



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
INSTITUTO DE CIENCIAS
CENTRO DE AGROECOLOGÍA
MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

TESIS

**APLICACIÓN FOLIAR Y EDÁFICA DE NEJAYOTE EN EL
CULTIVO DE MAÍZ AZUL CRIOLLO EN AMOZOC DE MOTA,
PUEBLA**

que para obtener el grado de:

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

PRESENTA

Victoria Téllez Pérez

COMITÉ TUTORAL

DIRECTOR DE TESIS

Dra. María Teresa Zayas Pérez

ASESORES DE TESIS

Dr. Jesús Francisco López Olguín

Dr. Agustín Aragón García

Co-director de tesis: Dr. Fernando Hernández Aldana

Puebla, Pue. Mayo 2017.

Agradecimientos

“Dulces son los frutos de la adversidad”

William Shakespeare

La vida se ha diversificado en miles de especies y millones de organismos distintos. Toda la enorme gama de interacciones entre ellos ha producido sistemas que se encuentran en constante cambio. Las diferentes condiciones ambientales generaron cambios en las especies, las llevaron a adaptarse y a transformarse para sobrevivir. Cuando una especie perdura, engendra la posibilidad de producir nuevas características que la hagan más resistente. La generación y perpetuación de la vida, con su movimiento incontenible, han sido apenas captadas por la mirada atónita del ser humano, dispuesto a estudiar la inmensidad de hilos constituyentes de su entramado. A la par, nuestra especie ha sobrevivido modificando su entorno, ha utilizado los recursos descubriendo sus características, ha producido cambios, como es usual que lo hagan todas las especies vivas. Cuando se descubrió que la vida estaba conformada por partículas diminutas que también integraban a los factores abióticos, se comprendió que había un intercambio constante de materia y energía entre ellos. Descifrar las cantidades, tipos y condiciones de las sustancias que integran a los sistemas, hace posible incrementar o aminorar su incidencia en otras sustancias o sistemas. La existencia de otras especies favorece a la humanidad, por lo que resulta apremiante promover su adecuada conservación y manejo. Hoy en día, además de ello, se busca aumentar la eficiencia de los procesos, en función de los productos que se deseen obtener. El estudio persistente del entorno, ha llevado al hombre a decidir qué le beneficia, lo cual es necesario redefinir constantemente en función de los nuevos hallazgos. Una aportación, en algún campo de la ciencia, incrementa el acervo de lo que se sabe y da paso a nuevas investigaciones que, a su vez, respondan a más preguntas. Esta es la importancia de la investigación. Continuar experimentando para promover la vida.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada. Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, al Instituto de Ciencias y a la Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas por la infraestructura física y, sobre todo, de recursos humanos, gracias a los cuales he adquirido los conocimientos que poseo en investigación. Extiendo también mis agradecimientos a los doctores Jesús Francisco López Olguín, Agustín Aragón García y Fernando Hernández Aldana por integrar mi comité tutorial, gracias por su apoyo, asesoría y paciencia durante el desarrollo de la presente investigación. Agradezco al doctor Leonardo Salgado Juárez por su atenta colaboración, por motivarme a escribir y animarme a proyectar nuevos objetivos. Agradezco también a mi directora de tesis, la doctora María Teresa Zayas Pérez. Ha sido bastante grato ser asesorada por usted. El tiempo que me ha brindado ha sido muy valioso, tanto en mi formación académica como personal.

Doy las gracias a todos los profesores que me han educado a lo largo de toda mi trayectoria académica. Les estoy muy agradecida por enseñarme a ser una mejor persona y darme las herramientas para poder ayudar a otros.

Agradezco a mis padres, Victoriano Téllez Pérez y María Antonia del Carmen Pérez Luna, por ser mis maestros de vida, los que me han cuidado, guiado y enderezado en todo momento. Gracias por

instruirme en procurar mi entorno, con su ejemplo me mostraron los principios de lo que ahora estudio, me han enseñado que el agua es un recurso invaluable, que la tierra engendra vida y alimento, que todas las especies se deben respetar y que las semillas se deben guardar y sembrar. Espero ser constante en la práctica y algún día poder enseñarles eso a mis hijos. Los quiero mucho.

