



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

**COMPLEJO REGIONAL CENTRO
UNIDAD TECAMACHALCO
COLEGIO AGROINDUSTRIAL**

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE
COMPOSTAS TIPO BOKASHI ADICIONADAS CON AHUATE DE
TUNA (*Opuntia ficus-indica*)”**

TESIS PROFESIONAL

**Que para obtener el Título de:
Ingeniero Agroindustrial**

Presenta:

Beatriz Yesenia Juárez Juárez

Director de Tesis:

M.C. Adriana Sánchez Espíndola

Tecamachalco, Puebla, febrero del 2025

La tesis titulada “CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE COMPOSTAS TIPO BOKASHI ADICIONADAS CON AHUATE DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*)” se realizó en los laboratorios pertenecientes al Colegio de Ingeniería Agroindustrial, ubicado en el Complejo Regional Centro Tecamachalco, Puebla, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por Beatriz Yesenia Juárez Juárez bajo la dirección de la M.C. Adriana Sánchez Espíndola.

Agradecimientos

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por brindarme la oportunidad de desarrollar las ideas y proyectos durante mi trayectoria universitaria, enriqueciendo a un más los conocimientos adquiridos.

A la M.C. Adriana Sánchez Espíndola, por haber dirigido este trabajo de investigación, por compartir su tiempo, conocimientos, entusiasmo y orientación; pero sobre todo por brindar palabras de aliento motivándome a superar los obstáculos en el trabajo y haberme brindado su amistad.

Al M.C. Armando Magdaleno Torres Chocolatl, por compartir su tiempo, conocimiento, experiencia y dedicación para aclarar las dudas relacionadas al trabajo y brindarme su amistad durante la investigación.

Al M.C. José Mariano López Fuentes por compartir su tiempo, conocimiento, y dedicación y brindarme su amistad para llevar a cabo la investigación.

Y un agradecimiento especial a mis padres Modesto y Lucila, por impulsarme para llevar a cabo la presente investigación, por confiar en mí y brindarme su total apoyo para la realización de cada uno de mis proyectos a lo largo de mi vida estudiantil.

Dedicatoria

El camino no ha sido fácil, para llegar a este punto de mi vida, cada dificultad y toma de decisiones me han llevado hasta el lugar donde me encuentro, sin embargo, me ha dado gusto ya que he adquirido conocimiento y experiencias que me han fortalecido.

A Dios:

Por darme la fortaleza, paciencia, esperanza y el impulso en cada situación durante la realización de este proyecto y durante mi trayectoria en la universidad

A mis padres:

Modesto Juarez Trejo

Lucila Juarez Salas

Por apoyarme siempre en cada aspecto de mi vida, brindarme consejos, por darme las alas para llegar tan lejos como he querido, por brindarme su protección, amarme y estar presente en todo momento de mi vida, por tener la confianza en las cosas que he realizado y dejar ser quien soy. Todo es por y para ustedes.

¡Gracias!

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVO GENERAL	6
4.1 Objetivos Específicos.....	6
5. HIPÓTESIS	7
6. MARCO TEÓRICO	8
6.1 Generalidades del Cultivo de Tuna	8
6.2 Importancia del Cultivo de Nopal en el Mundo	11
6.3 Importancia del Cultivo de Tuna en el México	15
6.4 Generalidades y Características del Bokashi	19
7. MATERIALES Y MÉTODOS	23
7.1 Diagrama Metodológico.....	23
7.2 Zona de Estudio.....	24
7.3 Material Vegetal.....	25
7.4 Material.....	25
7.5 Diseño del Experimento	26
7.6 Preparación de los Tratamientos	26
7.7 Fermentación	30
7.8 Evaluaciones Fisicoquímicas y Microbiológicas	31
7.9 Pruebas Fisicoquímicas	31
7.10 Pruebas Organoléptica.....	33
7.11 Pruebas Microbiológicas	33
8. RESULTADOS	39
8.1 Pruebas Fisicoquímicas	39
8.2 Prueba Organoléptica	47
8.3 Pruebas Microbiológicas	48
9. DISCUSIÓN	53
Bibliografía	61

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Descripción botánica de la tuna	9
Cuadro 2. Contenido nutricional del ahuate.....	11
Cuadro 3. Diseño para los cuatro tratamientos, más el testigo.	26
Cuadro 4. Pruebas bioquímicas utilizadas en la caracterización de los abonos bokashi como pruebas presuntivas de salmonella spp.....	35
Cuadro 5 Tabla de pruebas bioquímicas para interpretación de resultado de KIGLER, LIA, MIO y SIMONS. (Chile)	37
Cuadro 6. Evolución del pH en el proceso de compostaje bokashi adicionado con ahuate de tuna.....	39
Cuadro 7 Contenido mineral de A0, A25, A50 y A75.....	41
Cuadro 8. Datos de la prueba Tukey de ceniza para cada tratamiento de composta Bokashi.	45
Cuadro 9 Resultados de las pruebas bioquímicas (91 días).	48
Cuadro 10 Resultados de las pruebas bioquímicas (127 días).	49
Cuadro 11 Resultados de las pruebas bioquímicas (286 días).	49
Cuadro 12 Resultado de la presencia de hongos y levaduras.....	50
Cuadro 13 Resultados coliformes en los cuatro tratamientos.....	51
Cuadro 14 Resultados mesófilas en los cuatro tratamientos.....	52

Índice de Figuras

Figura 1 Representación gráfica de las etapas de compostaje: temperatura, oxígeno, pH y eliminación de los microorganismos (Román & Martínez, 2013).	2
Figura 2 Producción y cosecha de la tuna (Elaboración propia).....	4
Figura 3. Ilustración de las espinas y ahuate y descripción de sus características de diferenciación. (Vela, 2023)	10
Figura 4. Acumulación del ahuate en un recipiente, para observar sus características a simple vista.....	10
Figura 5. Ahuate retirado de la tuna	10
Figura 6 Superficie de hectáreas cultivadas de tuna en México del 2015 al 2022. (SIAP)	15
Figura 7 Producción de tuna en México por toneladas durante los años 2015 al 2022. (SIAP)	16
Figura 8 Rendimiento de la tuna en México de ton/h en lo últimos años. (SIAP)	16
Figura 9 Valor de la producción en pesos mexicanos de tuna durante los años 2015 al 2022. (SIAP)	17
Figura 10 Precio de la tuna por toneladas que llegó alcanzar en México durante los años 2015 al 2022. (SIAP)	18
Figura 11 Desespinaadora de tuna.....	18
Figura 12 Diagrama representativo del proceso de postcosecha en la tuna	19
Figura 13. La Junta Auxiliar de San Sebastián Villanueva, se encuentra ubicada en dirección Sudeste en el municipio de Acatzingo a 16.6 km de distancia y a una distancia de la capital de Puebla de 73 km. Perteneciente al estado de Puebla.	24
Figura 14 En el proceso de elaboración del bokashi Tradicional consto de 3 fases: la primera en la mezcla del inoculación y activación de las levaduras, la segunda fase consiste en mezclar los sustratos base del bokashi tradicional y la tercera fase consistió en la mezcla de la fase 1 y 2.	28
Figura 15 Obtenido el sustrato 1, se complementa con la incorporación del ahuate en diferentes cantidades. Antes de ser incorporado el ahuate debe reposar 24 h, previamente con el propósito de evitar que el ahuate se disperse al ser pesado.	29
Figura 16 Proceso de fermentación para las muestras. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica que pueden ser aplicados en fresco debido a que se eliminan los malos olores.	30
Figura 17 Pruebas fisicoquímicas y microbiológicas a realizar a cada tratamiento.	31

Figura 18. Interpretación de la prueba: a(K/A, b(K/K), c(no inoculado), d(K/A) y e(A/A) con presencia de gas.	35
Figura 19 Interpretación de pruebas bioquímicas: a(no inoculada), b(A/A) y c(K/A).	35
Figura 20 Interpretación de pruebas bioquímicas: a(movilidad positiva), b(no inoculada).	36
Figura 21 Interpretación de pruebas bioquímicas: a(no inoculada), b(Positivo).	36
Figura 22 Caracterización final del bokashi A25, a los 286 días	47
Figura 23 Caracterización final del bokashi A0, a los 286 días.	47
Figura 24 Características adquiridas al finalizar el bokashi en A75 a los 286 días.	48
Figura 25 Características adquiridas al finalizar del bokashi en A50 a los 286 días.	48

RESUMEN

Con la finalidad de dar un uso racional a los residuos de ahuate, se estableció una propuesta de aprovechamiento con la elaboración de compostas tipo bokashi, se prepararon cuatro tratamientos A0, A25, A50 y A75 donde la diferencia radica en la concentración de ahuate, realizando evaluaciones de macro y micronutrientes, pH, ceniza, olor, presencia de *salmonella spp.*, hongos, mesófilas y coliformes, siempre comparando con un testigo.

El comportamiento de pH en las compostas inicialmente era alcalino, con el paso del tiempo redujo su pH; clasificándose en ligeramente alcalinas para las tres compostas adicionadas con ahuate, mientras que el testigo finalizó con un pH 7.82 (neutro). Sin embargo, a pesar de tener un pH ligeramente alcalino, evita que la disponibilidad de micronutrientes con riesgo de toxicidad sea absorbida por las plantas en su totalidad, al mismo tiempo limita que ciertos cultivos se desarrollen en estas condiciones, por lo que son selectivos aquellos tolerantes.

La aplicación del ahuate en los tratamientos correspondientes afecta la composición mineral evidentemente, sin embargo, los que presentan un mayor acercamiento al testigo son A25 y A50. Las compostas A50 y A75 presentaron niveles altos de concentración de Cu que corren el riesgo de convertirse en tóxicos para las plantas (450 mg/kg; EPA,2006).

Con respecto a la búsqueda de patógenos de las cuatro muestras incluyendo al testigo, inicialmente dos mostraron señal positiva de *Salmonella spp.*, sin embargo, con el paso del tiempo conforme avanzó el compostaje se fue eliminando la presencia; al finalizar el composteo (286 días) ninguna muestra presentó presencia de *Salmonella spp.*

La presencia de levaduras al finalizar el composteo registró $<1.0 \times 10^4$ UFC/g, mientras en hongos el más alto presentó 9.0×10^4 UFC/g. Para el conteo de mesófilas y coliformes presentó un pico de crecimiento a los 286 días de compostaje, un factor en el aumento se debe a la descomposición estructural del ahuate (celulosa, lignina y hemicelulosa).

1. INTRODUCCIÓN

El género *Opuntia* pertenece a la subfamilia *Opuntioideae.*, se caracteriza por presentar cladodios encadenados, verdes, en forma de raqueta y aréolas con glóquidas (ahuates, en náhuatl, designa en México y Centroamérica), son espinas reducidas, sólo presentes en cladodios juveniles; todas las estructuras están adaptadas para la absorción y retención de agua y defensa ante depredadores.

El ahuate es caracterizado por ser una estructura pequeña además de tener una composición que no le permite degradarse fácilmente en su entorno e incluso al ser incorporada al suelo; su manipulación es difícil incluso teniendo condiciones favorables en el ambiente o en condiciones controladas.

La producción de tuna en San Sebastián Villanueva, Acatzingo, Puebla ha tenido un impacto económico y de gran interés entre los agricultores dedicados a esta actividad, así como una fuente de empleo entre la población. A pesar de ello, no se han tomado decisiones acertadas para mitigar los estragos que deja dicha actividad en la etapa de postcosecha, por ende, se ha planteado una alternativa para combatir la acumulación del residuo (ahuate). Por el momento no hay cantidades precisas sobre las pérdidas y el desperdicio de la tuna a lo largo de su cadena de producción.

El compostaje es un proceso de transformación natural de los residuos orgánicos mediante un proceso biológico en el cual los microorganismos actúan sobre la materia biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales residuos urbanos, etc., por citar algunos), permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura. La mezcla de materias primas orgánicas bajo condiciones de humedad y temperatura específicas; permiten obtener un producto orgánico, donde no se reconoce su origen, está libre de patógenos y semillas. Las temperaturas superiores a 50°C aseguran la destrucción de organismos patógenos y parásitos, aunque ciertas esporas resisten, por lo que finalmente la composta

tiene un carácter inocuo. El proceso de compostaje consta de cuatro etapas: mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración figura 1. Al comienzo del proceso el sustrato está a temperatura ambiente y por lo general, es ligeramente ácido en algunos casos, ya que depende de la materia a compostar. Conforme avanza el tiempo la composta va adquiriendo sus características de textura, color y olor.

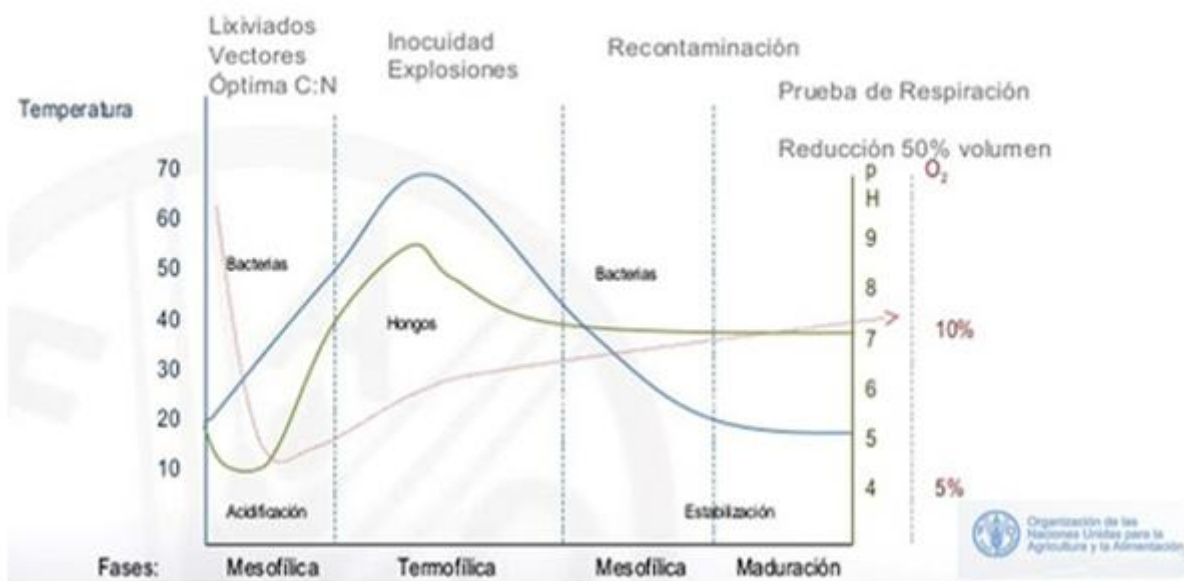


Figura 1 Representación gráfica de las etapas de compostaje: temperatura, oxígeno, pH y eliminación de los microorganismos (Román & Martínez, 2013).

Se evaluaron las fórmulas elaboradas con las diferentes porciones de ahuate, con el propósito de acelerar o incorporar su degradación en las compostas y poder implementarlas a la nutrición de las plantas como un biofertilizante.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de tuna es temporal a finales de abril y hasta el mes de noviembre, con mayor producción entre julio y septiembre según el ciclo particular de cada variedad; SADER informó que la tuna se ofrece en variedad, tamaño y color; en 2022 se cultivaban 43,547.78 hectáreas con una producción de 444 mil 081 toneladas (SIAP-SIACON, 2024) y su producción se ha mantenido constante en los últimos ocho años, oscilando entre 410,000 hasta 472,000 toneladas a nivel nacional.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), dio a conocer que en el 2020 México exportó 22 mil 793 toneladas por un monto de 13 millones 094 mil 900 dólares; lo que significó un crecimiento comparado con las 17 mil 311 toneladas de tuna y xoconostle (tuna de color rosada, con un tamaño pequeño a comparación con las demás variedades), que se exportaron en el 2019, con un valor de 9 millones 938 mil 582 dólares, principalmente a mercados de Estados Unidos, Chile, Canadá, Emiratos Árabes Unidos, Francia, Japón y Reino Unido.

En México 16 estados se dedican a la producción de tuna: Aguascalientes, Baja California Sur, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas, comercializando al menos 8 variedades en fresco: Alfajayucan, tuna blanca cristalina, tuna roja, tuna amarilla, blanca burrón, xoconostle, criolla y pico chulo.

Mientras en el municipio de Acatzingo se producen 100,421.20 toneladas en el año, destacando que San Sebastián Villanueva, es el principal productor de tuna perteneciente a Acatzingo 2023 (SIAP, 2023).

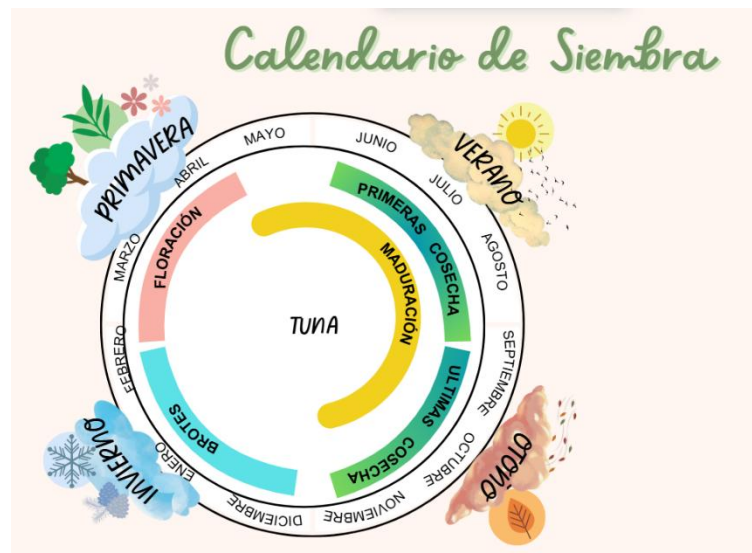


Figura 2 Producción y cosecha de la tuna (Elaboración propia).

