, \text{Cd}^{2+}, \text{Sr}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Co}^{2+}$. Según OLGIJIN (2002) la estructura propuesta de la zeolita se constituye con numerosas celdas de tetraedros de $(\text{AlO}_4)^{5-}$ y $(\text{SiO}_4)^{4-}$, aproximadamente el 34 % del volumen de los cristales deshidratados corresponde a un espacio vacío. El material zeolítico adsorbe

(retiene) moléculas con diámetro cinético menor o igual a 3.5 Å, por ejemplo el NH_4^+ se retiene en la clinoptilolita, porque tiene un diámetro de 2.6 Å.

Sin embargo, la característica de la zeolita (origen mineral) también afecta la adsorción del amonio, es decir la concentración de sodio en la zeolita afectaría significativamente este resultados, según OLGUIN (2002) La zeolita (clinoptilolita) de origen natural concentra cationes para intercambiarse entre ellos el, sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y calcio (Ca^{2+}) en en proporción variable dependiendo de su origen y mineralogía al estar acondicionado la zeolita a su forma sódica, se hace mayor la CIC (capacidad de intercambio catiónico) y la preferencia por el nitrógeno amoniacal.

Las diferencias estadísticas no encontradas en la concentración del nitrógeno amoniacal y nitratos con la aplicación de los niveles de zeolita (Cuadro 4), También puede explicarse a las dosis aplicadas que habrían sido insuficientes, estas fueron 0, 10, 15, 20, 25 % de zeolita con gallinaza, al respecto VALERIO (2015) con la aplicación de 30, 40, 50 % zeolita en mezcla con gallinaza reporto mejor retención del nitrógeno con 50% (1:1). CELAYA y CASTELLANOS (2011) reporto que los abonos orgánicos a partir de las aves se transforman velozmente (descomponen) por lo actividad macroorganismos presentes en el sustrato PÉREZ *et al.* (2015) reporta que la aplicación de 10 hasta 30 toneladas de zeolita presento los rendimientos más altos en caña de azúcar, cultivo con elevada demanda de nitrógeno y atribuyeron su resultado a la disminución del nitrógeno en el medio.

La zeolita se agrupa en la familia de minerales de los aluminosilicatos además con propiedades de elevada CIC (120 a 200 Cmol (+) kg-1) además tiene significativa afinidad con el NH_4^+ , también fue utilizado con resultados alentadores para reducir el flujo de NO_3^- (COLOMBANI *et al.*, 2015).

La adsorción del amonio en los tratamientos se explicaría por la estructura cristalina de la zeolita con cargas negativas permanentes que le confiere elevada capacidad de cambio iónico. Carga negativa que se genera por la sustitución isomórfica propio de este mineral (aluminosilicatos), capacidad de intercambio catiónico, es decir la carga eléctrica negativa de la zeolita que causa (explica) la CIC (la capacidad de cambio de cationes) además incluye la alta capacidad de sustitución isomórfica dentro de la red, la disociación de hidroxilos (OH) de su capa basal, la existencia de bordes por ruptura de los cristales de arcilla (superficies descompensadas). La sustitución isomórfica de la zeolita se da al sustituir al átomo de silicio (Si^{4+}), situado en el centro de los tetraedros, por otro de menor carga, como el aluminio (Al^{3+}); igualmente se puede reemplazar el aluminio por otros elementos (Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+}), generando así un exceso de carga negativa en la estructura (carga interlaminar), la cual necesita atraer a otros cationes para compensarse, por ejemplo NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , que constituyen los llamados cationes de cambio.

La retención del nitrógeno (NH_4^+) por la Zeolita también se atribuirían a su estructura física, es decir lo microporos y canales en forma tubular espacios microporos que da lugar a la retención de agua y presencias

de sustancias con capacidad de retener cationes XU *et al.* (2007) reporta que la Zeolita contribuye a la retención de agua que formarían compuestos y/o moléculas de amonio constituyen un grupo de silicatos con una gran capacidad de intercambio iónico con estructura definida por un armazón principal y “túneles”, que les confiere propiedad denominada “porosidad”, y que las convierte en micro tamices muy efectivos, similar a un panal de abejas) que consiste en una red de túneles interconectados y espacios. El agua se mueve libremente dentro y fuera de estos túneles y espacios.

La estructura puede estar interrumpida por grupos (OH^- , F^-) que ocupan los vértices de los tetraedros los cuales no son compartidos con tetraedros adyacentes. La utilización de zeolitas en la agricultura es debido a sus propiedades especiales de intercambio catiónico (HECL y TOTH, 2009) diversos estudios demostraron que las zeolitas permiten que tanto los fertilizantes inorgánicos como los orgánicos liberen lentamente sus nutrientes (PÉREZ-CABALLERO *et al.*, 2008). Las zeolitas naturales se han agregado a los suelos agrícolas para mejorar el estado físico del suelo y propiedades químicas y beneficiar el crecimiento de las plantas. La adición de una zeolita a un suelo aumentará la CIC con un aumento en la retención de nutrientes del suelo, también aumenta el pH del suelo, retención de agua, por lo tanto, las zeolitas, se puede agregar a un suelo en un tamaño de partícula menores al de la arena (BISH y MING, 2001). La alta CIC de la zeolita ayuda a explicar la retención de cationes como el amonio y otros, el origen de la CIC de la zeolita fue resumido por SADEGHBEIGI (2000) explicando que la estructura cristalina

(tetraedro) de la zeolita muestra el silicio (átomo) con estado de oxidación más cuatro (+4), entendiéndose al tetraedro conteniendo el silicio no está cargado eléctricamente. En contraste, los átomos de aluminio presentaran un estado de oxidación (+3) (no satisface la regla del octeto), y al formar parte del tetraedro presentan una carga eléctrica (-1), el mismo que puede balancearse por un catión, este puede ser el amonio (NH_4^+) u otros.

SMITH (2000), SADEGHBEIGI (2000), XU *et al*, (2007) informaron que la alta CIC de la zeolita también se debe a su estructura física, tiene importante capacidad de retener nutrientes de la solución, por su estructura formada por cavidades (huecos o microporos) saturados (ocupados) el agua con iones y moléculas complejas, y están en movimiento frecuente facilitando el intercambio de cationes.

4.1.2. Correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno (amoniaco más nitrato)

La Figura 1 muestra la correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno (amoniaco más nitrato), con un alto coeficiente de correlación ($R^2=0.90$), el cual significa que el 90 % de la variación del amoniaco más nitrato puede ser atribuida a la aplicación del compost (gallinaza) y la zeolita. La ecuación de regresión que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica ($\text{NH}_4+\text{NO}_3 = 0.0011x^2 + 0.0214x + 0.53$), de acuerdo con esta ecuación por cada unidad que se incrementa en zeolita, se verá afectada la

concentración de nitrógeno amoniacal (NH_4^+) más nitratos (NO_3^-) en primero reduciéndose luego incrementándose en 0.0011 %.

El T₁ (% de zeolita) con 100% de compost (principalmente gallinaza), tratamiento que no tiene zeolita mostro alto contenido de nitrógeno (NH_4^+ y NO_3^-) y fue reduciendo en el T₂ 5% de zeolita más 95% de gallinaza (5+95), T₃ (10%) y T₄ (15%) con 0.53, 0.47, 0.43 y 0.43 % respectivamente es decir al reducir los niveles de compost (gallinaza) en los tratamientos T₁, T₂, T₃, y T₄ indican que al reducirse los niveles de gallinaza también se reduce los niveles de (NH_4^+ y NO_3^-) por lo tanto la presencia del nitrógeno (NH_4^+ y NO_3^-) en estos tratamientos (T₁, T₂, T₃, y T₄) habría sido afectados principalmente por la gallinaza al ser este el principal material en la preparación del compost además la dosis de la zeolita habría sido insuficiente para la retención del nitrógeno en los tratamientos T₁ (5%), T₂, T₃ (10%), y T₄(15%), explicándose con la aplicación de 20 % de zeolita T₅(20%) que inicia el incremento del nitrógeno.

Por lo tanto, es posible que se requiera incrementar los niveles de zeolita en los tratamientos, algunas zeolitas naturales fueron caracterizados por una baja eficiencia de retención de cationes, además en la actualidad existen números estudios y disposición de materiales zeolíticos sintéticos con alta eficiencia de retener moléculas y cationes, incluso existe en el mercado derivados zeolitas para uso farmacéutico.

A mayor zeolita, menor es el nitrógeno (amoniaco más nitratos), por lo tanto, la mineralización se estaría reduciendo, este resultado se explicaría porque el incremento de la zeolita no favoreció la actividad microbiana, al no haber actividad microbiana se reduce la mineralización de la materia orgánica (nitrógeno), y la reducción de la mineralización se evidencia con la menor producción de nitrógeno (amoniaco más nitratos), por lo tanto la zeolita mejora la transformación del ácido úrico (gallinaza) ($C_5H_4N_4O_3$), evitando la descomposición del carbonato de amonio y posterior pérdida por volatilización.

Este resultado se corrobora con la Figura 5, donde se observa que al incrementar la dosis de zeolita la respiración microbiana es menor, indicando que también es menor la actividad microbiana, Figura 2 donde se observa que se reduce el nitrógeno total con la mayor dosis de zeolita, y también con la Figura 4 donde muestra mayor materia orgánica con el incremento de la zeolita, mostrando que la M.O no se ha descompuesto (mineralizado) porque hubo menor respiración microbiana (CO_2). Este resultado coincide con VALERIO *et al.* (2015) que reportó la reducción del nitrógeno amoniaco con el incremento de la Zeolita mezclado con la gallinaza. El resultado obtenido no se interpretaría como contradictorio a la literatura que informa mayor retención del nitrógeno con la zeolita, porque los resultados de este experimento corresponden a la mezcla zeolita y gallinaza compostada (periodo 5 meses).

ROSKILL citado por MORANTE *et al*, (2015) la zeolita sintética son productos con valor agregado con alta capacidad adsorbente. MORANTE *et al*. (2015) los productos de zeolitas sintéticas tienen una mayor tendencia a reaccionar muy rápido al incremento potencial de la demanda de las tres principales áreas antes mencionadas. Además, sería importante considerar algunas características estructurales de la zeolita es posible que la zeolita utilizada en el experimento tuviese una limitada, las zeolitas son estructuras de silicatos con grandes espacios que permiten la presencia de cationes tales como Sodio (Na^+) y Calcio (Ca^{2+}) y de moléculas de agua (H_2O) (10). Reportes de GOH *et al*. (2007) las zeolitas se caracterizan por su habilidad de perder y absorber agua sin dañar su estructura cristalina, existiendo yacimientos de zeolitas que si pueden alterar su estructura y limitar la retención de cationes.