A mi hermana Carmen. Por su fortaleza y su carácter. Gracias por enseñarme que todo es posible, que existe un mar de opciones en todos lados. Gracias por ser mi amiga, mi maestra, mi cómplice. Gracias por tus palabras, por tus risas, por mostrarme que la vida es maravillosa y que las dificultades se resuelven. Gracias por tu ejemplo. Gracias Ludovic por todo tu cariño y tus palabras, por tus consejos y por enseñarme a que vale la pena arriesgarse por amor. Je vous remercier de me donner l'opportunité d'être une tante.

Doy las gracias a mis abuelitos, tíos, primos y sobrinos. Gracias por todos sus consejos, por su cariño y por los tiempos de plática compartidos. Gracias por todo su apoyo y su amor. Gracias por cuidarme desde donde quiera que estén.

Gracias a todos mis amigos y compañeros: Ariana, Claudia, Analí, Abi, Alma, Noelia, Yoally, Tavo, Irving, Arturo, Iván, Chayo, Juan, Janeth, Pao, Caro, Yola, Yuri, Delia, Andrea, Paty, Cata, Ana, Fany, Sheyla, Alba, Yankel, Pedrito Pérez, Alva, Ale de Gante, Alberto, Jazmin, Alejandro, Lesly, Diana, Juli, Lupis, Dany, Are, Hugo, Luis. Gracias Andrea y Beto por ayudarme a hacer los bioles, aunque hubiese un riesgo de que explotaran. Gracias a Don Agustín Limón por ayudarme a surcar, hacer las labores en el terreno y presentarme a las señoras que me proporcionarían el nejayote. Gracias a Don Blas y su familia por ayudarme a sembrar y a regar. Gracias a Alma y a la doctora Betzabeth Cecilia Pérez Torres por ayudarme a sembrar. Gracias a Don Daniel por ayudarme a aplicar los tratamientos. Gracias a Erika por ayudarme a medir. Gracias a Tania, Esli y Emmanuel por ayudarme a cosechar. Gracias a Raúl Cuéllar por ayudarme a triturar los lodos. Gracias a todos.

A Josué. Gracias por los días de trabajo, cansancio y compañía. Por tu amor y soporte. Gracias por el tiempo compartido. Gracias por tu alegría. Gracias por hacerme ver cuando me equivoco o cuando me puedo equivocar. Gracias por brindarme otra perspectiva. Gracias por escuchar mis ideas y ayudarme a realizarlas. Gracias por compartirme a tu familia. Gracias a tus padres, hermanos y sobrinos por el apoyo y cariño que nos han dado, por dejarme disolver el piloncillo en su casa. Gracias. Muchas gracias.

Gracias a mis hijos de química, física y matemáticas. Agradezco a todas las personas que he tenido la oportunidad de conocer y que, seguramente, me han mostrado distintas formas de percibir y construir lo que acontece.

Pero, sobre todo, agradezco a Dios por dejarme existir en esta travesía tan maravillosa, compleja, interesante y cada vez más asombrosa, que es la vida.

Gracias.

Índice

Índice de Tablas	iii
Índice de Figuras	iv
Resumen	1
I. Introducción	2
II. Antecedentes	4
2.1 La agroecología y sus perspectivas	4
2.2 Manejo de suelos agrícolas	5
2.3 Cultivos exigentes	6
2.4 Maíz	7
1.4.1 Maíces azules mexicanos	10
2.5 Nejayote: efluente del proceso de nixtamalización	12
1.4.2 Tratamientos aplicados al nejayote	13
2.6 Proceso de coagulación química	14
III. Marco teórico	20
3.1 Fertilización	20
3.1.1 Nutrimientos	20
3.2 Aplicación de fertilizantes	21
3.2.1 Fertilización al agua de riego	22
3.2.2 Fertilización al tronco de los árboles	22
3.2.3 Fertilización edáfica	22
3.2.4 Fertilización foliar	23
3.3 Fertilizantes	23
3.3.1 Fertilizantes orgánicos	24
3.4 Uso agrícola de aguas residuales	25
IV. Justificación	27
V. Objetivos	29
5.1 Objetivo General	29
5.2 Objetivos Particulares	29
VI. Hipótesis	29
VII. Desarrollo experimental	30
7.1 Equipo, materiales y reactivos	30
7.1.1 Equipo	30
7.1.2 Materiales	31
7.1.3 Reactivos	32
7.2 Nejayote	32
7.2.1 Producción de nejayote	32
7.2.2 Muestreo del nejayote crudo	33