Durante la temporada de cosecha y producción, los desechos generados van en aumento conforme avanza la temporada y disminuyen al final de esta misma. Durante el manejo postcosecha del fruto se generan cantidades considerables de desperdicio, en este caso en el acondicionamiento de la tuna se debe eliminar el ahuate porque es un paso esencial para eliminar los riesgos de punción por parte de los consumidores y en el manejo logístico, debido a que no se le da un uso o manejo como residuo de difícil eliminación, por su composición química. Se ha estimado que las toneladas que se generan al año por el acondicionamiento postcosecha pueden ir de 90 hasta 300 toneladas a nivel nacional que quedan expuestas al aire libre (Datos estimados por el autor)

Para realizar la limpieza de la tuna (remoción del ahuate) se utiliza una desespinaadora o limpiadora de tuna a la cual se le acoplan bolsas negras donde se recolecta el residuo, para posteriormente ser vertidas o depositado en terrenos aledaños o barrancas como se ha observado en varios casos en la localidad de San Sebastián Villanueva, Puebla.

Al estar expuesta la bolsa a la intemperie ésta se puede romper fácilmente y los ahuates quedan expuestos al ambiente, llegando a dispersarse por el aire, agua o animales provocando un impacto ambiental negativo.

3. JUSTIFICACIÓN

En México, hay poca información que describa el aprovechamiento o manejo del ahuate; existen investigaciones donde se ocupa como sustrato para la producción de hongo seta (Ulloa, 2020), a pesar de ello hay poca disponibilidad en técnicas de compostaje como una estrategia para el manejo del residuo ya sea solo o acompañado con otros sustratos que favorezcan la desintegración o incorporación y a la vez aprovechar los componentes nutrimentales que posee para integrarlo nuevamente al suelo. Encontrar métodos seguros para reutilizar los desechos es fundamental dentro de la agricultura sustentable y sostenible, dando un uso que puede impactar y reducir la dependencia de fertilizantes en el proceso de desarrollo de las plantas (sustrato de germinación, abono, etc.).

La investigación se basa en elaborar y caracterizar compostas tipo bokashi, adicionando con ahuate como una alternativa de implementación y aprovechamiento, el ahuate posee una composición química constituida de celulosa y hemicelulosa en un 82 %, y lignina en un 5 % que por su naturaleza son moléculas de una degradación lenta que en muchos casos se apoya del uso de sustancias alcalinas o ácidas para su degradación, una alternativa es el uso de técnicas en compostaje para degradar dichas moléculas y que puedan ser aprovechado aportando materia orgánica al suelo.

La junta auxiliar de San Sebastián Villanueva del municipio de Acatzingo, Puebla se dedica en gran medida a la producción de tuna y nopal verdura por lo que en los últimos años se ha incrementado la generación de residuos provenientes del acondicionamiento de la tuna para su venta y actualmente no se tiene un manejo apropiado de éstos por lo que se ha vuelto un foco de contaminación en la comunidad. En el presente trabajo se planteó el uso de una técnica de compostaje; bokashi, por un lado, darle un manejo a este desecho y, por otro lado, generar un abono orgánico que permita aumentar el porcentaje de materia orgánica en el suelo y aportar nutrientes.

4. OBJETIVO GENERAL

Producir y evaluar compostas tipo bokashi, elaboradas con tres porcentajes de ahuate de tuna para conocer si existe una diferencia en la calidad nutricional y que pueda ser utilizado como un biofertilizante.

4.1 Objetivos Específicos

- Elaborar las compostas tipo Bokashi a partir de 3 diferentes porciones de ahuate.
- Evaluar la calidad microbiológica a través del conteo de los hongos y levaduras y Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de bacterias coliformes totales, bacterias mesófilas aerobias, así como la búsqueda del patógeno *Salmonella spp.*
- Evaluar y comparar las variables fisicoquímicas seleccionadas en las compostas: pH, olor, macro y micronutrientes y ceniza.

5. HIPÓTESIS

La adición de ahuate en la formulación de una composta tipo bokashi aumentará el contenido de macro y micronutrientes con respecto a un bokashi tradicional; facilitará la degradación de las biomoléculas que constituyen al ahuate, lo que ayudará a su incorporación al suelo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Generalidades del Cultivo de Tuna

6.1.1 Origen

Los aztecas llamaban *nopalli* a las plantas que hoy conocemos como nopal y gracias a ellos se salvaron de morir de hambre y sed en su largo y peligroso camino a una dirección desconocida, por el desértico norte de México. Durante casi dos siglos erraron bajo soles inclementes, noches heladas, viento y arena, hasta que su Dios Huitzilopochtli, se le presentó en forma de águila sobre un nopal devorando una serpiente, en una isla cerca del lago Texcoco poniendo fin a su peregrinación y fundando la ciudad de Tenochtitlán.

Salvador Novo describe “los aztecas llamaban a la planta *nopalli* y a su fruta noctli y de acuerdo con el color de las frutas: yztanochtli a la fruta blanca, coznochtli a la fruta amarilla, atltonochtli a las frutas de color rosado y tlalpanochtli a las frutas rojas” (Garcia, 2003).

Tras la llegada de los europeos a América esta planta fue introducida a lo largo de todo el mundo debido a sus características de adaptación a los suelos áridos y semiárido, su tolerancia a climas extremos y su requerimiento bajo de agua; logrando su difusión y aceptación en varias partes (Garcia, 2003). Los primeros europeos llegaron a apreciar la importancia cultural y económica de los opuntias en el complejo mundo prehispánico. Cuando Hernán Cortés llegó al Altiplano Mexicano en 1519, notó la omnipresencia de los nopalli, al entrar en Tlaxcala recibieron obsequios con frutos maduros (noxchli) de nopal o tuna. Los conquistadores comenzaron a consumir las tunas, Oviedo y Valdés - el primer autor que describió el fruto y la planta - escribió que sus compañeros “conocían la fruta y la comían con agrado” en España. También se reportó la descripción precisa de la planta (en particular en un documento escrito en 1535), y su morfología (Ochoa y Barbera, 2018).

Ahora se puede encontrar cultivada y de forma silvestre en España, Portugal, Italia, Chile, Estados Unidos de América, Brasil, Argentina, Israel, Sudáfrica, Argelia, Jordania, etc.

(Torres-Ponce, Morales, & Ballinas, 2015). Se cultiva para obtener y aprovechar sus frutos (tuna), así como sus brotes tiernos que se consumen como verdura conocidos comúnmente como “nopalitos”.

En México se pueden distinguir cuatro grandes zonas nopaleras donde crecen: zona Centro-Sur, Altiplano, Norte y la Planicie Costera del Golfo (Ruiz, 2018).

6.1.2 Taxonomía

Cuadro 1. Descripción botánica de la tuna

Taxonomía de la tuna	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Generó	Opuntia
Especie	Opuntia ficus-indica (L.)1768 Mill.

Fuente: CONABIO, 2023.

Tuna: (*Opuntia ficus-indica*) es una fruta cactácea que se da en pencas de nopal ya maduras que tiene un crecimiento arbustivo o arbóreo. Su crecimiento es lento y pueden medir entre 3 y 5 metros, pero se establecen en suelos pobres y en zonas donde la precipitación anual de 326 mm o menos, tolera suelos erosionados, pero no tolera la salinidad y bajas temperaturas.

Raramente algunos frutos desarrollan en los cladodios una espina en forma de aguja, hundida y blanca, de entre 3 a 10 mm de largo. Su función es reducir la transpiración, defender y proporcionar una protección de los depredadores y sol, además ayuda a en la recolección de agua.

Ahuate: son diminutas espinas delgadas agrupadas que se desprenden fácilmente cuando el fruto está maduro, regularmente de color rojo y anaranjada. Son duras, esclerificadas y puntiagudas; su superficie está cubierta de espinas barbadas, lo cual les permite alojarse en la piel y no pueden ser removidas fácilmente. Conforme crecen las glóquidas o ahuate

estas se encuentran pegadas a la areola, desarrollan una capa de felógeno en la región cortical exterior alrededor de la base de cada grupo. Su función precisa no es clara, pero podrían condensar agua del aire (Buxbaum, 1950). Adicionalmente ayudan en la reducir la temperatura durante el día, y disminuye la intercepción de luz (Pratt, Zudzuki y Frank, 2018).



Figura 3. Ilustración de las espinas y ahuate y descripción de sus características de diferenciación. (Vela, 2023)



Figura 5. Ahuate retirado de la tuna



Figura 4. Acumulación del ahuate en un recipiente, para observar sus características a simple vista.

La estructura externa de las glóquidas (ahuate) se determinó experimentalmente por Ulloa, Alonso por medio del MEB (Microscopio Electrónico de Barrido), donde se observó que poseen barbas retrorsas, mientras que sus dimensiones de cortes transversales y longitudinales en microscopio son de $67.3 \pm 9.56 \mu\text{m}$ y $1667 \pm 292 \mu\text{m}$. Los análisis

químicos indicaron que su composición estructural es 41.15 % celulosa, 41.20 % hemicelulosa y 5.27 % lignina; con una densidad de 0.157 g mL⁻¹. De acuerdo con las pruebas se obtuvo como resultado, que para acelerar el proceso de degradación de las espinas y ahuate se puede recurrir a la hidrólisis ácida o incorporación al suelo junto con materiales de reacción ácida, como los estiércoles y fertilizantes nitrogenados (Ulloa, 2020), en el Cuadro 2 se puede apreciar el contenido macro y micronutrientes de los glóquidas ahuate.

Cuadro 2. Contenido nutricional del ahuate

Contenido Nutricional de los glóquidas de tuna y de extractos de productos de la hidrólisis (ppm)											
Solucion	N	S	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Gloquidas ⁺	4550 (±0.0)	140.0 (±0.0)	200.0 (±0.0)	3610.0 (±0.4)	4970.0 (±0.5)	1120.0 (±0.0)	2171.0 (±38.0)	12.2 (±0.9)	27.1 (±2.3)	121.6 (±12.3)	50.0 (±3.8)
Contenido Nutricional en la hidrolizada ⁺⁺											
Acido sulfúrico	20.0 (±0.0)	1833.3 (±77.3)	53.3 (±4.8)	2087.94 (±86.6)	1355.4 (±19.8)	311.9 (±0.4)	112.8 (±7.6)	10.4 (±0.1)	17.5 (±2.5)	42.1 (±4.3)	0.8 (±0.1)
Acido fosfórico	28.0 (±1.8)	1750 (±41.67)	57467.5 (±645.5)	753.815 (±4.7)	198.7 (±9.7)	243.4 (±8.8)	441.8 (±13.0)	9.6 (±0.4)	23.9 (±2.7)	46 (±2.7)	9.3 (±0.2)
Hidróxido de Potasio	23.2 (±2.0)	1.47 (±0.0)	22.5 (±2.4)	750.795 (±11.4)	422.2 (±18.5)	283 (±4.6)	490.7 (±26.5)	14.9 (±0.6)	17.1 (±1.4)	42.2 (±2.9)	0.8 (±0.1)

Nota: La desviación estándar se deriva de 3 repeticiones para cada determinación. ⁺Resultado de la digestión ácida de glóquidas; ⁺⁺ en la disolución resultante de la hidrólisis. (Ulloa, 2020).

6.1.3 Sinonimia:

Amer. Central y Mex.: aguante; aguatile; aguacle; ahuate; ahuatele; ahuacle; alguaste; alhuate; guate.

6.2 Importancia del Cultivo de Nopal en el Mundo

El centro de origen y domesticación del nopal es México, pero actualmente se encuentra de manera silvestre en países como Estados Unidos, países del Mediterráneo, europeo, africano, asiático, Australia y Sudáfrica (FAO, 2021).

Se cultiva en países de América como Argentina que la produce como tuna “Amarilla sin espinas” y como forraje, cuenta con 1650 ha de cultivo, en Bolivia se utiliza principalmente

como forraje para ganado en zonas áridas y semiáridas, además de producirse en zonas con altitudes de 1500 a 3000 msnm. En Brasil se destinan 500,000 ha para el cultivo de nopal como forraje verde y seco, en Chile se tienen 904.4 ha para consumo de tuna y en los últimos años ha ganado popularidad el consumo de nopal verdura en el mercado interno. Perú cuenta alrededor de 17,000 ha de las cuáles 10,000 ha se dedican para la producción de cochinilla y el restante para la producción de tuna que se destina al mercado local (Ochoa y Barbera, 2018).

Los opuntias de México presentan una gran diversidad genética amplia y al mismo tiempo un alto consumo del mundo (Reyes Agüero et al., 2005). Las principales especies cultivadas son. *O. ficus-indica* (tuna), *O. xocoxotle* (tuna xocoxotle), *O. megacantha* (Blanca de Alfajayucan) (EncicloVida-CONABIO, 2024) que son variedades comerciales.

Las siguientes se consideran variedades silvestres: *O. streptacantha* (nopal cardón - silvestre), además de *O. robusta* (nopal camueso), *O. leucotricha* (Nopal Duraznillo), *O. hyptiacantha* (Nopal cascarón) y *O. chavena* (EncicloVida-CONABIO, 2024; Arias, S., et al., 2012) son cosechadas en zonas semiáridas, que cubren casi 3 millones de hectáreas distribuidas en los estados de Sonora, Baja California Norte y Sur, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo (Ochoa y Barbera 2018).

En los Estados Unidos de América se tiene una época de producción de tunas diferente a México, ya que el clima es más fresco en el norte y con la ayuda de la práctica scozzolatura (remoción de frutas, la cual implica descartar las flores producidas en primavera), se puede cosechar desde octubre a marzo alcanzando precios más altos, porque hay menos competencia (Ochoa y Barbera, 2018).

En los países africanos como Argelia se tiene una superficie sembrada de 30,000 ha que además utilizan la planta como cercos vivos para evitar el avance del desierto y como forraje

para pequeños rumiantes y camellos, por otro lado, se consume la fruta en el mercado local y se ha instalado infraestructura para su acondicionamiento y procesamiento de la fruta. En Etiopía se tienen plantaciones en 360 000 ha y juega un papel relevante en la reducción del riesgo y mejora de la seguridad alimentaria, el nopal tiene un papel económico crucial, fuente de alimento humano, forraje para animales y como combustible en algunos casos, es un medio de ingreso adicional, que incrementa la eficiencia y la viabilidad económica de pequeños agricultores de bajo ingresos, la FAO ha conducido proyectos de cooperación técnica, lo que ha incrementado el uso de nopalitos (Ochoa y Barbera, 2018).

En Marruecos el nopal fue introducido en 1770 y ha pasado de 50,000 ha en 1998 a más de 120,000 ha actualmente, el incremento del área plantada en dos décadas es el resultado del continuo esfuerzo de plantación llevado a cabo por los productores en colaboración con los servicios de desarrollo y extensión como parte de un programa nacional de control de la sequía (Arba, 2009), tienen retos en eliminar la cochinilla porque se ha vuelto una amenaza para el cultivo, las estrategias de control se han implementado con la colaboración del Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas (ICARDA).

En Sudáfrica se llegó a considerar como una planta invasiva, pero la controlaron a través del uso de dos insectos; palomilla del nopal y cochinilla, en algunas provincias se han establecido bancos de germoplasma con 42 variedades de *O. ficus-indica* con propósitos de investigación. Originalmente se enfocaron extensivamente al uso forrajero (Menezes *et al.*, 2010). Sin embargo, el enfoque se ha ampliado hacia la producción intensiva de tuna, alimentación animal y consumo humano.

Túnez cuenta con 60,000 ha en diferentes modalidades de producción como cercos vivos en las casas, control de erosión, huertas para la producción de fruta, forraje y materia prima para la agroindustria que se especializan en la producción, exportación de tuna orgánica, cosméticos a base de aceite de semilla de tuna, jabones y shampoo, así como productos

alimenticios (mermeladas, pulpa congelada y jugo) y harina de cladodios deshidratados de nopal. (Ochoa y Barbera, 2018).

En Jordania hay 300 ha que se distribuyen en producción extensiva, cercos y huertos mixtos, se utilizan como forraje de ganado y consumo de fruta, solo se cultivan variedades espinosas porque las variedades sin espinas no están adaptadas a estos ambientes.

En el Líbano las plantaciones se dedican a la producción de fruta, pero también como cercos vivos, la fruta se usa en la producción de “arak” (bebida alcohólica destilada y saborizada con anís). Las plantaciones mixtas de nopal combinado con otros frutales son comunes y huertos familiares para autoconsumo.

Siria tiene 100 ha para la producción de forraje y fruta; las condiciones sociales y el desconocimiento del cultivo no favorecen su aceptación entre los productores, ante la escasez de cebada ha cobrado interés como forraje (Ochoa y Barbera, 2018).

En Israel se cultivan 350 ha, se comercializa la fruta todo el año y la flor la ocupan como medicina natural.

En Australia solo hay 200 ha de cultivo, en el siglo XIX se introdujo para la producción de cochinilla, pero fracasó por la presencia de depredadores del insecto y la planta se tuvo que erradicar debido a su adaptación al ambiente.