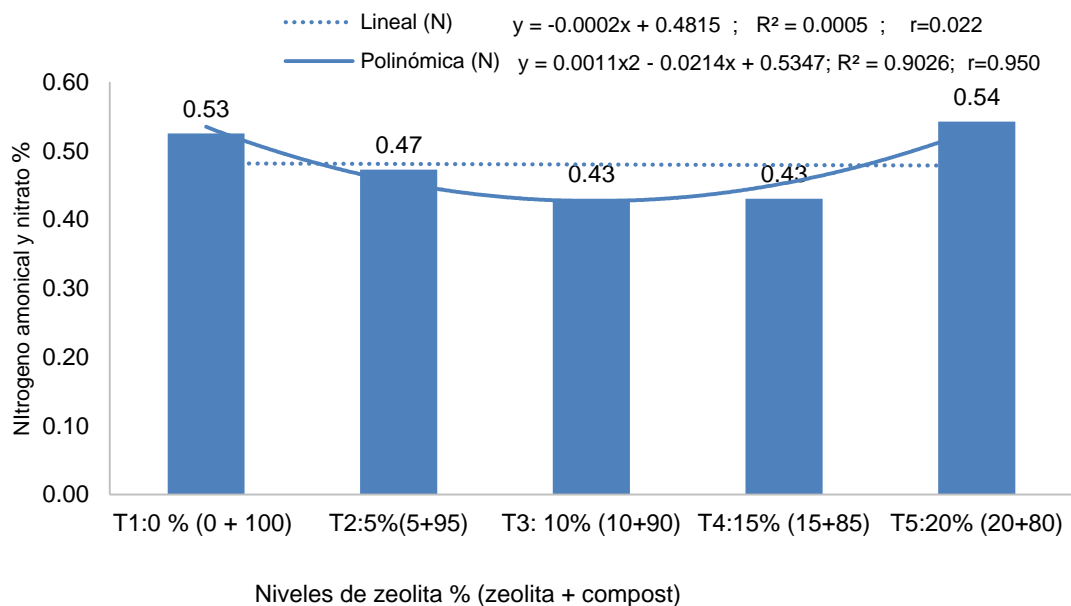


Figura 1. Correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno (amoniacal más nitrato)

4.1.3. Correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno total

La Figura 2 muestra la correlación entre los niveles de zeolita y nitrógeno (amoniaco más nitrato), con un alto coeficiente de correlación ($r=0.95$) el cual significa que el 95 % de la variación del nitrógeno total puede ser atribuida a la aplicación de la zeolita con el compost (gallinaza) y la ecuación de regresión que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica ($N \text{ total} = 0.0022x^2 + 0.0593x + 1.74$), de acuerdo con esta ecuación por cada unidad que se incrementa en zeolita, se verá afectada la concentración de nitrógeno total primero reduciéndose luego incrementándose en 0.0022 %. Esta tendencia fue similar al mostrado en la Figura 1, por que el nitrógeno total incluye al nitrógeno mineral (amoniaco y nitratos) más el nitrógeno orgánico que corresponden a la gallinaza, URQUIAGA y ZAPATA (2002) quienes reportaron reducción del orden de 46,6 y 47,8% en la volatilización del nitrógeno al usar urea más 15% de zeolita.

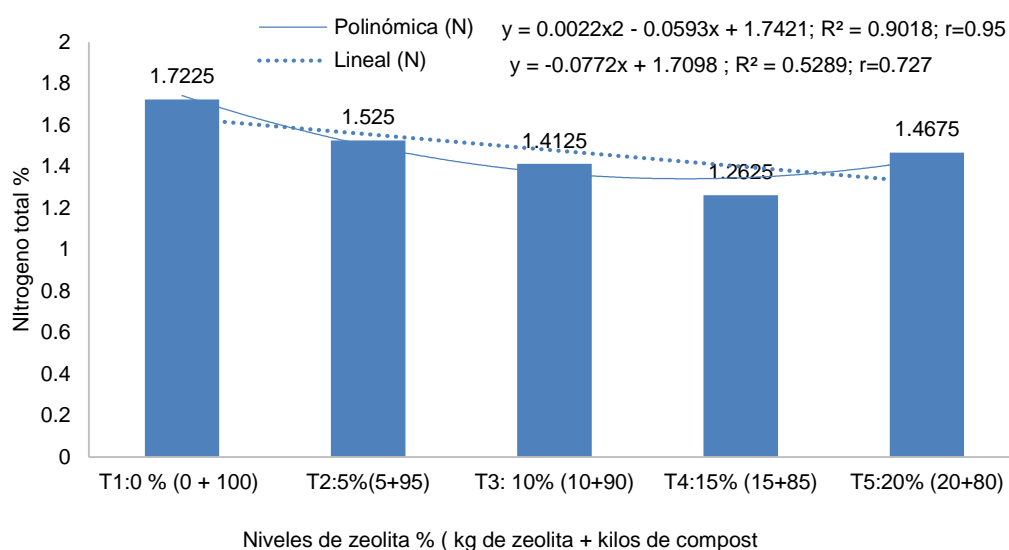


Figura 2. Correlación y regresión entre los niveles de zeolita y nitrógeno total

4.1.4. Correlación entre los niveles de zeolita y pH.

La Figura 3 muestra la que no existe una correlación entre los niveles de zeolita y pH, observándose un bajo coeficiente de determinación ($R^2=0.23$), el cual significa que el 23 % de la variación del nitrógeno total puede ser atribuida a la aplicación de la zeolita con el compost (gallinaza) y la ecuación de regresión que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica ($\text{pH} = 0.0016x^2 + 0.0465x + 9.15$), de acuerdo con esta ecuación por cada unidad que se incrementa en zeolita, se verá afectada el pH primero reduciéndose luego incrementándose en 0.0016, con la dosis 5 % (t_2) el pH fue el más alto.

La Figura 3 muestra que no existe correlación significativa entre el pH y los niveles de zeolita, por lo tanto, la zeolita no afectó el pH, y podría explicarse porque la evaluación corresponde a una mezcla de zeolita que al incrementarse su dosis se reduce la dosis de la gallinaza. Sin embargo, existe una tendencia no significativa ($R^2=0.17$) lineal inversa, con la reducción del pH al incrementarse la dosis de la zeolita, resultado posiblemente explicado considerando que este pH es del material orgánico con cinco meses de compostaje (zeolita más gallinaza) donde se habría producido reacciones anteriores que no se evaluaron, y dieron lugar a sustancias húmicas ácidas como el ácido fúlvico (AF) y ácido húmico (AH), principalmente ácidos fúlvicos porque estos tienen lugar antes que el AH. Los AF presentan ácidos carboxílicos (-COOH) de reacción ácida, con elevada solubilidad. BALDOTTO y BALDOTTO (2014) reportaron que el ácido fúlvico, contiene más grupos

carboxílicos solubles. Sin embargo, también es posible la formación del ácido carbónico con el CO₂ desprendido por la respiración microbiana, LÓPEZ *et al.* (2014) determinó que el pH del ácido fúlvico fue 4.

Según FLORENCIA (2012) Como regla general es posible establecer que las zeolitas con un alto contenido de sílice predominan en medios ácidos, y las zeolitas con bajo contenido de sílice en medios básicos. El comportamiento de la zeolita en medios con pH distintos ha sido estudiado e informaron que la zeolita interactúa con los iones de hidrogeno o hidroxilos presentes en el medio (solución), y la reacción que se producen dependerá de las características estructurales y composición química de la zeolita. La zeolita puede variar su estructura física "poros", según el pH del medio, pero no su estructura cristalina es muy resistente.

La zeolita tiene cargas permanentes generadas por la sustitución isomórficas, estas cargas permanentes no son afectadas por el pH del medio, aun cuando la mineralización está generando acidez, FILCHEVA y TSADILAS (2002). Reportaron el aumento en el pH del suelo y el K intercambiable al agregar zeolita (Clinoptilolite). Los reportes de LEWIS *et al.* (2003) mostraron que la zeolita tiene la mayor capacidad de retener cationes entre pH 5 y 6,5 y fue estable a pH > 5,5. ALEXANDER y CHRISTOS (2003) reporta la ventaja de la zeolita para la remediación del suelo y su alta eficiencia independiente del pH del suelo en el rango suelos ácidos de pH 3 hasta 5.

MING y MUMPTON (1989) demostraron que la zeolita, clinoptilolita, son estables en condiciones ácidas hasta pH 2. QUEROL *et al.*, 2001, con la aplicación de zeolita sódica a dosis (10000, 15000 y 25000 Kg/hectárea) a 25 cm de la capa vegetal superior del suelo incremento del pH del suelo (3.3 a 7.6) por el material zeolítico y no por la capacidad de intercambio catiónico, Los reportes de RAMESH y DAMODAR (2011) la zeolita fue aplicado para mejorar el contenido de humedad y aumentar el pH, en incrementar la CIC de suelos ácidos con investigaciones y uso extenso en Japón en los años sesenta.

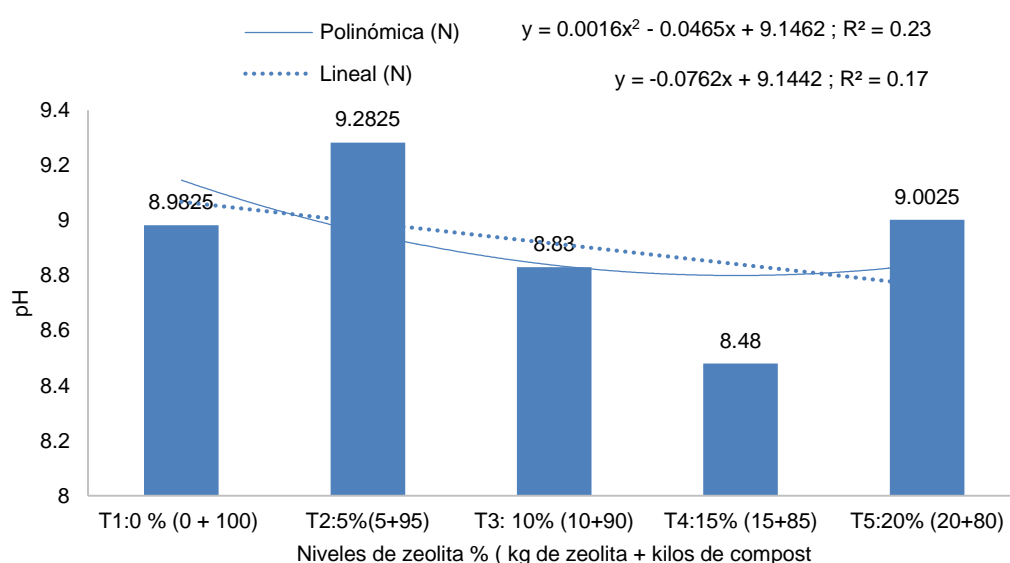


Figura 3. Correlación entre los niveles de la zeolita y pH.

4.1.5. Correlación entre los niveles de zeolita y materia orgánica

La Figura 3 muestra la correlación y regresión entre los niveles de zeolita y nitrógeno (amoniaco más nitrato), con un alto coeficiente de correlación ($r=0.81$) el cual significa que el 81 % de la variación del nitrógeno

total puede ser atribuida a la aplicación de la zeolita con el compost (gallinaza) y la ecuación de regresión que mejor se ajusta a los valores evaluados es lineal y directa, es decir al incrementar la dosis de zeolita también se incrementa los niveles de materia orgánica expresado en la ecuación de regresión lineal (Materia orgánica % = $0.437x + 16.724$), de acuerdo con esta ecuación y al coeficiente de regresión (0.0437) por cada unidad que se incrementa en zeolita, se verá afectada la concentración de materia orgánica incrementándose en 0.0437 %.

Estos resultados muestran que al incrementarse la dosis de zeolita se incrementa la materia orgánica (M.O), evidenciando que ésta (M.O) no se ha descompuesto (mineralizado) y se explicaría porque la zeolita no favoreció la actividad microbiana, dado que la mineralización es controlada por los microorganismos del suelo. Este resultado es corroborado con la Figura 5, donde se observa que la actividad microbiana se reduce con la mayor dosis de zeolita.

Sin embargo, estos resultados también pudrían explicarse por la presencia de carbono mineral en la zeolita, es decir es posible que exista contenidos de carbonatos, CO_2 . El análisis de la materia orgánica fue por vía seca es decir por combustión (calcinando) de la muestra, método que incluye como materia orgánica al carbono mineral, además del orgánico, por lo tanto este valor no es representativo para la interpretación como materia orgánica, la documentación de DING y ALPAY (2000) demuestran que la zeolita natural

o sintética tiene la capacidad de capturar CO₂ por su elevada superficie específica (1000 a 2000 m²/g), según PHAM *et al.* (2016) las zeolitas presentan áreas superficiales alrededor de 500 m²/g) y le confieren capacidad de retener moléculas como el CO₂, BONENFANT (2008) la zeolita se caracterizan por tener en su interior un sistema de huecos (poros), interconectados con capacidad de retener el CO₂. YAMAZAKI *et al.* (2007), indicaron que la adsorción de CO₂ en zeolitas se rige en relación a los cationes intercambiables de fuerza básica y al diámetro iónico de los metales alcalinos o alcalinotérreos dentro de las cavidades zeolíticas, estos inducen grados de basicidad y diferentes valores de campo eléctrico que son dependientes de la relación Si/Al. Además, la capacidad de adsorción de CO₂ está limitada por el tamaño de poro de la zeolita.