7.2.3	Caracterización de nejayote crudo.....	34
7.2.4	Tratamiento de nejayote por coagulación química	35
7.3	Preparación de fertilizantes a base de nejayote	36
7.3.1	Preparación de bioles a partir de nejayote crudo y tratado para aplicación foliar	36
7.3.2	Preparación de fertilizantes orgánicos con nejayote crudo para aplicación edáfica	37
7.4	Trabajo experimental	37
7.4.1	Localización y características climáticas de la parcela experimental	37
7.4.2	Evaluación de la calidad del suelo	38
7.4.3	Diseño experimental y cultivo de maíz	40
7.4.4	Metodología de aplicación foliar y edáfica de los fertilizantes en cultivo de maíz	41
7.5	Análisis estadístico	43
VIII.	Resultados y Discusión	44
8.1	Producción de nejayote.....	44
8.2	Tratamiento de nejayote por coagulación química	46
8.3	Caracterización del nejayote crudo y tratado	49
8.4	Empleo de nejayote para la elaboración de bioles	51
8.5	Efecto del nejayote en el desarrollo de maíz	53
8.5.1	Altura de planta.....	53
8.5.2	Diámetro del tallo.....	55
8.5.3	Número de hojas	56
8.5.4	Peso de granos de las mazorcas	57
8.5.5	Análisis fisicoquímico del suelo	58
IX.	Conclusiones	64
X.	Bibliografía citada	65
Anexo A	I
Anexo B	II
Anexo C	VI
I.	Efecto del pH	VI
II.	Efecto de la dosis de coagulante	VII
III.	Efecto de la dosis de floculante.....	VIII

Índice de Tablas

Tabla 1. Indicadores de la calidad del suelo ¹	6
Tabla 2. Etapas de crecimiento del maíz ¹	9
Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del nejayote ¹	13
Tabla 4. Requerimientos nutrimentales del suelo (kg/ha) para producir 12 t/ha de maíz ¹	21
Tabla 5. Clasificación de abonos orgánicos ¹	26
Tabla 6. Tratamientos aplicados al cultivo de maíz.....	37
Tabla 7. Estimación de la producción anual de nejayote y sólidos de nejayote a nivel nacional.....	44
Tabla 8. Efecto del pH y dosis de coagulante y floculante en el color, turbidez y DQO de nejayote.....	47
Tabla 9 Propiedades fisicoquímicas del nejayote crudo y tratado.....	50
Tabla 10. Resultados del análisis fisicoquímico de los bioles.....	51
Tabla 11. Efecto de los tratamientos en la altura de plantas de maíz azul criollo.....	54
Tabla 12. Efecto de los tratamientos en el diámetro de tallo de plantas de maíz azul criollo.....	55
Tabla 13. Efecto de los tratamientos en el número de hojas de plantas de maíz azul criollo.....	57
Tabla 14. Efecto de los tratamientos en el peso y rendimiento de grano.....	58
Tabla 15. Caracterización fisicoquímica del suelo agrícola. Parcela de Amozoc de Mota, Puebla.....	59