En Italia se tiene 15,000 ha de cultivo utilizados como cercos vivos en sistemas agrícolas y como forraje de emergencia, además se comercializa la tuna, en 1975 se iniciaron las plantaciones del nopal que soportan la producción para la industria actual, se hacen prácticas como la scozzolatura y en condiciones de riego se puede alcanzar rendimientos de 25 ton·ha⁻¹.

Portugal tiene 200 ha y se prevé que se planten 500 ha más mediante programas de apoyo a jóvenes desempleados que deseen trabajar en agricultura. Finalmente, en España se

cultiva a nivel marginal para la producción de cochinilla y hay huertos familiares y jardines en el sur del país (Ochoa y Barbera, 2018).

6.3 Importancia del Cultivo de Tuna en el México

En México se tiene una superficie de 45 mil hectáreas (Figura 6) se puede observar que en los últimos ocho años ha disminuido la superficie sembrada, casi 3 mil hectáreas, sin embargo, el descenso en la producción se ve compensado por un aumento significativo en los rendimientos por hectárea que han pasado de $9 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ a más de $11 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ pues ha mejorado las técnicas de producción y el aumento de superficie de riego para este cultivo.

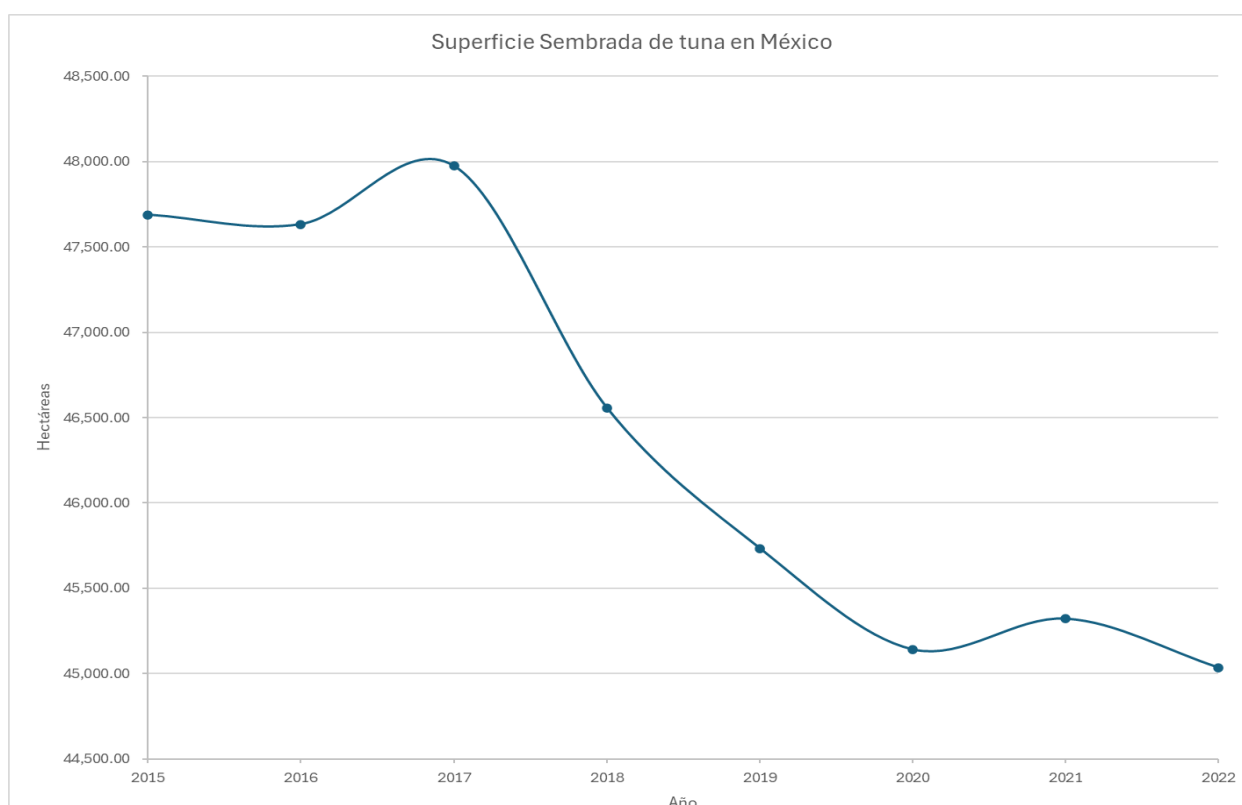


Figura 6 Superficie de hectáreas cultivadas de tuna en México del 2015 al 2022. (SIAP)

Se tiene que en los últimos años la producción de tuna considerando las 8 variedades más importantes se ha mantenido constante en valores cercanos a las 470 mil toneladas.

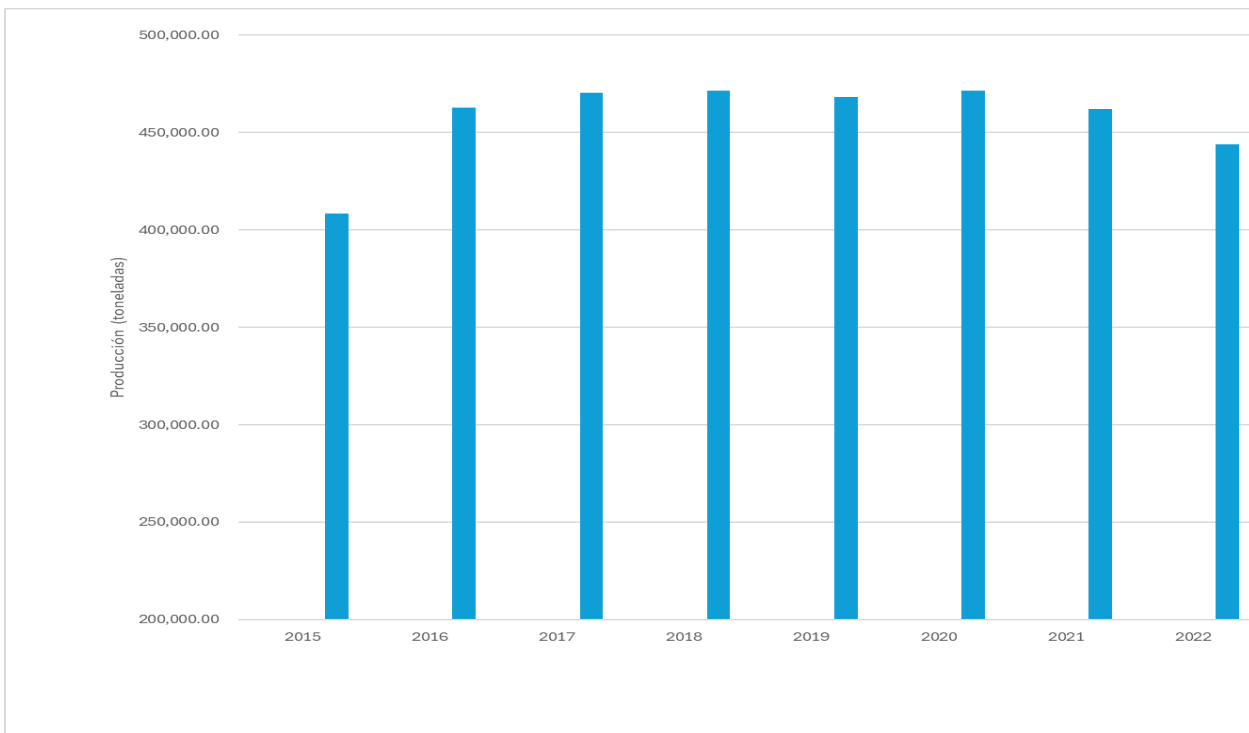


Figura 7 Producción de tuna en México por toneladas durante los años 2015 al 2022. (SIAP)

Como se mencionó antes, el rendimiento de la tuna aumentó más de 2 toneladas al pasar de 9 a 11 ton•ha⁻¹, por lo que se ha beneficiado el volumen de producción aun con el descenso de la superficie sembrada, considerando que de la siembra del cultivo hasta producción plena pasan cinco años. (Figura 8).

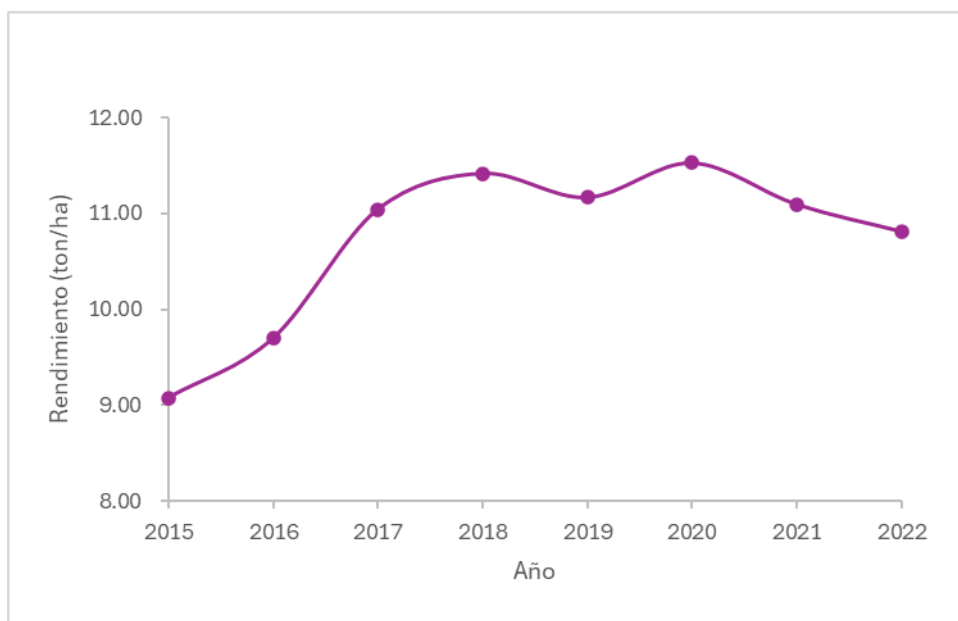


Figura 8 Rendimiento de la tuna en México de ton/h en lo últimos años. (SIAP)

El valor de la producción de tuna supera los 1.67 mil millones de pesos para el año 2022, se observa en la (Figura 7), su aumento en el valor comercial ha tenido altibajos en el periodo 2015-2022 (SIAP-SIACON, 2024), pero es una importante fuente de recursos económicos en las regiones donde se cultiva. Con respecto al precio medio rural (PMR) se tiene que a partir del año 2018 aumento de manera constante su valor, para el año 2022 tenemos que el valor por tonelada de tuna era de \$3,773.54 (Figura 10) es importante mencionar que el valor mostrado es el promedio de las variedades comerciales de tuna, pues existen variedades que tienen un mayor valor en el mercado, por ejemplo, para la tuna roja alcanzó un costo de \$4,115.49 por tonelada, que se explica porque es una tuna de estacionalidad más corta y la demanda del mercado, otras tunas que superan el promedio son la blanca cristalina (\$3,851.38 por tonelada) y la blanca burrón (\$4,289.17 por tonelada) en el año 2022.

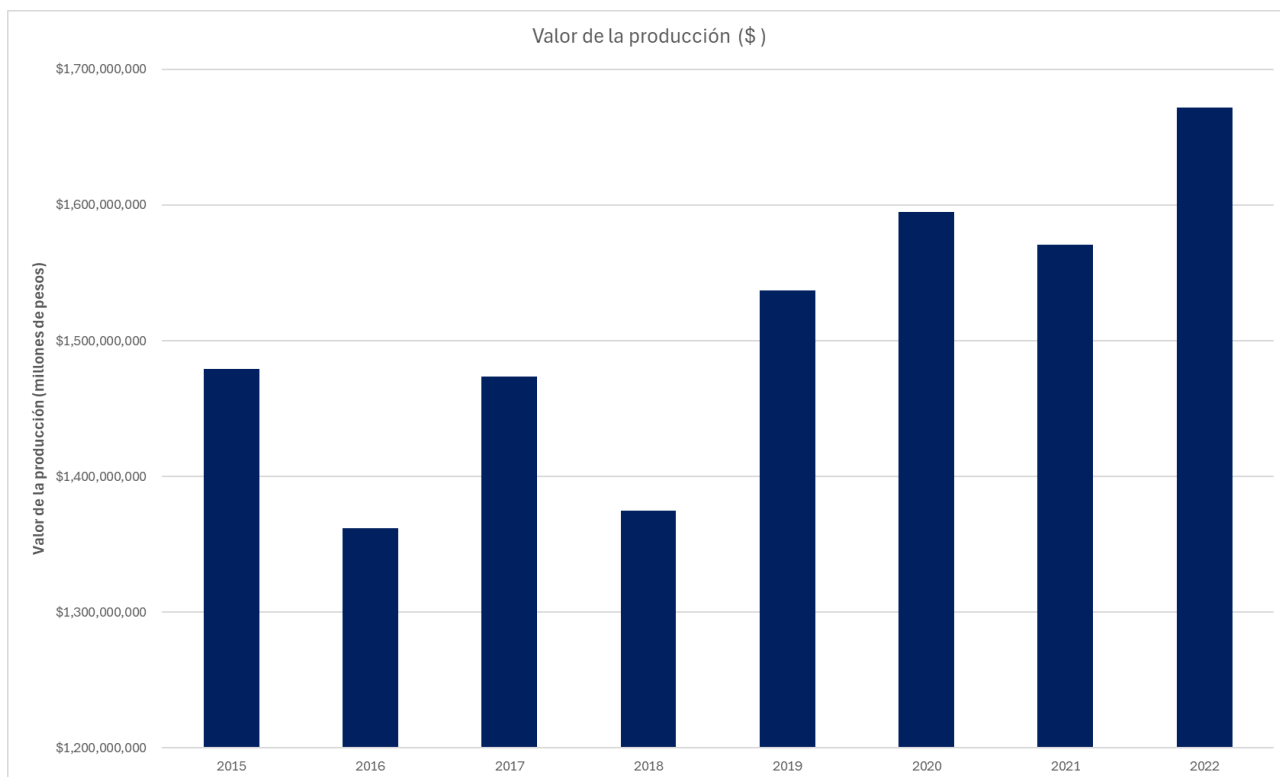


Figura 9 Valor de la producción en pesos mexicanos de tuna durante los años 2015 al 2022. (SIAP)

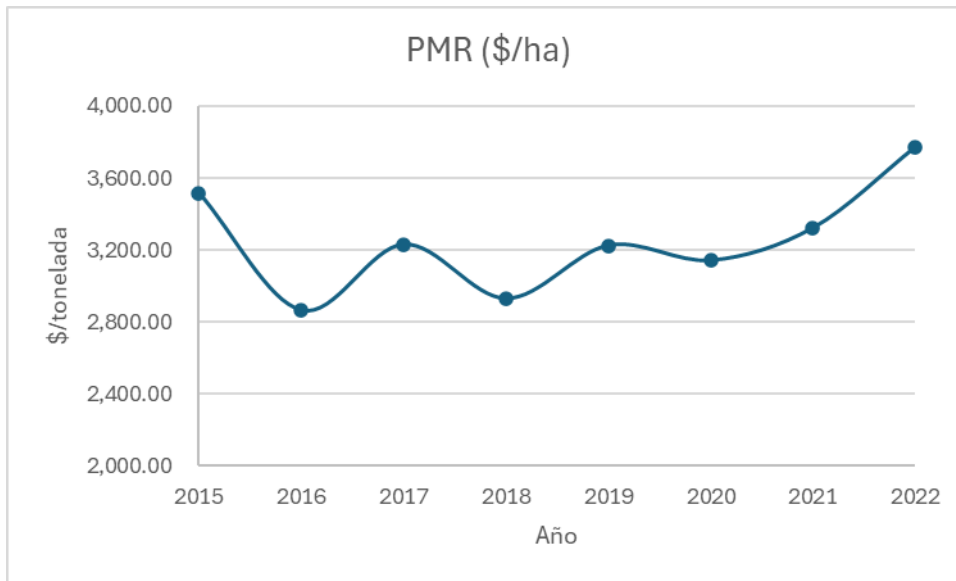


Figura 10 Precio de la tuna por toneladas que llegó alcanzar en México durante los años 2015 al 2022. (SIAP)

6.4 Manejo Postcosecha

Dentro del proceso de postcosecha de la tuna una vez recolectada, es sometida a un proceso de desespinado, la cual consiste en retirar totalmente el ahuate dejándola limpia sin ser maltratada, para ello se ocupa una máquina conocida como desespinaadora (Figura 11), la cual al mismo tiempo se encarga de recolectar el ahuate por un cono inferior de la máquina donde se acoplan la bolsa negra de basura, ayudando a recolectar de manera segura los residuos generados en una zona con poco espacio. Tras culminado la limpieza del fruto por los rodillos, las tunas se distribuyen por una banda, donde se realiza la selección del producto; retirando las maltratadas y aquellas no desarrolladas correctamente. Las tunas deseadas son separadas por tamaños, apariencia y color, se depositan en charolas negras de plástico, para después ser pesadas y finalmente comercializadas (Figura 12).



Figura 11 Desespinaadora de tuna.