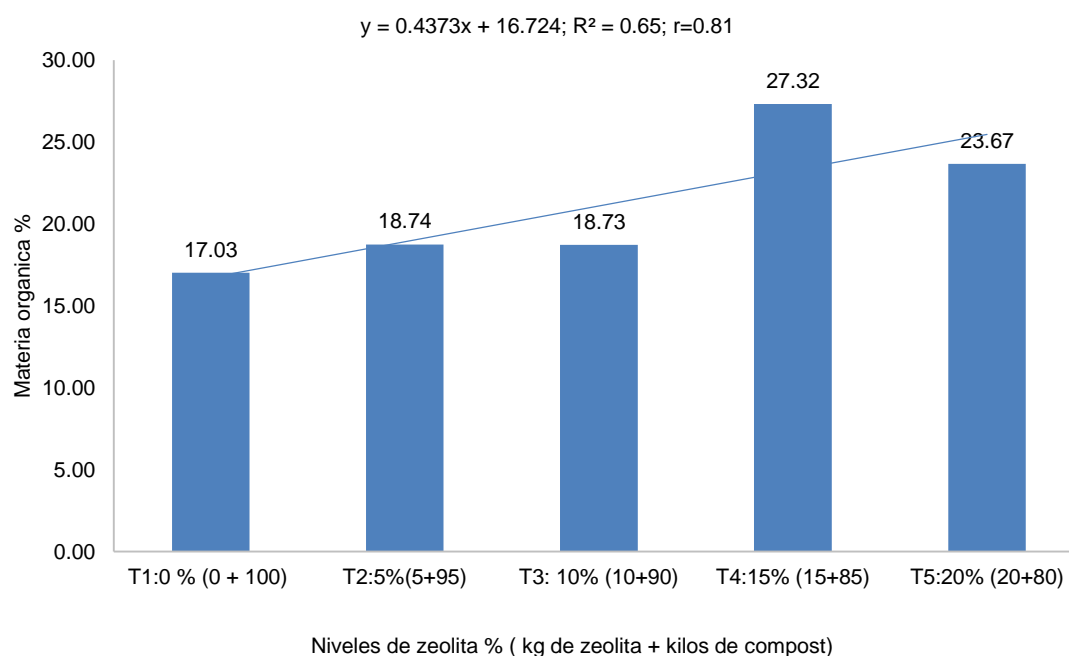


Figura 4. Correlación y regresión entre los niveles de zeolita y materia orgánica

Además, también es posible que la zeolita empleado en este experimento podría estar contaminado con impurezas, al respecto ACKLEY (2003) reportó la eficiencia de la zeolita relacionado con la presencia de 26 impurezas. Sin embargo la actividad microbiana generado por la respiración microbiana del sustrato también habría contribuido a la presencia del CO₂. La zeolita es un mineral secundario que pertenece al grupo de los tectosilicato, los tectosilicatos son minerales primarios del grupo de los silicatos, mientras que la zeolita es un mineral secundario agrupado como silicato fibroso. El silicio con estructura cristalina presenta valencia 4(Si⁴⁺) y el aluminio valencia 3(Al³⁺), la sustitución (en su estructura cristalina) del silicio por el aluminio (sustitución isomórfica) genera una carga insatisfecha (-) con capacidad de retener iones como el amonio NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ (XU *et al.*, 2007).

4.2. Producción de CO₂ generado durante la preparación del compost.

La producción de CO₂ por respiración microbiana de los organismos presentes como indicador de la actividad microbiana al finalizar el experimento, por efecto de la aplicación de la zeolita y materia orgánica (gallinaza) se presenta en anexo en el Cuadro 14. Según la prueba de Fisher (F) al 5 % del análisis de varianza (ANVA) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (**) entre los tratamientos en la producción del CO₂ al finalizar el experimento, es decir que la aplicación de las dosis de zeolita (0, 5, 10, 15, 20%) compostada en mezcla con la gallinaza, al finalizar el proceso de compostaje (5 meses) ha generado un efecto diferente en la producción del CO₂ (Cuadro 5).

Cuadro 5. ANVA del CO₂ mg/g/día

F.V.	SC	gl	CM	FC	FT	
					Significación	
					5%	1%
Tratamiento	1,870	4	0,468	20,078 **	3.06	4.89
Error	0,349	15	0,023			
Total	2,220	19				
CV	17.36					

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) se encontró diferencias estadísticas en la concentración del CO₂ (mg/g/día), por efecto de la zeolita y compost (Cuadro 6), es decir la zeolita aplicado con las dosis 0, 5, 10, 15 y 20% en mezcla con compost (principalmente gallinaza), ha producido un efecto diferente en la producción de del CO₂ (mg/g/día), en el proceso de compostaje (4 meses). Estadísticamente la mayor concentración del CO₂ (mg/g/día), fueron con el tratamiento T₁ 0 % (0 + 100) y T₂ 5 % (5 + 95) con 1.32 y 1.10 mg/g/día de CO₂, respectivamente, y promedios más bajos estadísticamente diferenciados con la dosis más baja de compost es decir con el tratamiento T₄ 15% (15 + 85), T₅ 20% (20 + 80).

Este resultado evidencia que el incremento de la dosis de la zeolita no favoreció el incremento del CO₂, explicado porque se habría limitado la respiración microbiana y producción del CO₂ porque este material solicitado no constituye una fuente de nutrición para los microorganismos, observándose y explicado en la Figura 5. Sin embargo, los resultados son producto de la interacción (mezcla zeolita más gallinaza), por lo tanto, también explicaría por la dosis del compost, dado que al incrementarse la dosis de la zeolita se reduce la dosis del compost.

Resultados que se explican a la dosis alta del compost, es decir el compost en su nivel más alto fue el responsable de la mayor producción de CO₂ generado por los microorganismos del sustrato, es decir la materia orgánica es fuente de alimento y energía que induce la actividad microbiana, por lo tanto la micro fauna incrementa su población por efecto del compost, y la respiración (CO₂) producida es mayor. Aun cuando la zeolita tuviera presencia de carbono este no sería disponible o aprovechable por los organismos, en tal sentido el incremento de las dosis del material zeolítico no incremento el CO₂.

Cuadro 6. Prueba de Duncan del CO₂ mg/g/día, por efecto de la zeolita y compost

Tratamiento	Promedio	Significación	
T ₁ 0 % (0 + 100)	1,32	a	
T ₂ 5 % (5 + 95)	1,10	a	b
T ₃ 10% (10 + 90)	0,88		b
T ₄ 15% (15 + 85)	0,55		c
T ₅ 20% (20 + 80)	0,54		c

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

Los organismos presentes utilizan el carbono del sustrato como fuente de energía sin embargo también afectan la dinámica del nitrógeno reteniéndolo al inicio y liberando al final, estos organismos son indispensables para la mineralización de la materia orgánica es decir para la transformación de los nutrientes del estado orgánico al estado mineral y más accesible para la planta. Sin embargo, otros factores pudieron afectar estos resultados.

Según BRADY y WEIL, (1999) citado por VELASCO, (2004). El proceso de compostaje es proceso bioxidativo de residuos orgánicos afectados por la temperatura, humedad y aireación, con participación de grupos microbianos, dependiendo de la etapa del proceso. Según STEUBING *et al.* (2001) la mineralización es la descomposición de la materia orgánica del suelo, cuando los nutrientes orgánicos se convierten en formas inorgánicas disponibles para las plantas Durante el compostaje se lleva a cabo una compleja sucesión de poblaciones de microorganismos, que están en función de la evolución de la temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de oxígeno, contenido de agua, pH (LAICH, 2011).

De estas, las poblaciones más importantes son: bacterias, actinomicetos y hongos filamentosos (CARIELLO *et al.*, 2007). Las descomposición y liberación de los nutrientes están determinadas por la calidad del material orgánico, y relación carbono/nitrógeno, así OPS (2009) reporta una relación carbono nitrógeno C/N para aserrín (400), estiércol de gallina (10), estiércol de ovino (20), el carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. JARAMILLO y ZAPATA (2008), una relación C/N de 20 a 35 es la adecuada al inicio del proceso, pero si esta relación es muy elevada, se disminuye la actividad biológica porque los microorganismos vivos emplean para su metabolismo 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno, además se considera que la matriz de compostaje es adecuada cuando presenta valor inicial de C/N entre 25-35 (BERNAL *et al.*, 2009)

La calidad del carbono de un material orgánico depende de las proporciones del carbón soluble, la celulosa (hemicelulosa) y la lignina; en este caso la calidad se refiere a la energía disponible para los organismos descomponedores (SÁNCHEZ *et al.*, 2008). La respiración microbiana (consumo de O₂ y emisión de CO₂) como medida de consumo del CO₂ (o emisión de CO₂) y forma más confiable como indicador de madurez del compost. El consumo de O₂ y emisión de CO₂ aumenta rápido al iniciarse el compostaje, y disminuye a la mitad del proceso y continúa reduciéndose hasta el final del proceso es decir hasta alcanzar valores de un suelo agrícola (GUERRERO *et al.*, 2012)

4.2.1. Correlación entre los niveles de zeolita y CO₂ (mg/g/día)

La Figura 5 muestra la correlación entre los niveles de zeolita y CO₂ (mg/g/día), con un alto coeficiente de determinación ($r=0.98$) el cual significa que el 98 % de la variación del nitrógeno total puede ser atribuida a la aplicación de la zeolita con el compost (gallinaza) la ecuación de regresión que mejor se ajusta a los valores evaluados es lineal e inversa ($\text{CO}_2 \text{ mg/g/día} = -0.0042x^2 + 1.30$), de acuerdo con esta ecuación por cada unidad que se incrementa en zeolita, se verá afectada la concentración de CO₂ reduciendo en 0.0042 mg/g/día.

Es decir, al incrementarse la dosis de la zeolita se reduce la producción de CO₂, evidenciando que el incremento de la zeolita no contribuye a la producción de CO₂, explicado por la menor actividad microbiana, con el aumento de la zeolita, es decir la zeolita no habría

brindado condiciones o no ha sido fuente de nutriente para mejorar la actividad microbiana, dando lugar a la conservación, menor descomposición de la materia orgánica demostrándose en la Figura 4 donde se observa que la M.O (carbono) es mayor con la mayor dosis de zeolita, Coincidiendo con VALERIO *et al.* (2015) quienes concluyeron que la zeolita no es útil para reducir emisiones de CO₂,

Sin embargo, existe la mínima posibilidad de que el CO₂ ha sido retenido por la zeolita, y ésta se reflejaría con mayor concentración de carbono (materia orgánica) con el incremento de la dosis de la zeolita, resultado que se muestra en la Figura 4. observándose que la materia orgánica se incrementa con mayor dosis de zeolita, al respecto GUERRERO *et al.* (2012) informó que las altas emisiones de CO₂, se reflejarían en la mayor presencia de carbonos en los sustratos orgánicos provenientes de compuestos fácilmente degradables.

Estos resultados son producto de la interacción de la mezcla de la zeolita con la gallinaza, por lo tanto, también se explicaría por la dosis del compost, observándose que la producción de CO₂ fue mayor con los niveles más altos de compost (Utilizado gallinaza), por lo tanto, la mayor producción de CO₂ se debería principalmente al compost, coincidiendo con CONTRERAS *et al.* (2006) quienes reportaron mejor producción de CO₂ con gallinaza, PAZ *et al.* (2006), indican que existe mayor biomasa microbiana en un sistema de agrícola, y que la mayor cantidad de biomasa microbiana, se asocia con el

mayor contenido de materia orgánica presente en esos sistemas. SOUZA *et al.* (2012) concluyeron que la respiración microbiana mostró mayores valores en los bosques o con sistemas agroforestales.

