

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL**

UNIDAD DURANGO

APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO COCIDO PARA SU USO EN LA AGRICULTURA Y GANADERÍA

**Tesis que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental**

Presenta:

Dante L. Gurrola Armendáriz

Director: Dr. Jesús Herrera Corral

Codirector: M. en C. Vicente Hernández Vargas

Victoria de Durango, Dgo. agosto del 2016.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 29 de enero del 2015

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN Durango en su sesión Ordinaria No. 1 celebrada el día 13 del mes de enero conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

GURROLA
Apellido paterno

ARMENDÁRIZ
Apellido materno

DANTE L.
Nombre (s)

Con registro:

B	1	4	0	7	4	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
Aprovechamiento integral del bagazo de agave mezcalero cocido para su uso en la agricultura y ganadería

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:
Dr. Jesús Herrera Corral y M. en C. Vicente Hernández Vargas

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesina será elaborado por el alumno en:
El CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

Dr. Jesús Herrera Corral

Aspirante

M. en C. Vicente Hernández Vargas

Presidente del Colegio

Lic. Dante L. Gurrola Armendáriz

Dr. José Antonio Ávila Reyes



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 12:45 horas del día 2 del mes de junio del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Aprovechamiento integral del bagazo de agave mezcalero cocido para su uso en la agricultura y ganadería

Presentada por el alumno:

GURROLA

ARMENDÁRIZ

DANTE L.

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	1	4	0	7	4	1
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DR. JESÚS HERRERA CORRAL

M. EN C. VICENTE HERNÁNDEZ VARGAS

M. EN C. JOSÉ NATIVIDAD URIBE SOTO

DRA. LAURA SILVIA GONZÁLEZ VALDEZ

DRA. YOLANDA HERRERA ARRIETA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. JOSÉ ANTONIO ÁVILA REYES





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día **2** del mes de **junio** del año **2016**, el que suscribe **Dante L. Gurrola Armendáriz** alumno del Programa de **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental**, con número de registro **B140741**, adscrito al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. CIIDIR-IPN Unidad Durango**, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Jesús Herrera Corral** y del **M. en c. Vicente Hernández Vargas** y cede los derechos del trabajo titulado **Aprovechamiento integral del bagazo de agave mezcalero cocido para su uso en la agricultura y ganadería**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones dantwa_prn@hotmail.com, jhcorral@hotmail.com y vicehv@yahoo.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

DANTE L. GURROLA ARMENDÁRIZ

La presente investigación se realizó en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, bajo la dirección del Dr. Jesús Herrera Corral y el M. en C. Vicente Hernández Vargas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios.

Al CIIDIR-IPN Durango por darme la oportunidad de realizar mis estudios.

A mis directores de tesis el Dr. Jesús Herrera Corral y al M. en C. Vicente Hernández Vargas, por brindarme su apoyo en la realización de este trabajo y durante mi estancia en el CIIDIR.

A mi comité tutorial y revisor conformado por el M. en C. José Natividad Uribe Soto, la Dra. Laura Silvia González Valdez y la Dra. Yolanda Herrera Arrieta.

A la IBQ. Margarita Castillo por su apoyo para la realización de los análisis.

Al M. en C. Salomón Gómez jefe del laboratorio de alimentos.

A mis maestros por compartir sus conocimientos.

A mis compañeros de la décima generación de la maestría en gestión ambiental, por los momentos compartidos.

A mi familia por su apoyo incondicional.

ÍNDICE

	Páginas
Glosario	i
Abreviaturas y acrónimos	ii
Índice de Cuadros	iii
Índice de Figuras	v
Resumen	vi
Abstract	vii
I. Introducción	1
II Antecedentes	3
2.1 Generalidades del agave	3
2.2 Bagazo de agave mezcalero	4
2.3 Uso del bagazo en la agricultura	5
2.3.1 El suelo	5
2.3.2 Composta	10
2.4 Uso del bagazo en la ganadería	12
2.4.1 Ensilaje	12
2.4.2 Cubos nutrimentales	14
2.4.3 Consumo voluntario	15
III Justificación	20
IV Objetivos	21
V Hipótesis	22

VI Materiales y métodos	23
6.1 Bagazo	23
6.1.1 Recolección del bagazo	23
6.1.2 Caracterización del bagazo de agave	23
6.2 Uso del bagazo en la agricultura	23
6.2.1 Preparación de la composta	23
6.2.2 Caracterización de la composta	24
6.2.3 Muestreo del suelo	24
6.2.4 Análisis físico químico del suelo.	25
6.2.5 Evaluación de la composta	25
6.3 Uso del bagazo en la ganadería	27
6.3.1 Obtención del proceso del ensilado	27
6.3.2 Cubos nutritivos	28
VII Resultados y discusión	31
7.1 Uso del bagazo en la agricultura	31
7.1.1 Monitoreo de compostaje	31
7.1.2 Caracterización de la composta	32
7.1.3 Aporte nutritivo de los tratamientos	32
7.1.4 Evaluación en suelo con textura arenosa	32
7.1.5 Evaluación en suelo con textura arcillosa	38
7.1.6 Evaluación en suelo con textura franco-arcillosa	43
7.1.7 Comparación entre texturas	48

7.2 Uso del bagazo en la ganadería	53
7.2.1 Silos	53
7.2.2 Cubos nutrimentales	57
VIII Conclusiones	65
IX Bibliografía	67

GLOSARIO

Agregados del suelo: es el agrupamiento de partículas primarias (arena, arcilla y limo), que da lugar a partículas compuestas.

Bagazo: residuo fibroso resultante de la trituración, presión o maceración de frutos, semillas, hojas, tallos y/o raíces para extraerles sus jugos.

Estiaje: época del año con poca o nula precipitación que provoca disminución en el caudal de un río.

Forraje: hierba verde o seca que se le da al ganado para alimentarlo.

Humus: sustancia compuesta por productos orgánicos de naturaleza coloidal, que provienen de la descomposición de los restos orgánicos por la acción de organismos y microorganismos.

Melaza: sustancia espesa, dulce y de color oscuro que queda como residuo de la cristalización del azúcar de caña (*Saccharum officinarum*).

Mezcal: es una bebida alcohólica tradicional mexicana elaborada a partir de la destilación del corazón de ciertas especies del género *Agave*.

Mineralización: obtención de elementos inorgánicos a partir de la degradación de la materia orgánica.

Nutrimiento: es un producto químico procedente del exterior de la célula y que ésta necesita para realizar sus funciones vitales.

Sustrato: superficie en el que se desarrolla una planta u organismo.

Vinata: fábrica artesanal de producción de mezcal

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ADP. Agua disponible para las plantas

ANAVA. Análisis de varianza

BAL. Bacterias ácido lácticas

CIC. Capacidad de intercambio catiónico

CE. Conductividad eléctrica

CO. Carbono orgánico

EM. Energía metabolizable

ENg. Energía neta de ganancia

FDA. Fibra detergente ácido

FDN. Fibra detergente neutro

MO. Materia orgánica

NT. Nitrógeno total

pH. Potencial de hidrógeno

PC. Proteína cruda

UFC. Unidades formadoras de colonias

ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1	Distribución de tratamientos en cada textura 26
Cuadro 2	Distribución de tratamientos para cada sustrato y humedad acondicionada 28
Cuadro 3	Monitoreo del proceso de compostaje 31
Cuadro 4	Caracterización de la composta de bagazo cocido de agave mezcalero 32
Cuadro 5	Aporte nutrimental de los tratamientos en Kg ha ⁻¹ 33
Cuadro 6	Número de microorganismos en los tratamientos del suelo con textura arenosa 37
Cuadro 7	Respuesta de crecimiento a tratamientos en suelo con textura arenosa 38
Cuadro 8	Número de microorganismos en los tratamientos del suelo con textura arcillosa 42
Cuadro 9	Respuesta de crecimiento a tratamientos en suelo con textura arcillosa 43
Cuadro 10	Número de microorganismos en los tratamientos del suelo con textura franco-arcillosa 47
Cuadro 11	Respuesta de crecimiento a tratamientos en suelo con textura franco-arcillosa 47
Cuadro 12	pH y humedad de los tratamientos en cada textura 52
Cuadro 13	Crecimiento de los árboles con tratamiento en cada textura 53
Cuadro 14	Características químicas de la fibra de bagazo de agave después de ocho días del proceso de destilación 54
Cuadro 15	Composición química del bagazo de agave sin tratamiento y su ensilajes 57

Cuadro 16	Cubo nutrimental 1 probado en bovinos en pastoreo	58
Cuadro 17	Cubo nutrimental 2 probado en bovinos en pastoreo	58
Cuadro 18	Cubo comercial utilizado en la prueba de consumo voluntario en bovinos en pastoreo	59
Cuadro 19	Cubos nutrimentales 1 y 2 probados en bovinos de engorda donde vario el tipo de fibra utilizada	60
Cuadro 20	Cubo nutrimental 3 probado en bovinos de engorda donde se adicionó grano de destilería	60
Cuadro 21	Cubo nutrimental 4 probado en bovinos de engorda	61
Cuadro 22	Consumo de bloque por diferentes grupos de animales en engorda	63
Cuadro 23	Aporte nutrimental de la dieta y cubos de los animales en engorda	63
Cuadro 24	Análisis de costo de un kilogramo de incremento en la engorda de bovino usando bloques nutrimentales	64

ÍNDICE DE FIGURAS

		Páginas
Figura 1	Distribución de las texturas en el terreno	26
Figura 2	Comportamiento de humedad en los tratamientos del suelo arenoso	34
Figura 3	Comportamiento del pH en los tratamientos del suelo arenoso	36
Figura 4	Comportamiento de humedad en los tratamientos del suelo arcilloso	39
Figura 5	Comportamiento del pH en los tratamientos del suelo arcilloso	41
Figura 6	Comportamiento de humedad en los tratamientos del suelo franco	44
Figura 7	Comportamiento del pH en los tratamientos del suelo franco	46

RESUMEN

La industria mezcalera genera grandes cantidades de un residuo llamado bagazo de agave el cual representa un problema de contaminación debido al mal manejo que se le da. En el presente trabajo se evaluó el aprovechamiento integral del bagazo para su uso en agricultura y ganadería. Se elaboró un composta de bagazo en pila semi-estática y se evaluó su efecto en el crecimiento de árboles de durazno en un suelo con tres texturas aplicando tres dosis de composta (20, 30 y 40 kg), un fertilizante (17-17-17) y testigo, obteniéndose un mayor efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de las plantas en el suelo con textura arcillosa. En la evaluación del ensilaje se utilizó el método de microsilos donde los tratamientos fueron bagazo adicionado con microorganismos, maíz, melaza y un tratamiento combinado con microorganismos y melaza. Se evaluaron las características nutrimentales y organolépticas, encontrando que al paso de un año los ensilados presentaron olor a ácido butírico, crecimiento de hongos y pérdida de materia seca. Los silos preparados con 70% de humedad y de pH 6.5 a 7 se estabilizaron a las 196 horas con pH 3.5, con temperatura de 17 a 44°C y niveles de oxígeno de 6 a 7%. Para el caso del material ensilado con el 60% de humedad el proceso se estabilizó a las 196 horas con un pH de 4 a 4.5 y temperatura de 20°C. Se formularon cubos nutrimentales añadidos con bagazo y se compararon con formulaciones comerciales en la alimentación de ganado en pastoreo (sin limitación de forraje) y en ganado de engorda, evaluando el consumo voluntario y el incremento de peso. El consumo voluntario no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > .05$) pero se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre el tipo de cubo, donde el cubo comercial es consumido en un promedio de 250 g / animal / día y los cubos propuestos 1 y 2 presentan un consumo de 360 y 550 g / animal / día; lo que representa un aporte de proteína cruda de 67.5, 76.86 y 99 g / día / animal a un costo de 3.25, 2.03 y 2.45 pesos / día / animal respectivamente.

Palabras clave: bagazo, mezcal, composta, ensilaje.

ABSTRACT

The mezcal industry generates large amounts of waste called bagasse agave which represents a pollution problem due to mishandling that is given. In this paper the integral use of bagasse for use in agriculture and livestock was evaluated. Bagasse compost pile static was developed and its effect was evaluated on the growth of peach trees in a soil with three textures using three doses of compost, fertilizer (17-17-17) and control, resulting in a greater effect treatments on the growth of plants in soil with clayey texture. Microsilos method used in the evaluation of silage bagasse, where microorganism, corn, molasses were added and combined with microorganisms and molasses. The nutritional and organoleptic characteristics were evaluated and found that after one year silages showed butyric acid odor, and fungal growth dry matter loss. Silos prepared with 70% humidity and pH 6.5 to 7 stabilized at 196 hours with a pH of 3.5, temperature of 17 to 44 ° C and oxygen levels 6 to 7%. In the case of silage with 60% humidity the process was stabilized at 196 hours with a pH of 4 to 4.5 and temperature of 20°C. Nutritional cubes were made with bagasse and compared with commercial hubs. Voluntary intake and weight gain in grazing cattle without limitation forage and beef cattle was evaluated. The voluntary consumption did not show statistically significant differences ($p < .05$) but if there are differences ($p < .05$) between the type of cube, where the commercial hub is consumed by an average of 250 g / animal / day and cubes proposed 1 and 2 show a consumption of 360 and 550 g / animal / day; representing a contribution of crude protein of 67.5, 76.86 and 99 g / day / animal at a cost of 3.25, 2.03 and 2.45 pesos / day / animal, respectively.

Key words: bagasse, mezcal, compost, silage.

I. INTRODUCCIÓN

En México se generan una gran cantidad de residuos agroindustriales que pueden ser aprovechados para obtener productos de valor agregado. Los principales residuos agroindustriales provienen del sector pecuario (avicultura, ganado bovino y ovino), industria alimentaria (lácteos, carnes, frutas y verduras), industria azucarera y la industria de las bebidas (jugos, vinos, cervezas y mezcal).

Se estima que en 2012 la industria mexicana del mezcal produjo 29,375 toneladas de residuo de agave. En el estado de Durango se produjeron 300 toneladas. No existe una norma que especifique el manejo y disposición del bagazo de agave, lo que implica que los productores lo quemen o lo viertan al cauce de los ríos aledaños, en parcelas y pastizales para su degradación natural provocando serios problemas de contaminación. Para evitar la acumulación la cual puede causar contaminación se debe buscar alternativas para el uso de este residuo, con el cual se obtengan beneficios en la producción y con ello obtener un valor agregado que beneficie a los productores.

La agricultura demanda grandes cantidades de fertilizantes y abonos orgánicos para maximizar el rendimiento de los cultivos. Los abonos orgánicos están tomando un gran interés por parte de los productores debido a que influyen favorablemente a las características físicas, químicas y biológicas del suelo sin costes ambientales elevados y obteniendo productos de buena calidad. Uno de los abonos orgánicos más utilizados es la composta porque además de mejorar la fertilidad de los suelos permite aprovechar una gran diversidad de materiales para compostar, entre ellos el bagazo de agave.

En el sector ganadero del país, y Durango no es la excepción, el principal problema es el sobrepastoreo lo que hace que durante los meses de enero a junio se acreciente la falta de pastos provocando un problema de desnutrición, por lo que es

necesario la complementación con forrajes que proveen fibra para el funcionamiento ruminal y nutrientes para el sostenimiento de la función corporal del animal. El residuo de agave puede ser empleado como fuente de fibra para la alimentación animal y con ello darle valor agregado al conservarlo para la época de estiaje mediante ensilados, además de ser complementado con granos para proporcionar nutrientes necesarios para el animal.

Los bloques nutricionales es una estrategia que se utiliza para la suplementación de rumiantes que pastorean forrajes de baja calidad. Emplear el bagazo de agave para la elaboración de cubos puede ser una alternativa para paliar el problema de acumulación de este material y con ellos se complementa la alimentación animal esperando minimizar las pérdidas en la época de estiaje o aumentar las ganancias en los corrales de engorda de los pequeños productores.

En este estudio se evaluó el uso potencial del bagazo de agave cocido para la elaboración y evaluación de composta, ensilados y cubos nutrimentales como insumos para el sector agropecuario.

II. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades del agave

Las especies del género *Agave* conocidas comúnmente como magueyes, son un recurso forestal no maderable que se distribuye de manera natural desde el sur de Estados Unidos hasta Colombia y Venezuela; estas especies se consideran endémicas de América y en México se encuentran cerca del 75 % de las especies de Agaves registradas (Almaraz *et al.*, 2007).

Los Agaves son plantas xerófitas, de hojas grandes dispuestas en rosetas, generadas en el ápice de un tallo, las hojas por lo general son suculentas, fibrosas, con bordes espinosos, su forma, margen y tamaño varía de acuerdo con la especie. (García, 2007).

En México los Agaves tienen una gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas y mestizos, que los han aprovechado como fuente de alimento, bebida, medicina, combustible, ornato, fibra, abono, construcción y elaboración de bebidas alcohólicas (García, 2007).

Al aprovechar los magueyes de forma integral, estos pueblos hicieron de México su centro de domesticación y diversificación mediante la selección humana, pues los escogían por sus fibras y/o las altas cantidades de azúcares que les proporcionaban (Alfaro *et al.*, 2007).

Cuando llegaron los españoles, el pulque era la única bebida alcohólica fermentada que se conocía en el país y una vez establecido el proceso de destilación surgieron bebidas de alto grado alcohólico obtenidas del maguey, a las que originalmente se les llamo “vino de maguey” ó “vino de mezcal” (Bautista *et al.*, 2001).

Uno de los elementos que difiere en la elaboración de mezcal es la materia prima que se utiliza. En el caso del tequila y de acuerdo con la NOM-006-SCFI-2005 únicamente se permite el empleo de *Agave tequilana* Weber variedad azul, mientras que para la elaboración del mezcal se aprovechan diferentes especies de agaves, dependiendo del estado en el cual se produzca: en Oaxaca se aprovechan principalmente las especies *Agave angustifolia*, *Agave potatorum*, *Agave americana*, *Agave macrocartha*; en Guerrero, el *Agave cupreata*; en San Luis Potosí y Zacatecas, el *Agave salmiana* y el *Agave tequilana* Weber; en Durango, el *Agave durangensis* (Colunga *et al.*, 2007).