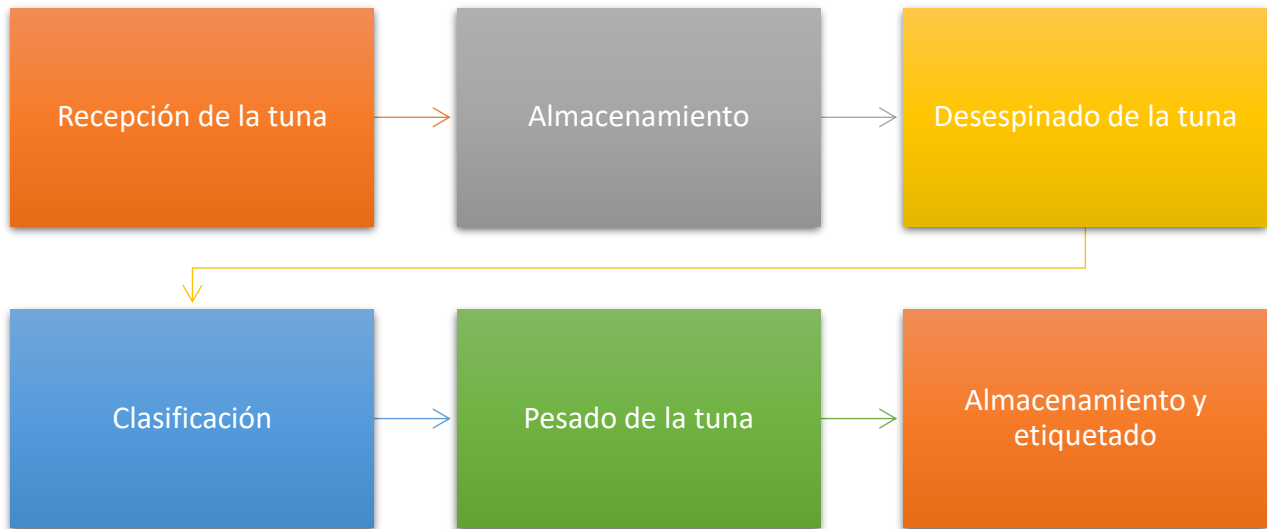


Figura 12 Diagrama representativo del proceso de postcosecha en la tuna

6.4 Generalidades y Características del Bokashi

El bokashi es un abono orgánico, rico en nutrientes que se obtiene a partir de la fermentación de materiales secos. Los nutrientes generados por la fermentación forman un abono completo y esencial a comparación de las fórmulas de fertilizantes químicos.

La incorporación de la materia orgánica y nutrientes al suelo como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro; fomentando una mejora en las condiciones químicas y físicas del suelo; estimulando la vida microbiana y nutrición de las plantas. El proceso de elaboración, duración, actividad biológica y tipos de materiales que se utilicen son factores variables que afectan la cantidad de obtención de nutrientes. Para determinar la calidad de un abono orgánico se realizan análisis de laboratorio por su contenido nutricional y capacidad de proveer nutrientes a un cultivo; este contenido se relaciona directamente con los materiales utilizados para su elaboración (Ramos, Terry, & Juan, 2014).

6.4.1 Antecedentes

El bokashi surgió en los países de Asia, es una técnica japonesa de método natural; que significa “materia orgánica fermentada”. Desde los tiempos antiguos se empleaba en los cultivos del arroz para tener una tierra fértil y saludable, ya que es un método de preparación que no requería de tiempos de espera largos. No se puede identificar exactamente quién o quiénes fueron las personas que lo crearon o descubrieron.

En el año 590 d. C. en la era Asuka (538 d. C. al 710 d. C.) durante este periodo Japón experimentaba avances importantes en su sistema religioso, agrícola, económico y político. Fue la primera vez que una mujer gobernó Japón, la emperatriz Suiko. Sin embargo, los agricultores japoneses llevaban desde el periodo Yayoi Temprano desarrollando y ampliando la creación de arrozales irrigados desde el año 300 a. C. al 250 d. C. Sin embargo, hasta el periodo Heian (790 d. C.) se experimentó el gran desarrollo de los fermentos.

El método fue perfeccionado con más profundidad a principios de la década de 1980 por el Dr. Teuro Higa, profesor de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón; consistió en colocar restos de alimentos (vegetales, frutas, carne y lácteos) con un inoculante (acelerante) en un recipiente hermético.

Aunque el bokashi es originario de Japón, un encuentro en 1993 en Costa Rica ayudó a su expansión donde el ingeniero agrónomo colombiano Jairo Restrepo, conoció el método del bokashi en la Agencia Nacional Japonesa de Cooperación donde les compartieron la sabiduría y proceso de elaboración a campesinos costarricenses (Alejandro, 2023).

En 1999 Restrepo define “Bokashi” como un abono orgánico fermentado elaborado a partir de estiércol y otros componentes orgánicos. El Dr. Teruo Higa de la University of Ryukyus de Okinawa ayuda a desarrollar la versión moderna del bokashi que actualmente conocemos, como una enmienda de suelos agrícolas, empleando levadura (*Saccharomyces cerevisiae*),

melaza, salvado, estiércol y agua dando un salto extremo dentro de la acuicultura, aparte de los ingredientes mencionados, se puede agregar alimento balanceado de peces o camarones. Dentro de la producción acuícola su empleo ha estado relacionada con la tecnología de los microorganismos eficientes (EM) por su inoculante microbiano líquido que contiene hongos que incluyen levaduras, bacterias, actinomicetos, ácido láctico y fotosintéticas (BIOAQUAFLOC, s.f.).

6.4.2 Sinonimia

Origen Japones: bokashi; bocashi.

6.4.3 Propiedades

Incorporar bokashi en los cultivos se ha observado un desarrollo significativo en la población de *zooplancton bentónico* que sirve de alimento para los organismos del suelo. Además, ejerce una regulación sobre el pH del suelo, reduciendo la toxicidad del nitrógeno amoniacal total, las enzimas como la celulasa generarán un importante control de crecimiento masivo de microalgas sirviendo como alimento para peces y camarones (BIOAQUAFLOC, s.f.).

El uso del bokashi para la fertilización del suelo ayuda a enriquecerlo con nutrientes esenciales (nitrógeno, potasio, fosforo y micronutrientes), que son aprovechados por las plantas de manera gradual y sostenible. Incrementa la actividad microbiana, estimulando la actividad biológica del suelo que promueven la descomposición de la materia orgánica, disponibilidad de nutrientes y formación de humus. Al mismo tiempo reduce la dependencia de fertilizantes químicos.

Utilizar el bokashi como método de descomposición permite usarlo para descomponer una variedad de desechos como lácteos, carnes y huesos que no se incorporan en otras formas de compostaje, se puede hacer en un espacio pequeño y con las temperaturas óptimas el

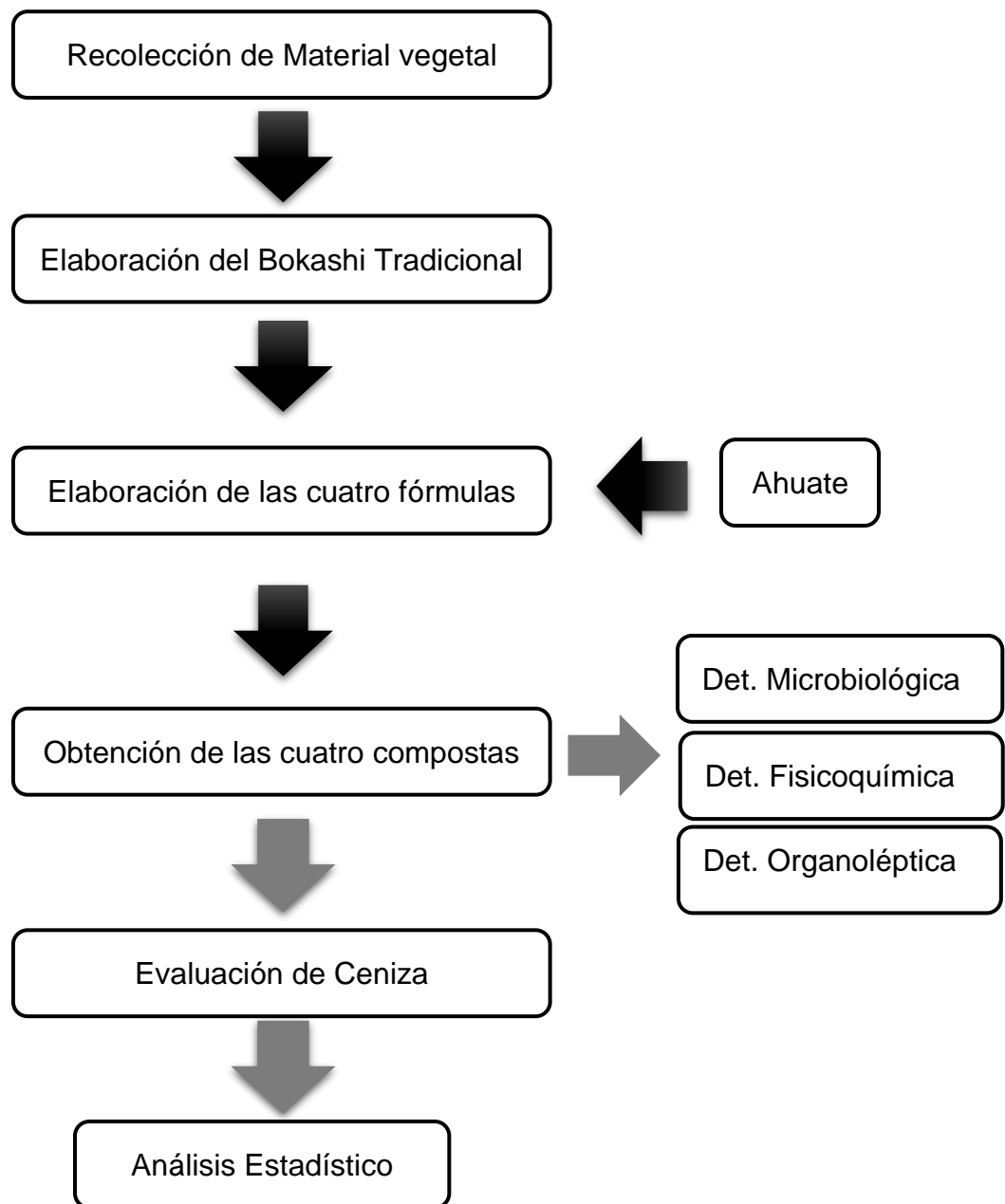
proceso lleva dos semanas o en otros casos llega a extenderse más en el tiempo. La composta tradicional lleva 100 días aproximadamente en descomponerse y se pierden aproximadamente dos tercios de volumen con lo que comenzó. Se ha demostrado que tiene propiedades de alejar a las plagas y atraer insectos beneficiosos para las plantas. Durante el compostaje se generan un subproducto llamado lixiviados, debido a la actividad biológica presente; por lo tanto, implementar un control adecuado de dichos lixiviados, ayuda en la reducción de patógenos y mitiga molestias de polvo, barro, olores y desechos arrastrados por el viento.

6.4.4 Beneficio

- Mejorar las condiciones del suelo y prevenir enfermedades en las raíces del cultivo presente.
- Adicionar nutrientes necesarios para la estimular el desarrollo y crecimiento de los cultivos.
- Mejorar la fertilidad, absorción y vida del suelo con la retención del agua.
- Aporta materia orgánica, permitiendo la fijación de carbono.
- Activa una serie de rizo-bacterias promotoras del crecimiento de las plantas.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Diagrama Metodológico



7.2 Zona de Estudio

El estudio se llevó a cabo en el domicilio de la familia Juárez Juárez, Barrio San Juan Macula perteneciente a la Junta Auxiliar de San Sebastián Villanueva, Acatzingo, Puebla, México. Con coordenadas geográficas 19° 03' 28.141" de latitud Norte y 97° 43' 9.789" de longitud Oeste, con una altura de 2,335 metros sobre el nivel del mar. La composta se inició en el mes de diciembre.

Una de las principales actividades económicas a la que se dedica la población es la producción de tuna y nopal verdura, mientras que, en menor presencia en actividades como la comercialización, ganadería, distribución de agua, venta de alimentos, etc.

Durante el año las temperaturas generalmente varían de 4 °C a 23 °C, en ocasiones puede presentar temperaturas de 1 °C y 26 °C. Durante la temporada de lluvia, los meses con más precipitaciones son de mayo a octubre, los meses más secos son de noviembre a mayo, con una precipitación anual que varía de 582.9 ± 261.8 milímetros de lluvia (Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA, 2024). La velocidad promedio del viento por hora tiene variaciones estacionales leves durante el año que pueden llegar 10.0 – 13.2 km·h⁻¹, debido a que influye su topografía local, ubicación, temporada estacional, dirección.

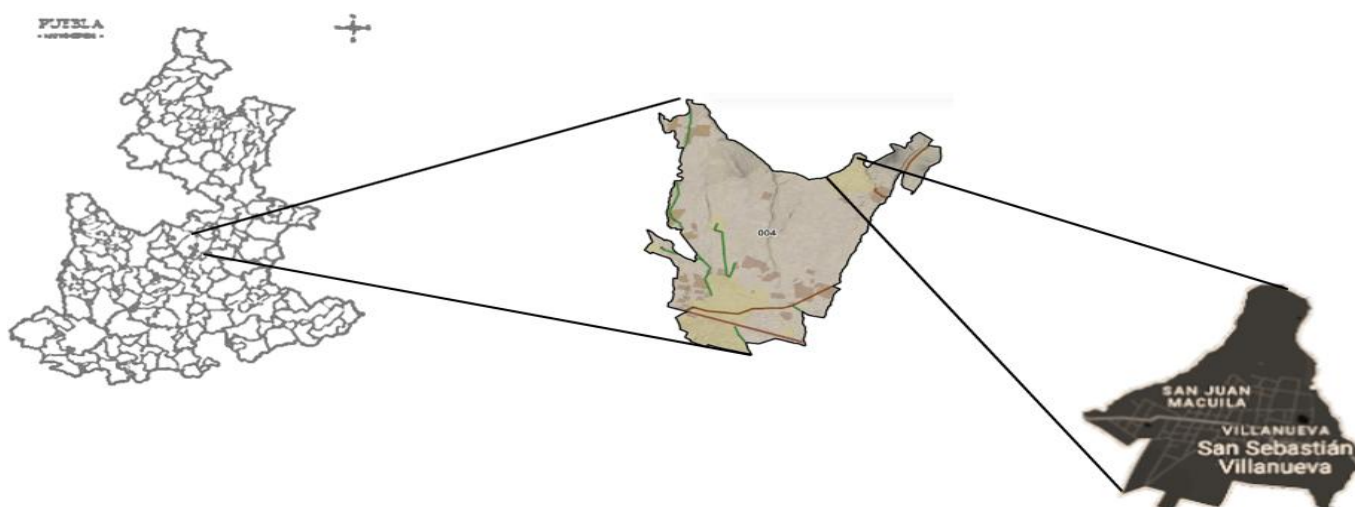


Figura 13. La Junta Auxiliar de San Sebastián Villanueva, se encuentra ubicada en dirección Sudeste en el municipio de Acatzingo a 16.6 km de distancia y a una distancia de la capital de Puebla de 73 km. Perteneciente al estado de Puebla.

7.3 Material Vegetal

La recolección del ahuate se llevó a cabo en junio por la abundancia en la variedad de tuna criolla, debido a que el fruto posee más ahuate, facilitando la recolección. Para ello se ubicó una bolsa grande de color negra en la parte inferior de la máquina, en el cono donde salen los residuos, antes de que inicie la limpieza de la tuna, se retiró la bolsa cuando alcanzo un llenado del 75 % de su capacidad, al final se selló la bolsa muy bien, evitando que se escapara el residuo. La cantidad recolectada fue mayor a 9 kg, debido a que se emplearon: A50 (3 kg), A25 (1.5 kg) y A75 (4.5 kg) de ahuate.

Se recolectaron 6 kg de tierra, 1 kg de carbón vegetal, 6 kg de estiércol de borrego, 6 kg de paja de trigo, 600 g de salvado de trigo, 100 g de levadura de barra, 100 g de melaza y 10 L de agua para la elaboración del bokashi. En el caso de la paja de trigo se trituro hasta alcanzar un tamaño aproximado de entre 5 a 10 cm, con el objeto de acelerar su degradación durante el proceso de compostaje.

7.4 Material

En la elaboración de los bokashi se empleó 4 recipientes de una capacidad de 50 litros donde reposaron las muestras, 1 pala para mover el abono, 1 tina de 100 litros donde se preparó la primera fase, 5 plástico gruesos de distintos tamaños, conforme el tamaño de las tinas utilizadas y cuerda que funcionara como tapa de los recipientes a utilizar; las compostas se destaparon dos veces al día durante los primeros 7 días de compostaje con la finalidad de impedir la acumulación de gases al interior de los recipientes.

7.5 Diseño del Experimento

Se baso en “Elaboración y uso del bokashi - UNAM” (Ganaderia, 2022) y “Manuales Prácticos para la Elaboración de Bioinsumos” (SADER, 2020). No existe una receta exclusiva o única para la elaboración del bokashi, su composición se ajustará a las condiciones y materiales de interés (Ramos D. &., 2014).

El diseño consto de 4 tratamientos representativos, en la tabla 2 se muestra las cantidades correspondiente a cada tratamiento. De los 4 tratamientos, A0 corresponde al testigo mientras A25, A50 y A75 son las variantes con relación al porcentaje de ahuate.

Al inicio del diseño experimental, se elaboró un bokashi tradicional sin agregar el ahuate (A0), en el segundo día se separó el bokashi en 4 recipientes y adicionó en porciones distintas el ahuate en recipientes independientes.