Así mismo CHAVARRÍA *et al.* (2012) diferentes sistemas de manejo en café, reportan que los valores más altos de respiración microbiana se registraron en el sistema bosque ($640 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). CONTRERAS *et al.* (2006) informo que el carbono de la gallinaza es mineralizado de 34 hasta 35%, esto incrementa la liberación de CO_2 al incrementarse la actividad microbiana del medio, GARCIA *et al.* (2003) informa que la actividad microbiana se incrementa al tener sustrato (carbono) para alimentarse, incrementado así la respiración microbiana.

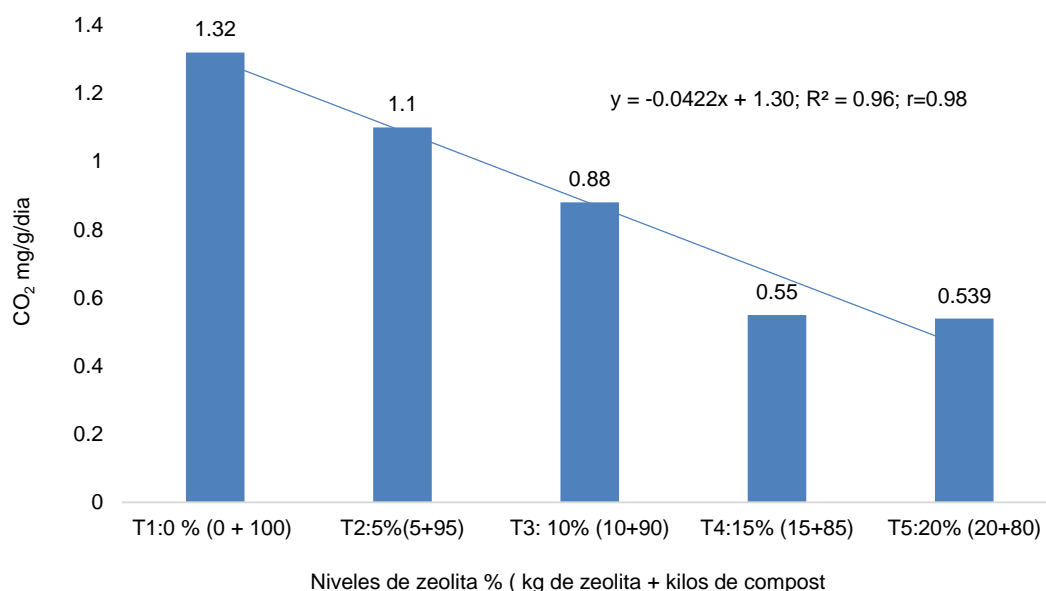


Figura 5. Correlación entre los niveles de zeolita y CO_2 (mg/g/día)

4.3. Determinar las variaciones de temperatura durante la preparación del compost

La temperatura producida durante el proceso de compostaje, por efecto de la aplicación de la zeolita y materia orgánica (gallinaza) en la primera semana de iniciarse el proceso de compostaje es decir en la fase mesófila se presentan, en el Cuadro 15 (anexo), y fase termófila correspondiente a las semanas dos y tres en el Cuadro 16 (anexo). Según la prueba de Fisher (F) al 5 % del análisis de varianza (ANVA) no se encontró diferencias estadísticas significativas (ns) entre los tratamientos en la temperatura en la fase mesófila y termófila (Cuadro 7). La mayor temperatura observada fue con el tratamiento uno en la fase termófila con 41.96 °C (Cuadro 16), también con el tratamiento uno en la fase mesófila con 38.04 °C (Cuadro 15).

Cuadro 7. Cuadrado medios y significancia del ANVA de la variación de la temperatura en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero

F.V.	GL	Cuadrados medios					
		Set. mesófila	Oct. termófila	Oct. Enfria	Nov.	Dic.	En.
Tratamiento	4	0,468 ns	0.810 ns	0,011 **	0,44 ns	0,065 ns	0,14 Ns
Error	15	0,384	0.590	0,117	0,70	0,198	0,07
Total	19						
		CV: 1.65	CV: 1.85	CV: 1.31 %	Cv: 2.99 %	CV: 1.58 %	CV:0.94%

* = Significancia estadística al 5 % de probabilidad

NS = No significativo

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) no se encontró diferencias estadísticas en la temperatura por efecto de la zeolita y compost en la fase mesófila y termófila (Cuadro 8), es decir la zeolita aplicado con las dosis 0, 5,

10, 15 y 20% en mezcla con compost (principalmente gallinaza), no han producido un efecto diferente en la temperatura en la fase mesófila y termófila, dos etapas de mayor temperatura durante el proceso de compostaje. Los valores de temperatura obtenidos se encuentran entre los valores reportados en otros estudios, según INN (2004) en el compostaje, la temperatura pasa del ambiente a la adecuada para microorganismos mesófilos (hasta 40 °C), luego a la de los termófilos, entre 40 °C y 75 °C, según VENTO (2000) la etapa mesófila puede durar de 24 a 72 horas.

La temperatura producida durante el proceso de compostaje, por efecto de la aplicación de la zeolita y materia orgánica (gallinaza) en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, que corresponderían a la etapa de enfriamiento se presenta en anexo en el Cuadro 17. Según la prueba de Fisher (F) al 5 % del análisis de varianza (ANVA) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (**) entre los tratamientos en la temperatura en el mes de octubre. Y fue no significativo (ns) en noviembre, diciembre y enero (Cuadro 17). Es decir, en los últimos tres meses la temperatura no fue variable y los efectos de los tratamientos, aplicación de las dosis de zeolita (0, 5, 10, 15, 20%) y materia orgánica ya habrían agotado su reserva para un incremento de la actividad microbiana y esta fase correspondería a la etapa de enfriamiento.

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) en octubre (enfriamiento) se encontró diferencias estadísticas en la temperatura por efecto de la zeolita y compost (Cuadro 5), es decir la zeolita aplicado con las dosis 0, 5, 10, 15 y

20% en mezcla con compost (principalmente gallinaza), ha producido un efecto diferente en la temperatura, en el proceso de compostaje en el mes de octubre (enfriamiento), donde la mayor temperatura fue estadísticamente superior con el tratamiento T_1 0 % (0 + 100) y menor con promedios más bajos estadísticamente similares con la dosis más baja de compost es decir con el tratamiento T_2 5 % (5 + 95), T_3 10% (10 + 90), T_4 15% (15 + 85) y T_5 20% (20 + 80).

Resultados que se explican a la dosis alta del compost, es decir el compost en su nivel más alto fue el responsable de la mayor temperatura generado por los microorganismos del sustrato, es decir la materia orgánica es fuente de alimento y energía que induce la actividad microbiana, por lo tanto la micro fauna incrementa su población por efecto del compost, y la temperatura también se incrementa.

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) no se encontró diferencias estadísticas en la temperatura en los meses de noviembre diciembre y enero que correspondería a la etapa de enfriamiento (Cuadro 8), esto puede explicarse por el proceso de descomposición de la materia orgánica ha llegado a una fase enfriamiento y se caracteriza por el agotamiento de los materiales fácilmente biodegradables y se reduce la actividad microbiana.

Según ÁLVAREZ (2008) en la etapa de maduración o de enfriamiento se estabiliza y polimeriza el compost a temperatura ambiente, desciende el

consumo de oxígeno y se elimina la fitotoxicidad, según RODRÍGUEZ (2011) en la etapa de maduración y enfriamiento escasean los nutrientes y desciéndela actividad bacteriana. Sin embargo, existen otros factores que pueden afectar significativamente el proceso de compostaje que habrían afectado este proceso. Según CÓRDOBA (2006) las condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos aeróbicos están dadas por la presencia de oxígeno, agua, temperatura y disponibilidad de nutrientes. La prueba de Duncan de la T⁰ (Cuadro 8) corresponde a toda la evaluación de T⁰, la temperatura de la etapa mesófila corresponde a la primera semana de evaluación del 22 al 29 de septiembre (Cuadro 15, anexo), etapa termófila a la segunda y tercera semana, es decir del 30 de setiembre al 14 de octubre (Cuadro 16, anexo), enfriamiento después de la cuarta semana, desde el 15 de octubre, y los meses de noviembre, diciembre y enero (Cuadro 17, anexo).

Cuadro 8. Prueba de Duncan de la temperatura en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero

Tratamiento	Setiembre	Octubre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
	Promedio Mesófila	Promedio Termófila	Promedio Enfriamiento	Promedio Enfriamiento	Promedio Enfriamiento	Promedio Enfriamiento
T ₁ 0 % (0 + 100)	38.4 a	41.96 a	28.41 a	28.29 a	28.40 a	28.41 a
T ₂ 5 % (5 + 95)	37.55 a	41.74 a	28.45 b	27.79 a	28.10 a	28.45 a
T ₃ 10% (10 + 90)	37.65 a	41.66 a	28.13 b	27.59 a	28.20 a	28.13 a
T ₄ 15% (15 + 85)	37.33 a	41.13 a	28.11 b	27.86 a	28.10 a	28.11 a
T ₅ 20% (20 + 80)	37.14 a	40.88 a	28.05 b	28.36 a	28.30 a	28.05 a
Promedio	37.54	41.47	28.23	27.98	28.23	28.23

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

La Figura 6 muestra variación de la temperatura en los meses de, octubre, noviembre, diciembre y enero según tratamie ntos. Al iniciar el proceso

de compostaje (octubre) la temperatura fue menor en todos los tratamientos, y fue incrementándose en noviembre, diciembre en los tratamientos T₂, T₃, T₄. Sin embargo, en el tratamiento T₅ solo en el primer mes (octubre) la temperatura fue menor y en el segundo mes (noviembre) fue mayor fue reduciéndose en los meses siguientes (diciembre y enero). La menor temperatura en el primer mes (octubre) del proceso de compostaje se explica porque la fase termófila (< 45 °C) habría tenido lugar en los primeros días, entre los 5 y 8 días, tiempo que no se evaluó la temperatura, cundiendo con VALLESTEROS *et al.* (2018) que determinaron fase termófila en los días 2-5 (45,2-48,4°C) y entre los días 16 y 30 la temperatura fluctuó fue entre 27 – 29 °C. también los reportes de TIQUIA *et al.* (2002), mostraron en el compostaje la fase termófila (T^o<45) en los primeros días, OVIEDO (2014) reporto temperaturas con valores cercanos a los 40 °C entre los 8 y 14 días después de iniciarse el compostaje.

El inicio de la actividad microbiana se da en los primeros días donde los materiales fácilmente biodegradables, como azúcares, grasas, almidón y proteínas, producen el aumento de la actividad, esto genera un incremento gradual de la temperatura. Según ESCOBAR *et al.* (2014) encontraron que la temperatura de algunos tratamientos entre los 30 y 35 días fluctuó de 28 a 30 °C. Sin embargo, se han descrito temperaturas más altas en el proceso de compostaje en pilas voluminosas, y la menor temperatura reportado en este estudio se explicaría a las pilas pequeñas (50 kilos) en este experimento, según FAO (2013) la fase mesófila dura pocos días (entre dos y ocho días).

También creemos que la aplicación del agua y el volteo de las pilas explican las temperaturas menores respecto a otros trabajos obtenidos.

Según VILLAR (2017) la fase mesófila es la inicial (desde la temperatura ambiental hasta los 45 °C): comienza la degradación de los compuestos más fácilmente biodegradables, como azúcares, grasas, almidón y proteínas. Fase termófila (45-70 °C): a medida que se eleva la temperatura los organismos adaptados a temperaturas altas reemplazan a los organismos mesófilos. Fase de enfriamiento: el agotamiento de los materiales fácilmente biodegradables conlleva la disminución de la actividad microbiana. Fase de maduración: el material orgánico se estabiliza, predominando los procesos de degradación de los compuestos más recalcitrantes y la polimerización de sustancias similares al humus. Según BUENO y DIAZ (2008), la fase mesófila inicial ($T < 45^{\circ}\text{C}$), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$); y la fase mesófila final; considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial.