La elaboración de mezcal a partir de *Agave durangensis* es una actividad económica tradicional que se practica principalmente en los municipios de Durango, Nombre de Dios y el Mezquital (Valenzuela *et al.*, 2003).

2. 2 Bagazo de agave mezcalero

El bagazo es el material resultante de la extracción de los azúcares fermentables para producir mezcal y dependiendo del proceso de elaboración se puede obtener crudo o cocido. El bagazo de agave está compuesto de azúcar, celulosa, lignina y hemicelulosa, lo cual lo convierte en un material difícil de degradar y puede tardar hasta 4 años en descomponerse en forma natural (Rodríguez *et al.*, 2010).

En el 2014 la industria mezcalera en México produjo 924 mil litros de mezcal certificado (Nolásco, 2015), lo que generó más de 1,000 toneladas de bagazo en peso seco. En el estado de Durango cada año se producen alrededor de 300,000 L de mezcal a granel (Rosas *et al.*, 2013) de los cuales 50,000 L se producen en los municipios de Durango y Nombre de Dios (Almaraz *et al.*, 2007), llegando a generar hasta 300 toneladas de bagazo en peso seco al año.

Algunas investigaciones sobre el uso del bagazo de agave han estado destinadas a la obtención de productos tales como composta, papel, combustible, producción de hongos comestibles y alimento para animales (Crespo, 2011), pero aún no se ha logrado establecer un método eficaz para su aprovechamiento.

2.3 Uso del bagazo en la agricultura

2.3.1 El suelo

Los suelos son sistemas naturales abiertos y complejos donde existe una gran diversidad de seres vivos. Los suelos se forman a partir de la roca madre de la corteza terrestre y sus características y propiedades se desarrollan por la acción de los agentes climáticos y bióticos actuando sobre los materiales geológicos. Un suelo ideal contiene cuatro componentes en proporciones bien definidas: material mineral (45%), materia orgánica (5%), aire (25%) y agua (25%). (Acosta, 2007).

2.3.1.1 Textura del suelo

Según López (1990) la textura del suelo es la expresión de las proporciones relativas de las partículas minerales de la tierra y se clasifican de la siguiente manera:

Suelos arenosos: son ligeros, calientes, de buen drenaje interno, baja capacidad retentiva de agua y abonos. En general son pobres y de escasa productividad. Se considera esencial la fertilización en estos suelos.

Suelos francos: son suelos medios, retienen bien el agua y los abonos, son los más apropiados para la mayoría de los cultivos.

Suelos arcillosos: son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos.

2.3.1.2 El agua en los suelos

El agua se mueve a través de los poros de las partículas del suelo, en ella se encuentran disueltos los nutrimentos que son interceptados por las raíces de las plantas para que puedan ser absorbidos (López, 1990), una vez que la planta toma los nutrimentos del agua el suelo tiende a liberar esos nutrientes de nuevo para mantener el equilibrio.

El contenido de humedad en el suelo influye en el desarrollo de las plantas, en la mineralización de materia orgánica y en el efecto de lixiviación o arrastre de minerales del suelo (Ruser *et al.*, 2006), por este motivo es necesario mantener las cantidades adecuadas de humedad en los cultivos.

2.3.1.3 El potencial de hidrógeno en los suelos

El potencial de hidrógeno (pH) del suelo es una de las propiedades más importantes ya que determina la movilidad de iones, precipitación y dilución de los minerales, las reacciones redox y la actividad microbiana. El pH en el suelo controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes están o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción, siendo el rango de 5.5 a 7 donde ocurre la mejor absorción de nutrimentos en la mayoría de los cultivos (Osorio, 2012).

Los cambios de pH en suelo están dados por la adición de materiales o sustancias de reacción ácida (fertilizantes, materia orgánica, lluvia ácida) o alcalina (cal, carbonatos), lixiviación de cationes y la actividad microbiológica (Campillo y Sadzawka, 2006).

2.3.1.4 Nutrimentos del suelo

Los nutrimentos en el suelo se clasifican en macro y micronutrimentos. Los macronutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, S) son los que son requeridos en grandes cantidades por las plantas. Los micronutrimentos (Fe, Cu, B, Cl, Mn, Mo, Zn) se requieren en pequeñas cantidades y su aplicación en los cultivos no es tan constante como la aplicación de macronutrimentos, solo en casos donde se requiera un elemento en específico es cuando se hace uso de fertilización de micronutrimentos (Tisdale y Nelson, 1987).

El nitrógeno (N) es indispensable para promover el crecimiento de tallos y hojas, este elemento puede ser absorbido por las raíces en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+) (Corapse *et al.*, 2009). Normalmente el NO_3^- es la forma más absorbida, pero su presencia en el suelo depende del proceso de nitrificación el cual es llevado a

cabo por bacterias que oxidan el NH_4^+ liberando iones de H^+ provocando acidificación en el suelo (Tisdale y Nelson, 1987). La absorción de NO_3^- es más eficiente energéticamente ya que estos se transforman a aminoácidos en las hojas por medio de fotosíntesis, mientras que la absorción de NH_4^+ requiere un gasto energético por parte de la raíz y además compite contra K, Ca, Mg (Puritch y Barker, 1967).

En los casos donde se absorbe más NH_4^+ que NO_3^- se ha observado reducción de la fotosíntesis y cantidad de materia seca. Como regla general al disminuir el pH en la solución del suelo la absorción de NO_3^- se incrementa (Osaki *et al.*, 1995).

En los suelos arenosos existen pérdidas importantes de N debido a lixiviación, el NO_3^- se lixivia más rápido porque no es atraído por cargas electrostáticas a diferencia del NH_4^+ que es atraído por las arcillas y materia orgánica (Tisdale y Nelson, 1987).

El fósforo (P) es absorbido por la plantas en formas de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} y su disponibilidad está íntimamente relacionado con el pH. La máxima disponibilidad de fósforo para la mayoría de los cultivos ocurre en rangos de 6 a 7, si el medio es ácido precipita con el aluminio y si es alcalino se precipita formando compuestos con el calcio y magnesio disminuyendo su disponibilidad (Mizuno, 1981). Se ha demostrado que las sustancias húmicas favorecen la absorción del fósforo porque forman complejos fosfohúmicos que son más fácilmente asimilables por las plantas (Tisdale y Nelson, 1987).

Los nutrimentos potasio, calcio y magnesio son absorbidos por las plantas en forma de iones y funcionan como cationes intercambiables entre los coloides arcillo-húmicos y la planta. En los suelos arenosos se pierden cantidades importantes de estos elementos por efectos de lixiviación. Se ha demostrado que con la adición de composta se incrementa la concentración de Ca, Mg, Mn, Cu y Zn, con respecto a la fertilización convencional (Warman y Havar, 1998).

2.3.1.5 Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica (MO) es la fracción del suelo compuesta por restos de organismos. Su composición varía en función del tiempo, desde restos de cultivos y animales recién incorporados hasta el grado estructural más avanzado representado por el humus (Galantini y Suñer, 2008).

La materia orgánica favorece la infiltración del agua y aireación del suelo, promueve la retención del agua, reduce la erosión y es fuente de alimento para una gran diversidad de organismos que transforman los compuestos orgánicos en minerales que las plantas pueden aprovechar. El contenido de materia orgánica de los suelos es muy variable llegando a tener un promedio de 2% en suelos arcillosos y un 2.5% en suelos arenosos (Julca *et al.*, 2006).

2.2.1.6 Biología del suelo

En los suelos habitan una gran variedad de organismos vivos que incluye bacterias, hongos, algas, virus, protozoarios, lombrices y artrópodos. La presencia de estos organismos en el suelo es importante porque de ellos depende la descomposición de los compuestos orgánicos para formar reservorios de nutrientes que las plantas pueden tomar a través de sus raíces. Todos los organismos del suelo son de gran importancia porque mantienen un flujo de materia y energía que es indispensable para los ecosistemas, siendo bacterias y hongos los grupos principales de organismos del suelo; el predominio de uno u otro grupo está en función de las condiciones locales, especialmente el pH y el contenido de humedad (Pereira *et al.*, 2007)

Las bacterias intervienen en procesos cíclicos importantes como es la oxidación de amonio a nitratos, la fijación del nitrógeno atmosférico y la descomposición de materiales orgánicos en general. Para ello necesitan condiciones adecuadas de humedad, pH, temperatura y un suministro de minerales para llevar a cabo sus funciones metabólicas (Reyes y Valeri, 2007).

Los hongos son especialistas en la degradación de moléculas grandes como la celulosa y lignina, algunos forman relaciones simbióticas con las raíces de las plantas ayudándoles a la absorción de nutrientes y agua. Los hongos crecen en un amplio espectro de pH, sus limitantes son el bajo contenido de humedad y altas temperaturas (Samaniego y Chew, 2007).

2.3.1.7 Absorción de nutrientes en plantas

Según Tisdale y Nelson (1987) la absorción de nutrientes por la planta está dada por tres mecanismos: interceptación por las raíces, flujo de masas y difusión.

La interceptación por las raíces se refiere al contacto directo de la raíz con el nutriente. La cantidad de nutrientes que intercepta en forma directa la raíz se encuentra relacionada con la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo ocupado por la raíz y el porcentaje de suelo explorado por la raíz. En general solo un pequeño porcentaje del total de nutrientes absorbido por la raíz llega por esta vía.

El flujo de masas se refiere a la absorción del agua con nutrientes disueltos. Cuando la planta absorba agua para reemplazar la pérdida por la transpiración, se producirá también un flujo de nutrientes hacia el interior. Esto depende de las necesidades de la planta para ese nutriente, la concentración del nutriente en la solución del suelo y la cantidad de agua transpirada por unidad de peso de tejido.

Cuando las raíces absorben nutrientes se crea un gradiente de concentración entre el suelo y la raíz. El resultado de este gradiente es un movimiento de nutrientes hacia las cercanías de las raíces por difusión. La cantidad de nutrientes transportadas por este mecanismo va estar a estar relacionado con el gradiente de concentración y con el coeficiente de difusión del nutriente (que varía con el tipo de suelo y la movilidad del nutriente en el suelo).

2.3.2 Composta

La composta es un proceso en el cual se realiza la degradación de la materia orgánica por la acción de diversas poblaciones biológicas en condiciones ambientales controladas hasta un estado lo suficientemente estable que permite su almacenamiento y utilización sin efectos nocivos. Al producir composta se puede contribuir con la aportación de materia orgánica y nutrientes a los cultivos, contribuyendo a mantener la fertilidad del suelo y reducir el impacto económico y de contaminación ambiental que genera el uso de fertilizantes y plaguicidas en el ambiente (Semple *et al.*, 2001).

Las condiciones para una eficiente descomposición biológica de los residuos depende de la temperatura (50 – 65 °C), la humedad (45 – 56%), Oxígeno (15 – 21%), pH (6.0 -7.5) y una adecuada relación carbono-nitrógeno (C/N) (25:1 - 30:1) de la mezcla de materiales compostables, teniendo en cuenta que todo dependerá de la materia prima utilizada. Cuando los microorganismos degradan los residuos orgánicos con niveles óptimos de oxígeno, se dice que es un proceso aeróbico y se distingue del anaeróbico en cuanto a que es más rápido, genera mucho calor y no produce malos olores por la formación de amoniacos y ácidos grasos (Vicencio *et al.*, 2011).

La relación C/N influye en la velocidad del proceso de compostaje, si el residuo tiene una alta relación C/N la actividad biológica disminuye, pero si la materia orgánica es poco biodegradable la relación C/N disponible realmente para los microorganismos es menor y el proceso se realizara adecuadamente. Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se pierde en forma amoniacal. (Marquez *et al.*, 2008).

2.3.2.1 Técnicas de compostaje

Según Negro *et al.* (2000), las técnicas de compostaje más comunes son:

Pila estática: es el sistema más antiguo y económico y se realiza en pilas de altura reducida ya que no se mueven durante el compostaje. La oxigenación es natural a través de los interespacios de la masa que se está compostando.

Pila con volteo: la aireación se logra por el volteo mecánico de toda la masa compostable. Por lo general se realizan hileras que se establecen apilando los desechos orgánicos formando una base de 3 a 4 m², una altura entre 1.0 a 2.5 m y una longitud variable que puede alcanzar hasta varias decenas de metros.

Compostaje por ventilación forzada: la pila de fermentación es estática y en su interior se dispone de una tubería perforada que se conecta a un ventilador que asegura la entrada de Oxígeno y la salida de CO₂. Este sistema se utiliza para acelerar el proceso de compostaje, pero no es muy costoso.

2.3.2.2 Aplicación de composta

La composta no se debe aplicar al suelo hasta que haya madurado lo suficiente. Muchos estudios han demostrado que la aplicación de cualquiera de los residuos orgánicos sin compostaje o composta sin madurar puede dar lugar a la inmovilización de nutrientes o causar fitotoxicidad (Dev y Antil, 2010).

Nieto *et al.* (2002), encontraron que al aplicar dosis de composta de 25, 50 y 100 ton ha⁻¹ se mejoran las características físicas del suelo y una mayor producción de frutos en el cultivo de chile *Capsicum annuum* L. No se han reportado casos donde el uso excesivo de composta cause toxicidad en los cultivos, sus dosis de aplicación se calculan en función de la cantidad de nutrientes que requiere el cultivo y al análisis de suelo en su momento.

2.3.2.3 Efecto de la composta en el suelo

La composta se emplea para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. La materia orgánica en la composta tiene un grado avanzado de descomposición al que se le conoce como humus. El humus forma agregados con

las partículas de suelo dándole estabilidad estructural, favorece el intercambio gaseoso y la penetración y retención de humedad. Químicamente aumenta la capacidad de intercambio de iones, la reserva de nutrientes y la capacidad tampón de pH que facilita la asimilación de macro y micronutrientes. También aporta microorganismos benéficos que intervienen en los procesos de mineralización y estimula el crecimiento de las plantas (Julca *et al.*, 2006).

2.4 Uso del bagazo en la ganadería

Debido a su bajo valor forrajero el bagazo de agave tiene que ser complementado con otros ingredientes como granos o las melazas de azúcar. Éstas funcionan como fuentes complementarias de energía, proteínas, minerales de importancia en la actividad ruminal (Ramírez *et al.*, 2012).

De acuerdo con los análisis reportados por Alonso y Rigal (1997) el bagazo de agave tiene un alto contenido de lignina lo cual hace que su digestibilidad sea baja. Por esta razón, se debe investigar la forma de como incluir la lignina del bagazo a la dieta para que pueda ser aprovechado como fibra en las raciones alimenticias para los animales rumiantes.

2.4.1 Ensilaje

Los forrajes constituyen la fuente más económica de nutrientes para el ganado. Se cuenta con diversas especies forrajeras adaptadas a las diferentes zonas agroecológicas, pero con deficiencia en su aprovechamiento y de improvisaciones para las contingencias debido a la escasez. Existen algunas tecnologías para la conservación y almacenamiento de forrajes que permiten su utilización en la época propicia o de abundancia, siendo el ensilaje una de las alternativas de fácil elaboración y que no demanda gran infraestructura (Herrera *et al.* 2007).

El ensilaje consiste en la fermentación de los carbohidratos solubles del forraje por medio de bacterias ácido lácticas (BAL) en condiciones anaeróbicas. El producto final es la conservación del alimento debido a la acidificación del medio que inhibe el

desarrollo de microorganismos que deterioran la calidad del forraje (Herrera *et al.* 2007). Este proceso sirve para almacenar alimento en tiempos de cosecha y suministrarlo en tiempo de escasez, conservando calidad y palatabilidad a bajo costo, permitiendo aumentar el número de animales por hectárea o la sustitución y complementación de los concentrados.

Para asegurar que el proceso de ensilaje se lleve a cabo es necesario proporcionar las condiciones adecuadas para el crecimiento de BAL como es temperatura (20 y 42°C), humedad (60 y 70%), carbohidratos solubles (10 y 12%) y principalmente contar con un número razonable de UFC (10^6) (Villa *et al.*, 2013). Otro de los factores que influyen en el proceso de ensilaje es el tamaño de partícula, entre más pequeño la superficie de contacto es mayor y la fermentación del material se llevará a cabo en menor tiempo (Wernli y Ojeda, 1990).

En el proceso de ensilaje es posible obtener diversos productos fermentativos como es la producción de ácidos láctico, acético, propiónico y butírico. Lo más deseable es la producción de ácido láctico ya que este tiene un poder acidificante más fuerte y disminuye el pH en menor tiempo evitando pérdidas de materia seca y de calidad de forraje, pero con una baja estabilidad aeróbica (Herrera *et al.* 2007). En el caso de la producción de ácido acético se mejora la estabilidad aeróbica y reduce la presencia de hongos y levaduras, la desventaja es que no acidifica tanto como el láctico y tarda más tiempo en fermentarse provocando pérdidas de energía, adicionalmente puede fomentar el desarrollo de bacterias *Clostridium* que consumen ácido láctico para producir ácido butírico, además de pérdidas de materia seca, energía y proteína (Contreras *et al.*, 2009).

2.4.1.1 Técnicas de ensilaje

Herrera *et al.* (2007) mencionan que hay varias técnicas por las que se pueden lograr condiciones anaeróbicas, pero todas ellas involucran depositar el cultivo en un silo hermético. Existe una gran diversidad de silos: permanentes o temporales, verticales u horizontales. Se puede hacer uso de una gran variedad de recipientes, incluyendo

tambores de metal o plástico; tubos de concreto de 2 m diámetro y 2 m de altura, o bolsas plásticas para empaque comercial de un espesor de 2mm.

2.4.1.2 Aditivos para ensilaje

Los aditivos son materiales que aportan energía, proteína, fibras o microorganismos para mejorar las condiciones de fermentación en el silo.

Existen varias clasificaciones de aditivos, según Argamentería *et al.* (1997), son:

Conservantes: como ácidos fórmico, acético, láctico, propiónico, benzoico, caprónico. Inhiben las fermentaciones indeseables actuando de diversas maneras por ejemplo proporcionarla acidez inicial que favorece la actividad de las bacterias lácticas.

Inoculantes: bacterias del ácido láctico como *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*. Tienen como papel principal elevar rápidamente el nivel de acidez del forraje a ensilar.