Cuadro 3. Diseño para los cuatro tratamientos, más el testigo.

Tratamiento	Formulación
A0	100 % Bokashi
A25	25 % Bokashi + 75 % Ahuate
A50	50% Bokashi + 50 % Ahuate
A75	75 % Bokashi + 25 % Ahuate

7.6 Preparación de los Tratamientos

Se utilizará el método de composta tipo Bokashi, con tres formulaciones independientes y un testigo, dando a lugar la obtención de 4 muestras, constara de 3 preparaciones separas, la primera preparación de la levadura, la segunda el Bokashi tradicional y la tercera incorporación del ahuate a continuación se describen:

1. Inoculación de la levadura (Mezcla 1), se preparó 24 horas antes de la realización del Bokashi tradicional, se mezcla la levadura, melaza y agua en un recipiente de 5 litros.
2. Mezcla 2, se realizó al mismo tiempo que la Mezcla 1, en otro recipiente, se mezcló: tierra, carbón, paja de trigo, salvado, estiércol y ceniza, una vez terminado se tapa muy bien con un plástico polietileno.
3. Pasado las 24 horas, se incorporó la Mezcla 1 en la 2, formando la base del Bokashi (Sustrato 1), se tapa, reposa 24 horas.
4. En la bolsa donde se contiene el ahuate con un peso aproximado de 9 kg, se le agregó 3 litros de agua, dejándolo reposar 24 horas, previamente antes de ser incorporado al Bokashi. Con el motivo de evitar que el ahuate se disperse al ser pesado provocándonos algún daño.
5. Se elaboraron tres formulaciones con diferentes porcentajes de incorporación de ahuate en el Bokashi tradicional: A0 (Bokashi 100 %), A50 (Bokashi 50 % + Ahuate 50 %), A75 (Bokashi 25% + Ahuate 75 %) y A25 (Bokashi 75 % + Ahuate 25 %).
6. Se monitoreó y removió constantemente, observando el comportamiento y anomalías, de forma independiente (la remoción debe realizarse con una pala limpia y seca).

A continuación, se presenta el diagrama de procesos (Figura 12 y 13).

Elaboración del Bokashi Tradicional

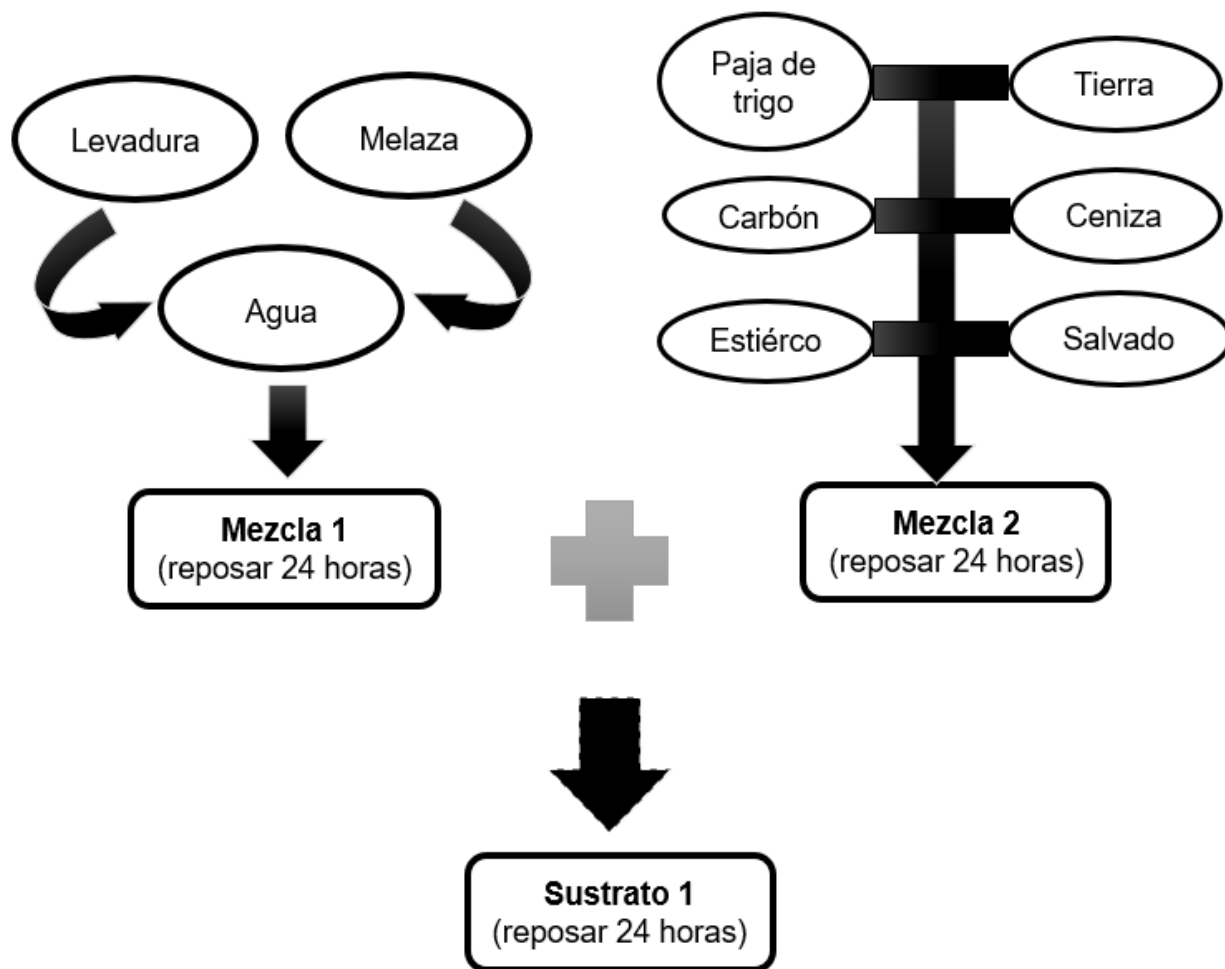


Figura 14 En el proceso de elaboración del bokashi Tradicional consto de 3 fases: la primera en la mezcla del inoculación y activación de las levaduras, la segunda fase consiste en mezclar los sustratos base del bokashi tradicional y la tercera fase consistió en la mezcla de la fase 1 y 2.

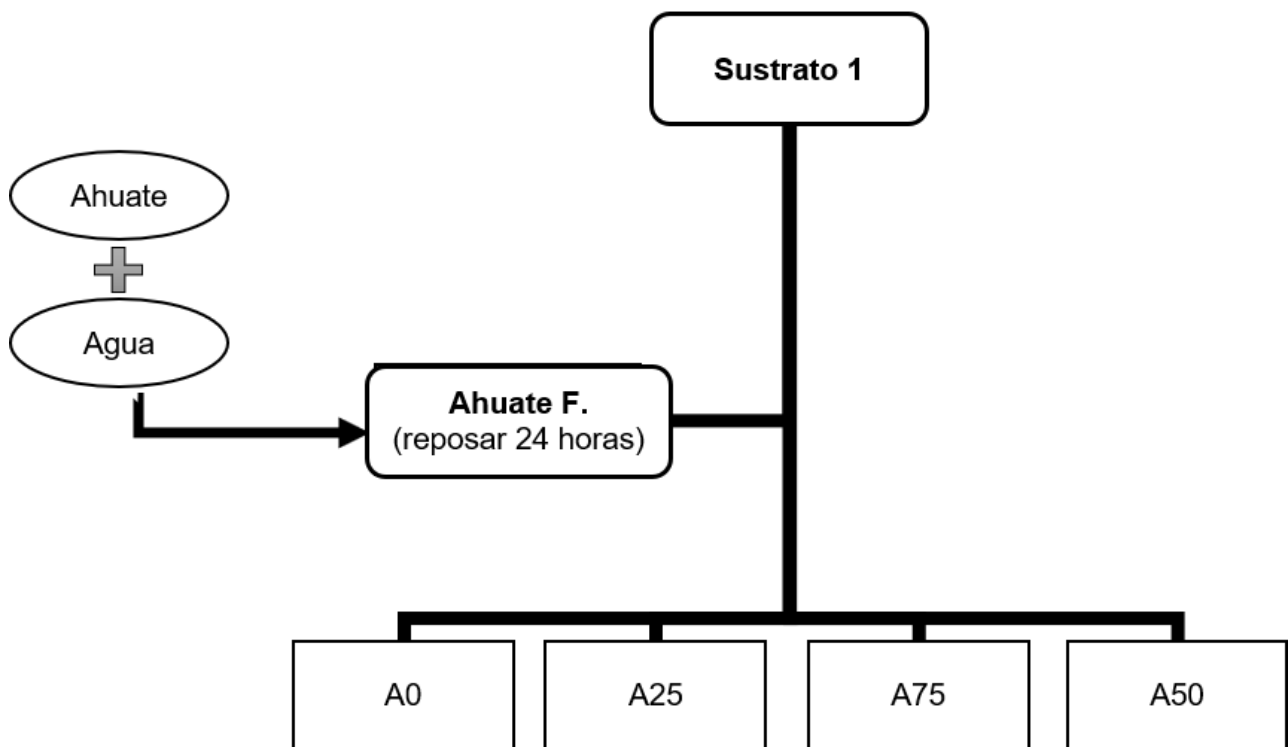


Figura 15 Obtenido el sustrato 1, se complementa con la incorporación del ahuate en diferentes cantidades. Antes de ser incorporado el ahuate debe reposar 24 h, previamente con el propósito de evitar que el ahuate se disperse al ser pesado.

7.7 Fermentación

El proceso de compostaje se realizó bajo los lineamientos establecidos por el bokashi tradicional, iniciando en el momento en el que sustrato 1 y el ahuate se mezclan (Figura 10) Para la homogenización de la composta se debe realizar con una pala previamente limpia para cada uno, evitando una contaminación cruzada.



Figura 16 Proceso de fermentación para las muestras. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica que pueden ser aplicados en fresco debido a que se eliminan los malos olores.

7.8 Evaluaciones Físicoquímicas y Microbiológicas

De las muestras obtenidas se realizaron la evaluación organoléptica y las determinaciones físicoquímicas y microbiológicas descritas en la Figura 17.

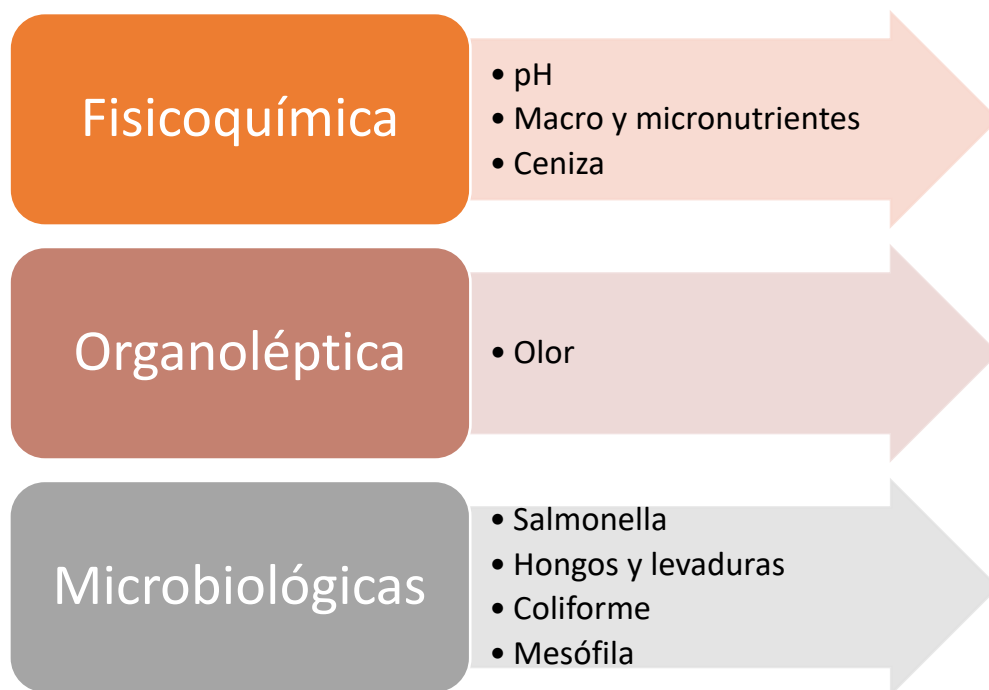


Figura 17 Pruebas físicoquímicas y microbiológicas a realizar a cada tratamiento.

7.9 Pruebas Físicoquímicas

Se analiza y compara la composición nutrimental de los abonos finales entre A0, A50, A75 Y A25 para determinar si existen diferencias resaltantes y potenciales, en los macronutrientes y micronutrientes.

7.9.1 pH

La obtención del pH final aportara referencia sobre los cultivos aptos para el desarrollo en las compostas elaboradas, las cuales se puede emplear sin afectar la germinación de la semilla, crecimiento y desarrollo de la planta.

Se manejó el Soil Test Kit® (MiaLab, México) que describe el proceso para la determinación de pH, se tomó una muestra de 2 g del tratamiento correspondiente, se colocó en un tubo

de ensayo y se le agregó 10 mL de agua destilada y se tapa; a continuación se centrifugó (equipo VELAB, Modelo: VE-4000,) por 30 minutos a 4000 rpm (1780 G), pasado el tiempo se retiró el tubo y se extrajeron 2 mL de sobrenadante, se depositó en otro tubo de ensayo, agregando 2 gotas de la solución “pH Test”, a continuación se agitó levemente por algunos segundos; transcurrido un minuto se comparó el color obtenido con la tabla de colores.

7.9.2 Macro y micronutrientes

Se determinaron como macronutrientes la cantidad de nitrógeno total (N) con el método de combustión Dumas y para el fósforo (P) y potasio (K) con el método de digestión en microondas/ICP-OES, los resultados se expresaron en mg·kg⁻¹ para los tres elementos.

En el caso de los micronutrientes se evaluaron calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B) fueron evaluados por el método de microondas previamente descrito.

7.9.3 Ceniza

Se realizó la determinación de ceniza (contenido mineral) por el método seco, basado en la NMX-F-607-NORMEX-2020. Alimentos-Determinación de cenizas en alimentos-método de prueba. Se emplearon para cada muestra 5 gramos, con tres repeticiones cada una. Se introdujo en la mufia (Felisa, Modelo: FE-360, Guadalajara, México) a 550 °C en el ciclo A simple con un tiempo de 8 horas. Para la conversión en porcentaje se utilizó la Ecuación 1.

$$\% \text{ Ceniza}_{\text{base húmeda}} = \frac{\text{peso de la muestra}_{\text{incinerada}} - \text{peso del crisol}_{\text{tarado}}}{\text{peso de la muestra}_{\text{húmeda}}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

7.10 Pruebas Organoléptica

7.10.1 Olor

La identificación y percepción de los olores en la composta: hedor, tolerable u olor similar a tierra de bosque funcionan como un indicador en la finalización del compostaje, debido a que se puede detectar a primera vista si el proceso requiere más tiempo de lo estimado.

7.11 Pruebas Microbiológicas

Las evaluaciones microbiológicas se realizaron para cada tratamiento, en tiempos diferentes, la primera al transcurrir los 91 días de haber iniciado la fermentación, la segunda a los 36 días de la primera toma de muestra y la última a los 159 días de la segunda toma de muestras (tiempo total de compostaje: 286 días).

Los análisis se realizaron por lo establecido en la NOM-092-SSA1-1994: (Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa), NOM-114-SSA1-1994: (Método para la determinación de salmonella en alimentos), NOM-111-SSA1-1994: (Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos), NOM-113-SSA1-1994: (Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa). Se cuantifico por triplicado en los medios: Agar Papa-Dextrosa, Agar Rojo Violeta Bilis y Agar para Método Estándar con diluciones 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} .


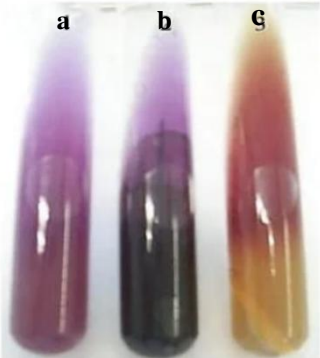
El conteo de UFC (unidades formadoras de colonias) se llevó a cabo mediante el recuento en placa normal SPC, la cual consiste en la homogenización de la muestra de su disolución, siembra e incubación con tiempos y temperaturas acorde a cada determinación. Posteriormente se procedió a contar las colonias visibles con el uso de un contador electrónico (Marca: Rocker, Modelo: Galaxy 330, Taipei, Taiwan)

7.11.1 *Salmonella spp.*

El cultivo e identificación de salmonela se realiza a base la metodología NOM-114-SSA1-1994. Método para la determinación de salmonella en alimentos. Se emplearon 25 gr de cada muestra, las repeticiones se realizaron en tres tiempos diferentes, con el propósito de obtener, analizar y observar el comportamiento. Para la identificación de *Salmonella spp.*, se emplearon pruebas bioquímicas: agar hierro lisina (LIA), agar hierro Kligler, medio movilidad, indol, ornitina (MIO) y agar citrato de Simmons, tras ser inoculadas las muestras correspondientes, se procede a la incubación a una temperatura 35°C por 24 h. Obtenidos los resultados se utilizó la “Tabla de identificación bioquímica”, para identificar la existencia presuntiva de *Salmonella spp.*

En el Cuadro 4 se muestran las características para la identificación de las pruebas bioquímicas y en el cuadro 5 se presenta la tabla para la interpretación de los resultados en las pruebas bioquímicas.