Según CHIUMENTI *et al.* (2005) en general se observa un comportamiento típico de temperatura del proceso de compostaje, con fases secuenciales mesofílica ($< 45^{\circ}\text{C}$), termofílica ($> 45^{\circ}\text{C}$), enfriamiento (o segunda mesofílica) y maduración (T ambiente). Según BERNAL *et al.* (2009) el exceso de temperatura por encima de los 70 °C no deseable ya que puede provocar la muerte de la mayoría de los microorganismos.

Durante el proceso de compostaje se lleva a cabo una compleja sucesión de poblaciones de microorganismos, y según LAICH (2011) el proceso de compostaje está en función de la evolución de la temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de oxígeno, contenido de agua, pH y acumulación de compuestos antibióticos además según CARIELLO *et al.* (2007). de las poblaciones de organismos las más importantes son: bacterias, actinomicetos y hongos filamentosos.

La temperatura es un indicador de la actividad microbiana, cuando esta se incrementa, las poblaciones microbianas son reemplazadas por otras mejor adaptadas. La etapa termófila es la más importante, aquí se genera la proliferación de bacterias y hongos presentes en los residuos en estado latente, en temperaturas de 45°C a 75°C, es necesario mantener una buena aireación para condiciones aerobias, así como una humedad cercana a 50% base húmeda (%Hbh) que permita la presencia de los microorganismos descomponedores (LAICH, 2011).

VALLESETROS *et al.* (2018) reporto mayor presencia de bacterias en la fase termófila, los hongos tienen una baja tolerancia a las altas temperaturas, según FAO (2006) se dan cuatro fases del crecimiento microbiano: latencia, de crecimiento o exponencial, estacionaria y de muerte, sin embargo, en esta investigación no se evaluaron estas variables. La dinámica de las fases de la temperatura también está en función del material orgánico utilizado y la aireación en la descomposición según los reportes de JIANG *et al.* (2011) la

fase mesofílica y termofílica fue a los pocos días y está en función de los materiales biodegradables. Según DE GUARDIA *et al.* (2008) la temperatura incrementa y decrece más rápido a mayores tasas de aireación,

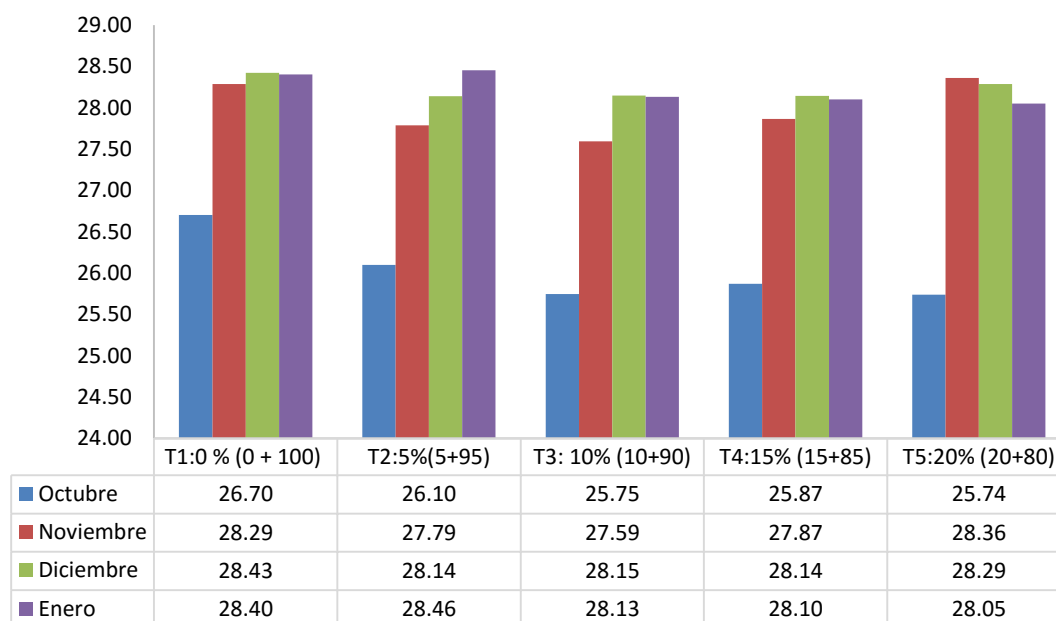


Figura 6. Variación de temperatura en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero según tratamientos.

La Figura 7 muestra la correlación entre los niveles de zeolita y la temperatura en cuatro meses de evaluación, octubre (primer mes), noviembre (segundo mes), diciembre (tercer mes) y enero (cuarto mes), en proceso de compostaje. En el primer mes de evaluación (octubre) es decir a los 30 días de pues de iniciarse el proceso de compostaje presento los promedios más bajos con una correlación positiva y alto coeficiente de correlación $r=0.85$ el que se interpreta y quiere decir que el 85 % de la variación de la temperatura es atribuido a los niveles de compost (gallinaza) aplicados en cada tratamiento, la ecuación de regresión que mejor se ajustó a los valores evaluados es lineal y

directa $T^{\circ}=0.0431X+22.156$ de acuerdo con esta ecuación por cada unidad que se incrementa el compost, se verá afectada la temperatura incrementándose en 0.0431 unidades.

Por lo tanto los niveles más altos de compost ha producido mayores temperaturas es decir al incrementarse los niveles de compost también se incrementó la temperatura en todo los meses a excepción de (noviembre), por lo tanto la causa del incremento de la T° sería la disponibilidad del compost como sustrato para los microorganismos fácilmente biodegradable, es decir los microorganismos tienen a su disponibilidad fuente de energía (carbono) fácilmente accesible y al alimentarse incrementan su población y con ello la temperatura.

La mayor temperatura de la fase termófila debió darse en los días 4 y 6 que no se evaluaron, y luego a los días 30 (octubre) bajó, según CHIUMENTI *et al.* (2005) son cuatro las fases del compostaje mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración. ESCOBAR *et al.* (2011) mesofílica en el día 5, termofílica en el día 15 a 20, enfriamiento entre los días 30 – 50 y maduración entre los días 110-120. Según BUENO y DIAZ (2008), el indicador más claro de la actividad microbiana es el incremento de la temperatura como consecuencia del sustrato como alimento.

El segundo mes (noviembre) la correlación no fue significativa con una tendencia inversa, con un coeficiente de correlación $r=0.14$. En diciembre

(tercer mes) y enero (cuarto mes), la correlación entre los niveles de compost y la temperatura en proceso de compostaje fue positiva con un coeficiente de correlación $r=0.34$ y $r=0.89$ respectivamente (Figura 7).

Estos valores quieren decir que el 0.125 y 0.802 % de la variación de la temperatura es atribuido a los niveles de compost (gallinaza) en los meses de diciembre y enero respectivamente. La ecuación de regresión que mejor se ajustó a los valores evaluados en diciembre (tercer mes) y enero (cuarto mes) fue lineal y directa $T^{\circ}=0.0054X+27.747$ y $T^{\circ}=0.0211X+26.334$ respectivamente, de acuerdo a la ecuación y coeficiente de regresión, por cada unidad que se incrementa el compost, se verá afectada la temperatura incrementándose en 0.0054 y 0.0211 respectivamente.

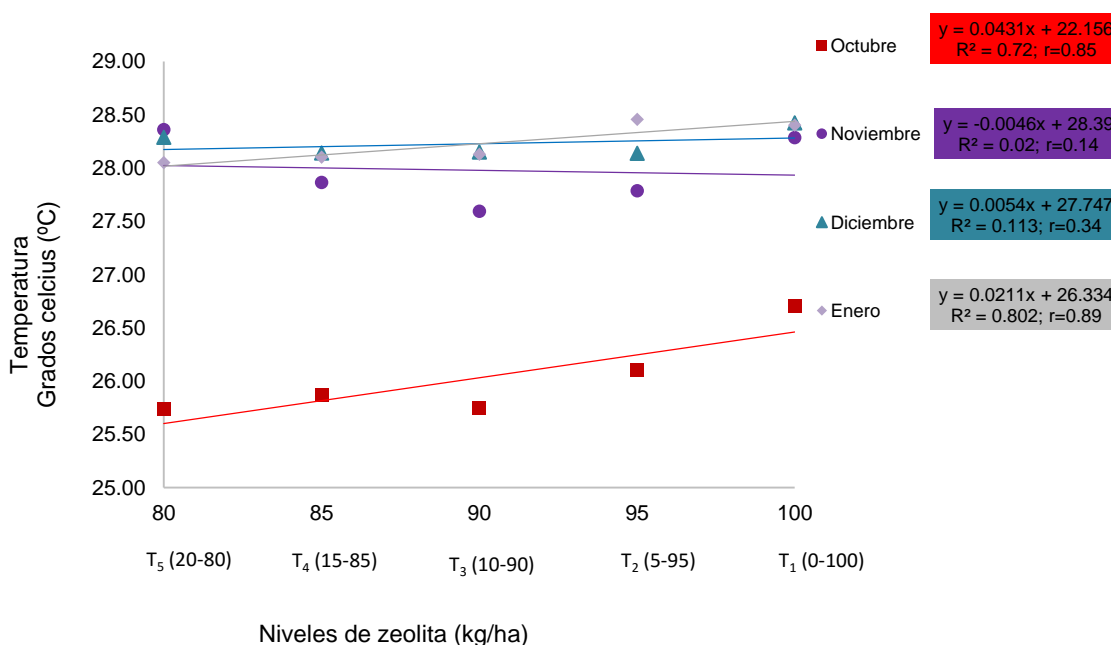


Figura 7. Correlación entre los niveles de zeolita y la temperatura en cuarto meses

V. CONCLUSIONES

1. La zeolita-tectosilicato durante la preparación del abono orgánico no ha producido efectos estadísticamente significativos en la retención del nitrógeno amoniacal y nitratos. La aplicación de 5 % de zeolita incrementa el pH hasta un valor de 9.28, lo que sugiere que podría tratarse de una zeolita sódica.
2. La aplicación de la mezcla de zeolita-tectosilicato más compost, T2 (Zeolita 5% + compost 95%), ha producido estadísticamente la mayor respiración microbiana.
3. Durante la elaboración del abono orgánico la producción de CO₂ (respiración microbiana) se ha reducido con el incremento de los niveles de la zeolita (correlación negativa).
4. Al incrementarse los niveles de compost (mezclado con zeolita) durante la elaboración de compost, se incrementa la respiración microbiana, con una correlación positiva.
5. Se determinó la variación de la T^o en la fase mesófila (37.54), termófila (41.48), y enfriamiento (27.62) de la preparación del compost. La menor temperatura promedio se reportó en el segundo mes (27.98°C), y la mayor temperatura fueron iguales el resto de los meses con 28.23°C.

VI. RECOMENDACIONES

1. Las fuentes de zeolita-tectosilicato debe aplicarse mezclado con compost durante el proceso de producción de abonos orgánicos, para evitar la pérdida de nitrógeno amoniacal y nitratos (NH_4^+ , NO_3^-), incrementar el pH, manteniendo un adecuado balance del carbono y nitrógeno.
2. Emplear la zeolita-tectosilicato, en una proporción no superior a 5 % (T_2) mezclado con el compost en el compostaje, para mejorar la respiración microbiana y contribuir con el incremento de la calidad del compost producido.
3. La evaluación de la temperatura debe realizarse entre los días dos y cuatro para identificar y controlar temperaturas exageradas en la fase termófila. En los días siguientes la temperatura disminuye.
4. Realizar más trabajos investigación con aplicación de zeolita caracterizada, identificando su composición mineralógica y evitando la saturación de impurezas.
5. Evaluar la calidad del compost producido después de la fase de maduración, donde posiblemente la zeolita mostraría efectos significativamente favorables en la calidad de compost producido.