Enzimas: amilasas, celulasas, hemicelulasas, pectinasas. Se encargan de la ruptura de las paredes celulares, aumentando el contenido de azúcares solubles para que los microorganismos lo utilicen.

Sustratos: melaza, glucosa, sacarosa, granos de cereales, pulpa de remolacha, pulpa de cítricos.

Nutrientes o activadores: amonio, urea, carbonato cálcico.

2.4.2 Cubos nutrimentales

Los cubos nutrimentales consisten en el uso de melaza mediante el proceso en frío, incluyendo diferentes granos y subproductos agroindustriales regionales, según su disponibilidad. Es un complemento alimenticio balanceado en forma sólida que facilita el suministro de diversas sustancias nutritivas consumidas en pequeñas

cantidades. Constituye una posibilidad para los rumiantes en pastoreo no solo durante los períodos de restricción forrajera, sino también como un soporte para complementar elementos nutritivos fundamentales que puedan mejorar la eficiencia de utilización de los forrajes durante los períodos de relativa abundancia (Gutiérrez, 2006).

Presenta propiedades de textura y dureza tipo piedra tales que para su consumo por los animales solamente sea mediante el uso de su lengua, lo que permite un consumo controlado de manera limitada y progresiva, llegando a incrementar el peso en bovinos de 250 a 500 gramos por animal por día (Gutiérrez, 2006).

Componentes básicos

Melaza: es fuente energética, su sabor dulce la hace muy apetecible a los animales y funciona como aglutinante

Alimentos nitrogenados: No proteicos como la urea y el sulfato de amonio y proteicos como las harinas extractadas de oleaginosas.

Minerales: sales de calcio, fósforo, y magnesio, en casos necesarios por deficiencia de estos elementos en suelos y pastos, además la sal común que aporta sodio y cloro.

Alimentos fibrosos: como los rastrojos, pajas, cascarillas y bagazos

Cemento o cal: como material solidificante.

2.4.3 Consumo voluntario

La nutrición de rumiantes en pastoreo es un proceso complejo con características y problemas particulares. La determinación del valor nutritivo y la digestibilidad se dificulta debido a que los animales seleccionan su dieta de varias combinaciones de especies y partes de plantas (Zemmelink, 1980).

El consumo voluntario se puede definir como la cantidad neta de materia seca consumida cada día cuando a los animales se les ofrece alimento en exceso (Mejía, 2002). Las investigaciones sobre el consumo voluntario de forraje se justifican por el hecho de que el estado nutricional del animal en pastoreo puede verse más afectado por una disminución en el consumo que por el bajo valor nutricional del forraje (Crammton, 1957; Allison, 1985; Mejía, 2002).

El factor más crítico en los requerimientos nutricionales de los rumiantes en pastoreo es el desconocimiento del consumo voluntario (Allison, 1985). El consumo voluntario debe determinarse con la finalidad de predecir las proporciones de los requerimientos que puede cubrir la dieta que los bovinos consumen en el agostadero y con ello establecer la suplementación necesaria (NRC, 1987).

Las utilidades en la producción animal dependen de la habilidad para maximizar el consumo de alimento, por lo que es necesario comprender los factores que influyen en el consumo. El consumo diario de alimento de los animales en pastoreo es el resultado de una gran variedad de estímulos por el sistema nervioso central.

Existen dos teorías responsables de la regulación del consumo: la teoría física, relacionada con la capacidad del tracto digestivo, y la teoría quimiostática basada en la densidad calórica de la dieta (Allison, 1985; NRC, 1987; Minson, 1990). Minson (1990) menciona que el consumo por animales en pastoreo está controlado por factores propios del animal, del forraje y del ambiente en las que intervienen la selectividad y la disponibilidad de forraje. Además, dadas las características de las dietas de rumiantes en pastoreo, altas en fibras y bajas en energía digestible, cobran importancia los efectos físicos de la distensión digestiva como limitantes del consumo voluntario, por lo que el consumo se ve afectado por la capacidad retículo-rúmen y por la velocidad de desaparición de la ingesta en este órgano. La velocidad de desaparición depende de la velocidad de paso y a su vez dependen de las propiedades físicas y químicas del forraje (Mejía, 2002).

Hay evidencias de que el consumo voluntario puede también estar limitado por la osmolaridad, concentración de hidrógeno y ácido acético en el rumen a causa del alimento; por la concentración del ácido propiónico en las venas ruminales e hígado o por algunas hormonas como la insulina, glucagon, gastrina y colescistoquinina.

En estudios del efecto de la calidad de dietas en el consumo se ha observado que la dieta con forrajes toscos que contienen de 8 a 10 % de proteína cruda limita el consumo por la capacidad del retículo-rúmen y la tasa de pasaje, y si la dieta excede del 10% el consumo es afectado por factores metabólicos (Allison 1985; Mejía, 2002). Soder *et al.* (2009) manifiestan que en vacas lecheras, el nivel de proteína (11 a 21%) favorece o disminuye el consumo de forraje altos en fibra. Otro elemento relacionado con el consumo y calidad de dieta es la digestibilidad del forraje ya que a más digestibilidad mayor consumo.

Existen otros factores que afectan el consumo voluntario, tales como el tamaño corporal que si bien la capacidad física del tracto digestivo no es un factor limitante, el máximo nivel de consumo se manifiesta por efecto de los requerimientos energéticos del animal. La demanda energética es proporcional al tamaño corporal o peso metabólico, que se expresa elevando el peso vivo a la potencia 0.75 (NRC, 1987), de esta forma los animales pequeños tienen mayor necesidad energética que los animales de talla más grande, por lo que los primeros tienen que ser más selectivos en su dieta (Allison, 1985).

Otro factor es el estado fisiológico, donde Chávez (1990) asegura que los animales en crecimiento y los que están en algún ciclo reproductivo tienen cambios importantes en los requerimientos. Las etapas de preñez y lactancia representan un importante incremento en los requerimientos de energía; pero, estas fases tienen diferente efecto en el consumo voluntario de forraje debido a la diferencia en la capacidad ruminal. Allison (1985) observó mayor consumo en vacas lactantes y secas que en preñadas y mayor selectividad en animales en crecimiento, quienes prefieren alimentos con mayor cantidad de proteína cruda y menores de fibras ácido detergente y celulosa. Al respecto, Soder *et al.* (2007) difieren ya que menciona que

las vacas lactantes son menos selectivas ya que por sus necesidades nutrimentales tienen un alto consumo.

La condición corporal es otro factor que influye en el consumo. Minson (1990) menciona que animales delgados consumen más que los animales gordos, hecho relacionado con el crecimiento compensatorio.

La suplementación tiene un importante efecto sobre el consumo voluntario. Generalmente se ha observado que la adición de carbohidratos de fácil digestión provoca una disminución en el consumo voluntario; contrariamente la suplementación proteica favorece la actividad microbiana del rumen, incrementando la digestibilidad y la velocidad de pasaje y por ello se incrementa el consumo (Allison, 1985).

La suplementación mineral en los rumiantes en pastoreo cobra relevancia ya que las deficiencias de nitrógeno, azufre, fósforo, magnesio, sodio, cobalto y selenio reducen el consumo voluntario de forraje al inhibir la digestión de materia orgánica.

La experiencia para pastorear y consumir influye en la preferencia para el consumo voluntario. Distel *et al.* (1993) realizaron estudios sobre consumo voluntario y concluyeron que las limitaciones sobre el consumo de forraje de baja calidad impuesta por niveles altos de fibra y bajos en proteínas pueden ser atenuadas por medio de la exposición de los animales a estos forrajes a temprana edad. Allison (1985) manifiesta que la textura de los forrajes es un elemento que aunado al sabor y olor influyen en la preferencia.

La disponibilidad de forraje en cantidad y calidad influye en el consumo, siendo la cantidad el factor más importante. En el agostadero, la accesibilidad del forraje, la distancia al agua y las fluctuaciones térmicas resultan ser más importantes en atención a las limitaciones del consumo (López, 1984).

El sistema de pastoreo influye en la calidad de dieta y por ende en el consumo debido a que cuando se incrementa la intensidad de pastoreo el ganado tiene menor oportunidad de seleccionar la dieta, debido a que se incrementa la velocidad de cambio de las especies y parte de las plantas preferidas, con lo que la intensidad de

pastoreo incrementa los kilogramos de carne producidos por hectárea, pero disminuye la ganancia individual (Allison, 1985).

Según Chilbroste (1998), los factores que afectan la ingesta de materia seca son:

Factor animal

- Tamaño y edad
- Raza
- Estado fisiológico
- Estado psicológico
- Enfermedades

Factor alimento

- Digestibilidad
- Aporte nutrimental
- Palatabilidad

Factores físicos

- Tiempo de pastoreo
- Ingestión por mordida
- Acceso al alimento
- Clima

III. JUSTIFICACIÓN

La industria mezcalera en el estado de Durango ha tenido un crecimiento importante en los últimos años y pretende expandirse a niveles comparables con la industria del tequila en Jalisco. Esta industria genera grandes cantidades del deshecho conocido como bagazo de agave el cual pudiera ser aprovechado para usarlo en la agricultura y ganadería. Los procesos para la elaboración de mezcal son regulados por la NOM-070-SCFI-1994 Bebidas-Alcohólicas-Mezcal-Especificaciones, la cual es aplicada para el control de calidad de este producto, sin embargo, no existe una norma que especifique el manejo y disposición del bagazo de agave, lo que implica que los productores lo quemen o lo viertan al cauce de los ríos aledaños provocando serios problemas de contaminación. Se estima que se producen a nivel nacional 5000 ton y en Nombre de Dios Durango 250 ton de material residual de la producción de mezcal, lo que representa un recurso potencial para su uso en la industria agropecuaria. Para ello es necesario caracterizar, identificar y cuantificar los componentes del bagazo lo que permitirá diseñar estrategias de aprovechamiento.

Para evitar el problema de contaminación por la acumulación de bagazo, en este estudio se plantea darle un uso al bagazo con la elaboración de composta, ensilado y la adición de bagazo en cubos nutrimentales para alimentación de rumiantes.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Aprovechar el bagazo de agave mezcalero mediante procesos que generen productos de valor agregado que ayuden a mejorar la producción en la industria agropecuaria.

4.2 Objetivos específicos

Evaluar la aplicación de una composta de bagazo de agave en tres texturas de suelo y su efecto en el crecimiento de árboles de durazno.

Evaluar el proceso de ensilado del bagazo de agave cocido como alternativa de conservación para la alimentación animal.

Elaborar cubos nutrimentales añadidos con bagazo de agave y evaluar el efecto en la alimentación de ganado bovino.

V. HIPÓTESIS

Conociendo la naturaleza química del bagazo de agave, así como el proceso por el que se obtiene se puede definir estrategias que permitan utilizar este residuo en la producción agropecuaria.

Es posible usar el bagazo de agave mezcalero cocido para la elaboración de composta, ensilaje y cubos nutrimentales, que apoyen la producción en la agricultura y en la ganadería.

Al aplicar composta de bagazo se mejora la condición del suelo y con ello se incrementa el crecimiento en árboles de durazno.

El bagazo de agave es susceptible a conservarse mediante el proceso de ensilado.

El bagazo funciona como material estructural en cubos nutrimentales y es una fuente de fibra para ganado bovino.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Bagazo

6.1.1 Recolección de bagazo

Para la realización de los experimentos se empleó bagazo cocido colectado de las vinatas denominadas “La Chica” y “El Venado” ubicadas en los poblados La Constancia y El Venado respectivamente, pertenecientes al municipio de Nombre de Dios, Durango.

En ambas vinatas se realiza la producción de mezcal utilizando la técnica tradicional para su elaboración, donde se obtiene bagazo como residuo el cual es acumulado después del lote de producción de una “quema”. El residuo fue trasladado a las instalaciones del CIIDIR-IPN Unidad Durango, del cual se tomó una muestra para caracterizarlo en el laboratorio de alimentos.

6.1.2 Caracterización del bagazo

Se determinaron las siguientes características bromatológicas:

Humedad, materia orgánica, ceniza, nitrógeno total, extracto etéreo, proteína cruda y Nitrógeno amoniacal descritas por Tejada (1983), fibra cruda, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) según Van Soest (1987). El tamaño de partícula se determinó usando un vernier.

6.2 Uso del bagazo en la agricultura

6.2.1 Preparación de la composta

El proceso de compostaje se llevó a cabo con material fresco sin aditivos con una de humedad de 75%. El material se colocó sobre un hule negro para evitar lixiviados y

se cubrió con hule para mantener el contenido de humedad. El proceso de compostaje empleado fue en pila semi-estática sin aplicar riegos y volteos en un periodo de 120 días, durante este tiempo se monitoreo la humedad, temperatura y pH. Una vez terminado el proceso de compostaje el material fue cribado usando malla de acero con apertura de 0.5 cm para mantener un mismo tamaño de partícula. Finalmente se tomó una muestra para su caracterización física, química y microbiológica.

6.2.2 Caracterización de la composta

La densidad aparente se determinó con el método de la probeta (Ansorena, 1994). El pH y la conductividad eléctrica se determinaron mediante un potenciómetro marca Hanna con corrección de temperatura a 25°C AOAC (1990). Materia orgánica por el método de Walkley y Black, AOAC (1990), nitrógeno total por el método de micro Kjeldahl, AOAC (1990), fósforo mediante digestión ácida (Aguilar, 2007) y se utilizó un espectrofotómetro de luz visible marca Perkin Elmer modelo lambda 25 UV-VIS a 400nm. El contenido de potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc se determinó mediante digestión ácida (Aguilar, 2007) y se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer A Analyst 700 por el método de flama. La cuenta total de microorganismos se efectuó haciendo dilución y siembra en placa Petri (Jensen, 1968).

6.2.3 Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se realizó utilizando el procedimiento recomendado para determinar fertilidad de suelos en árboles frutales descrito en la NOM-021-SEMARNAT-2000. Al inicio del experimento se tomaron muestras compuestas de cada bloque en forma de zigzag a una profundidad de 0 a 30 cm. Al final del experimento se tomaron muestras de cada tratamiento usando dos repeticiones a una profundidad de 0 a 30 cm.

6.2.4 Análisis físico químico de suelo.

El análisis físico químico se realizó mediante las siguientes técnicas:

Textura por el método de Bouyoucos (AS-09) descrito en la NOM-021-SEMARNAT-2000. El contenido de materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black, AOAC (1990), nitrógeno total por el método de micro Kjeldahl, AOAC (1990), fósforo mediante digestión ácida (Aguilar, 2007) y se utilizó un espectrofotómetro de luz visible marca Perkin Elmer modelo lambda 25 UV-VIS a 400nm. El contenido de potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc se determinó mediante digestión ácida (Aguilar, 2007) y se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer A Analyst 700 por el método de flama. La cuenta total de microorganismos se efectuó haciendo dilución y siembra en placa Petri (Jensen, 1968).

6.2.5 Evaluación de la composta

La composta se evaluó en una huerta de duraznos ubicada en las coordenadas 24°09'49.4" latitud norte 104°35'32.1" con longitud oeste en el poblado Labor de Guadalupe, Durango.

Antes de iniciar el trabajo experimental se determinó las diferentes texturas del suelo del huerto con el objetivo de evaluar la composta en cada una de ellas. Se detectaron tres tipos de texturas: 1) arenosa; 2) arcillosa y 3) franca arcillosa (Figura 1) donde se probaron tres niveles de composta (20, 30 y 40 Kg/árbol), un fertilizante químico (Triple 17) y un testigo. La distribución de tratamientos se realizó mediante un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial AXB, donde el factor A corresponde a la textura del suelo (arenoso, arcilloso y franco-arcilloso) y el factor B corresponde a la fertilización (10, 20, 30 kg de composta, 250 gramos de 17-17-17 y un testigo) con cuatro repeticiones (Cuadro 1). Cada árbol representa una unidad experimental. El cultivo cuenta con sistema de riego por goteo con un flujo de 4 litros por hora, el cual se utilizó para aplicar 20 litros por árbol cada 15 días.

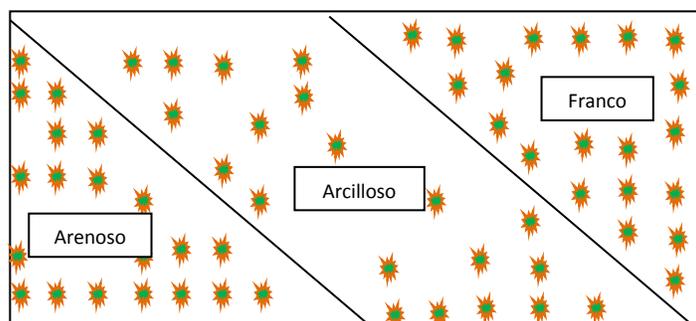


Figura 1. Distribución de las texturas en el terreno.

Cuadro1. Distribución de tratamientos en cada textura.

Tratamiento	Arenosa	Tratamiento	Arcillosa	Tratamiento	Franco-arcillosa
T1	20kg	T6	20kg	T11	20kg
T2	30kg	T7	30kg	T12	30kg
T3	40kg	T8	40kg	T13	40kg
T4	T17	T9	T17	T14	T17
T5	Testigo	T10	Testigo	T15	Testigo

La dosis de fertilizante y composta se aplicó manualmente sobre la superficie del suelo y posteriormente fue incorporada mediante un azadón.

Cada 15 días se registró el pH y humedad mediante un medidor analógico Y628 durante el ciclo agrícola para la producción de durazno que comprende desde el mes de marzo hasta el mes de septiembre, habiendo realizado 15 mediciones.

Se determinó el tamaño de cada planta al inicio y al finalizar el experimento. La altura se determinó mediante una cinta métrica tomando en cuenta la rama más alta. El área de copa o dosel se estimó midiendo dos diámetros tomando como referencia los puntos cardinales este-oeste y norte-sur, se promediaron y se calculó el área de la circunferencia. Para determinar el diámetro del tallo se utilizó un vernier.

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANAVA), prueba de media Tukey y correlación de Pearson mediante el paquete estadístico Statistica v7.