Cuadro 4. Pruebas bioquímicas utilizadas en la caracterización de los abonos bokashi como pruebas presuntivas de salmonella spp.

Nombre de la prueba	Fundamento de la prueba	Interpretación de los resultados	Imagen
<p>KIA</p>	<p>Utilizado para la identificación de enterobacterias evaluando si es capaz de fermentar u oxidar los carbohidratos de la formula (lactosa, glucosa y sacarosa).</p> <p>Presencia de H₂S mediante el oscurecimiento en el medio.</p> <p>Ruptura o desplazamiento del medio significa producción de gas.</p>	<p>Probable <i>Salmonella spp.</i>: tonalidad en la parte de la superficie del tubo de color rojo y en el fondo del tubo amarillo (reacción alcalina/acida o K/A).</p> <p>Normalmente algunas salmonellas producen H₂S, excepción de algunas cepas, el cual se pone ennegrecido al agar, asumiendo que es acido.</p> <p>La producción de es gas es común en <i>Salmonella spp.</i></p>	 <p>Figura 18. Interpretación de la prueba: a(K/A), b(K/K), c(no inoculado), d(K/A) y e(A/A) con presencia de gas.</p>
<p>LIA</p>	<p>Diferenciación temprana de <i>Salmonella spp.</i> y <i>Shigella spp.</i></p> <p>Identificación de microorganismos, especialmente <i>Salmonella spp.</i>, basado en la descarboxilación/ desaminación de la lisina y producción de ácido sulfhídrico.</p> <p>Ruptura o desplazamiento del medio, significa producción de gas.</p>	<p>Presencia de la enzima de descarboxilación o desaminación de la lisina:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descarboxilación: el pico y fondo del tubo cambian a un tono morado (Característico de <i>salmonella spp.</i>) • Desaminación: el medio del tubo cobra un tono amarillo. <p>Normalmente algunas salmonellas producen H₂S, excepción de algunas cepas, el cual ocasiona oscurecimiento del medio, asumiendo que es acido.</p>	 <p>Figura 19 Interpretación de pruebas bioquímicas: a(no inoculada), b(A/A) y c(K/A).</p>

MIO

Medio usado para identificar la movilidad de las enterobacterias (la mayoría se mueve por flagelos), verificar la producción de indol y presencia de la enzima ornitina descarboxilasa

La mayoría de *Salmonella spp.* son móviles, enturbiamiento del medio y crecimiento más allá de la línea de inoculación indica movilidad y cuando el crecimiento es sobre la línea de inoculación se interpreta como negativo.

La presencia de la enzima ornitina descarboxilasa se aprecia de color purpura y en ausencia de un tono amarillo.

A manera de anillo en la superficie la producción de indol es de color rojo, en caso de no presentar cambio de color significa ausencia de indol.

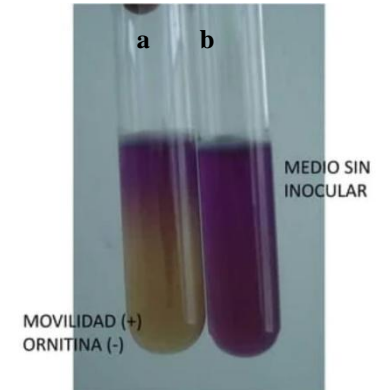


Figura 20 Interpretación de pruebas bioquímicas: a(movilidad positiva), b(no inoculada).

Medio Citrato de Simmons

Evalúa la capacidad de las bacterias en utilizar el citrato como única fuente de Carbono.

El cambio de color verde a azul significa que tiene la capacidad de utilizar el citrato como fuente de energía, característico de *salmonella spp.*

Si no se observan cambios en el color y evidencia de crecimiento, no hubo crecimiento.

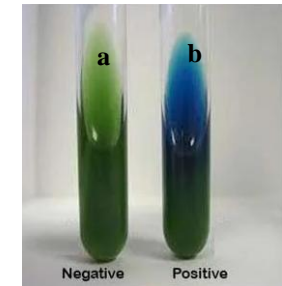


Figura 21 Interpretación de pruebas bioquímicas: a(no inoculada), b(Positivo).

Tabla de interpretación de pruebas bioquímicas específicas para el género *Salmonella spp.*

Agar TSI			Agar LIA			Agar MIO			Agar Urea	β-galactosidasa (ONPG)	Medio Voges-Proskauer (VP)	Microorganismo
TSI	GAS	H ₂ S	LIA	GAS	H ₂ S	Mov.	Indol	Ornitina				
K/A	+	+	K/K	-	+	+	-	+	-	-	-	<i>Salmonella</i> subespecie I Otras <i>Salmonella spp.</i>
K/A	-	-	K/K	+	-	+	-	+	-	-	-	<i>S. Choleraesuis</i> Otras <i>Salmonella spp.</i>
K/A	-	+	K/K	-	+	+	-	-	-	-	-	<i>Salmonella Typhi</i>
K/A	+	-	K/A	+	-	+	-	+	-	-	-	<i>Salmonella spp</i> <i>S.Paratyphi A.</i>
K/A	-	-	K/A	-	-	+	-	+	-	-	-	<i>S.Paratyphi A.</i>
K/A	-	+	K/A	-	+	-	-	+	-	-	-	<i>S. Typhi</i> (excepción)
A/A	+	+	K/K	+	+	+	-	+	-	+	-	<i>Salmonella</i> subg. III (Arizona)
K/A	+	+	K/K	+	+	+	-	+	-	+	-	<i>Salmonella</i> subesp.I <i>Salmonella</i> subg. III (Arizona)
K/A	+	+	K/A	+	+	+	-	+	-	+	-	<i>Salmonella spp.</i> <i>Citrobacter freundii</i> *

Cuadro 5 Tabla de pruebas bioquímicas para interpretación de resultado de KIGLER, LIA, MIO y SIMONS. (Chile)

7.11.2 Hongos y levaduras

El conteo de hongos y levaduras se realizó con base en la metodología de la NOM-111-SSA1-1994. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Se emplearon 10 g de cada muestra, las repeticiones se realizaron en tres tiempos diferentes previamente mencionados, logrando observar el crecimiento. Se emplearon disoluciones a la 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} . Se dejaron las placas incubadas a temperatura ambiente entre 5 a 7 días, con ayuda de un contador de colonias, se realizó el conteo de las colonias para las placas contables.

7.11.3 Bacterias coliformes

El cultivo e identificación de bacterias coliformes se realizó con base en la metodología contenida en la NOM-113-SSA1-1994: Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Se emplearon 10 g de cada muestra, las repeticiones se realizaron en tres tiempos diferentes previamente mencionados, logrando observar el crecimiento y comportamiento. Se emplearon disoluciones a la 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} e incubación a una temperatura de 35°C por 24 h, posteriormente, se realizó el conteo en las placas que estuvieran dentro del rango de 50 a 150 colonias (Definición de placa contable, según la NOM-113-1994).

7.11.4 Bacterias mesófilas

El cultivo e identificación de mesófilas aerobias se realiza a base la metodología contenida en la NOM-092-SSA1-1994: Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Se emplearon 10 g de cada muestra, las repeticiones se realizaron en tres tiempos diferentes previamente mencionados. Se emplearon disoluciones a la 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} . Incubación a una temperatura 35°C por 24 h, posteriormente se realizó el conteo en las placas contables dentro del rango de 50 a 150 colonias.

8. RESULTADOS

8.1 Pruebas Fisicoquímicas

Dentro de las pruebas realizadas para determinar su calidad y características finales en las compostas, se consideraron pH, ceniza (contenido mineral) y macro y micronutrientes.

8.1.1 pH

La evaluación del pH constó de tres tomas de muestra en diferentes tiempos, la primera se efectuó a los 91 días, la segunda a los 127 días y la última a los 286 días. Durante el proceso de compostaje se generan diferentes fenómenos metabólicos que hacen variar el valor.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las compostas a través de los 286 días, se observó una tendencia a disminuir el pH en todos los tratamientos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Evolución del pH en el proceso de compostaje bokashi adicionado con ahuate de tuna.

Tratamiento	Muestreo		
	1 (91 días) [91 d]	2 (127 días) [91 d + 36 d]	3 (286 días) [127 d + 159 d]
A0	8.5	8.5	7.8
A25	9.5	9.5	8.5
A50	9	9	8.7
A75	9	9	8.5

Durante la primera evaluación a los 91 días de compostaje, el tratamiento A0 (testigo) mostró un valor de 8.5, por otra parte, el tratamiento A25 presento un valor de 9.5 y de 9.0 para A50 y A75 por lo que podemos considerar que en todos los tratamientos se obtuvieron compostas alcalinas.

Tras la realización del segundo monitoreo a los 36 días después de la primera toma de datos (127 días de compostaje), se obtuvieron valores iguales al primer muestreo, sin que existiera cambios notables.

Sin embargo, al concluir el proceso de compostaje del bokashi a los 286 días se encontró una disminución en el valor en A0 que paso de 8.5 a los 91 días, a un valor final de 7.8, por otro lado, para A25 disminuyó el pH de 9.5 a 8.5, condición similar a A75 que tuvo un valor igual, por último, se encontró que el tratamiento de A50 se redujo el pH de 9 a 8.7. El valor de pH estimado para una composta finalizada es de 6.5 a 8.5 debido que a valores excesivamente elevados arriba de 8.5 pueden producirse olores y pérdida de amoniaco (nitrógeno), además de que influye en la asimilación de los diferentes nutrientes vegetales.

8.1.2 Macro y micronutrientes

Las plantas requieren ciertas cantidades de nutrientes para un buen crecimiento, desarrollo y producción. Conocer la composición nutrimental es esencial para saber la aplicación o incorporación requerida para que el cultivo alcance un rendimiento alto. Los estudios también demuestran la eficacia del bokashi para aumentar los nutrientes esenciales del suelo, como el nitrógeno, fósforo y el potasio, que son cruciales para el desarrollo saludable de las plantas (Quiroz, 2019).

Se realizaron análisis de laboratorio para los tratamientos y el testigo de las compostas (A0, A25, A50 y A75) donde se obtuvieron los resultados en porcentaje (%) y en partes por millón (ppm) de los macro y micronutrientes (Cuadro 6). Dentro de los macronutrientes se encuentran el nitrógeno (N), fosforo(P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), en los micronutrientes el zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe) y cloro (Cl).

Cuadro 7 Contenido mineral de A0, A25, A50 y A75.

Contenido Mineral del testigo y los tratamientos de Bokashi									
Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn
	%			mg·kg ⁻¹					
A0	1.44	0.33	2.39	2.49	0.55	0.25	7798	34.52	64.67
A25	1.26	0.29	2.00	2.24	0.50	0.21	7420	97.96	66.18
A50	1.54	0.26	1.83	2.03	0.45	0.21	7086	228.0	58.22
A75	1.60	0.29	1.87	2.46	0.51	0.32	6836	313.0	67.69

Nitrógeno

El tratamiento A0 (testigo) presentó en N una concentración de 1.44 %, a diferencia de A25 el cual tuvo una concentración de N de 1.26 % con una diferencia de 0.18 % más bajo con respecto al testigo, en el caso de A50 tuvo un aumento en comparación con el testigo del 1.00 %, situación diferente en A75 con un valor de 1.60 %, presenta concentraciones más altas de N en comparación con los tratamientos de A25, A50 y A0 (Cuadro 7).

Fósforo

Para fosforo se registró concentraciones de 0.33 % en A0, en A25 de 0.29 % valores inferiores a A0, con una diferencia de 0.4 %. mientras para A50 es de 0.26%, lo cual en comparación con el testigo A0 muestra una diferencia de 0.7 %, sin embargo, también es inferiores a A25. En A75 se reportó 0.29 %, valor bajo en comparación con A0, con la diferencia de 0.4 %, sin embargo, A75 y A25 mostraron concentraciones iguales en fosforo y de los cuatro tratamientos el testigo presentó un mayor contenido de P.

Potasio

En los análisis se registró niveles de potasio de 2.39 % para A0, en el caso de A25 se obtuvo una concentración de 2.00 %, con una diferencia de 0.39 % respectivamente con A0; para el caso de A50 de detectaron concentraciones de 1.83 %, se presentó una disminución 0.56 % con respecto a A0. En A75 reportó 1.87 %, en comparación con A0 la

diferencia es de 0.52 %. Sin embargo, de los cuatro tratamientos A0 presento el contenido más alto de potasio, mientras que A50 fue el de menor concentración, seguido de A75 y A25.

Calcio

El tratamiento A0 presentó en Ca una concentración de 2.49 %, a diferencia de A25 el cual tuvo 2.24 % con una diferencia 0.25 % más bajo con respecto al testigo, en el caso de A50 tuvo una diferencia de 0.46 % con respecto a A0; para A75 presenta 2.46 % con una diferencia de 0.03 % respectivamente con A0. De los cuatro tratamientos A0 presenta concentraciones más altas de Ca, mientras que A50 presento una concentración menor en comparación con los demás (Cuadro 7).

Magnesio

En el magnesio se detectaron niveles de 0.55 % para A0, en el caso de A25 se obtuvo una concentración de 0.50 %, con una diferencia de 0.05 % respectivamente con A0; para el caso de A50 de detectaron concentraciones de 0.45 %, el cual hubo una disminución 0.10 % con respecto a A0. En A75 es de 0.51 %, en comparación con A0 la diferencia es de 0.04 %. Sin embargo, de los cuatro tratamientos A0 presento el contenido más alto de magnesio, mientras que A50 fue el de menor concentración, seguido de A25 y A75.

Azufre

En los análisis se detectaron niveles de azufre de 0.25 % para A0, en el caso de A25 se obtuvo una concentración de 0.21 %, con una diferencia de 0.04 % respectivamente con A0; para el caso de A50 de detecto concentraciones de 0.21%. En A75 se detectaron niveles de 0.32 %, en comparación con A0 la diferencia es de 0.07 % superior. De los cuatro tratamientos A25 y A50 presentaron la misma concentración por debajo de los demás, mientras A75 tiene el contenido más alto de azufre.

Hierro

Se registro en Fe 7798 mg·kg⁻¹ para A0 que son aceptables, en el caso de A25 se informó una concentración de Fe 7420 mg·kg⁻¹, con una diferencia de 378 mg·kg⁻¹ con respecto a A0; para el caso de A50 de detectaron concentraciones de 7086 mg·kg⁻¹, presentó una disminución de 712 mg·kg⁻¹ con respecto a A0. En A75 se detectaron niveles de 6836 mg·kg⁻¹, en comparación con A0 bajo 962 mg·kg⁻¹; siendo el de menor concentración, mientras A0 presento concentraciones menores.

Zinc y Cobre

En los análisis se detectaron niveles de Zn 64.67 mg·kg⁻¹ y en Cu 34.52 mg·kg⁻¹ para A0 que son aceptables, en el caso de A25 se informó una concentración de Zn 66.18 mg·kg⁻¹ y en Cu 97.96 mg·kg⁻¹, en el caso de Zn su diferencia con A0 no es alta, a comparación del Cu que casi triplica su concentración, con una diferencia de 63.44 mg·kg⁻¹ con respecto a A0, para el caso de A50 de detectaron concentraciones de Zn de 58.22 mg·kg⁻¹ y en Cu 228 mg·kg⁻¹, en el caso de Zn se presentó una disminución de 6.45 mg·kg⁻¹ con respecto a A0, en cuanto a Cu se observó un incremento significativo de 193.48 mg·kg⁻¹. En A75 se detectaron niveles de Zn de 67.63 mg·kg⁻¹ y en Cu 313 mg·kg⁻¹, en comparación con A0 el Zn subió gradualmente 2.96 mg·kg⁻¹, mientras Cu aumento 278.48 mg·kg⁻¹ con respecto a A0, que son niveles más altos en comparación con los tratamientos A25 y A50.

Sin embargo, tras observar los resultados y diferencia de cada tratamiento, se percibió que entre más concentración de ahuate contenga el bokashi, gradualmente eleva sus contenidos de Cu, en estudios realizados y reportados por Ulloa A. (Cuadro 1) el ahuate contiene en promedio 12.2 mg·kg⁻¹ de este elemento, por ende, se plantea que a medida de la aplicación el contenido de Cu proporcionado por si mismo, afecte su concentración, generando el alto contenido de toxicidad de Cu en la composta.

8.1.3 Ceniza

El análisis de ceniza se realizó de acuerdo con la metodología descrita en la A.O.A.C.1975: Determinación de cenizas totales y materia orgánica, con 5 g para cada tratamiento y tres repeticiones para los 127 días y 286 días.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA).

Se realizó una comparación de medias para corroborar si existieron diferencias significativas con la prueba de diferencia honesta significativa -DHS- o Prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$.

Se muestra los resultados de la prueba Tukey obtenidos como porcentaje de ceniza (minerales) por el método de incineración seca. Se observa que los contenidos de minerales estuvieron en el rango de 19 a 44 a los 127 días de compostaje del bokashi, donde el tratamiento A50 fue el que mostró el porcentaje más alto de minerales en contraste; A75 fue el más bajo con 19.579; al finalizar el proceso de compostaje y maduración del bokashi (286 días) se tuvo una tendencia inversamente proporcional; es decir a mayor contenido de ahuate, el contenido de minerales se redujo y fue estadísticamente significativo, en este caso el tratamiento A0 y A25 fueron similares con valores menores a la medición de 127 días, en A50 el contenido disminuyó en más del 18 y finalmente el tratamiento A75 que contiene el mayor contenido de ahuate fue el que mostró el porcentaje más bajo de cenizas y que siguió en concordancia con el porcentaje de 127 días y su nivel de descenso fue 1.249.