VII. RESUMEN

El estudio fue realizado entre septiembre del 2016 y enero del 2017, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Leoncio Prado-Huánuco. Los objetivos fueron: Determinar la influencia del tectosilicato-zeolita en la retención de nitrógeno durante la preparación de abono orgánico. Determinar el efecto de la zeolita y compost en la producción de CO₂ (respiración microbiana). Determinar las variaciones de T^o en elaboración del compost. En diseño completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos en cuatro repeticiones.

Los resultados, muestran que la zeolita-tectosilicato durante la preparación del abono orgánico no ha producido efectos significativos en la retención del nitrógeno amoniacal y nitratos, además la aplicación de 5 % de zeolita incrementa el pH hasta 9.28. La aplicación de la mezcla de zeolita-tectosilicato más compost, T2 (Zeolita 5%+compost 95%), ha producido estadísticamente la mayor respiración microbiana. Durante la elaboración del abono orgánico la producción de CO₂ (respiración microbiana) se ha reducido con el incremento de los niveles de la zeolita (correlación negativa). Al incrementarse los niveles de compost (mezclado con zeolita) durante la elaboración de compost, se incrementa la respiración microbiana, con una correlación positiva. Se determinó la variación de la T^o en la fase mesófila (37.54), termófila (41.48), y enfriamiento (27.62) de la preparación del compost. La menor temperatura promedio se reportó en el segundo mes (27.98°C), y la mayor temperatura fueron iguales el resto de los meses con 28.23°C.

Palabras clave: Adsorción, tectosilicato, termófilo, mesófilo.

ABSTRACT

The study was conducted between September 2016 and January 2017, at the National Agrarian University of La Selva, Leoncio Prado-Huánuco. The objectives were: To determine the influence of tectosilicate-zeolite on nitrogen retention during the preparation of organic fertilizer. Determine the effect of zeolite and compost on the production of CO₂ by microbial respiration. Determine temperature variations during compost preparation. In a completely randomized design (DCA), with five treatments in four repetitions.

The results show that the zeolite-tectosilicate during the preparation of the organic fertilizer has not produced significant effects on the retention of ammoniacal nitrogen and nitrates, in addition the application of 5% zeolite increases the pH to 9.28. The application of the mixture of zeolite-tectosilicate plus compost, T2 (Zeolite 5% + compost 95%), has statistically produced the greatest microbial respiration. During the production of the organic fertilizer, the production of CO₂ (microbial respiration) has been reduced with the increase in zeolite levels (negative correlation). As the levels of compost (mixed with zeolite) increase during compost processing, microbial respiration is increased, with a positive correlation. The variation of the T^o in the mesophilic phase (37.54), thermophilic (41.48), and cooling (27.62) of the compost preparation was determined. The lowest average temperature was reported in the second month (27.98°C), and the highest temperature were the same the rest of the months with 28.23°C.

Keywords: Adsorption, tectosilicate, thermophilic, mesophilic.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ADAMS, J.D. y FROSTICK, L.E., 2007.- Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation an experimental system. *Bioresource technology*. 99: 1097-1102.
2. ÁLVAREZ J. 2008. Manual de compostaje para agricultura ecológica. (en línea):(http://www.juntadeandalucia.es/agricultuaypesca/portal/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/produccionecologica/produccion/boletines/boletin_compostajecompleto.pdf, Consultado, 09 de junio. 2019].
3. ÁLVAREZ, L., MÚNERA, V., NIVIA, D., RAMÍREZ, R. y GUTIÉRREZ, C. 2010. Efectos de la zeolita natural en la producción de cebolla puerro (*Allium porrum* L.). Trabajo de Grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 60 p.
4. ANDERSON, J.; INGRAM, J. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Second edition. Cab international. Wallingford, UK. 62
5. BAZAN, R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos plantas y aguas Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 69 p
6. BALDOTTO, MA; BALDOTTO, LE. 2014. Ácidos húmicos *Ceres* vol.61 supl Viçosa Brasil..http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x2014 61000011.
7. BERNARDI, A.C.C., WERNECK, C.G., HAIM, P.G., REZENDE, N.G.A.M., PAIVA, P.R.P., MONTE, M.B.M. 2008. Crescimento enutrição

mineral do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. Revista Brasileira de Fruticultura 30: 794-800.

8. BERNAL MP, PAREDES C, SAÂNCHEZ-MONEDERO MA, CEGARRA J. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. Bioresour Technol. 1998; 63: 91±99.
9. BISH, D. y MING, W. 2001. Natural zeolites: occurrence, properties, applications.: David L. Editors, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2001, Vol. 45, 662 p. Mineralogical Society of America and the Geochemical Society, Washington, D.C. 87 (11-12): 1737-1738.
10. BOSCH, G. P. e I. Schiffer. (2001). La zeolita. Una piedra que hierve. La Ciencia para Todos. Ed. Fondo de Cultura Económico, segunda edición, México.
11. BUENO, P., DIAZ, M. 2008. Factores que afectan al proceso compostaje. 1ed. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos 97 p.
12. BUTLER, T.A., L.J. Sikora, P.M. Teeinhilber, y L.W. Douglass. 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. J. Environ. Qual. 30:2141-2148
13. CALZADA, B. 1970. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídico. Lima, Perú. 643 p.
14. CANALES, M. (2010). Evaluación de técnicas para acelerar el compostaje de rastrojo vegetal y estiércol de vacuno en el centro modelo de

tratamiento de residuos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Tesis de grado. Lima, Perú.

15. CARIELLO, M., CASTAÑEDA, L., RIOBO, I., & GONZÁLEZ, J. 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos., R.C. Suelo Nutr. Veg, Vol. 7, No. 3, 2007, pp. 26–37.
16. CARTER, M.R., 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agron. J. 94, 38-47.
17. CARIELLO, M., CASTAÑEDA, L., RIOBO, I., & GONZÁLEZ, J., 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos., R.C. Suelo Nutr. Veg, Vol. 7, No. 3, 2007, pp. 26–37.
18. CONTRERAS, F., J. PAOLINI y C. RIVERO. 2006. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la cinética de la mineralización del carbono en suelos del municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 31: 37-52
19. CELAYA M., H. Y A. E. CASTELLANOS V. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. Terra Latinoamericana 29: 343-356.
20. CHAVARRÍA N., TAPIA A., SOTO G., VIRGINIO E. 2012. Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. Revista InterSedes 8(26):85-105.

21. CHICA TORO, F. J., L. M. LONDOÑO BENÍTEZ Y M. I. ÁLVAREZ HERRERA. 2006. La zeolita en la mitigación ambiental. Rev. Lasallista Inv. 3: 30-34.
22. CHIUMENTI A., CHIUMENTI R., DIAZ L.F., SAVAGE G., EGGERTH L. Y GOLDSTEIN N. 2005. Modern composting technologies. Biocycle. Journal of Composting Organics Recycling. Singapore, 96 pp.
23. COLOMBANI, N., MASTROCICCO, M., DI GIUSEPPE, D., FACCINI, B., Y COLTORTI, M. (2015). Batch and column experiments on nutrient leaching in soil amended with Italian natural zeolites. Catena 127.
24. COLLING, H., DELGADO, A. y ALVA, K. 2007. Use of nitrogeno 15 isotopic techniques to estimate nitrogen cycling from a mustard cover crop to potatoes. Agronomy Journal. 99, 27 - 35.
25. CÓRDOBA C. 2006. Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. [en línea]. Chile, 56 p. (http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2006/cordova_c/sources/cordova_c.pdf, Consultado, 09, jun. 2012)
26. COMISIÓN EUROPEA, 2006. Dirección General de Política Regional. Orientación Sobre la Metodología para Realizar análisis de costo beneficio. [en línea]. Bruselas, 33 p. http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/doc_offic/2007/working/wd4_cost_es.pdf, consultado, 15 nov. 2019)

27. DE GUARDIA A., PETIOT C., ROGEAU D. Y DRUILHE C. 2008. Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. Waste Manage. Alemania 28, 575-587. (1), 64 – 71.
28. DE CAMPOS BERNARDI, A. C., ANCHÃO OLIVIERA, P. P., DE MELO MONTE, M. B., y SOUZA-BARROS, F. 2013. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. Microporous and Mesoporous Materials. biologist, Brazil. 167 (2), 16 - 21.
29. DELGADO, J., FOLLET R. y SHAFFER, J. 2000. Simulation of nitrate nitrogen dynamic for cropping systems with different rooting depth. Soil Science Society American Journal. 64 (3), 1050 - 1054.
30. DING, Y., ALPAY, E., 2000. Equilibria and kinetics of CO₂ adsorption on hydrotalcite adsorbent. Chemical Engineering Science. EEUU 55(17). 3461-3474.
31. DIVITO, G., SAINZ, H., ECHEVERRÍA, H., STUDDERT, G., Y WYNGAARD, N. 2011. Long term nitrogen fertilization. Soil Science. EEUU. 84(1):21-32
32. ESCOBAR, F., PONCE, JS., AZERO, M. 2012. property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. Soil Till. Res. Argnetina. 114 (2),117.
33. ESCOBAR, F., SÁNCHEZ, J., AZERO, M. 2001. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. ACTA NOVA; Vol. 5, Nº 3, marzo 2012, pp. 390-410, ISSN: 1683-0768.

34. FAO, 2013. Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina. Román, P. Martínez, M. Pantoja, A. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. 112. p.
35. FAO, Food and Agriculture Organization., Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible, Integración cultivo-ganadería, 2006, pp. 1–28. (En línea).(http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/li/livestock.pdf, Consultado, Jul. 2019, pdf)
36. FEBLES, J., BORSATTO, F. y SOCA, M. 2014. Fercel- Clinoptilolite natural product to optimize the fertilization and reduce environmental pollution p156-160. En: Memorias16thWorld Fertilizer Congress of CIEC. Technological Innovation for a Sustainable Tropical Agriculture. Río de Janeiro, Brasil.
37. FILCHEVA EG, TSADILAS CD. 2002. Influence of Clinoptilolite and compost on soil properties. Commun Soil Sci Plan;33:95-607.
38. FLANIGEN, M. 1993. Crystal structure and Chemistry of natural zeolites: International Committee on Natural Zeolites: Mineralogy and geology of natural zeolites, New York . F.A. Mumpton Ed., Pp. 17 – 42.
39. FLOREZ, A., GALVIS, A., HERNÁNDEZ, T., DE LEÓN, F., Y PAYÁN, F. (2007). Efecto de la adición de zeolita clinoptilolita y mordenita en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el rendimiento de avena. Interciencia , Colombia. 32 (10): 692 – 696.

40. FLORENCIA, M. 2012. Estudio de zeolitas procedentes de depósitos argentinos. Aspectos tecnológicos que posibiliten su aplicación en agroindustria y contralor ambiental. Tesis Doctoral, Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de la Plata Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Química. 185 p.
41. FOWLER, D., COYLE, M., SKIBA, U., SUTTON, M.A., NEIL CAPE, J., REIS, S., SHEPPARD, L.J., JENKINS, A. GRIZZETTI, B., GALLOWAY, J.N., VITOUSEK, P., LEACH, A., BOUWMAN, A.F., BUTTERBACH-Bah, K., DENTENER,F., STEVENSON, D. y AMANN, M. 2013. The global nitrogen cycle in the twenty first century. Philosophical Transactions of The Royal Society B 368: 20130164 consulta. 22 p.
42. FINCK, A. 1992. Fertilizers and their efficient use'. En: Halliday, D. J., Trenkel, M. E. y Wichmann, W. IFA World Fertilizer Use Manual. Paris,France, Publisher International Fertilizer Industry Association. Paris, France, 162 p.
43. FLOREZ, A., GALVIS, A., HERNÁNDEZ, T., DE LEÓN, F., PAYÁN, F. 2007. Efecto de la adición de zeolite (clinoptilolita y mordenita) en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el rendimiento de avena. Interciencia. Mexico. 32(10):692 - 696.
44. FUGII, S. (1974) Heavy metal adsorption by pulverized zeolites: Japan. Koai. 74,079,849, Aug. (1). 32p.
45. GARCÍA, C.H. 2010. La aplicación de zeolita en la producción avícola. RIAA. Bogotá, Colombia. 1: 17-23.