6.3 Uso del bagazo en la ganadería

6.3.1 Obtención del proceso del ensilado

Una vez obtenida la caracterización del residuo de agave se determinó el número de tratamientos y bajo qué condiciones se deberían elaborar. Para ello se tomó en cuenta la cantidad de humedad usando una estufa a 120°C, que es el factor fundamental para iniciar el proceso del ensilado. Se sabe que un material bajo en carbohidratos solubles y alto en humedad dificulta el crecimiento de los lactobacilos responsables de la formación de ácido láctico bajo condiciones de anaerobiosis, por lo que se hizo necesario adecuar el material. Para ello, el residuo fue acondicionado a humedades del 60% y 70% para lo que fue necesario exponer el residuo a la radiación solar durante 3 y 10 días respectivamente. Durante estos tiempos, el residuo fue diariamente volteado manualmente para permitir que todo el material recibiera los rayos solares.

Con la finalidad de resolver la posible deficiencia de azúcares solubles y contrarrestar la carga microbiana contenida en el sustrato de ambas vinatas, se propuso agregar a los tratamientos aditivos nutrimentales y microbiológicos, para lo que se seleccionó el maíz molido (10 kg/Ton), melaza (20 kg/Ton) y un aditivo compuesto por *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium* dosis de 100 millones de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de residuo.

Una vez acondicionada la humedad en ambos materiales se procedió a realizar los microsilos bajo una distribución completamente al azar (Cuadro 2), a los cuales se les determinó inicialmente el pH mediante un potenciómetro marca Conductronic siguiendo el método de la AOAC (1990) y temperatura con un termómetro de vástago metálico marca AVALY modelo VA-E273.

Cuadro 2. Distribución de tratamientos para cada sustrato y humedad acondicionada

Tratamiento	Vinata La Chica	Tratamiento	Vinata El Venado
T1	Microorganismos	T5	Microorganismos
T2	Melaza	T6	Melaza
T3	Maíz	T7	Maíz
T4	Microorg.-Melaza	T8	Microorg.-Melaza

Para la elaboración de los microsilos se utilizaron recipientes plásticos con una capacidad de 4 Kg con tapa de cierre a presión para evitar la entrada de aire. El residuo utilizado se mezcló con cada uno de los aditivos según correspondía el tratamiento planteado. Estos microsilos se emplearon para valorar la calidad de ensilaje después de 30 días y 1 año de fermentación. Las variables medidas fueron pH, proteína cruda, nitrógeno amoniacal, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, fibra cruda, humedad, extracto etéreo, cenizas, proteína ligada a la lignina todas ellas mencionadas en el manual de Tejada (1980), además se evaluó el olor y la consistencia. A la par con este experimento se ensiló material en microsilos de 10 Kg de capacidad acoplados a un sistema de adquisición de datos lo que permitió evaluar el proceso de fermentación, registrando las variables de pH, temperatura, oxígeno y humedad hasta la estabilización del proceso de fermentación.

Los datos obtenidos se analizaron mediante un ANAVA y prueba de media Tukey mediante el paquete estadístico Statistica v7.

6.3.2 Cubos nutrimentales

Para la formulación de los cubos nutrimentales se empleó el método de tanteo, el cual consiste en variar el porcentaje de los alimentos hasta obtener la cantidad deseada de nutrimentos que se le van a proporcionar al animal. Se elaboraron bloques para dos sistemas de alimentación: 1) animales en pastoreo para los cuales se emplearon formulaciones a base de 50 y 60% de bagazo de agave con un contenido de 18 y 20% de proteína cruda; 2) bovinos en engorda para los cuales se

emplearon tres formulaciones de 0, 5 y 10% de bagazo los cuales aportaron de 28 a 29% de proteína cruda. A cada cubo se le determinó la proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, total de nutrientes digestibles, humedad, extracto libre de nitrógeno por las técnicas descritas por Tejada (1983).

Los alimentos que se emplearon fueron: harinolina, pasta de soya, nitrógeno no proteico protegido, maíz molido, grano residuo de cervecería, rastrojo de maíz, bagazo de agave, melaza y como aditivos minerales, cemento gris y agua.

Inicialmente se elaboraron bloques de un kilogramo para medir la resistencia a la penetración y asegurar que tuvieran un compactado que permitiera un consumo máximo de 500 g al día. Para lo anterior se elaboraron por duplicado 27 bloques siendo 3 comerciales y 24 formulados. Se varió la cantidad de cemento gris en 5, 8 y 10% y el maíz en presentación molido y rolado. Mediante un texturómetro universal Instrom modelo 5565 acoplado con un penetrómetro de 6 mm de diámetro y a una velocidad de 300 mm/min se midió la resistencia a la penetración que presentó cada bloque.

6.3.2.1 Pruebas en animales

Para las pruebas de consumo voluntario se empleó el método descrito por Zemmeling en 1980, para lo que se seleccionaron cuatro grupos de 20 bovinos productores de carne en pastoreo (dos grupos en San Juan del Rio Durango y dos en Vicente Guerrero Durango) a los que se les proporcionaron los cubos del 50 y 60% de bagazo. Cada cubo se probó por separado dejando un mes entre pruebas y cada una duro un mes o hasta que el consumo no variara. Antes de iniciar la toma de datos se dio un periodo de acondicionamiento de 10 días, durante el cual se proporcionaba el cubo utilizando el método de pulso, incrementando el tiempo de exposición conforme transcurría el periodo. Después de este periodo se inició la prueba de consumo donde se registró el peso de los cubos proporcionados y el tiempo en que lo consumía el grupo experimental. Cada grupo de bovinos se consideró una unidad experimental y únicamente se validó el consumo promedio.

Para las pruebas de consumo voluntario (Zemmelink, 1980) en ganado de engorda se trabajó en la colonias menonita Campo Verde de Nuevo Ideal Durango donde participaron tres productores. Cada productor cooperante midió el incremento de peso de los animales en engorda durante un mes antes de iniciar la prueba de consumo de cubos. Antes de iniciar la toma de datos se dio un periodo de acondicionamiento de 10 días, durante el cual se proporcionaba el cubo utilizando el método de pulso, incrementando el tiempo de exposición conforme transcurría el periodo. Cada productor probó los cuatro tipos de cubos elaborados y antes y después de cada prueba se pesaban los animales para establecer la ganancia de peso. Una vez transcurrido el periodo de acondicionamiento se proporcionó *ad libitum* el cubo nutrimental y se registraba el peso del cubo, el número de animales y el tiempo en el que lo consumían. Para definir el tiempo de duración de cada prueba se tomó como indicador el máximo consumo diario registrado y se incrementó en 21 días el periodo de alimentación con el cubo en prueba para registrar el incremento de peso. Para esta prueba cada animal fue considerado como una unidad experimental y el registro de consumo e incremento se estratificó por el peso del animal.

Con los datos obtenidos del consumo y los análisis nutrimentales de los cubos se determinó el aporte nutricional de cada cubo.

Los datos obtenidos se analizaron mediante un ANAVA y prueba de media Tukey mediante el paquete estadístico Statistica v7.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Uso del bagazo en la agricultura

7.1.1 Monitoreo del proceso de compostaje

El monitoreo del proceso de compostaje se presenta en el Cuadro 3 donde se observa la variación de temperatura durante el proceso de composteo, alcanzando un máximo de 48°C, debido a la actividad de microorganismos. Durante el periodo de los 90 a los 120 días no se observó variación en temperatura indicando que el proceso se había estabilizado. El pH final de 8.4 se considera alto en relación a otros tipos de compostas, pero es similar a lo obtenido por Iñiguez *et al.* (2014) con composta de agave tequilero. El pH alto puede deberse a la formación de carbonatos de calcio (Crespo, 2011), este material tiene un alto contenido de calcio que al disolverse con el ácido carbónico generado durante el compostaje forma carbonato de calcio.

Cuadro 3. Monitoreo del proceso de compostaje

Días	pH	Temperatura (°C)
0	4	30
4	4	48
16	6.5	33.8
19	4.9	43
90	7	26
120	8.4	25

7.1.2 Caracterización de la composta

Las características de la composta obtenida (Cuadro 4), cumplen con las especificaciones de una composta tipo "C" para uso en reforestación, según lo establecido por la NADF-020-AMBT-2011.

Cuadro 4. Caracterización de la composta de bagazo cocido de agave mezcalero.

Parámetro	Humedad	MO	DAP	Ph	CE	C/N
Unidades	%	%	g/cm ³		ds.m ⁻¹	
Composta de bagazo	36.56	29.1	0.549	8.4	3.12	26.93
Composta tipo "C" NADF-020-AMBT- 2011	25-45	>25		6.5-8	<8	25

MO= materia orgánica DAP= densidad aparente CE= conductividad eléctrica C/N= relación carbono nitrógeno.

7.1.3 Aporte nutrimental de los tratamientos

El aporte nutrimental de los tratamientos con composta y fertilización química (Cuadro 5), satisfacen las necesidades de macro nutrientes (NPK), requeridas por el cultivo de durazno que son de 120, 50 y 160 Kg ha⁻¹ (Dzamic *et al.*, 1986). Con ello se establece la premisa que los efectos que se obtuvieron en el crecimiento de los árboles fue debido a los efectos de los tratamientos.

7.1.4 Evaluación en suelo con textura arenosa

7.1.4.1 Humedad

El ANAVA de los datos de humedad obtenidos durante el experimento, muestra que existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. La prueba de Tukey determinó que el tratamiento testigo fue el que presentó más humedad con 78.1%, seguido por los tratamientos 40kg con 74.2%; 30kg con 72.2; 20kg con 72% y T17 con 71.3%.

Cuadro 5. Aporte nutrimental de los tratamientos en Kg ha⁻¹

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Test arenoso	32.5	24.1	6.0	16.9	5.2	29.1	0.7	0.1	0.0
Test arcilloso	41	36.9	11.2	19.3	8.7	53.9	1.5	0.1	0.3
Test franco	40	26.4	10.9	8.0	8.9	56.4	2.3	0.2	0.0
20 Kg	590	572.4	232.2	1776.9	155.0	233.8	10.9	4.7	0.8
30 Kg	885	858.7	348.3	2665.4	232.4	350.6	16.4	7.0	1.1
40 Kg	1180	1144.9	464.4	3553.8	309.9	467.5	21.9	9.4	1.5
T17	212.5	212.5	212.5						

La Figura 2 muestra que en el periodo uno (periodo de estiaje) los valores de humedad en los tratamientos se encuentran en el límite inferior del rango de agua disponible para la planta (ADP) (Martin, 2010), donde podría manifestarse un estrés hídrico, siendo T17 el tratamiento más afectado.

En el periodo dos, que corresponde a la temporada de lluvias (CONAGUA, 2016), el tratamiento testigo presenta más humedad que los tratamientos con composta, concordando con lo dicho por Seguel *et al.* (2003), donde concluyeron que adicionar materia orgánica al suelo arenoso no tiene un efecto significativo en retención de humedad pero si en la velocidad de infiltración, esto se debe a que la densidad aparente de la composta es menor que la del suelo lo que incrementa el número de poros haciendo menos permeable al suelo (Castillo *et al.*, 2004) lo que implica una mayor retención y distribución de la humedad incrementando la capacidad de intercambio catiónico (CIC) lo que permite tener nutrientes disponibles para la planta (Rodríguez *et al.* 2010).

El tratamiento T17, en este periodo, presenta la menor humedad del resto de los tratamientos, esto puede deberse a un efecto osmótico en la solución del suelo que estimula a las raíces para absorber agua y nutrientes (Tisdale y Nelson, 1987).

En el tercer periodo se observa (Figura 2) que el tratamiento testigo se encuentra en el límite superior de ADP, pudiendo presentar problemas en la planta ya que el duraznero es sensible al exceso de humedad. Los tratamientos con composta mejoran la permeabilidad del suelo, reduciendo el riesgo al que están sometidas las plantas en el tratamiento testigo.

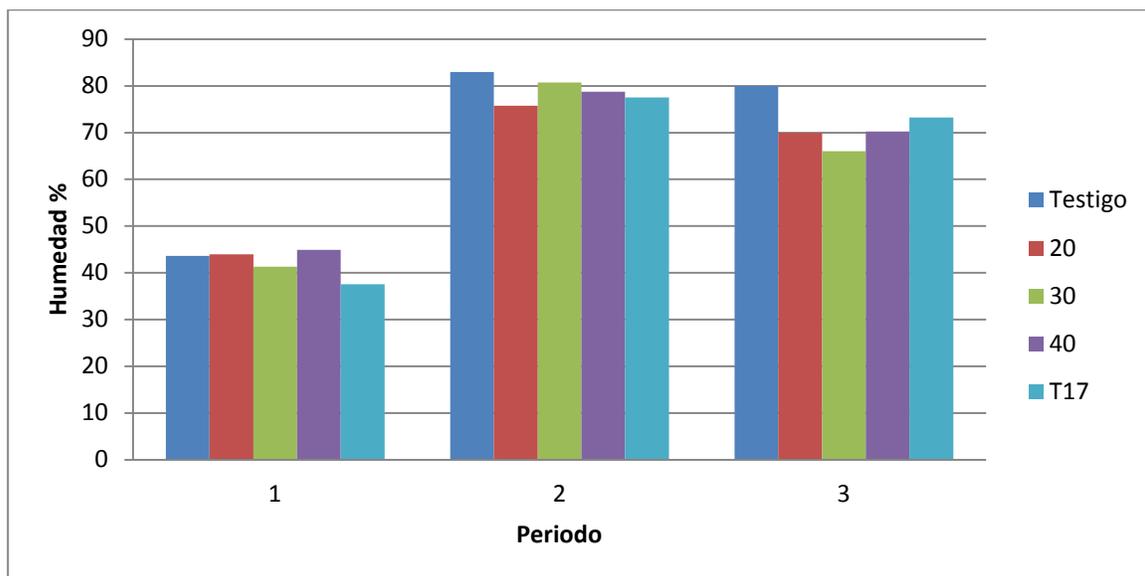


Figura 2. Comportamiento de humedad en los tratamientos del suelo con textura arenosa

En suelos arenosos la lixiviación es común por que el tamaño de sus poros lo hacen más permeable y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es reducida, por lo que iones como K^+ , Ca^+ , Mg^+ y NH_4^+ se puedan perder provocando cambios en el pH del suelo y desnutrición en las plantas (Campillo y Sadzawka, 2006), este efecto puede suceder en los tratamientos testigo y T17.

7.1.4.2 pH

El ANAVA de los datos totales de pH indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. La prueba de medias de Tukey muestra que el pH más elevado se obtuvo en el tratamiento T17 con pH de 7.4, seguido por los tratamientos testigo con 7.4, 20kg con 7.2, 30kg con 7.2 y 40kg con 7.1.

En la Figura 3 se observa que en el periodo uno los tratamientos de composta 20kg y 40kg presentan una disminución de pH de 7.6 a 7.5 que puede deberse a un efecto de mineralización, en el tratamiento 30kg no se observa dicho efecto probablemente porque la distribución de agregados, por efecto de mezcla, afecta la circulación del aire (Martínez *et al.* 2013), dificultando la actividad de los microorganismos. Los tratamientos testigo y T17 tienen el mismo pH por lo se puede decir que el T17 no tiene efecto sobre el pH del suelo por la deficiente humedad (30 a 40%).

En el periodo dos (Figura 3), correspondiente a la temporada de lluvias, todos los tratamientos disminuyeron su pH, lo que puede deberse a una lixiviación de cationes o mineralización, obteniéndose el valor más bajo en el tratamiento 40kg con pH de 6.8, lo que implica que en esta dosis pueda presentarse el proceso de nitrificación (Tisdale y Nelson, 1987).

En el periodo tres (Figura 3) el testigo regresa a su pH original, en los tratamientos con composta se observa que el pH se redujo posiblemente a un efecto tampón por las sustancias húmicas (Zabala, 2003), este efecto es más visible en los tratamientos 20kg y 40kg que en el 30kg debido a que, posiblemente, no hubo suficiente mineralización en ese tratamiento por el efecto de la distribución de agregados (Martínez *et al.* 2013).

El pH en el suelo es importante porque determina la disponibilidad de los nutrimentos e influye en procesos biológicos como la nitrificación, la descomposición de la celulosa y la acción de micorrizas que ocurren en rangos de 6.8 a 7.5 (Julca *et al.*, 2006), por lo que los tratamientos T17 y testigo puedan tener complicaciones para llevar a cabo estos procesos, lo que implica una menor nutrición de la planta. En lo

general se observa una disminución de pH en los tratamientos donde está involucrada la composta, lo que promueve tener mejores condiciones de adsorción de nutrientes.

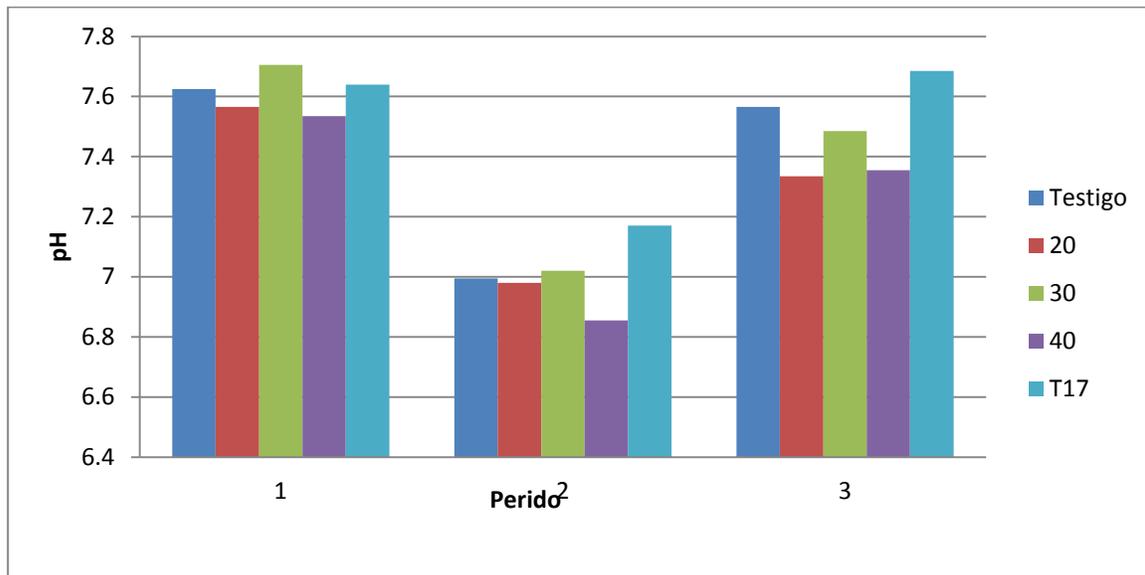


Figura 3. Comportamiento del pH en los tratamientos del suelo con textura arenosa

7.1.4.3 Relación pH y humedad.

El pH y la humedad presentan una correlación negativa significativa ($p < 0.05$) de -0.85, lo que indica que al incrementar el contenido de humedad en el suelo el pH tiende hacia la acidez la cual puede ser causada por lixiviación de cationes, formación de ácido carbónico o mineralización (Campillo y Sadzawka, 2006).