Cuadro 8. Datos de la prueba Tukey de ceniza para cada tratamiento de composta Bokashi.

Tratamiento	Media para 127 d de maduración	Media para 286 d de maduración
A0	30.352 ^c	34.227 ^a
A25	36.031 ^b	28.350 ^a
A50	43.531 ^a	25.333 ^{ab}
A75	19.579 ^d	18.330 ^b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$)

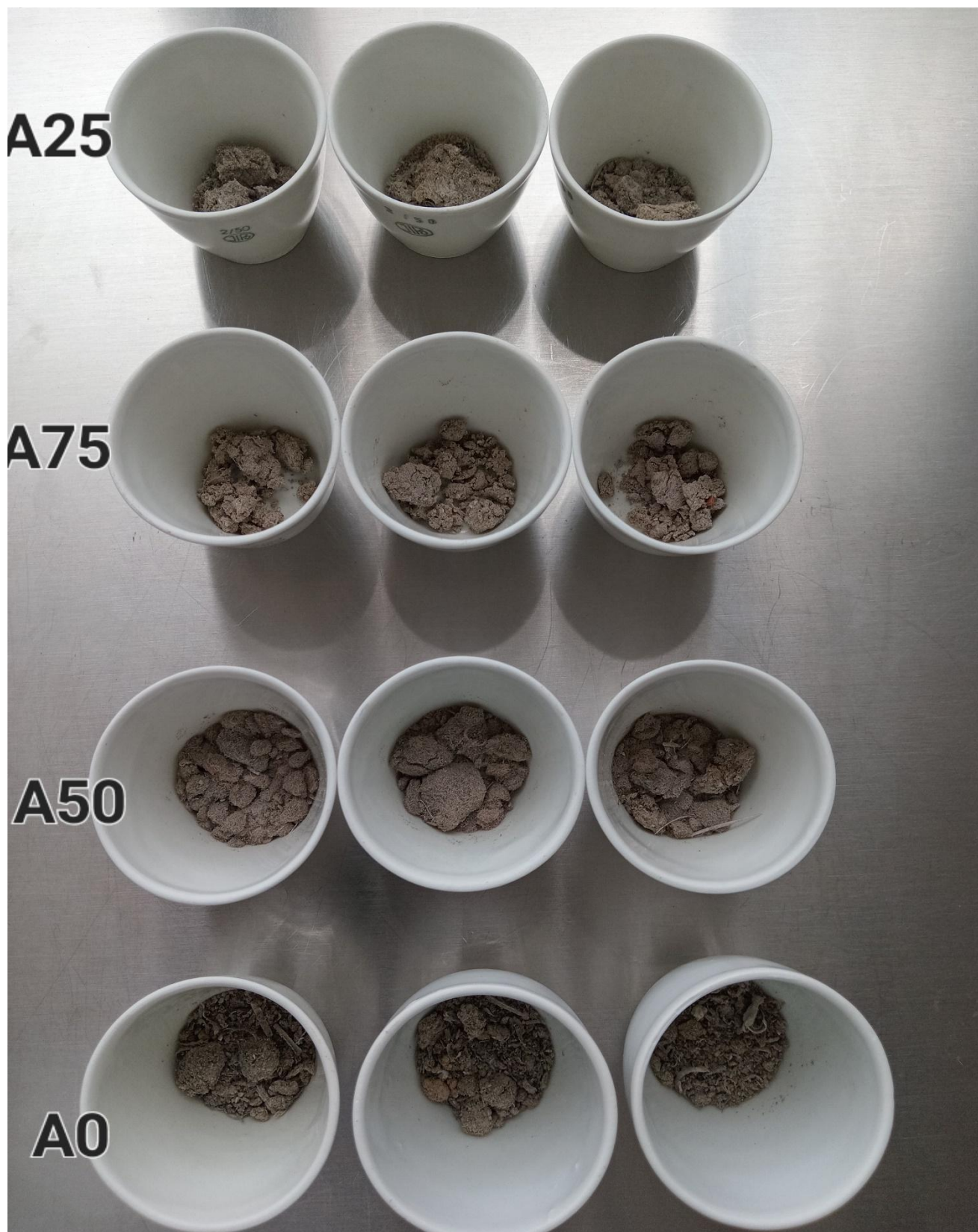


Figura 23 Cenizas obtenidas de las muestras A0, A25, A50 y A75, se aprecia como quedaron después de la incineración.

8.2 Prueba Organoléptica

8.2.1 Olor

Transcurrido los 286 días los tratamientos A0, A25, A50 y A75 presentaron características de finalización del composteo; se verificó de manera sensorial (a través del olfato), todos los tratamientos presentaron ausencia de olores desagradables, al mismo tiempo se detectó un olor similar a la tierra húmeda en cada uno de los cuatros tratamientos finalizados, debido al proceso de fermentación y descomposición que sufre la materia orgánica, presenta un oscurecimiento o melanización hasta transformarse en un producto de aspecto similar a tierra húmeda.

Al mismo tiempo se aprecia al tacto una textura suave en A0, pero en el caso de los tratamientos A25, A50 y A75 se puede llegar a sentir la estructura del ahuate aún presente, sin embargo, el ahuate no se adhiere a la piel fácilmente ya que se puede apreciar y detectar a simple vista que esta reblandecida por el contacto con la humedad final, al término de la maduración del bokashi.

Por ende, se puede concluir que la integración del ahuate a la composta del bokashi ha sido parcial. Se plantea que para los tratamientos A25, A50 y A75 se aplique un proceso de molienda para reducir el tamaño del ahuate y sea menos tardado la desintegración estructural del ahuate y su incorporación al bokashi sea efectiva.



Figura 23 Caracterización final del bokashi A0, a los 286 días.



Figura 22 Caracterización final del bokashi A25, a los 286 días



Figura 25 Características adquiridas al finalizar del bokashi en A50 a los 286 días.



Figura 24 Características adquiridas al finalizar el bokashi en A75 a los 286 días.

8.3 Pruebas Microbiológicas

8.3.1 *Salmonella spp.*

De acuerdo con lo establecido en la NOM-114-SSA1-1994. Método para la determinación de salmonella en alimentos. Se llevo a cabo la identificación morfológica en los medios selectivos para la *Salmonella spp.*, en las muestras A0, A25, A75 y A50. Aquellos que cumplieron con las características, se sometieron a pruebas bioquímicas para confirmar su pertenecían al género *Salmonella spp.*, de acuerdo con lo descrito en el cuadro 5.

El primer análisis realizados a los 91 días, se observaron morfologías sospechosas de *salmonella spp.* en los agares selectivos: entérico Hektoen (EH) y Salmonella Shigella (SS), tras realizar las pruebas bioquímicas se obtuvieron los resultados:

Cuadro 9 Resultados de las pruebas bioquímicas (91 días).

Pruebas bioquímicas (Análisis 1)							
Agar	Tratamiento	Kigler/H ² S/Gas	Lia/ H ² S/Gas	Mio	Simons	Resultado Presuntivo	
EH	A0	A/A / - / -	K/K / - / -	+	-	-	
EH	A25	K/A / + / -	K/K / + / -	+	-	+	
SS	A75	K/A / - / -	K/A / - / -	+	+	+	

Obteniendo como resultado la presencia de *Salmonella spp.* para A25 y A75, mientras que en A0 no registro presencia.

En el análisis 2 realizado a los 127 días para cada uno de los cuatro tratamientos, se observaron morfologías correspondientes a *salmonella spp.* en los agares selectivos EH y SS, tras realizar las pruebas bioquímicas se obtuvieron los resultados:

Cuadro 10 Resultados de las pruebas bioquímicas (127 días).

Pruebas bioquímicas (Análisis 2)						
Agar	Tratamiento	Kigler/H ² S/Gas	Lia/ H ² S/Gas	Mio	Simons	Resultado Presuntivo
SS	A0	A/A / - / -	K/A / + / -	+	+	-
SS	A50	A/A / + / -	K/A / - / -	+	+	-
EH	A25	A/A / - / -	K/A / - / +	+	+	-

Obteniendo como resultado la nula presencia de *Salmonella spp.* en A0, A50 y A25.

En el análisis 3 realizado a los 286 días para cada uno de tratamientos, se observaron morfologías sospechosas de *salmonellas spp.* en los agares selectivos HE y SS, tras realizar las pruebas bioquímicas se obtuvieron los resultados:

Cuadro 11 Resultados de las pruebas bioquímicas (286 días).

Pruebas bioquímicas (Análisis 3)						
Agar	Tratamiento	Kigler/H ² S/Gas	Lia/H ² S/Gas	Mio	Simons	Resultado Presuntivo
SS	M1	A/A / - / -	K/A / + / -	+	-	-
SS	M2	A/A / + / -	K/A / - / -	-	-	-
EH	M4	K/A / - / -	K/A / - / +	+	+	-

Durante el proceso de compostaje la presencia de *salmonella spp.* se percibió en los 91 días, sin embargo, al transcurrir los 286 días (finalizado) se aseguro la desaparición del patógeno en las formulaciones realizadas, cumpliendo los establecido en la NOM-114-SSA1-1994, la no existe presencia de *Salmonella spp.*

8.3.2 Hongos y levaduras

Cada repetición de análisis de los tratamientos se llevó a cabo en tiempos distintos, observando el comportamiento de los hongos y la levadura en el compostaje. Los resultados mostraron que las altas temperaturas inhiben el crecimiento de la mayoría de los parásitos y hongos.

Cuadro 12 Resultado de la presencia de hongos y levaduras.

Tratamiento	Repetición					
	1 (91 días) 91 d		2 (127 días) -91 d + 36 d-		3 (286 días) -127 d + 159 d-	
	Mohos	Levadura	Mohos	Levadura	Mohos	Levadura
A0	5.0x10 ⁶ UFC/g	1.3x10 ⁶ UFC/g	1.0x10 ⁶ UFC/g	<1.0x10 ⁴ UFC/g	7.0x10 ³ UFC/g	<1.0x10 ⁴ UFC/g
A25	7.7x10 ⁶ UFC/g	4.0x10 ⁵ UFC/g	1.2x10 ⁶ UFC/g	<1.0x10 ⁵ UFC/g	2.4x10 ⁴ UFC/g	<1.0x10 ⁴ UFC/g
A50	3.9x10 ⁶ UFC/g	3.0x10 ⁵ UFC/g	2.4x10 ⁶ UFC/g	<1.0x10 ⁴ UFC/g	9.0x10 ⁴ UFC/g	<1.0x10 ⁴ UFC/g
A75	2.7x10 ⁶ UFC/g	8.0x10 ⁵ UFC/g	3.8x10 ⁶ UFC/g	3.2x10 ⁶ UFC/g	4.0x10 ⁴ UFC/g	<1.0x10 ⁴ UFC/g

La presencia de levadura a través de la fermentación de la materia orgánica, se observa la disminución, manteniéndose por debajo de <10⁴ UFC/g transcurrido los 286 días; situación adversa en el primer monitoreo donde A75 poseía 8.0x10⁵ UFC/g.

Mientras en la de hongos durante la primera evaluación rondaba en 7.7x10⁶ UFC/g para A25, transcurrido los 127 días A75 presento mayor presencia de hongos con 3.8x10⁶ UFC/g sin embargo al realizar el ultimo conteo, A0 presento menor actividad con 7.0x10³ UFC/g.

La presencia de hongos y levaduras en las compostas siempre existirá mientras la materia orgánica empleada para el composteo todavía este presente. A pesar de que se finalizó el compostaje, en los tratamientos A25, A50 y A75 se aprecia el ahuate, sin embargo, estas presentan una debilidad estructural, ya que al estar en contacto no se adhieren a la piel.

8.3.3 Bacterias coliformes totales

El análisis se realizó de acuerdo con la metodología NOM-113-SSA1-1994: Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa, en cada uno de los tratamientos, en tres tiempos diferentes.

Al ser un proceso dinámico en el que se produce una serie de cambios debido a las poblaciones microbianas el número de microorganismos presentes en cada etapa es variables, mejorando la eficiencia de la composta y acortando el ciclo (Cols & Zhang, 2004).

Cuadro 13 Resultados coliformes en los cuatro tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones		
	1(91 días) 91 d	2 (127 días) -91 d + 36 d-	3 (286 días) -127 d + 159 d-
A0	4.5x 10 ⁵ UFC/g	2.0x 10 ⁴ UFC/g	2.0x 10 ⁴ UFC/g
A25	1.4x 10 ⁵ UFC/g	3.2x 10 ⁵ UFC/g	1.0x 10 ⁴ UFC/g
A50	2.7x 10 ⁵ UFC/g	3.6x10 ⁵ UFC/g	1.0x 10 ⁴ UFC/g
A75	1.5x 10 ⁵ UFC/g	2.0x 10 ⁴ UFC/g	6.0x 10 ⁴ UFC/g

En la primera evaluación a los 91 días A0 presentó una mayor actividad coliforme (4.5x 10⁵ UFC/g), en el segundo monitoreo se percibió una disminución de los microorganismos para A0 y A75, sin embargo, A25 y A50 registraron un aumento ligero en relación con el primer análisis a los 91 días. Para el tercer monitoreo a los 286 días A0 se mantuvo constante (2.0x10⁴ UFC/g), para A25 y A50 presentaron disminución en comparación con el anterior análisis (1.0x10⁴UFC/g), mientras en A75 presentó un aumento ligero en comparación con el análisis anterior, caso contrario en las coliformes donde si se observó disminuciones.

Recordando que un factor que puede estar alterando este comportamiento es la presencia existente de celulosa y lignina motivando el crecimiento parcialmente.

8.3.4 Bacterias mesófilas aerobias

El análisis se realizó acuerdo con la metodología en la NOM-092-SSA1-1994. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Cada muestra se realizó en tres tiempos distintos observando el comportamiento de crecimiento.

Cuando la materia orgánica es consumida en su totalidad, la temperatura empieza a disminuir, las mesófilos, reinvasen el interior de composta utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales que se encuentra disponible en el ahuate, provocando un incremento de los microorganismos.

Cuadro 14 Resultados mesófilas en los cuatro tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones		
	1(91 días) 91 d	2 (127 días) -91 d + 36 d-	3 (286 días) -127 d + 159 d-
A0	6.9×10^4 UFC/g	7.6×10^4 UFC/g	2.43×10^6 UFC/g
A25	4.5×10^5 UFC/g	7.8×10^5 UFC/g	9.20×10^5 UFC/g
A50	2.4×10^5 UFC/g	6.3×10^5 UFC/g	1.78×10^6 UFC/g
A75	4.8×10^4 UFC/g	6.6×10^4 UFC/g	2.14×10^6 UFC/g

En la primera evaluación a los 91 días A25 presentó una mayor actividad en mesófilos (4.5×10^5 UFC/g), en el segundo monitoreo se percibió un aumento ligero de los microorganismos, por ejemplo: A0 presentó un incremento de 1.00×10^4 UFC/g, en A25 3.3×10^5 UFC/g, para A75 de 1.9×10^5 UFC/g y A75 1.8×10^4 UFC/g. Para el tercer monitoreo a los 286 días, se volvió apreciar un incremento de la presencia de mesófilas, caso contrario en las coliformes donde se observó disminuciones.

Recordando que un factor que puede estar alterando este comportamiento es la presencia existente de celulosa y lignina motivando el crecimiento parcialmente.

9. DISCUSIÓN

La elaboración de abono bokashi ayuda a convertir los residuos de productos agroindustriales en biofertilizantes complementarios para utilizarlo en cultivos de interés mejorando el crecimiento y rendimiento, además de ser fuentes ricas en nutrientes y proporcionan resistencia ante el estrés biótico y abiótico producido por los cambios climáticos.

pH

Ramos y Terry, 2014, señalan que las ventajas más importantes del bokashi es la aportación de microelementos en forma soluble con un pH biológicamente favorable para la absorción radicular entre un pH 6.5 a 7.0; sin embargo, hay estudios como el de Labarca *et al.*, 2018 donde mencionan que el bokashi elaborado con estiércoles de animales (caprino, equino y bobino) alcanzo un valor de 8.12 considerado alcalino, que depende del contenido de carbono en el biofertilizante. Campitelli y Ceppi, 2008, realizaron un análisis de componentes principales (ACP) y un análisis lineal discriminante para obtener los parámetros más importantes en la caracterización de enmiendas orgánicas (compostas) mostrando que el valor de pH es uno de los parámetros más utilizados para especificar los materiales compostados. Varias legislaciones (Italia, Bélgica, España) sugieren un rango de valores de pH para este tipo de enmiendas orgánicas (6.0 a 8.5) para asegurar su compatibilidad con la mayoría de las plantas, además hicieron una categorización de las compostas basadas en el pH; el grupo A con valores de 6.20 a 7.50, el grupo B de 6.25 a 7.81 y el grupo C de 8.82 a 10.28; considerando estos datos, las compostas elaborada están en el grupo B que las consideran apropiadas para usarse como posibles mejoradores de suelo y se ha demostrado que valores elevados de pH afectan el índice de germinación, por ellos que el grupo C no es recomendable para utilizarse como biofertilizante.