46. GARCÍA, A. y RIVERO, C. 2008. Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelerero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (Maracay). Valencia, Venezuela. 34: 215-229.
47. GARCIA, C. GIL_SOTRES, F. HERNANDEZ, T. TRASAR-CEPEDA, C.A 2003. Tecnicas de analisis de parámetros bioquimicas en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi prensa, Madrid. 371 p.
48. GABRIEL, P., LOZA-MURGUÍA, M., MAMANI, F., SAINZ. H. 2011. Efecto de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Selva Andina Res. Soc. Carmen Pampa, Bolivia. 2: 24-39.
49. GUERRERO, PL., QUINTERO, R., ESPINOZA, V., BENEDICTO, GS., SÁNCHEZ, M. 2012. Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus. Rev. Terra. Latinoamericana, Ciudad de Mexico, México 30: 355-362.
50. GIANNETTO PACE G., MONTES RENDÓN A., RODRIGUEZ FUENTES G., 2000. Zeolitas Características, Propiedades y Aplicaciones Industriales, Innovación Tecnológica, Caracas, Venezuela. 55 P.
51. GONZÁLEZ, M., GÓMEZ, N., MUÑIZ, J., VALENCIA, F., GUTIÉRREZ, D., Y FIGUEROA, H. 2012. Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. Rev. Mex. Cienc. Agríc. Mexico. 36(1): 1129 – 1144.

52. GHOLAMHOSEINI, M., GHALAVAND, M., KHODAEIJOGHAN, A., DOLATABADIAN, A., ZAKIKHANI, H. y FARMANBAR, E. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil Tillage Research. Iran.* 126:193 - 202.
53. GOH, S., YOU, Z., VAN DAM, T.J. 2007. Laboratory Evaluation and Pavement Design for Warm Mix Asphalt". *Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Center for Transportation Research and Education. Iowa State University, Ames, Iowa. United States* 4 p.
54. HATCH, D., GOULDING, K., MURPHY, D. 2002. Agriculture: Potential source of water pollution, Nitrogen, pp 7-8. En: P. M. Haygarthy S. C. Jarvis (eds). *Agriculture, hidrology, and Water Quality. Primera edición. Cromwell Press. Trowbridge UK.* 493p.
55. HE, Z. L., CALVERT, D. V., ALVA, A. K., LI, Y. C., y BANKS, D. J. 2002. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil. Florida, United stated.* 247(2):253-260.
56. HE, N., XE, M., DING. Y. 2008. Computational study on IM-5 zeolite: What is its preferential location of Al and proton siting? *Microporous and Mesoporous Materials. Florida, United stated* 111(1-3):551 - 559.
57. HERNÁNDEZ, T. y GARCÍA, C. 2003. Estimación de la respiración microbiana del suelo. En: *Técnicas de análisis de parámetros*

bioquímicos en suelos: medidas de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi-Prensa. Madrid. 35 p.

58. HIREL, B., TÉTU, T., LEA, P., DUBOIS, F. 2011. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability*. 3:1452 - 1485.
59. INGLEZAKIS, V., M. LOIZIDOU, H., GRIGOROPOULOU. 2004. Ion exchange studies on natural and modified zeolites and the concept of exchange site accessibility. *Journal of Colloid and Interface Science*. Atenas, Grecia. 275:570-576.
60. ISAZA-ARIAS, G. C., M.A. PÉREZ-MÉNDEZ, J. R. LAINES-CANEPA Y G. CASTAÑÓN-NÁJERA. 2009. Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y Ciencia* 25: 233-243.
61. JARAMILLO, G., ZAPATA L. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Posgrado. Antioquia. Universidad de Antioquia. 116 p.
62. JIANG T., SCHUCHARDT F., LI G., GUO R. Y ZHAO Y. (2011). Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *J. Environ. Sci.* 23, 1754-1760.
63. JOHN, C., DEL VALLÍN, G., MORRERO, V., MUÑIZ, O., BELTRÁN, R., SOTLONGO, J., GIL, R., DELGADO, N. y CHONG, D. 2001. Generalización del empleo de la zeolita, como aditivo de la urea en cultivos de importancia económica, pp 193-195. En: *Producción de*

- cultivos en condiciones tropicales (ISBN: 959-7111- 04-7). Primera edición. Instituto de Investigaciones Hortícolas. Quivicán, Cuba, 280p.
64. KOCAKUSAK, S., SAVASC I.Ö., TVEAOK, T. 2001. Dogal Zeolitler ve Uygulama Alanlari. TÜBITAKMAM, Malzeme ve Kimya Tek. Arp. Enst., Rapor No: KM 362, Proje No: 5015202, P.K.21, Gebze, Turquía. 21 p.
65. LAICH, F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje., Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad del Suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. 21 de octubre de 2011, Santa Cruz de Tenerife, España. 7 p.
66. RUBÉN LÓPEZ, R. GUILLERMO GONZÁLEZ, G. VÁZQUEZ, RE. OLIVARE, E. VIDALES, JA. CARRANZA, R. CARRANZA, M. 2014. Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. México. Núm. 8 16, 10 p.
67. MA, X., WANG, H., WANG, H., O'BRIEN-ABRAHAM, J., LIN, S. 2015. Pore structure characterization of supported polycrystalline zeolite membranes by positron annihilation spectroscopy. J. Memb. Sci.. Arizona, United Stated. 477 (1), 41– 48.
68. MORANTE, F., RAMOS, V., MONTALVAN, J., GUERRERO, J. 2015. Obtención de Zeolita Sintética Clinoptilolita en Condiciones de

Laboratorio. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 18, N. 1, 113-118, ISSN. Guayaquil, Ecuador. 0257-1749.

69. MORENO, J. 2008. Compostaje. Editorial Mundi-prensa Libros. Madrid. España. 86 P.
70. NTE INEN 0226. 1978. Fertilizantes. Determinación del nitrógeno amoniacal y de nitratos. Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). INEN 226. 1977-02.
71. RAMESH,_K. AND DAMODAR, D. 2011. Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture. Indian Institute of Soil Science (ICAR), Nabibagh, Bhopal, Madhya Pradesh, India. 2(6): 251-262.
72. LUO, Y.; ZHOU, X. 2006. Soil respiration and the environment. Academic Press. Amsterdam, Netherlands. 2 (5): 125-135.
73. MUMPTON, A. y ORMSBY, C. 1976. Morphology of natural zeolites in animal science and aquaculture: J. Anim. Sel. 45, 1188-1203.
74. MUMPTON, A. y SAND, B. 1978. Natural zeolites: Ocurrence, Properties, Use, Pergamon Press, p. 135-143.
75. MUMPTON, A. 1978. Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Uses, L. B. Sand and F.A. Mumpton Eds., Pergamon Press, Elmsford, New York.
76. NAVARRO, S., NAVARRO, G. 2003. Química Agrícola. El Suelo y los elementos químicos esencias Para La Vida Vegetal. Mundi-Prensa Libros. España. 86 p.

77. OLGIJIN, M. F. 2002. Regeneración de zeolita clinoptilolita empleada para la remoción de amonio. tesis, para obtener el título de Químico. Universidad Autónoma del estado de México, Mexico 71 p.
78. OPS (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD). 1999. Manual para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales. Colombia. 98 p.
79. OSORIO, N.W. 2014. Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Segunda edición. Vieco L. S.A.S., Medellín. 401 p.
80. OSORIO, W. y CASAMITJANA, M. 2011. Toma de muestras de suelo para evaluar la fertilidad del suelo. Suelos Ecuatoriales. Ecuador 41(1):23 - 28.
81. OSUNA, E. S., RAMÍREZ, A., PAREDES, R., PADILLA, J.S., Y BÁEZ, A. D. 2012. Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea e inoculación micorrizica en el cultivo de trigo. Rev. Mex. Cienc. Agríc. México. 3 (6), 1101 – 1113.
82. OVIEDO, ER. MARMOLEJO, LF. TORRES, P. 2014. influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. Contam. Ambie. Colombia 30 (1) 91-100, 2014
83. PAZ I., SÁNCHEZ DE P.M., SADEGHIAN, S. 2006. Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades del suelo en la meseta de Popayán, CO. Acta Agronómica. El Cauca, Colombia. 54(4):1-6.

84. PEREZ, H., RODRIGUEZ, I., ARZOLA, N., 2015. Aprovechamiento Sostenible de Los Residuos de Origen Orgánico y la Zeolita en la Agricultura. Primera edición 2015, Ediciones utmach. Ecuador. 248p.
85. PERRY. R. H, GREEN. D. W AND MALONEY. J. O, PERRY'S, 1997. chemical engineers' handbook; 7th ed; McGraw-Hill: New York, United States 1997.
86. PHAM, T-H., LEE, B-K, KIM, J., LEE C-H., 2016. Enhancement of CO₂ capture by using synthesized nano-zeolite. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 64. 220–226.
87. PICKERING, H.W., MENZIES, N.W. AND HUNTER, M.H. 2002. Zeolite/rock phosphate a novel slow release phosphorous fertilizers for potted plant production. Scientia Horticulturae. Australia. 94: 333-343.
88. POOLE, C. y PRIJATAMA H. 2001. Natural and synthetic zeolites; a review. Leeds University Mining Association Journal 2001. 117 p.
89. QUEROL X., UMANA J.C., PLANA, F., ALASTUEY, A., LÓPEZ SOLER A., MEDINACELI, A., VALERO, A., DOMINGO, M.J., GARCÍA, E. 2001. Synthesis of Na zeolites from Flay Ashin a Pilot Plant Scale. Examples of Potential Environmental Applications. Fuel.2001;(80): 857-865
90. LAICH, F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje., Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad del Suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. Instituto

Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. 21 de Octubre de 2011, Santa Cruz de Tenerife, España. pp. 1-7.

91. LEWIS, M.D., MOORE, F.D., GOLDSBERRY, K.L. 2003. Ammonium exchanged Clinoptilolite and granulated Clinoptilolite with urea as nitrogen fertilizers. Zeo-Agriculture. Boulder, Colorado. Westview Press. 2003;105-11.
92. RABAI, K. A., AHMED, O.H., KASIM, S. 2013. Use of formulated nitrogen, phosphorus and potassium compound fertilizer using clinoptilolite zeolite in maize *Zea mays* L. cultivation. Emir. J. Food Agric. 25(9), 713 – 722.
93. MINATO, H. 1997. Standardization of methods for zeolite speciality determination and technique for zeolite resources utilization. Natural Zeolites. Sofia '95. Ed. Kirov G. et al. 1997. pp. 282-292.
94. GIANNETTO, G., MONTES, A., RODRÍGUEZ, G. 2000. Zeolitas: Características, Propiedades y Aplicaciones Industriales, Editorial Innovación Tecnológica Caracas, Venezuela, pp. 28-131.
95. RODRÍGUEZ, D. 2011. Estación depuradora de aguas residuales y planta de compostaje de ASPE. [Documento en línea]. España: Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. [Consultado el 09 de junio de 2012]. Formato PDF. Disponibilidad libre: <<http://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/>
96. RODRIGUEZ, M. 2016. Evaluación de la capacidad de adsorción de NH_4 + Y metales pesados Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} empleando

- zeolitas naturales y sintéticas. Tesis, Maestro. Universidad Nacional de San Agustín Escuela de Postgrado. Perú. 195 p.
97. RODRÍGUEZ, M.B. y GATTI, J.P. 2010. Zeolitas como mejoradoras de la respuesta de la soja a los residuos de feedlot (CD). En: Memorias XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Rosario. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
 98. SADEGHBEIGI, 2000. Fluid catalytic cracking handbook. Design, operation and troubleshooting of FCC facilities. Butterworth-Heinemann.
 99. SÁNCHEZ, S., G. CRESPO, M. HERNÁNDEZ Y Y. GARCÍA. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. Pastos Forrajes 31: 99-108.
 100. SÁNCHEZ, J. E., HARWOOD, R. R., WILLSON, T. C., KIZILKAYA, K., SMEENK, J., PARKER, E., PAUL, E. A. KNEZEK, B. D., ROBERTSON, G. P. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. Agron. J. 96, 769-775.
 101. SANABRIA-LEÓN, R., L. CRUZ-ARROY, A. RODRÍGUEZ, Y M. ALAMEDA. 2007. Chemical and biological characterization of slaughterhouse wastes compost. Waste Manage. 27:1800-1807
 102. SEMMONS, M. J. AND SEYFARTH, M. 1978. The selectivity of clinoptilolite for certain heavy metals: in Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Use, L. B. Sand and F. A. Mumpton, ed., Pergamon Press, Elmsford, New York, 51-7526.