En el periodo uno se presenta una correlación negativa baja (-0.26) pero significativa estadísticamente ($p < 0.05$), en el periodo dos la correlación es negativa de -0.54 ($p < 0.05$) y en el periodo tres no se presenta correlación (0.02) ($p > 0.05$). Estas correlaciones indican que en los primeros periodos existe una mineralización que se activa con la cantidad de humedad, incrementándose en el periodo dos con las precipitaciones debido al efecto de lixiviación de cationes (Bernier y Alfaro, 2006), en el periodo tres ya no existe este efecto, probablemente porque los tratamientos se estabilizaron.

La correlación es diferente para cada tratamiento. Los tratamientos testigo y T17 presentan correlaciones negativas de -0.48 y -0.57 no significativas estadísticamente ($p > 0.05$), por lo que la disminución de pH en estos tratamientos pueda deberse a efecto de lixiviación de cationes. En los tratamientos de composta se presentan correlaciones negativas de -0.63, -0.77 y -0.70 significativas estadísticamente ($p < 0.05$) para los tratamientos 20kg, 30kg y 40kg respectivamente, lo que implica que la disminución de pH se deba probablemente al proceso de nitrificación o la acumulación de ácido carbónico.

7.1.4.4 Análisis de microorganismos

El ANAVA indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. La prueba de medias de Tukey muestra que los tratamientos 20kg y 40Kg son los que tienen mayor crecimiento de microorganismos debido a que proporcionaron las condiciones más adecuadas de pH, humedad y distribución de partículas. El tratamiento 30kg no tuvo este crecimiento de microorganismos porque la distribución de los posibles agregados formados impidió la circulación de aire y agua, reduciendo su actividad. El T17 no favorece el crecimiento de microorganismos debido a que este tratamiento no aporta materia orgánica.

Cuadro 6. Número de microorganismos en los tratamientos del suelo con textura arenosa.

Tratamiento	Bacterias UFC
20 Kg	7,536,500
30 Kg	2,509,500
40 Kg	6,014,000
T17	2,527,500

7.1.4.5 Efecto de crecimiento en suelo arenoso

El ANAVA indicó que existen diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos para las variables altura, diámetro del tallo y área de copa. En el Cuadro 7 se observan los valores de crecimiento para cada tratamiento. Considerando los efectos

de los macro o micro nutrientes en el crecimiento se puede decir que una planta está sujeta a elongación o compactación de acuerdo al balance entre crecimiento en altura, diámetro de tallo y área de copa (Nelson *et al.*, 2002). En nuestro experimento se pudo observar que los tratamientos 20kg, 40Kg y T17 presentaron un crecimiento compacto y los tratamientos 30kg y testigo un crecimiento alargado. El comportamiento de los tratamientos 30kg y testigo puede deberse a que el nitrógeno se encuentra en forma de amonio por las condiciones de humedad que fueron superiores a 80% y los agregados formados por la adición de 30 kg de composta (Gallegos *et. al*, 2000), lo que disminuyó la cantidad de oxígeno provocando una disminución del proceso de nitrificación. El nitrógeno presente en el T17 se encuentra mayormente en forma de nitrato con lo que podemos confirmar que esta forma de nitrógeno tiene efecto en el crecimiento en área de copa (Cuadro 7).

Cuadro 7. Respuesta de crecimiento a tratamientos en suelo con textura arenosa

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Área de copa (m ²)
20Kg	44.5	11.3	1.3
30Kg	42.7	7.8	0.9
40Kg	35.5	7.6	1.5
T17	35.7	6.5	1.0
Testigo	43.5	13.6	0.9

7.1.5 Evaluación en suelo con textura arcillosa

7.1.5.1 Humedad

El ANAVA muestra diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. La prueba de Tukey indica que el tratamiento testigo tuvo una humedad del 83%, seguido por los tratamientos 40Kg con 76%, 30Kg con 76%, 20Kg con 74% y T17 con 72%. El contenido de humedad del tratamiento testigo (80%) en los tres periodos

(Figura 4) provoca un estado de anegamiento que afecta todos los procesos para que la planta se desarrolle adecuadamente.

En el periodo uno (Figura 4) se observa que los tratamientos con composta disminuyen la cantidad de humedad hasta un valor adecuado de agua disponible para la planta (50 y 60%), siendo el tratamiento 30kg el que proporciona la mayor cantidad de agua, lo cual puede deberse a la distribución de agregados en el suelo por un efecto de mezcla que provoca aglomeración de las partículas (Muñoz *et al.*, 1999). La disminución de humedad por el tratamiento T17 se debe al incremento de la presión osmótica en la solución del suelo (Tisdale y Nelson, 1987) es probable que estimule la actividad de la raíz y su vigorosidad.

En el periodo dos (Figura 4) el tratamiento 40kg se encuentra en un nivel de humedad que puede afectar los procesos biológicos tanto de los microorganismos como los de las plantas, mientras que el tratamiento 20kg fue el que presentó la mejor cantidad de humedad en ese periodo. El tratamiento T17 presenta disminución de humedad debido al crecimiento de la raíz de la planta que absorbe el agua y además mejora la infiltración de humedad.

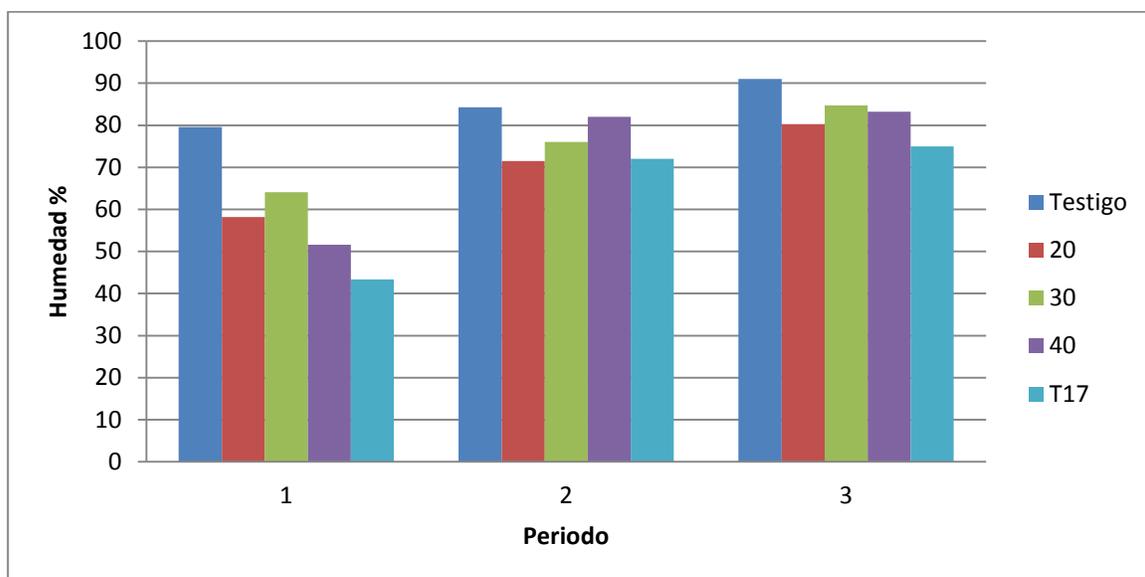


Figura 4. Comportamiento de humedad en los tratamientos del suelo con textura arcillosa

7.1.5.2 pH

El ANAVA de pH muestra diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en los tratamientos. La prueba de Tukey indica que el tratamiento con pH más elevado es el T 17 con 7.4; el testigo con 7.4; el 20Kg con 7.3, 40Kg con 7.2 y el 30Kg con 7.1.

En el periodo uno (Figura 5) se observa que los tratamientos 30kg y 40kg presentan una disminución de pH con respecto al testigo, el cual puede deberse a un efecto de mineralización de la materia orgánica, el 20kg no presenta ese efecto posiblemente por la distribución de agregados. El T17 presenta el mismo pH que el testigo, lo que indicó que en ese periodo no presenta actividad posiblemente por la baja humedad

En el periodo dos (Figura 5) se observa que todos los tratamientos disminuyen de pH que puede deberse a la actividad de los microorganismos en el suelo que da lugar a la nitrificación o a la formación de ácido carbónico. El pH más bajo se obtuvo con el tratamiento 30kg, porque probablemente con esta dosis ocurre una aglomeración o compactación de partículas que impiden la circulación del aire y agua (Martínez *et al.*, 2013), haciendo que CO_2 se acumule y forme el ácido carbónico. En este periodo el pH del tratamiento 40kg disminuye posiblemente por la formación de ácido carbónico ya que en este periodo el tratamiento 40kg alcanzó una humedad del 80% que hace que el CO_2 sea retenido.

En el periodo tres (Figura5) se observa que el tratamiento testigo mantiene su pH original, mientras que los tratamientos con composta quedan en valores de pH más bajos que podría deberse a formación de ácido carbónico ya que presentan humedades por encima del 80%.

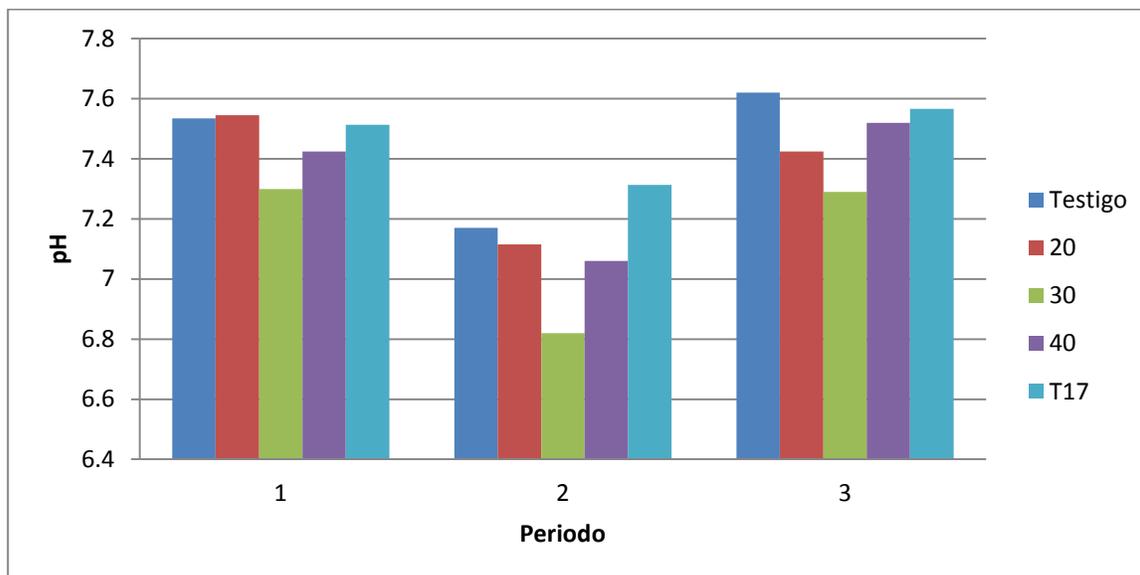


Figura 5. Comportamiento de pH en los tratamientos del suelo con textura arcillosa

7.1.5.3 Relación pH y humedad

El pH y la humedad presentan una correlación negativa significativa ($p < 0.05$) de -0.40, lo que indica que al incrementar el contenido de humedad en el suelo el pH tiende hacia la acidez la cual puede ser causada por lixiviación de cationes, formación de ácido carbónico o mineralización (Campillo y Sadzawka, 2002).

En el periodo uno se presenta una correlación negativa de -0.38 significativa estadísticamente ($p < 0.05$), en el periodo dos se presenta una correlación de -0.59 significativa ($p < 0.05$) y en el periodo tres la correlación es muy baja -0.18 no significativa ($p > 0.05$), estas correlaciones indican que en los primeros periodos la existe una mineralización que se activa con la cantidad de humedad, incrementándose en el periodo dos con las precipitaciones, en el periodo tres ya no existe este efecto probablemente porque la mineralización se estabilizó o por efecto de lixiviación.

El análisis de correlación en los tratamientos muestra que solo el tratamiento 20kg presenta una correlación significativa ($p < 0.05$) negativa de -0.70 lo que puede indicar la activación de nitrificación, ya que en esta dosis ocurre la mejor distribución de

agregados que permite la aireación. En los demás tratamientos las correlaciones fueron -0.45, -0.42, -0.48 y -0.44 no significativas ($p < 0.05$) para los tratamientos testigo, T17, 30kg y 40kg respectivamente, lo que indica que las disminuciones de pH pueden deberse a la formación de ácido carbónico y a lixiviación de cationes.

7.1.5.4 Microorganismos

El ANAVA indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. De los tratamientos con composta el que presentó mayor crecimiento de microorganismos fue el tratamiento 40kg, es probable que en este tratamiento al ser el que aportó mayor cantidad de materia orgánica favoreciera el crecimiento de microorganismos. En el caso del T17 existe un crecimiento considerable de microorganismos, es probable que utilizaran los nutrientes del fertilizante para su crecimiento, además este tratamiento presentó condiciones de humedad y pH para el desarrollo de microorganismos.

Cuadro 8. Número de microorganismos en los tratamientos del suelo con textura arcillosa

Tratamiento	Microorganismos UFC
20Kg	2,504,000
30Kg	3,556,000
40Kg	10,055,500
T17	7,574,500

7.1.5.5 Efecto de crecimiento

El ANAVA indicó que existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en las variables altura y área de copa.

En el Cuadro 9 se observa la respuesta de crecimiento de los árboles. El tratamiento testigo fue el que tuvo menor crecimiento en las tres variables debido a que la humedad excesiva provocaba asfixia radicular la cual es muy perjudicial para el

cultivo de durazno. El tratamiento T17 presentó un crecimiento compacto, los suelos arcillosos tienen una alta capacidad de intercambio catiónico por lo que los nutrientes contenidos en el fertilizante son absorbidos fácilmente por la planta reflejándose en un mayor crecimiento. De los tratamientos con composta las dosis 20kg y 40kg tuvieron un crecimiento compacto a causa de la distribución de agregados que permitieron un balance adecuado de aire y agua, lo que indica que probablemente se presentara el proceso de nitrificación aportando NO_3 que estimula el crecimiento de follaje. El tratamiento 30kg presentó un crecimiento elongado probablemente porque la distribución de agregados restringe la cantidad de oxígeno necesario para la nitrificación. En lo general los tratamientos, con composta, promovieron mayor crecimiento en todas las variables de respuesta respecto al testigo.

Cuadro 9. Respuesta de crecimiento a tratamientos en suelo con textura arcillosa

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Área de Copa (m^2)
20Kg	57.7	16.5	1.4
30Kg	90.3	19.3	1.3
40Kg	84.0	19.3	1.7
T17	129.0	18.8	2.6
Testigo	41.5	11.0	0.5

7.1.6 Evaluación en suelo con textura franco-arcillosa

7.1.6.1 Humedad

El ANAVA indica que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. La prueba de Tukey muestra que el tratamiento con más humedad fue el tratamiento 40kg con 78%, seguido del 20kg con 77%; T17 con 74%; 30kg con 73% y el testigo con 69%.

En el periodo uno se observa que los tratamientos con composta incrementan el contenido de humedad con respecto al testigo (Figura 6), probablemente porque en esta textura de suelo los abonos orgánicos son retenidos y forman agregados muy estables disminuyendo la infiltración. En el tratamiento T17 se observa un aumento en la retención de humedad en comparación con el testigo que puede deberse a un efecto de cargas iónicas por el contenido de arcillas.

En el periodo dos (Figura 6) no se observan diferencias en los tratamientos, aunque los tratamientos 30kg y 40kg se encuentran muy cerca del nivel perjudicial de humedad (80%) probablemente porque la distribución de agregados hace impermeable al suelo.

En el periodo tres (Figura 6) los tratamientos se encuentran en el nivel crítico de humedad donde las plantas puede presentar problemas para su desarrollo, siendo el tratamiento 20kg el de humedad más alta debido a un efecto químico por la formación de compuestos arcillo húmicos (Julca *et al.* 2006), mientras que el 30kg disminuye la humedad que puede deberse a la distribución de agregados.