A pesar de obtener valores ligeramente alcalinos en las compostas elaboradas existe plantas que toleran y requieren un pH alcalino para su crecimiento, por ejemplo: piña, sandía, guayaba, el limón, cebada, plátano, frijol, sorgo, alfalfa y caña de azúcar, por mencionar algunos; la mayoría de las hortalizas requieren un pH de 6 – 6.8 por lo que no es recomendable utilizarlo directamente, sin antes realizar un ajuste. A pesar de ellos al obtener un pH por encima del 7, evita que la disponibilidad de algunos micronutrientes que pueden presentar toxicidad sea absorbida por las plantas en su totalidad.

Macro y micronutrientes

Las normativas o legislaciones frecuentemente se fijan los contenidos en pH, textura, humedad, metales pesados, etc., siendo poco exigentes en los parámetros agronómicos.

La mayor parte de los residuos sólidos en los países en desarrollo son orgánicos, lo que hace que el compostaje sea una solución ecológica para gestionar este flujo de residuos, la técnica de análisis elemental es un método fiable para determinar el contenido elemental de un compuesto y evaluar la contribución de cada elemento (Tahsini & A., 2024).

Nitrógeno

Shi, N. *et al.*, 2016 mencionan que la gestión adecuada de las fuentes de N es fundamental para optimizar el rendimiento de los cultivos y minimizar los impactos ambientales; así como reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos e implementar las enmiendas orgánicas a través de cultivos como leguminosas, debido a su capacidad de crear un sistema agrícola sostenible; la eficiencia del uso del nitrógeno no solo mejora la productividad de los cultivos, sino que también promueve el equilibrio ecológico y la salud del suelo. En investigaciones realizada por otros autores, asociadas a los abonos orgánicos como enmiendas orgánicas Cerrato M. *et al.* 2006, realizaron análisis de composición mineral en tres compostas diferentes, obteniendo en N: composta FIO (Finca Orgánica Integrada) 2%, bokashi FPI (Finca pecuaria integrada) 1.6% y bokashi FC (Finca Comercial) 1.6%, valores superiores

en comparación con las elaboradas en esta investigación, mientras que Barrera A. *et al.* 2012 determino en N, en algunas compostas elaboradas de distintos sustratos en la Sabana de Bogotá obtuvo 2.2% para composta de rosas y 1.0% en composta del Centro de Bio-Sistemas. El contenido de nitrógeno registrado para A0, A25, A50 y A75, estas se encuentran por debajo del rango registradas por los autores mencionados, sin embargo, A75 alcanza los valores del bokashi FC, sin embargo, las formulaciones elaboradas se encuentran por encima de composta del Centro de Bio-Sistemas.

Fosforo

Castro A. *et al.* 2009 elaboraron distintas compostas las cuales se le analizaron su contenido mineral para determinar cuál poseía una mejor disponibilidad de macro y micronutrientes; con relación al P, la concentración Mat 2 (composta fabricado de broza de café y cachaza de caña) presento una concentración baja de 0.96%, a comparación con Mat1 (vermicompost fabricado con estiércol de vacuno) presento la concentración la más alta 3,02% en comparación con Mat 4 (composta fabricado con pulpa de naranja, obtuvo la concentración más baja de P con 0.36%. Nos menciona que Paul y Clark (1996) proponen una concentración entre 0.15-1.5% para P como un ámbito óptimo.

A comparación con los resultados obtenidos por los autores las compostas A0, A25, A50, y A75 clasifican como concentraciones bajas debido a que se ubican entre 0.33- 0.26%, resultados inferiores antes mencionados. Sin embargo, la presencia de este macroelemento se encuentra por encima de los limites propuestos por Paul y Clark (1996).

Potasio

Ramos D. *et al.* 2014 elaboraron un abono orgánico tipo Bokashi, a partir de los residuos de la cosecha de plátano, obteniendo un mayor contenido de este elemento potasio, ya que el plátano contiene gran cantidad de este elemento; obteniendo 1.62% en K a los 150 días de la finalización del composteo. A comparación de las compostas elaboradas estas

presentaron un valor superior en sus concentraciones dentro de un rango 1.83- 2.39%, obteniendo como una fuente extra de K.

Calcio

Leblanc H. *et al.* 2007 evaluó la calidad de diversos fertilizantes orgánicos producidos en la Universidad EARTH donde se obtuvo FIP (estiércol bovino, aserrín, etc.) 1.64%, bokashi FIO (tierra, estiércol de cabra y gallina, sémola, arroz y melaza) 2.17% y por último bokashi FC (plátano y raquis) 1.92% en calcio. La evaluación de compostas tipo bokashi realizadas se encuentran por encima en comparación por el autor, sin embargo, A50 está por debajo del FIO y por encima de FIP y FC; con una diferencia de 0.32% de A0 y FIO.

Azufre

El azufre es un macronutriente importante para los cultivos sin embargo existe poco registro de este elemento en investigaciones relacionadas con composta Ramos D. *et al.* 2014 elaboraron un abono orgánico tipo Bokashi, a partir de los residuos de la cosecha de plátano, obteniendo 0.17% a los 150 días de la finalización del composteo una concentración baja. En comparación con las compostas realizadas estas presentaron concentraciones entre 0.21-0.32%, lo cual es importante recalcar que el azufre influye en la absorción de Cu en las plantas, presentando un riesgo, debido a que el contenido de Cu obtenido es alto.

Hierro

Castro A. *et al.* 2009 elaboraron distintas compostas las cuales se les analizaron su contenido mineral, con relación al Fe, la concentración Mat 2 (composta fabricada de broza de café y cachaza de caña) presentó una concentración más alta 59400 mg/kg, en comparación con Mat1 (vermicompost fabricado con estiércol de vacuno) presentó la concentración más baja 4640 mg/kg, en comparación con Mat 4 (composta fabricada con pulpa de naranja, obtuvo la concentración de 7455 mg/kg. A pesar de ello las compostas

elaboradas la que mayor presencia registro fue A0 con 7798 mg/kg. La presencia de vestigios de un residuo de apariencia rojiza luego de su incineración, que sugiere una posible contaminación por Fe (Castro & Henríquez, 2009).

Zinc y Cobre

Ceylan F. 2024. menciona que las concentraciones excesivas de metales pesados (Zn, Cu, etc.) son muy tóxicos para el suelo y cultivos; además de que existen algunas legislaciones para limitar estas concentraciones de metales en las compostas.

La Unión Europea (UE) estableció límites medios para la concentración de Cu y Zn en las compostas dentro de los países europeos los cuales son de 300 y 800 mg/kg, respectivamente (Reglamento (CE) nº 1069/2009). En los análisis de Ceylan F. se confirmó que las concentraciones de Cu en todas las compostas se encuentran dentro de los límites legales de la UE, mientras que en Zn cumple con los requisitos permitidos por la UE. De acuerdo con las concentraciones permitidas por la UE (300 mg/kg) las compostas A0, A25, A50c cumplen en Cu, se encuentran dentro de este rango, a diferencia de A75 que poseen concentraciones más elevadas por el rango permitido (313.0mg/kg).

Las concentraciones adecuadas para las compostas de residuos agroindustriales en la aplicación de la agricultura, en la posibilidad de encontrar metales pesados son: Cu 450 mg/kg, Zn 1100 mg/kg establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2006); de acuerdo con las concentraciones de Cu y Zn permitidas por EPA, los cuatro tratamientos realizados, cumplen con los rangos permitidos.

Algunos de los cultivos que pueden tolerar concentraciones altas en el suelo o composta en zinc son: rábano, soya, trigo, avena, alfalfa, maíz, arroz y algodón; pero lo que definirá su disponibilidad en las plantas es el pH del suelo.

Ceniza

El contenido de cenizas puede atribuirse a una mayor mineralización debido a la actividad microbiana (Gupta et al., 2007). De acuerdo con Pérez-Godínez *et al.*, (2017) menciona que los contenidos de minerales varían en función del proceso de compostaje que se siga y el tipo de abono animal que se utilice; en su estudio encontró que en bokashi tradicional alcanza un porcentaje alto de cenizas, en el abono del león presento 60.83 %, mientras que con abono de caballo el porcentaje es de 42%, después de un mes de compost, si se utiliza un vermicompostaje previo se obtiene en el caballo una reducción hasta el 40% en un periodo de tres meses.

Olor

Gannes *et al.*, 2013 menciona que el compostaje es afectado por los tipos de sustratos, actividad microbiana y las condiciones fisicoquímicas (temperatura, concentración de oxígeno, humedad y pH, etc.). Por lo tanto, la presencia del olor durante la composta es variable ya que al inicio presenta olores fuertes y desagradables por la descomposición de la materia orgánica, sin embargo, como va pasando el tiempo este olor va disminuyendo hasta obtener un olor agradable a nuestro olfato indicándonos como un factor extra que se ha llevado exitosamente el proceso.

Evaluación de *Salmonella spp.*

Si bien las regulaciones de compostas tienen algunas diferencias en diferentes países, todos concluyen que no se permite presencia de *salmonella spp.* en las compostas (ausencia en 25g o 25 ml), ya que pueden llegar a los consumidores a través de los vegetales y frutas. La destrucción del patógeno se lleva a cabo en la fase termófila ya que se alcanzó temperaturas altas (55°C).

Hongos y levaduras

Existen pocas evaluaciones en torno al bokashi en hongos y levaduras, uno factor determinante para la calidad. Ramos D. *et al.* 2014 menciona que durante las evaluaciones de hongos y levaduras llevadas a los 7, 15 y 21 días; la presencia de levaduras presentes en el abono Bokashi estuvo por menor de 1×10^{3a} los 21 días; caso contrario en lo hongo, en la primera evaluación reporto 1×10^3 , a los 15 días $1,8 \times 10^6$ generando un incremento, sin embargo, en la tercera evaluación registro $2,7 \times 10^3$ reduciendo su presencia en comparación con la segunda. En las evaluaciones realizadas para levadura a las compostas A0, A25, A50 y A75 todas estuvieron en $<1.0 \times 10^4$ UFC/g; en el de hongos el de mayor presencia efectuaba en 4.0×10^4 UFC/g, estando por encima de los resultados por Ramos. Una medida de la calidad en los abonos que indican la madurez o estabilidad del producto, así como la actividad microbiana en el producto final.

Evaluación de Bacterias mesófilas aerobias y Bacterias coliformes totales

Durante la etapa termófila, la celulosa y las proteínas se descomponen y el contenido de materia orgánica disminuye. Durante la etapa de enfriamiento, la lignina residual y otras sustancias se descomponen aún más, reduciendo el contenido de materia. A medida que el proceso de compostaje alcanza la madurez, el contenido de materia orgánica se estabiliza gradualmente. La elaboración de los abonos se inicia por la acción de una amplia población microbiana quimioheterotrófica de hábitos mesófilos, a medida que transcurre el tiempo, la temperatura aumenta, disminuyendo la presencia de los mesófilos. En la tercera etapa de compostaje la disminución de la actividad microbiana se relaciona con el agotamiento de las sustancias de energía y el predominio de resistencia de la lignina y las celulosas, a medida que los sustratos carbonados son metabolizados, la temperatura comienza a descender, iniciando la maduración del abono (Ramos, Terry, & Soto, 2014).

La presencia de un alto número de coliformes, de acuerdo con la EPA indica la posibilidad de presencia de bacterias patógenas como *Salmonella*, *Shigella* y *E. coli verotoxigénicas*; indicando una deficiencia del proceso térmico, se ha establecido que recuentos por debajo de 1.000 UFC por gramo de peso seco de composta significa que los patógenos entéricos han sido destruidos (Ramon & Martinez, 2013).

Conclusión

Dentro de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de las compostas bokashi presentaron diferencias, siendo los óptimos para emplear en la agricultura A25 y A50, debido a que sus parámetros se encuentran dentro de los límites (zinc y cobre) por ende, el tiempo de compostaje aplicado 286 días garantizó la nula presencia de *Salmonella spp*, así como su baja tasa de coliformes y mesófilos en los bokashi elaborados; en relación al pH al tener valores alcalinos, existe una posibilidad de que el proceso de compostaje le falta fermentar días adicionales, sin embargo es necesario alargar los días de compostaje para comprobar dicha observación.

Sin embargo, a pesar de obtener resultados favorables, se requiere emplear o aplicar un proceso adicional, debido a que el ahuate no presenta una desintegración favorable, sin embargo, su estructura se volvió blanda, evitando que se adhiera a la piel fácilmente.

El pH obtenido en los tratamientos elaborados no es consistente con otros bokashi, debido a que estos pueden verse afectados por los materiales vegetales utilizada, así como el empleo de abonos de animales, cambiando relativamente este valor.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrera, A., Herrera, J., & Forreo, A. &. (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Google Academico*, 35-37. doi:10.21897/rta.v17i1.694
- BIOAQUAFLOC. (s.f.). *Bocashi, fermento japonés que desencadena el aumento de la productividad acuícola*. Obtenido de BIOAQUAFLOC: <https://www.bioaquafloc.com/bocashi-fermento-japones-que-desencadena-el-aumento-de-la-productividad-acuicola/>
- Castro, A., & Henríquez, C. &. (2009). Capacidad de suministro de N, P Y K de cuatro abonos orgánicos. *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/436/43612054004.pdf>
- Chile, M. d. (s.f.). *Salmonella spp. SEGÚN ISO 6579:2002 Salmonella spp. SEGÚN ISO 6579:2002(E)*. Gobierno de Chile.
- Cols, & Zhang, X. (2004). *Diversidad y dinámica de la comunidad microbiana en la descomposición de la paja de trigo durante la producción de compost de hongos*.
- EU, U. E. (2009). *Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE) n.o 1069/*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32019R1009>
- F., C. (2024). *Efectos de los composts obtenidos a partir de residuos de avellanas en el cultivo de plántulas de pimiento (Capsicum annum)*. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-024-53638-4>
- Ganaderia, M. d. (30 de Junio de 2022). *Elaboracion y uso del bocashi*. Obtenido de INIFAP: https://prometeo.matem.unam.mx/recursos/VariosNiveles/iCartesiLibri/recursos/Compostaje_y_lombricultivo/docs/fao.pdf
- Garcia, C. &. (2003). *Nopalitos y Tunas*. Chapingo: Universidad Autonoma de Chapingo. Obtenido de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/f13b4151-7e89-4298-87d3-4efe2791a494/content>
- Gupta, R., Kumar, P., Kumar, N., & Singh, M. &. (Septiembre de 2007). Development of a water hyacinth based vermireactor using an epigeic earthworm Eisenia foetida. *ScienceDirect*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.007>
- Labarca, A., Gómez, L. G., & Orlando, A. M. (2018). *Caracterización del abono Bocachi y su aplicación en el cultivo del pimentón (Capsicum annum, L.), en el estado*.
- Leblanc, H., Cerrato, M., & Miranda, A. &. (2006). Determinacion de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. *Universidad EARTH*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/237474376_DETERMINACION_DE_LA_CALIDAD_DE_ABONOS_ORGANICOS_A_TRAVES_DE_BIOENSAYOS
- M., C., & C., L. H. (2006). Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost poducidos en la Universidad EARTH. *Google Academico*, 185- 187.
- M., Y. F. (2024). *Cambios dinámicos y correlaciones entre las comunidades microbianas y las propiedades fisicoquímicas durante el compostaje de estiércol de ganado con Penicillium oxalicum*. doi:<https://doi.org/10.1186/s12866-024-03449-4>
- Quiroz, M. &. (2019). *Bokashi como enmienda y fuente de nitrógeno en sistemas agrícolas sostenible*. *Google Académico*.
- Ramon, P., & Martinez, M. &. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en America Latina*. *FAO*. Obtenido de

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/86a00877-877d-4fa7-8608-32071e1464d8/content>

- Ramos, D. &. (2014). *GENERALIDADES DE LOS ABONOS ORGÁNICOS: IMPORTANCIA DEL BOCASHI COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL PARA SUELOS Y PLANTAS*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Ramos, D., Terry, E., & Soto, F. &. (2014). BOCASHI: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193230070011.pdf>
- Román, P., & Martínez, M. &. (2013). Manual de compostaje del agricultor. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- Ruiz, M. (2018). *Innovación de subproductos de tuna variedad copena y cristal para desarrollo sostenible de la comunidad de San Sebastián Villanueva Acatzingo, Puebla*. Facultad de ingeniería química. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/46291b08-c780-4261-b46b-98db08bd426b/content>
- SADER. (2020). *Manuales Prácticos Para la Elaboración de Bioinsumos 8. Elaboración de Bacachi*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737323/8_Elaboracion_n_de_Bocashi.pdf
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (02 de Agosto de 2021). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. Obtenido de Crece producción de tuna en 2020, fruto para consumir esta temporada: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-produccion-de-tuna-en-2020-fruto-para-consumir-esta-temporada?idiom=es>
- Shil, N. S. (2016). *Estado de fertilidad del suelo de algunas de las áreas de cultivo intensivo bajo las principales zonas agroecológicas de Bangladesh*.
- SIAP. (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. SIAP. Obtenido de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tahsini, M., & A., N. M. (2024). *Tratamiento biológico de lixiviados de compost: evaluación de la eficacia del proceso de compostaje y bioaumento de pilas de compostaje*. ELSEVIER. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103859>
- Torres-Ponce, R. L., Morales, C., & Ballinas, C. &.-M. (2015). *El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263139893015.pdf>
- Ulloa, A. (2020). *Manejo integral de los gloquidas del nopal tunero*. Universidad Autónoma de Chapingo. Obtenido de <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/44-2/8a.pdf>
- Vela, E. (2023). *Las parte del nopal*. *Arqueología Mexicana*. Obtenido de <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/las-partes-del-nopal>