103. STUART, D., SCHEWE, R., Y MCDESRMOTT, M. (2014). Reducing nitrogen fertilizer application as a climate change mitigation strategy: understanding farmer decision-making and potential barriers to change in the US. *Land Use Policy* 36(1), 210 – 218.
104. SCHUCHARDT, F. 2005. Composting of organic waste. En: H.J. Jordening, y J. Winter, editores, *Environmental biotechnology. Concepts and applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. kGaA, Weinheim, Germany. p. 333-354.
105. J. V. SMITH, 2000. *Microporous and Other Framework Materials with Zeolite-Type Structures, Subvolume A: Tetrahedral Frameworks of Zeolites, Clathrates, and Related Materials*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
106. SOUZA H., DE GOEDE R., BRUSSAARD L., CARDOSO I., DUARTE E., FERNANDES R., GOMES L., PULLEMAN M. 2012. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic rainforest biome. *Agriculture Ecosystems and Environment* 146:179-196
107. TAFTEH, A. y REZA, A. 2012. Application of Hydrus-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. *Agricultural Water Management*. 113:19 - 29.
108. TORMA, S., VILCEK, J., ADAMISIN, P., HUTTMANOVA, E., Y HRONEC, O. (2014). Influence of natural zeolite on nitrogen dynamics in soil. *Turk. J. Agric. Forest.* 38(1), 739 – 744.

109. TIQUIA S.M., RICHARD T.L., HONEYMAN M.S. 2002. Carbon, nutrient, and mass loss during composting. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 62, 15-24.
110. URQUIAGA, S. y ZAPATA, F. 2002. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. EMBRAPA Porto Alegre. Brasil. 52- 53 p.
111. VALERIO, SG., QUINTERO, R., BACA, GA., QUISPE, AG., 2015. Captación de amonio en zeolita al incubar gallinaza y residuos de codorniz. *Terra Latinoamericana, Ecuador.* 34: 201-206:
112. BALLESTEROS, M., HERNÁNDEZ, M., GÓMEZ1, I., MAÑÓN, M. CARREÑO, M. 2018. Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *Centro Azúcar Vol 45, No. 1.* 18 p.
113. VENTO, M. 2000. Estudio sobre la Preparación del Compost Estático y su Calidad. [en línea]: Ecuador [<http://www.bibliociencias.cu/gzsd/collect/tesis/archives/HASH0144.dir/doc.pdf>, Consultado el 23 de mayo de 2019).
114. VELASCO, V., J. B. FIGUEROA, R. FERRERA, A. TRINIDAD Y J. GALLEGOS. 2004. CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana, Colombia.* 22: 307-316.
115. VEZZALINI, G. 1997. Abstract Book of 4th Euroworkshop on natural zeolites: Occurrence, Properties and Uses y 5th Int. Conf Natural Zeolites, FEZ A, Ischia, Italy. 63 p.

116. VILLAR, I. 2017. Estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos. Vermicompostaje como alternativa de tratamiento. Tesis de doctorado, Universidad de Vigo. Vigo, España. 194 p.
117. WANDER, M. M., WALTER, G. L., NISSEN, T. M., BOLLERO, G. A., ANDREWS, S. S., CAVANAUGHGRANT, D. A., 2002. Soil quality: Science and process. Agron. United, Stated. 94, 23 –32.
118. XU, G. 1990. Use of natural zeolite for ammonia removal in distilled water production. Shuichuli Jishu. Singapur, Asia. (16):456-459.
119. XU, R., PANG, W., YU, J., HUO, Q., CHEN, J. 2007, Chemistry of zeolites and related porous materials: synthesis and structure (Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd. Asia. 356 p.
120. ZUCCONI, F., DE BERTOLDI, M., 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste., in: De Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L’Hermite, P., Zucconi, F. (Eds.), Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science Publisher, London, Inglaterra. 20 p.

IX. ANEXO

Cuadro 9. Nitrógeno amoniacal y nitratos (%)

Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	0.55	0.49	0.51	0.55	0.53
T ₂ 5 % (5 + 95)	0.55	0.51	0.43	0.40	0.47
T ₃ 10% (10 + 90)	0.48	0.51	0.39	0.34	0.43
T ₄ 15% (15 + 85)	0.41	0.45	0.4	0.46	0.43
T ₅ 20% (20 + 80)	0.47	0.58	0.41	0.71	0.54

Cuadro 10. Nitrógeno total base seca

Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	1.81	1.6	1.68	1.8	1.72
T ₂ 5 % (5 + 95)	1.74	1.65	1.41	1.30	1.53
T ₃ 10% (10 + 90)	1.56	1.68	1.24	1.17	1.41
T ₄ 15% (15 + 85)	1.13	1.27	1.29	1.36	1.26
T ₅ 20% (20 + 80)	1.28	1.57	1.11	1.91	1.47

Cuadro 11. pH del compost

Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	8.90	8.92	9	9.11	8.98
T ₂ 5 % (5 + 95)	9.16	9.17	9.65	9.15	9.28
T ₃ 10% (10 + 90)	8.99	9.04	9.03	8.26	8.83
T ₄ 15% (15 + 85)	8.09	8.59	8.58	8.66	8.48
T ₅ 20% (20 + 80)	8.44	9.02	9.17	9.38	9.00

Cuadro 12. Materia orgánica base seca (%)

Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	27.18	17.54	9.83	13.55	17.03
T ₂ 5 % (5 + 95)	11.53	8.54	23.96	30.94	18.74
T ₃ 10% (10 + 90)	20.18	5.13	30.15	19.44	18.73
T ₄ 15% (15 + 85)	24.22	21.6	31.84	31.63	27.32
T ₅ 20% (20 + 80)	13.92	21.61	41.71	17.43	23.67

Cuadro 13. Respiración microbiana (CO₂ mg/g/día)

Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	1.28	1.35	1.14	1.51	1.32
T ₂ 5 % (5 + 95)	0.91	1.12	1.21	1.17	1.10
T ₃ 10% (10 + 90)	0.72	1.24	0.78	0.79	0.88
T ₄ 15% (15 + 85)	0.45	0.65	0.48	0.62	0.55
T ₅ 20% (20 + 80)	0.59	0.61	0.42	0.54	0.54

Cuadro 14. Temperatura promedio de la etapa mesófila registrado en la primera semana

Tratamientos	Septiembre				Promedio
	r1	r2	r3	r4	
T ₁ 0 % (0 + 100)	38.60	38.80	38.55	36.20	38.04
T ₂ 5 % (5 + 95)	37.25	37.50	37.10	38.35	37.55
T ₃ 10% (10 + 90)	37.45	37.50	38.00	37.65	37.65
T ₄ 15% (15 + 85)	37.25	37.50	37.40	37.15	37.33
T ₅ 20% (20 + 80)	37.25	37.05	37.05	37.20	37.14
Promedio					37.54

Cuadro 15. Temperatura promedio de la etapa termófila registrado en la segunda y tercera semana

Tratamientos	Octubre				Promedio
	r1	r2	r3	r4	
T ₁ 0 % (0 + 100)	43.54	42.42	42.28	39.60	41.96
T ₂ 5 % (5 + 95)	41.84	41.42	41.86	41.86	41.75
T ₃ 10% (10 + 90)	41.50	41.56	42.08	41.50	41.66
T ₄ 15% (15 + 85)	41.06	41.40	41.08	41.00	41.14
T ₅ 20% (20 + 80)	40.90	40.90	40.78	40.94	40.88
Promedio					41.48

Cuadro 16. Variación de la temperatura en etapa de enfriamiento de los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero después de la cuarta semana.

Octubre					
Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	26.82	26.85	26.81	26.33	26.70
T ₂ 5 % (5 + 95)	26.00	26.54	25.94	25.92	26.10
T ₃ 10% (10 + 90)	25.52	25.91	25.85	25.70	25.75
T ₄ 15% (15 + 85)	26.20	26.04	25.84	25.40	25.87
T ₅ 20% (20 + 80)	25.46	26.48	25.26	25.76	25.74
Noviembre					
Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	27.33	29.01	27.88	28.94	28.29
T ₂ 5 % (5 + 95)	26.89	29.36	26.84	28.06	27.79
T ₃ 10% (10 + 90)	27.46	27.28	27.79	27.85	27.59
T ₄ 15% (15 + 85)	28.69	27.16	27.66	27.95	27.87
T ₅ 20% (20 + 80)	27.20	28.64	28.13	29.49	28.36
Diciembre					
Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	28.2	28.9	28.3	28.3	28.4
T ₂ 5 % (5 + 95)	28.1	28.8	27.2	28.5	28.1
T ₃ 10% (10 + 90)	28.3	27.6	28.2	28.4	28.2
T ₄ 15% (15 + 85)	28.2	28.1	28.1	28.1	28.1
T ₅ 20% (20 + 80)	27.7	28.3	28.4	28.8	28.3
Enero					
Tratamientos	r1	r2	r3	r4	Promedio
T ₁ 0 % (0 + 100)	28.5	28.4	28.2	28.5	28.4
T ₂ 5 % (5 + 95)	28.6	28.8	27.8	28.6	28.5
T ₃ 10% (10 + 90)	28.4	27.8	28.1	28.3	28.1
T ₄ 15% (15 + 85)	28.1	28.1	28.0	28.2	28.1
T ₅ 20% (20 + 80)	27.9	27.9	28.3	28.1	28.1
Promedio de la etapa de enfriamiento					27.62

Cuadro 17. Detalles del costo de producción del experimento

GASTOS DE CULTIVO	U.M	Cantidad	Costo Unit.	Sub Total
Volteo de la pila	Jornal	20	25	500
Lectura de la temperatura en las pilas	Jornal	6	25	150
Mantenimiento de la humedad de las pilas	Jornal	6	25	150
				800
INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO				
Preparación y mezcla del compost	Jornal	5	25	125
Instalación de los tratamientos	Jornal	5	25	125
				250
INSUMOS Y MATERIALES				
Aserrín	Saco (50 kg)	14.5	5	72.4
Gallinaza	Saco (50 kg)	14.5	20	289.6
Tierra agrícola	Saco (50 kg)	3.1	8	25.2
Carbón	Saco (50 kg)	3.8	60	226.6
Melaza de Caña	Kg	11.5	5	57.5
Cal agrícola	Saco (25 kg)	11.6	2	23.2
Zeolita	Sacos (kg)	4	80	320.0
				1014.5
Análisis en laboratorio				
Nitrógeno amoniacal y nítrico	Unidad	20	30	600.0
pH	Unidad	20	5	100.0
				700.0
HERRAMIENTAS				
Palas	Unidad	2	25	50
Carretías	Unidad	2	120	240
Bidones	Unidad	2	30	60
Sacos	Unidad	10	3	30
Mantada	Unidad	4	20	80
Mano de Obra				460
				90
Total				2854.5