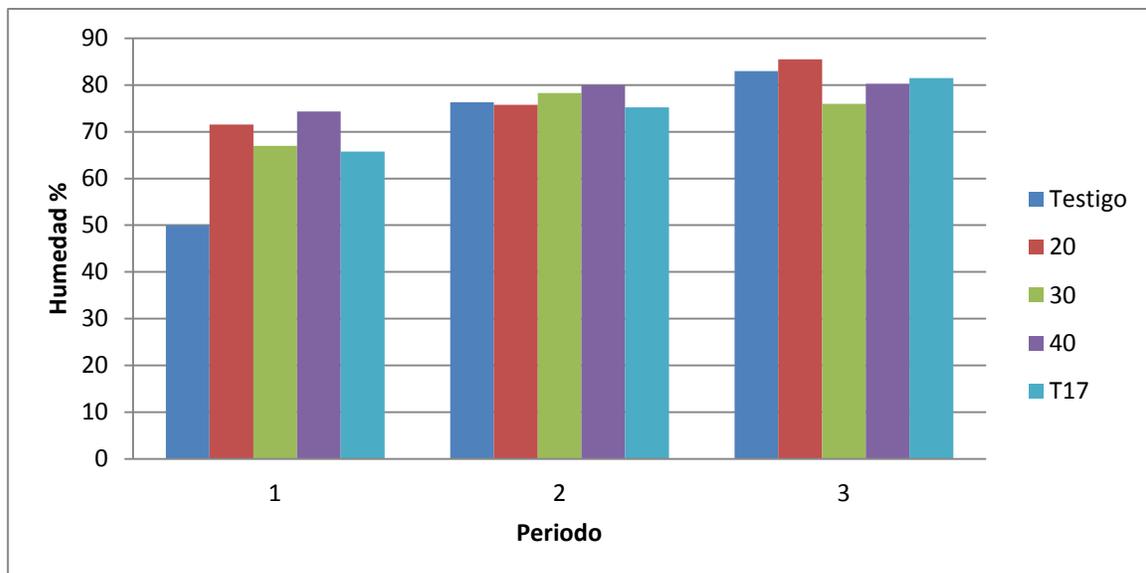


Figura 6. Comportamiento de humedad en los tratamientos del suelo con textura franco-arcillosa

7.1.6.2 pH

El ANAVA muestra diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. La prueba de Tukey indica que los tratamientos con pH más elevado son testigo, 20kg y T17 con 7.3, el 30kg con 7.1 y el 40kg con 7.0. La disminución de pH de los tratamientos 30kg y 40kg podría deberse a efectos de mineralización de la materia orgánica ya sea por la liberación de iones H en la nitrificación o la formación de ácido carbónico.

En el periodo uno (Figura 7) se observa que el pH de los tratamientos con composta disminuye con respecto al testigo, siendo mayor en el tratamiento 40kg alcanzando un valor muy cercano a la neutralidad que es el pH más adecuado para la absorción de nutrientes. El T17 y testigo tienen un pH similar, lo que indica que el T17 no tiene un efecto en el pH para este periodo.

En el periodo dos (Figura 7), que corresponde a la temporada de lluvias, los tratamientos disminuyen su pH debido a una posible lixiviación de cationes o a la actividad microbiana, siendo este efecto más notable en los tratamientos 30kg y 40kg alcanzando un valor de 6.8 lo que permite tener nutrientes disponibles para la planta esta disminución de pH se puede deber a un efecto de nitrificación o acumulación de ácido carbónico. En el caso del T17 se observa una disminución de pH con respecto al testigo el cual podría deberse a un efecto químico del fertilizante.

En el periodo tres (Figura 7) se observa que los tratamientos 30kg y 40kg son los que mantienen un pH cercano a la neutralidad el cual podría indicar que estos tratamientos siguen activos en ese periodo. Los tratamientos testigo, T17 y 20kg presentan pH muy similar lo que probablemente pueda indicar que no hay actividad microbiana. En lo general los tratamientos con composta promovieron disminución en el pH, lo anterior es una condición positiva para la adsorción de macro y micronutrientes.

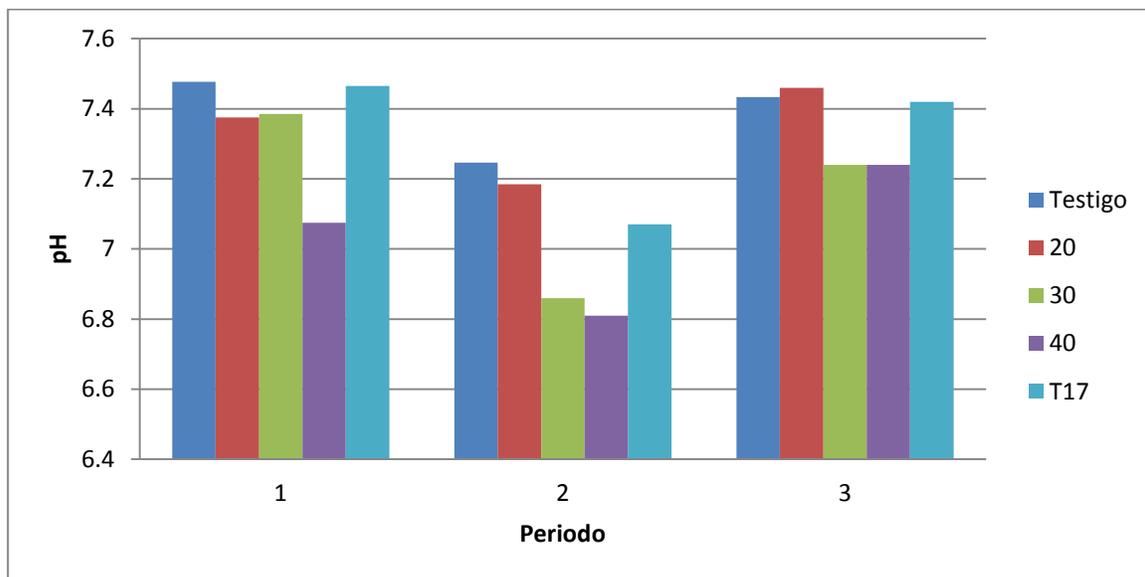


Figura 7. Comportamiento de pH en los tratamientos del suelo con textura franco-arcillosa

7.1.6.3 Relación pH y humedad

El pH y la humedad presentan una correlación negativa significativa ($p < 0.05$) de -0.45, lo que indica que al incrementar el contenido de humedad en el suelo el pH tiende a disminuir lo cual puede ser causado por lixiviación de cationes, formación de ácido carbónico o mineralización (Campillo y Sadzawka, 2002).

En el periodo uno se presenta una correlación negativa de -0.46 significativa ($p < 0.05$), en el periodo dos la correlación es de -0.56 significativa ($p < 0.05$) y en el periodo tres -0.28 significativa ($p < 0.05$), estas correlaciones indican que en los tres periodos existe una respuesta del pH contra la humedad. El efecto más fuerte se logra en el periodo dos debido a la humedad constante de las precipitaciones.

Los tratamientos testigo, 30kg y 40kg presentan correlaciones negativas significativas ($p < 0.05$) con valores de -0.58, -0.70 y -0.61 respectivamente, lo que indica que en estos tratamientos las disminuciones de pH se debe, probablemente, al efecto de mineralización por la actividad microbiana. En los tratamientos 20kg y T17 las

correlaciones fueron de -0.48 y -0.50 no significativas ($p < 0.05$), lo que indica que las disminuciones de pH se pueda deber a lixiviación o a formación de ácido carbónico.

7.1.6.4 Microorganismos

El ANAVA indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. De los tratamientos con composta el 30kg y 40kg presentan la mayor cantidad de microorganismos, es probable que en estos tratamientos las condiciones de pH y humedad favorecieran el crecimiento de bacterias. En el 20kg no se obtuvo ese crecimiento debido a que sus agregados impidieron la circulación de aire. En el caso del T17 existe un crecimiento considerable de microorganismos, es probable que utilizaran los nutrientes del fertilizante para su crecimiento.

Cuadro 10. Contenido de microorganismos en los tratamientos del suelo con textura franco-arcillosa.

Tratamiento	Bacterias UFC
20Kg	2,514,500
30Kg	10, 088,500
40Kg	9,055,500
T17	6,027,000

7.1.6.5 Crecimiento

El ANAVA indicó que no existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos para las variables altura, grosor del tallo y área de copa.

Cuadro 11. Respuesta de crecimiento a tratamientos en suelo con textura franco-arcillosa.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Área de copa (m ²)
20Kg	77.8	15.0	1.1
30Kg	58.6	14.5	0.8
40Kg	72.0	11.8	1.4
T17	81.0	15.6	1.4
Testigo	67.0	11.8	1.3

En el Cuadro 11 se puede observar que los tratamientos 20kg y 30kg tuvieron un crecimiento elongado que podría atribuirse a la distribución de agregados. Según los valores obtenidos de pH en el tratamiento 30kg se esperaba que tuviera buen crecimiento por la mayor cantidad de nutrientes aportados debido a la mineralización, sin embargo se observa que este tratamiento presentó el menor crecimiento en las variables altura y copa, lo cual nos indica que se pudiera presentar condiciones anaeróbicas en los periodos dos y tres con el exceso de humedad (Figura6), provocando una desnitrificación implicando pérdida de nitrógeno. Los tratamientos testigo, 40kg y T17 presentaron un crecimiento compacto, lo que indica que el aporte de nitrógeno para los árboles se presentó en forma de NO_3 a causa de la nitrificación, en el T17 el nitrógeno se encuentra mayormente en forma de NO_3 lo que confirma que esta forma de nitrógeno ocasiona crecimiento compacto.

7.1.7 Comparación entre texturas

7.1.7.1 Humedad y pH

Por la naturaleza de las texturas se obtuvo un promedio de humedad más bajo en la arenosa (64.4%) que en la arcillosa y franca-arcillosa (73%) durante el experimento. Dicho comportamiento era de esperarse por el efecto que ejerce la densidad aparente propia de las partículas de cada textura, lo que influye en la retención o infiltración del agua. Esta capacidad de retención de humedad tuvo un efecto sobre el pH en cada textura ($p < 0.05$) ya que los valores promedio en la textura arenosa fue de 7.36, arcillosa de 7.34 y en la franca arcillosa 7.24. Estos valores de humedad y pH tuvieron influencia en el crecimiento de los árboles quienes manifestaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), siendo la textura arenosa la que mostró plantas con menor incremento promedio en la altura (40.4 cm), grosor de tallo (9.3 cm) y tamaño de copa (1.18 m^2) y la de mayor incremento fue la arcillosa (81.6, 17.3 y 1.59 respectivamente).

En lo particular, analizando el efecto de cada tratamiento en cada textura, el testigo presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en humedad y pH, siendo la

textura franco-arcillosa la que presento valores más bajos (61% y 7.5) (Cuadro 12). Los valores de pH y la humedad presentados en cada textura se deben a la permeabilidad, mineralización de la materia orgánica, nitrificación, lixiviación y reacciones oxido-reducción (quimismo) que se dan en forma natural, ello implica un efecto en las plantas que crecen sobre las diferentes textura. El crecimiento de los árboles testigo presentaron diferencias ($p < 0.05$) en la variable altura y área de copa, donde la textura franco-arcillosa presenta un 38 y 35 % y 61 y 44% más de altura y copa que los árboles en las texturas arcillosa y arenosa respectivamente (Cuadro 13). Cabe mencionar que a pesar de las diferencias de crecimiento, se obtuvo en todos los árboles un crecimiento de tipo elongado por efecto de la humedad, mayor a 70%, que impero durante el experimento lo que inhibió la nitrificación en la mayor parte del tiempo, favoreciendo la producción de amonio quien tiene como efecto en la planta un mayor crecimiento del tallo (Gallegos *et al.*, 2000).

Con la dosis de 20kg en las tres texturas se logra una distribución de agregados que permite un balance de aire y agua en el suelo (Martínez *et al.*, 2013), la evidencia de este fenómeno se demuestra con la disminución de humedad presentando valores de 52 y 55% con respecto al testigo (79 y 77%) en las texturas arenosa y arcillosa respectivamente, sin embargo en la textura franco-arcillosa no refleja el efecto de la distribución de agregados dado que el incremento de humedad es ligero con respecto al testigo (Cuadro 12) . Al obtenerse esta condición de humedad es posible que ocurra el proceso de nitrificación el cual según Tisdale y Nelson (1987) necesita una humedad entre el 40 y 60%, manifestándose con la disminución de pH que puede apreciarse en las texturas arenosa y arcillosa (Cuadro 12). En la textura franco-arcillosa se presenta un pH alcalino ligeramente superior al obtenido en las otras dos texturas debido probablemente a la humedad que impero durante el experimento (igual o mayor a 60%), restringiendo el nivel de oxígeno lo que interfirió para que se realizara la nitrificación.

El crecimiento de los arboles presentó diferencias ($p < 0.05$) en las variables altura y copa, obteniéndose en la textura franca-arcillosa un 22 y 34% más de altura que en la textura arenosa y arcillosa (Cuadro 13) y para la variable copa la textura arcillosa

presentó un 7 y 21% más de crecimiento en comparación con las texturas arenosa y franca-arcillosa. En comparación a los testigos, al aplicar 20 kilogramos de composta se mejora el crecimiento en altura de los árboles que se encuentran en las texturas arcillosa y arenosa, y en la textura arcillosa se incrementa el área de copa. El crecimiento obtenido en las texturas arenosa y arcillosa fue de tipo compacto, mientras que en la textura franca-arcillosa fue un crecimiento elongado, esto se debe a que en las texturas arenosa y arcillosa se mejoró la estructura y permitió la nitrificación en donde se obtiene NO_3 que al ser absorbido por las plantas estimula la producción de follaje y en la textura franca la absorción de nitrógeno fue de forma amoniacal lo que estimula la elongación del tallo (Gallegos *et al.*, 2000).

Con la adición de 30kg se presentó una disminución de humedad en 15 a 16 puntos porcentuales en las tres texturas con respecto a los testigos (Cuadro 12) como efecto de la reducción en la densidad aparente de las partículas del suelo e incremento de permeabilidad (Cuevas *et al.*, 2006). Esta disminución mejora las condiciones de humedad de las texturas arenosa y arcillosa quedando en un 62%, nivel adecuado para el crecimiento de las plantas, pero en la textura franco-arcillosa queda en un 45% siendo el límite inferior aceptable y donde se puede disminuir la actividad en el suelo y con ello el crecimiento de la planta. Bajo estas condiciones de humedad se observa disminución de pH en las texturas arenosa y arcillosa (7.3) en comparación con el testigo (7.7 y 7.9 respectivamente), que puede deberse a la mineralización de la materia orgánica. Esta reducción de pH puede mejorar la mineralización y absorción de los nutrimentos presentes en el suelo (Tisdale y Nelson, 1987). El comportamiento de pH en la textura franco-arcillosa fue igual al testigo (7.5) ello debido a la baja humedad.

El crecimiento de los árboles mostró diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en altura, diámetro de tallo y área de copa, donde el crecimiento de los árboles en la textura arcillosa es superior al de las texturas arenosa y franco-arcillosa en un 52 y 35%; 60 y 24%; 30 y 38% respectivamente. Los árboles en la textura arcillosa adicionada con 30kg de composta incrementaron su altura, diámetro de tallo y área de copa en un 54, 43 y 61% respectivamente con respecto a sus testigos y un 36, 0 y 14% que

cuando se usan 20Kg. Al comparar los tratamientos 20Kg y 30Kg en la textura arenosa se observa que no hay diferencia en el incremento de altura, pero se obtienen mayores incrementos en tallo y copa al usar 20kg. Este efecto se potencia en la textura franco-arcillosa ya que las tres variables medidas tienen menor incremento al usar 30 que 20 kg (Cuadro 13). Con estos datos se determinó que el crecimiento en la textura franco-arcillosa fue de tipo elongado. Este crecimiento se debe a la reducción de la conductividad hidráulica (Cuevas *et al.* 2006), a consecuencia de una mala distribución de agregados lo que generó anaerobiosis limitando el desarrollo de las planta. En las texturas arenosa y arcillosa se presentó un crecimiento de tipo compacto, que podría deberse a la absorción de NO_3 , ya que en estas texturas hubo mayor disminución de pH con respecto al testigo, que puede estar causada por la nitrificación.

Con la dosis 40Kg se presenta una disminución de humedad con respecto al testigo en las texturas arenosa y arcillosa debido a la porosidad que se genera dentro de la matriz del suelo por efecto de la composta adicionada (Cuevas *et al.*, 2006) (Cuadro 12). Con esta dosis y humedad registrada se presenta una disminución de pH en las texturas arenosa y franco-arcillosa lo que podría deberse a la distribución de agregados que permite una circulación de aire y agua permitiendo mineralizar la materia orgánica, en la textura arcillosa es probable que las partículas de suelo al ser de tamaño más pequeño ocupen el espacio de los microporos de la composta impidiendo el paso del aire y/o agua lo que incurre en un pH mayor que en las otras dos texturas (Cuadro 12).

Los tratamientos testigo, 20Kg y 40Kg mantienen el mismo contenido de humedad (61%) en el suelo con textura franco-arcillosa, excepto cuando se agregan 30Kg (45%) (Cuadro 12), por lo que se considera inadecuado emplear 30 Kg en esta textura.

Con respecto al crecimiento, con el uso de 40 kg de composta en la textura arcillosa se obtiene un incremento en altura con 70% más en que en la textura arenosa y 14% mayor que en la textura franco-arcillosa. Considerando el efecto de 40Kg en la

textura arcillosa se observa que se tiene mayor incremento en altura y área de copa que los tratamientos testigo, 20kg y 30kg y mayor diámetro de tallo que el testigo (Cuadro 13). A pesar de las diferencias de crecimiento, este tratamiento (40kg) da mayor proporción a los árboles por lo que pueden clasificar como de crecimiento compacto.

Durante los periodos donde la humedad en los tratamientos testigos superó el 60% en las tres texturas, el tratamiento T17 la disminuyó entre 6 a 22 unidades porcentuales, siendo más acentuada en las texturas arcillosa y arenosa (Cuadro 12) repercutiendo en el pH el cual es más alcalino que en los tratamientos con composta.

El T17 en la textura arcillosa presenta mayor crecimiento en altura, diámetro del tallo y área de copa con respecto a la arenosa y franco-arcillosa (Cuadro 13), este comportamiento se debe a que las partículas de arcilla tienen la propiedad de retener e intercambiar cationes con las raíces de la planta, aunado a que los nutrientes presentes en el fertilizante se encuentran en forma disponible.

Cuadro 12. pH y humedad de los tratamientos en cada textura

Tratamiento	Textura	pH	Humedad (%)
Testigo	Arenosa	7.7	72
Testigo	Arcillosa	7.9	77
Testigo	Franco-arcillosa	7.5	61
20kg	Arenosa	7.5	52
20kg	Arcillosa	7.5	55
20kg	Franco-arcillosa	7.7	60
30kg	Arenosa	7.3	62
30kg	Arcillosa	7.3	62
30kg	Franco-arcillosa	7.5	45
40kg	Arenosa	7.0	67
40kg	Arcillosa	7.5	67
40kg	Franco-arcillosa	7.1	61
T17	Arenosa	7.8	48
T17	Arcillosa	7.7	50
T17	Franco-arcillosa	7.4	55

Cuadro 13 Crecimiento de los árboles con tratamiento en cada textura

Variable	Tratamiento	Texturas		
		Arenosa	Arcillosa	Franco-arcillosa
Altura (cm)	20kg	44.5	57.7	77.7
	30kg	42.7	90.3	58.6
	40kg	35.5	84.0	72.0
	T17	35.7	129.0	81.0
	Testigo	43.5	41.5	67.0
Diámetro del tallo (cm)	20kg	11.3	16.5	15.0
	30kg	7.8	19.3	14.5
	40kg	7.6	19.3	11.8
	T17	6.5	18.8	15.6
	Testigo	13.6	11.0	11.8
Área de copa (m ²)	20kg	1.3	1.4	1.1
	30kg	0.9	1.3	0.8
	40kg	1.5	1.7	1.4
	T17	1.0	2.6	1.4
	Testigo	0.9	0.5	1.3

7.2 Uso del bagazo en la ganadería

7.2.1 Silos

Los residuos tienen las mismas características químicas entre sí (Cuadro 14), pero varió en el tamaño de partícula debido al método de picado. En La Chica pican con hacha obteniendo un tamaño de partícula promedio de 3.33 cm³ y en El Venado se usa el molino de cuchillas aportando un tamaño de 1.26 cm³. Bajo estas condiciones se puede ver alterada la eficiencia de la fermentación de azúcares para la producción de alcohol. La temperatura del residuo al finalizar el proceso de destilación es 76°C y una humedad del 85%, y después de una hora la temperatura descendió hasta los 31°C y la humedad permaneció. El pH inicial del residuo fluctuó entre 4 para el sustrato de El Venado y 5 para el sustrato de La Chica y 30 a 32°C en ambos sustratos.

Cuadro 14. Características químicas de la fibra de bagazo de agave después de ocho días del proceso de destilación.

Característica química	%
Humedad	73
Proteína cruda	4.8
Extracto Etéreo	2.3
Fibra cruda	78
Fibra detergente neutro	69
Fibra detergente ácido	62
Ceniza	12
pH	5-7

Considerando las características químicas, se aprecia que el residuo de agave es un material resistente a la degradación y el contenido de azúcares podrían estar ligado a la proteína debido a las condiciones del proceso (González, 2005). La diferencia que existe entre las fibras detergentes es de solo ocho unidades porcentuales que corresponden al contenido de hemicelulosa, lo que implica que el resto está formado de lignina y celulosa, moléculas altamente resistentes a la degradación.

El monitoreo de los silos preparados con 70% de humedad y de pH 6.5 a 7 presentaron a las 24 horas fluctuaciones de pH 6.5 a 5.8 y de temperatura 33.8 a 40.1°C y 7 a 11% de oxígeno. A las 96 horas se registraron pH de 4.7 a 4.9, temperaturas de 33 a 43°C y niveles de oxígeno de 6 a 7%. Se observó que a las 196 horas se estabilizó el pH a 3.5, con temperatura de 17 a 44°C y niveles de oxígeno de 6 a 7%. Las temperaturas más altas coincidieron con los niveles mayores de oxígeno y con el mayor tamaño de partícula, hecho que hace suponer que la fermentación anaeróbica no se alcanzó satisfactoriamente debido a una mala compactación y aunada a la cantidad de humedad no permitieron que los lactobacilos se desarrollaran adecuadamente, por lo que se dio un proceso heterofermentativo en el cual hay mayor degradación de los materiales añadido para la formación de ácidos acético y/o butírico dando un material ensilado de baja calidad nutrimentalmente. Las

observaciones de las propiedades físicas del ensilaje corroboraron lo ocurrido con las variables antes mencionadas al obtener un olor desagradable (butírico-acético) y contar con la presencia de hongo en todos los tratamientos, además la consistencia denotaba maceración por la presencia de los microorganismos causantes de putrefacción.

Para el caso del material ensilado con el 60% de humedad se obtuvieron resultados similares a los descritos para los ensilados con 70%, logrando la estabilización a las 196 horas de ensilado, y las diferencias observadas fueron en los parámetros finales donde el pH se estableció en 4 a 4.5 y temperatura de 20°C. El olor presente en los ensilajes adicionados con microorganismos, melaza y microorganismos+melaza fue de tipo acético-láctico, y para los adicionados con maíz fue láctico- acético para los dos tamaños de partícula. La consistencia observada era del material original sin signos de putrefacción ni presencia de hongos.

La composición química del bagazo de agave y de su ensilaje se presenta en el Cuadro 15. El análisis estadístico de la variable proteína cruda muestra diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) con respecto al aditivo empleándolo que implica que el aditivo tiene efectos sobre el contenido final ya sea por efecto de adición o por efecto de la eficiencia en la fermentación. El contenido de humedad y el tamaño de partícula no causaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) en el contenido final de la proteína cruda del ensilaje. Los tratamientos adicionados con microorganismos y melaza presentaron, en promedio, mayor cantidad de proteína perdiendo únicamente 16.7% de la proteína inicial en el proceso de fermentación, hecho que se justifica debido a la adición de los carbohidratos solubles que contiene la melaza, lo que proporciona la fuente de energía que necesitan los microorganismos agregados, evitando la degradación de las proteínas que pudieran suplir la energía demandada por las bacterias presente en el ensilaje (Araiza *et al.*, 2013).

La variable extracto etéreo mostró diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) de acuerdo al aditivo empleado, así como en el tamaño de partícula. El no emplear un aditivo favorece la degradación de las grasas y el uso de microorganismos y melaza

por separado o en conjunto la disminuyen. Un mayor tamaño de partícula ofrece mayor resistencia a la degradación, ello debido al efecto de menor superficie de contacto ofrecida a los microorganismos dificultando el aporte de nutrientes para el crecimiento de éstos (Rosero y Posada, 2009). Los microorganismos *Clostridium* y *Butyribacterium* tienden a utilizar los nutrientes que están más disponibles en el medio como son los que están contenidos en el sustrato (azúcares simples), los añadidos (almidón, azúcar de caña, glucosa) o bien los que se producen en primer instancia por la fermentación anaeróbica (ácido pirúvico y ácido láctico) y producir el ácido butírico (Cárdenas *et al.*, 2006). En el ensilado, el ácido butírico también se produce cuando es insuficiente la cantidad de carbohidratos presentes como para producir ácido láctico que baje el pH a 5, si esto ocurre se obtiene por la hidrólisis de los glicéridos en ambientes con temperatura de 37°C, humedad superior a 70% y pH superior a 6.

El complejo de fibras (FC, FDN y FDA) mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) con respecto al aditivo empleado, siendo los tratamientos T4 y T8 (microorganismos-melaza) quienes presentaron mayor degradación de los componentes de la FDN, reflejándose con mayor degradación en la FC del sustrato con menor tamaño de partícula (T8) (Cuadro 14). Con respecto al efecto de los aditivos sobre la FDN estadísticamente fue significativa ($p < 0.05$) siendo el T8 quien presentó menor contenido debido a la presencia de microorganismos, azúcares disponibles y menor tamaño de partícula (Araiza *et al.*, 2013), lo que potenció el crecimiento de los microorganismos y con ello mejorar la eficiencia en la fermentación para lograr una mayor cantidad de ácidos que impactaron en el pH.

La cantidad de nitrógeno amoniacal en los ensilajes no presentó diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) con respecto a los aditivos empleados pero si muestra diferencias estadísticas con el tamaño de partícula y la interacción entre ambos factores ($p < 0.05$). Los tratamientos T4 donde se empleó microorganismo-melaza se presentó la menor cantidad de nitrógeno amoniacal, lo que indica que los microorganismos adicionados compitieron eficientemente con la población natural, disminuyendo la degradación de las proteínas (Tobía y Gonzáles, 2000).

En lo general, el pH final está condicionado por los aditivos empleados, el tamaño de partícula y la humedad ($p < 0.05$), y en lo particular los tratamientos T4 y T8 a base de microorganismos+melaza presentaron el pH más ácido (Cuadro 15). Sin embargo los pH alcanzados en los ensilajes no aseguran una buena conservación por un largo tiempo, por ello los pH's medidos al año de haber ensilado fluctuaron entre 5.9 y 7.4 en todos los tratamientos, mostrando un claro proceso de putrefacción.

7.2.2 Cubos nutritivos

La composición y calidad nutricional de los cubos probados bovinos en pastoreo se presentan en los cuadros 16, 17 y 18.

Cuadro 15. Composición química del bagazo de agave sin tratamiento y sus ensilajes

Tmto.	Proteína	Extracto	Fibra		FDN	FDA	NNH3	pH	pH	Temp.
	Cruda	Etéreo	Cruda	Cenizas						
	%	%	%	%	%	%	%	inicial	silos	
Bagazo	4.81	2.3	78.1	12.1	69.1	62		7		
T1	3.34	1.64	79.07	9.88	76.8	61.93	0.050	7	4.38	19.7
T2	3.71	1.69	78.05	15.96	75.0	65.48	0.046	7	4.41	19.9
T3	3.90	1.67	81.85	12.38	76.9	62.45	0.046	7	4.75	19.5
T4	3.99	1.55	83.94	12.29	73.0	62.65	0.044	7	4.13	19.0
T5	4.11	1.24	78.30	12.49	76.4	60.05	0.050	6	4.47	19.5
T6	3.47	1.60	78.58	11.24	72.9	63.00	0.050	5	4.41	20.4
T7	3.44	1.81	79.47	14.34	71.2	59.23	0.062	5.5	4.24	18.3
T8	2.91	1.53	71.88	11.26	73.7	60.17	0.056	6	4.25	19.9

Cuadro 16. Cubo nutrimental 1 probado en bovinos en pastoreo

ALIMENTO	PC	EM	ENgMcal	% ALIMENTO	% PC	EM Mcal	Eng aporte		PRECIO	COSTO
							Mcal	Mcal		
P. SOYA	46	3.09	1.35	15	6.9	46.35	20.25	8.6	129	
MAIZ MOLIDO	9	3.19	1.37	20	1.8	63.8	27.4	3.8	76	
HARINOLINA	36	2.67	0.65	15	5.4	40.05	9.75	8.25	123.8	
MELAZA	3	2.76	1.03	25	0.75	69	25.75	2.85	71.25	
CEMENTO	0			5	0	0	0	2.5	12.5	
MINERALES	0			5	0	0	0	10	50	
GRANO DEST	25	1.7	1.36	20	5	34	27.2	5	100	
BAGAZO	3		0.19	50	1.5	0	9.5			

Cuadro 17. Cubo nutrimental 2 probado en bovinos en pastoreo

ALIMENTO	PC	EM	ENgMcal	%ALIMENTO	% PC	EM Mcal	ENg aporte		PRECIO	COSTO
							Mcal	Mcal		
P. SOYA	46	3.09	1.35	10	4.6	30.9	13.5	8.6	86	
MAIZ MOLIDO	9	3.19	1.37	20	1.8	63.8	27.4	3.8	76	
HARINOLINA	36	2.67	0.65	10	3.6	26.7	6.5	8.25	82.5	
MELAZA	3	2.76	1.03	25	0.75	69	25.75	2.85	71.25	
CEMENTO	0			5	0	0	0	2.5	12.5	
MINERALES	0			5	0	0	0	10	50	
NNP prot.	280	0	0	2	5.6	0	0	32	64	
BAGAZO	3		0.19	60	1.5	0	9.5			

Cuadro 18. Cubo comercial utilizado en la prueba de consumo voluntario en bovinos en pastoreo

ALIMENTO	PC	EM	ENgMcal	%ALIMENTO	% PC	EM Mcal	ENg		PRECIO	COSTO
							Aporte			
P. SOYA	46	3.09	1.35	30	13.8	0.927	40.5	8.6	258	
MAIZ MOLIDO	9	3.19	1.37	20	1.8	0.638	27.4	3.8	76	
HARINOLINA	36	2.67	0.65	30	10.8	0.801	19.5	8.25	247.5	
MELAZA	3	2.76	1.03	20	0.6	0.552	20.6	2.85	57	
CEMENTO	0			5				2.5	12.5	
PAJA/TAZOLE	0		0.19	1			0.19			
MINERALES	0			5				10	50	

Los cuatro grupos de bovino consumieron los tres tipos de cubos. Las pruebas se realizaron durante seis meses, en los que se alternaron el tipo de cubo. El consumo voluntario para ambos sitios de trabajo no presentó diferencias estadísticas significativas ($p < .05$) pero si hay diferencias ($p < .05$) entre el tipo de cubo, donde el cubo comercial es consumido en un promedio de 250 g por animal por día y los cubos propuestos 1 y 2 presentan un consumo de 360 y 550 g por animal/día; lo que representa un aporte de proteína cruda de 67.5, 76.86 y 99 g/día/animal a un costo de 3.25, 2.03 y 2.45 pesos/día/animal respectivamente. Es evidente el beneficio del uso de los cubos nutrimentales ya que aporta nutrientes en una proporción del 10, 11.38 y 14.66% respectivamente de las necesidades de proteína que una vaca gestante de 550 kg a un bajo costo. La ventaja que pudiera haber en el uso de los bloque 1 y 2 sobre el comercial es la cantidad de bagazo que se emplea y que no limita su consumo en caso de escasez de forraje en el pastizal, como es el caso del cubo comercial, ya que la falta de una fuente de fibra atrofia el metabolismo ruminal comprometiendo la salud animal.

La composición y calidad nutrimental de los cubos probados bovinos en engorda se presentan en los cuadros 19, 20 y 21.

Cuadro 19. Cubos nutrimentales 1 y 2 probados en bovinos de engorda donde vario el tipo de fibra utilizada

ALIMENTO	PC	EM Mcal	EngMcal	%ALIMENTO	% PC	ENg		PRECIO	COSTO
						EM Mcal	aporte		
P. SOYA	46	3.09	1.35	27	12.4	0.8343	36.45	8.6	232.2
MAIZ MOLIDO	9	3.19	1.37	20	1.8	0.638	27.4	3.8	76
HARINOLINA	36	2.67	0.65	27	9.72	0.7209	17.55	8.25	222.8
MELAZA	3	2.76	1.03	30	0.9	0.828	30.9	2.85	85.5
CEMENTO	0			5				2.5	12.5
FIBRA	3		0.19	10	0.3		1.9		0
MINERALES	0			5				10	50
NNP prot.	280			3	8.4			32	96

Fibra= Cubo 1 paja de maíz; Cubo 2 bagazo de agave

Cuadro 20. Cubo nutrimental 3 probado en bovinos de engorda donde se adicionó grano de destilería

ALIMENTO	PC %	EM		% ALIMENTO	% PC	ENg		PRECIO	COSTO
		Mcal	Mcal			Mcal	aporte		
P. SOYA	46	3.09	1.35	20	9.2	0.618	27	8.6	172
MAIZ MOLIDO	9	3.19	1.37	10	0.9	0.319	13.7	3.8	38
HARINOLINA	36	2.67	0.65	25	9	0.668	16.25	8.25	206.3
MELAZA	3	2.76	1.03	40	1.2	1.104	41.2	2.85	114
CEMENTO	0			5				2.5	12.5
BAGAZO	3		0.19	5	0.15		0.95		
MINERALES	0			5				10	50
GRANO DEST	25	1.7	1.36	10	2.5	0.17	13.6	5	50
NNP prot.	280			3	8.4			32	96

Cuadro 21. Cubo nutrimental 4 probado en bovinos de engorda

ALIMENTO	ENg						ENg aporte		PRECIO	COSTO
	PC	EM	Mcal	%ALIMENTO	% PC	EM Mcal	Mcal			
P. SOYA	46	3.09	1.35	20	9.2	1.4214	27	8.6	172	
MAIZ MOLIDO	9	3.19	1.37	10	0.9	0.2871	13.7	3.8	38	
HARINOLINA	36	2.67	0.65	25	9	0.9612	16.25	8.25	206.3	
MELAZA	3	2.76	1.03	40	1.2	0.0828	41.2	2.85	114	
CEMENTO	0			5			0	2.5	12.5	
MINERALES	0			5			0	10		
GRANO DEST	25	1.7	1.36	10	2.5	0.425	13.6	5	50	
NNP prot.	280			3	8.4			32	50	

Los tres lotes de bovinos en engorda empleados para la prueba de los bloques nutrimentales propuestos se estratificaron según el peso corporal en grupos de 300 a 350, de 350 a 400 y de 400 a 450 kg, los cuales no mostraron diferencias estadística significativas ($p > .05$) entre lotes pero si entre grupos y bloques ($p < .05$)

En lo general en los tres lotes y en los tres grupos, el cubo 4 fue el que presentó mayor consumo alcanzando un promedio de 2.36 kg/animal/día y el menor consumo promedio se registró en el cubo 2 con 1.6 kg/animal/día, siendo el grupo 300-350kg el más afectado registrando un consumo de 1.14 kg/animal/día (Cuadro 22). El alto consumo presentado en el cubo 4 se debió a la facilidad que presentaba este cubo al desmoronamiento por la acción mecánica y de la humedad que al animal proporciona al alimentarse de él. Este desmoronamiento se debió a que presentó una compresión de 57 Kg fuerza, compresión menor a la de los cubos que contenían una fuente de fibra (63 kg fuerza).

Como se puede observar, la inclusión de grano de destilería en la formulación del cubo 3 superó la limitante que el bagazo de agave mostro en el cubo 2 donde pudiera ser el causante del menor consumo registrado.

El aporte nutrimental de la dieta que otorgaron los productores y el de los cubos se visualiza en el Cuadro 23, donde se puede observar que el consumo de cubos registrado aporta de 500 a 700 g de la proteína cruda y la dieta que los productores ofrecen otorga la mayor cantidad de energía neta de ganancia (ENg). Al complementarse la dieta con los cubos se incrementó la ganancia de peso vivo por día de 0.700 kg hasta un máximo de 2.06 kg. El grupo de animales que menos incremento registró fue el de 300-350 kg debido al consumo y al crecimiento que en su momento mantenía, una vez logrado el desarrollo el incremento de peso se aumentó como lo registra los grupos restantes (Cuadro 22).

El consumo de bloques osciló entre 0.58 y 0.64 % del peso vivo de los animales y la conversión alimenticia fue mayor en los animales cuando consumieron cubos con bagazo que con rastrojo de maíz como fuente de fibra (3.9:1 vs 4.3:1 kg de materia seca).

Los incrementos registrados en los tres lotes alimentados con los bloque no corresponden a las necesidades de PC y ENg mencionados en la literatura (Shimada, 2005), ello debido al efecto que tiene el nitrógeno no proteico protegido adicionado, el cual modifica el metabolismo ruminal extendiendo el tiempo de utilización del nitrógeno contenido hasta por seis horas, lo que mantiene en actividad la población microbiana del rumen eficientando la degradación de los alimentos de una nueva ingesta. Con lo anterior se obtiene una población siempre creciente de bacterias con lo que se mejora la degradación de los componentes de los alimentos proteicos, energéticos y fibrosos, además de obtener mayor cantidad de proteína unicelular.

Cuadro 22. Consumo de bloque por diferentes grupos de animales en engorda

BLOQUE	PESO VIVO	CONSUMO DE	INCREMENTO DE
		CUBO Kg	PESO Kg
1	300-350	1.95	1.28
	350-400	2.09	1.8
	400-450	2.43	1.88
2	300-350	1.14	1.6
	350-400	1.76	1.9
	400-450	1.92	1.92
3	300-350	1.9	1.42
	350-400	2.1	1.92
	400-450	2.15	1.92
4	300-350	1.9	1.6
	350-400	2.2	1.9
	400-450	2.62	2.07

Cuadro 23. Aporte nutrimental de la dieta y cubos de los animales en engorda

BLOQUE	PESO VIVO	PC dieta (Kg)	ENgdietaMcal	PC	Eng	PC	Eng
				cubos (Kg)	cubos Mcal	total (Kg)	total Mcal
1	300-350	0.202	5.94	0.283	1.09	0.756	8.06
	350-400	0.21	7.64	0.283	1.09	0.803	9.92
	400-450	0.215	8.34	0.283	1.09	0.903	10.98
2	300-350	0.202	5.94	0.296	1.127	0.539	7.22
	350-400	0.21	7.64	0.296	1.127	0.73	9.62
	400-450	0.215	8.34	0.296	1.127	0.783	10.5
3	300-350	0.202	5.94	0.283	1.328	0.74	8.46
	350-400	0.21	7.64	0.283	1.328	0.804	10.42
	400-450	0.215	8.34	0.283	1.328	0.824	11.19
4	300-350	0.202	5.94	0.283	1.328	0.74	8.46
	350-400	0.21	7.64	0.283	1.328	0.833	10.56
	400-450	0.215	8.34	0.283	1.328	0.958	11.82

7.2.2.1 Análisis económico

Como era de esperarse, lo animales con menor peso presentaron el mayor costo de producción por kilogramo de incremento (Cuadro 24), ya que el crecimiento limita la conversión por el desvío de los nutrientes a esta función. Los animales más pesados que consumieron el cubo 3 fueron los que presentaron menor costo de producción. El costo promedio de un kilogramo de becerro fue de 13.5 pesos, y si consideramos que en este momento el kilogramos en pie cuesta 32 pesos, se obtiene una ganancia de 18.5 pesos por Kg/día, y si el incremento promedio fue 1.75 Kg/animal/día, la ganancia que representa por día por animal fue 32 pesos.

Cuadro 24. Análisis de costo de un kilogramo de incremento en la engorda de bovino usando bloques nutrimentales

BLOQUE	PESO VIVO	INCREMENT		COSTO		COST	
		CONSUM O Kg	O DE PESO Kg	COST O	CONSUM O	O DIETA	COSTO/K g
1	300-350	1.952	1.282	6.1	11.907	12.2	18.804
	350-400	2.09	1.8	6.1	12.749	12.2	13.861
	400-450	2.43	1.875	6.1	14.823	12.2	14.412
2	300-350	1.14	1.6	6.1	6.954	12.2	11.971
	350-400	1.76	1.9	6.1	10.736	12.2	12.072
	400-450	1.92	1.92	6.1	11.712	12.2	12.454
3	300-350	1.9	1.42	4.89	9.291	12.2	15.135
	350-400	2.1	1.92	4.89	10.269	12.2	11.703
	400-450	2.15	1.92	4.89	10.514	12.2	11.83
4	300-350	1.9	1.6	5.02	9.538	12.2	13.586
	350-400	2.2	1.8	5.02	11.044	12.2	12.913
	400-450	2.62	2.07	5.02	13.152	12.2	12.248

VIII. CONCLUSIONES

El método de compostaje en pila semi-estática permite la transformación del bagazo de agave en un abono con características aceptables para su aplicación como mejorador de suelos y fuente de nutrimentos para las plantas.

La composta tiene efecto en la estructura del suelo que influye en la circulación del aire y agua, provocando cambios de pH a causa de la mineralización de la materia orgánica. Dependiendo de la textura del suelo y dosis de composta que se aplique se presenta un efecto de formación de agregados entre partículas de composta y suelo que favorecen o perjudican el crecimiento de los árboles de durazno. Los efectos negativos se presentan principalmente en las texturas arenosa y franco-arcillosa cuando se aplican 30 kg de composta. El emplear 40 kg de composta mejora respuesta en el crecimiento de plantas en las tres texturas, y se tiene en los árboles un crecimiento de tipo compacto. La fertilización con triple 17 tiene un efecto sobresaliente en el crecimiento de árboles en suelo con textura arcillosa pero deficiente en suelos de textura arenosa y franco-arcillosa.

El empleo de microorganismos más melaza favorece la fermentación del ensilaje de bagazo, alcanzándose el pH más ácido. El tamaño de partícula del bagazo influye en el proceso fermentativo del ensilaje, ya que a mayor tamaño la fermentación se obtienen pH menos ácidos. Los valores de pH obtenidos en los ensilajes no son suficientemente efectivos para permitir la conservación del forraje a lo largo del tiempo.

El uso de cubos con alto contenido de fibra en pastizales es una alternativa viable para los bovinos de cría y repasto.

El uso de bagazo limita el consumo cuando se suministra en la dieta en animales bajo régimen intensivo.

El grano de destilería permite obtener mayor consumo de bagazo de maguey eliminando la limitante señalada en la conclusión anterior.

El uso de bagazo mejora la conversión alimenticia a diferencia del uso de rastrojo de maíz.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, C. 2007. El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio*, núm. 5, pp 55-60

Aguilar FCG. 2007. Manual de prácticas de bromatología I. Tesis de licenciatura. Escuela de Ciencias Químicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. 148 pp.

Alfaro RG, Legaria SJP, Rodríguez PJE. 2007. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave spp.*) del nororiente del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*.

Allison CD. 1985. Factor Affecting Forage Intake by Range Ruminants: A Review. *Journal of Range Management*. vol. 38, núm.4, pp: 305-31.

Almaraz AN, Hernández VV, Torres MI, Delgado AA, Orea LG, Cifuentes DA, Ávila RJA, Herrera CJ, Uribe SN., Muñiz MR, Naranjo JN. 2007. *Agave duranguensis*. Primera edición. Talleres gráficos del IPN. México.

Alonso GMS, Rigal L. 1997. Caracterización y valorización del bagazo de *Agave tequilana* Weber de la industria del tequila. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, vol. 3 núm. 2, pp: 31–39

Ansorena M. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. MundiPrensa. Madrid, España. 172 pp.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th edition, volume one. USA

Araiza RE, Delgado LE, Carrete CFO, Medrano RH, Solís S A, Murillo OM, Haubi SC. 2013. Degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 17, núm.2, pp: 79-96.

Argamenteoría GA, Martínez I, Sanchez, Martínez A. 1997. El ensilado en Asturias. Centro de investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria (CIATA). pp: 127

Bautista JM, García OL, Barboza CJE, Parra NLA. 2001. El *Agave tequilana* Weber y la producción de tequila. Acta Universitaria, vol. 11, núm. 2, pp: 26-34.

Bernier R, Alfaro M. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Boletín INIA, 151, 13-14.

Cárdenas D, Pulido C, Aragón O, Aristizabal F, Suárez Z, Montoya D. 2006. Evaluación de la producción de 1, 3-propanodiol por cepas nativas de *Clostridium* sp. mediante fermentación a partir de glicerol USP y glicerol industrial subproducto de la producción de biodiésel. Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas, vol. 35, núm. 1, pp: 120-137.

Castillo AE, Gauna DC, Dalurzo HC, Fernández SR. 2004. Subproductos del tabaco y de tung como enmiendas orgánicas en las propiedades físicas de un ultisol. Agricultura Técnica, vol.64 núm. 3, pp: 288-294.

Campillo R, Sadzawka A. 2006. La acidificación de los suelos, origen y mecanismos involucrados. Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía. Serie Actas, vol.38, pp:44-60.

Chávez MG. 1990. Consumo voluntario de forraje, valor nutritivo de la dieta y gasto energético de vacas gestantes y lactantes en pastoreo. Tesis Maestría. Universidad autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chi. México.

Chilibroste P 1998. Fuentes comunes de error en la alimentación del ganado lechero en pastoreo: Predicción del consumo. Facultad de Agronomía. EEMAC. Paysandú. pp: 18.

Colunga GMP, Zizumbo VD, Martínez TJ. 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su

diversidad biológica y cultural. En lo Ancestral hay Futuro: del Tequila, los Mezcales y otros Agaves, pp: 229-248.

Contreras GFE, Marsalis MA, Lauriault LM. 2009. Inoculantes microbiales para ensilaje: uso en condiciones de clima cálido. NM State University, Servicio de Extensión Cooperativa, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ambientales y del Consumidor.

Corapse LHM, Muraoka T, Franzini VI, Espinal FSC, Trivelin PCO. 2009. Absorción de formas de nitrógeno amoniacal y nítrica por plantas de papa en la producción de tubérculo-semilla. *Agronomía Tropical*, vol. 59 núm. 1, pp: 45-58.

Crampton EW. 1957. Interrelationships between digestible nutrient and energy content, voluntary dry matter intake, and the over-all value of forage. *Journal of Animal Science*, vol. 16, pp: 546-552.

Crespo GM. 2011. Proceso de compostaje de bagazo de agave tequilero a gran escala y uso de la composta para el cultivo del *Agave tequilana* en contenedor. Universidad de Guadalajara.

Cuevas J, Seguel O, Ellies SA, Dörner J. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, vol. 6 núm. 2, pp: 1-12.

Dev R, Antil RS. 2010. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro industrial wastes. *Bioresource Technology*. Vol. 102 pp: 2868–2873.

Distel RA, Villalba JJ, Laborde HE. 1993. Effects on early experience on voluntary intake of low-quality roughage by sheep. *Journal of Animal Science*, vol. 72 p 1191.

Dzamic R, Jovanovic M, Simic M. 1986. Quantity of nutritive elements utilized by some peach cultivars as determination basis of rational doses of fertilizers. *Agrohemija, Yugoslavia*. FAO

Galantini JA, Suñer L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, vol. 25 núm.1, pp: 41-55.

Gallegos VC, Olivares SE, Vázquez AR, Zavala GF. 2000. Nitrate and ammonium uptake by cactus pear in hydroponics. *Terra*, vol. 18, núm 2, pp: 133-139.

García MA. 2007. Los agaves de México. Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias* vol. 87. p: 14

González GY. 2005. Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis*, vol. 3 núm. 14.

Gutierrez R. 2006. Elaboración artesanal y uso de bloques multinutricionales de melaza como suplemento alimenticio para ovinos Fortalecimiento del sistema producto ovinos. Serie alimentación. INIFAP

Herrera CJ, Naranjo JN, Gurrola RJ, Almaraz AN. 2007. La avena cultivo, ensilado y aprovechamiento. Ed División. Durango, Mexico. pp: 41-153

Iñiguez CJ, Bernal C, Ramírez M, Villalvazo N. 2014. Recycling agave bagasse of the tequila industry. *Advances in chemical engineering and science*. vol. 4, pp:.135-142.

Jensen V. 1968. The plate count technique In: *The Ecology of soil bacteria*. R.Gray and D. Parkinson (Ed) Liverpool University Press. 158-169.

Julca OA, Meneses FL, Blas SR, Bello AS. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*, vol. 24, núm. 1 pp: 49-61.

López RJ, López MJ. 1990. *El diagnóstico de suelos y plantas*. 4ª Ed. MundiPrensa. Madrid, España.

López R. 1984. Dieta del Ganado en agostadero. Folleto de divulgación. vol. 1 Núm. 4 U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México.

Martin EC. 2010. Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego. University of Arizona. College of agricultural and life sciences. Arizona Cooperative Extension. Arizona.

Martínez GGA, Íñiguez CG, Ortiz HYD, López CJY, Bautista CMA. 2013. Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. Revista internacional de contaminación ambiental, vol. 29 núm. 3, pp: 209-216.

Márquez PB, Blanco MJD, Capitán FC. 2008. Factores que afectan al proceso de compostaje. MundiPrensa, p 93.

Mejía J. 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. Acta universitaria. vol. 12, núm. 3, pp: 56-63, Universidad de Guanajuato.

Minson JD. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press. San Diego, C.A.

Mizuno I. 1981. Fósforo en los suelos argentinos. Academia nacional de agronomía y veterinaria. Tomo XXXV pp 13

Muñoz GJ, Polo GMJ, Giráldez CJV. 1999. Modificación de algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Guadalquivir enmendado con lodos de depuradora. Jornadas sobre Investigación en la zona no Saturada del Suelo. La Laguna, Tenerife España.

Negro MJ, Villa F, Aibar J, Aracón R, Ciria P, Cristóbal, MV, Lacasta DC. 2000. Producción y gestión del compost. Informaciones técnicas del departamento de agricultura de la dirección general de tecnología agraria. Gobierno de Aragón. Número 88.

Nelson VP, Chen YS, Jim SH. 2002. What really causes stretch?. GPN. NC State University, USA

NRC. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. National Academy Press. Washington, DC.

Nieto GA, Murillo AB, Troyo D E, Larrinaga MJA, García HJL. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del Chile (*Capsicum annuum* L): en zonas áridas. *Interciencia*, vol. 27 núm. 8, pp:417-421.

Nolásco CH. 2015. Informe de actividades. Consejo Regulador del Mezcal (CRM). pp 72.

Osaki M, Shirai J, Shinano T, Tadano T. 1995. Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants. *Soil science plant nutrition*, vol. 41 núm. 4 pp: 709-719.

Osorio NW. 2012. pH del Suelo y Disponibilidad de Nutrientes. *Revista Manejo integral del suelo y Nutrición Vegetal*, vol. 1 núm. 4.

Pereira G, Herrera J, Machuca A, Sánchez M. 2007. Efecto del pH sobre el crecimiento in vitro de hongos ectomicorrícicos recolectados de plantaciones de *Pinus radiata*. *Bosque (Valdivia)*, vol. 28 núm. 3, pp: 215-219.

Puritch GS, Barker AV. 1967. Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. *Plant Physiology*, vol. 42 núm. 9, pp:1229-1238.

Ramírez C, Clementina R, Alonso G, María S, Riga. 2012. Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 18, núm. 3, septiembre-diciembre, pp: 449-457.

Reyes I, Valery A. 2007. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) con *Azotobacter* spp. *Bioagro*, vol. 19 num 3, pp: 117-126.

Rodríguez MR, Alcanzar GEG, Iñiguez Covarrubias G, Zamora F, García LPM, Ruíz LMA, Salcedo PE. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* vol. 35 núm. 7 pp: 515-520.

Rodríguez PL. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana*, vol. 24, núm., 1, pp: 28-37.

Rosas MI, Colmenero RA, Naranjo JN, Rodríguez GJH. 2013. El mezcal de Durango, México. *Vid supra*, vol. 5, núm. 2, pp: 113-117

Rosero NR, Posada SL. 2009. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 20, núm. 2, pp: 174-182.

Ruser R, Flessa, Russow RH, Schmidt G, Buegger F, Munch JC. 2006. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 38 núm. 2, pp: 263-274.

Samaniego GJA, Chew MY. 2007. Diversidad de géneros de hongos del suelo en tres campos con diferente condición agrícola en La Laguna, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, vol. 78 núm. 2, pp: 383-390.

Seguel S, García de Cortázar GDC, Casanova P. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura técnica*, vol. 63, num. 3, pp: 287-297.

Semple KT, Reid BJ, Fermor TR. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environ pollution* vol. 112 pp: 269-283.

Shimada MA. 2003. *Nutrición animal*. Trillas, México.

Soder KJ, Rook AJ, Sanderson MA, and Golce SC. 2007. Interaction of plant species diversity on grazing behavior and performance of livestock grazing temperate region pastures. *Crop Science*, vol. 47, pp: 416-425.

Tejada HI. 1983. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. No. Registro SEP 1302/83. México.

Tisdale S, Nelson W. 1987. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. 1ª Ed. Uteha.

Tobía C, Gonzáles EV. 2000. Inóculos bacterianos: una alternativa para mejorar el proceso fermentativo en los ensilajes tropicales. *Nutrición Animal Tropical*, vol. 6, núm 1, pp: 129-143.

Valenzuela RJF, Velazco GOH, Márquez LMA. 2003. Desarrollo sustentable del agave mezcalero en Durango. SEP CIIDIR IPN Dgo. SAGDR México.

Van Soest P. 1987. Practical aspects of forage quality. Arizona dairy newsletter University of Arizona, Cooperative Extension Service (USA).

Vicencio RMG, Pérez LME, Medina HE, Martínez PMA. 2011. Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 27 núm. 3, pp: 263-270.

Villa AF, Meléndez AP, Carulla JE, Pabón ML, Cárdenas EA. 2013. Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol.23num.1, pp: 65-77.

Warman PR, Havard KA. 1998. Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown potatoes and sweet corn. *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 68 núm. 3, pp: 207-216.

Wernli C, Ojeda F. 1990. Metodologías para investigaciones sobre conservación y utilización de ensilajes. Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación. San José: IICA, pp: 179-218.

Zabala MF. 2003. Evaluación agronómica de sustancias húmicas derivadas de humus de lombriz. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Zemmelink G. 1980. Effect of selective consumption on voluntary intake and digestibility of tropical forages. Center for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, the Netherlands.