Índice de Figuras

Figura 1. Crecimiento de la planta de maíz. Adaptado de Sáenz (SF) y Mueller <i>et al.</i> (2009).....	9
Figura 2. Maíces del Grupo 1a Cónico (Sánchez, 2011) y azul criollo de Amozoc de Mota.....	11
Figura 3. Mecanismo de adsorción y puente interparticular para desestabilizar coloides con polímeros. Adaptado de Pérez <i>et al.</i> (2006).....	16
Figura 4. Estructura laminar de las bentonitas. Adaptado de Tuesta <i>et al.</i> (2005).....	18
Figura 5. Monómero de la poliacrilamida. (Sojka y Lentz, 2016).....	19
Figura 6. Muestra de nejayote.....	34
Figura 7. Tortillería de Amozoc de Mota, Puebla.....	34
Figura 8. Biodigestores empleados para la producción de bioles.....	36
Figura 9. Ejido la Venta, municipio de Amozoc de Mota, Puebla. (INEGI, 2009b).....	38
Figura 10. Diseño experimental Bloques Completos al Azar.....	40
Figura 11. Distribución de las plantas de maíz por unidad experimental.....	41
Figura 12. Aplicación de los tratamientos foliares.....	42
Figura 13. Aplicación de los tratamientos al suelo.....	42
Figura 14. Distribución porcentual de los establecimientos censados dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal en la República Mexicana y el Estado de Puebla.....	45
Figura 15. Comparación del a) nejayote crudo, b) nejayote durante el tratamiento por coagulación química y c) nejayote tratado por coagulación química bajo condiciones óptimas.....	49
Figura 16. Bioles elaborados.....	52
Figura IC. Gráficos de medias y error estándar de los porcentajes de remoción de a) color, b) turbidez y c) DQO al tratar nejayote por coagulación química variando el pH.....	VI
Figura IIC. Gráficos de medias y error estándar de los porcentajes de remoción de a) color, b) turbidez y c) DQO al tratar nejayote por coagulación química variando la dosis de coagulante.....	VII
Figura IIIC. Gráficos de medias y error estándar de los porcentajes de remoción de a) color, b) turbidez y c) DQO al tratar nejayote por coagulación química variando la dosis de floculante.....	VIII

Resumen

El nejayote (agua residual del proceso de nixtamalización del maíz), crudo y tratado, fue evaluado como insumo de aplicación foliar y edáfica, en el cultivo de maíz azul criollo (*Zea mays*), durante el ciclo agrícola 2015, en Amozoc de Mota, Puebla, México. Se consideró que el nejayote crudo tiene valor agrícola, debido a su elevado contenido de materia orgánica e inorgánica. El nejayote tratado se refiere al nejayote crudo sometido al proceso de coagulación-floculación, utilizando al coagulante Südflock®P-63 y al floculante Sumex Biofloc®A-01. Este proceso reduce la DQO, turbidez y color del agua residual. Por lo tanto, se establecieron dos estados de nejayote con diferentes características fisicoquímicas (nejayote crudo y tratado). Los biofertilizantes foliares fueron preparados a base de nejayote crudo o tratado (por coagulación-floculación) y mezclados con material orgánico para promover la fermentación durante 60 días. Los tratamientos foliares fueron: BNC5, BNC15, BNC30 (Biol de nejayote crudo al 5, 15 y 30%), BNCQ5 (Biol de nejayote tratado por coagulación química al 5%), NCQ30 (Nejayote tratado por coagulación química al 30%) y BT (Biol tradicional) como testigo. Los tratamientos edáficos fueron: NC50, NC75 y NC100 (Nejayote crudo al 50%, 75%, 100%) y agua potable (AP) como testigo, dando lugar a diez tratamientos en función del contenido de nejayote crudo o tratado (seis foliares y cuatro edáficos incluyendo los testigos). Los tratamientos foliares y edáficos en campo, aplicados al cultivo de maíz azul criollo, fueron evaluados estadísticamente mediante las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y rendimiento de grano.

El experimento se estableció en Bloques Completos al Azar (DBCA) con cinco repeticiones de cada tratamiento. Los resultados obtenidos demostraron que el efecto del nejayote crudo o tratado, aplicado por vía foliar o edáfica, durante las diferentes etapas de desarrollo del maíz azul, no presentó diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0.05$), a excepción de la etapa vegetativa temprana del desarrollo de la planta, en la que se registraron efectos significativos, principalmente, en el diámetro del tallo, con el tratamiento foliar NCQ30, y número de hojas, con el tratamiento foliar BNC5. En la etapa final del cultivo, el mayor rendimiento de grano (0.639 ± 0.1210 t/ha) se obtuvo con el tratamiento BNC5, cuyo efecto mostró una diferencia estadísticamente significativa (b), en relación al efecto del resto de los tratamientos foliares y edáficos (Tukey $P \leq 0.05$).

I. Introducción

El proceso de nixtamalización o cocción alcalina del grano de maíz, genera una cantidad considerable de un desecho líquido orgánico, conocido como nejayote. La producción de nejayote es abundante dado que, una tonelada de maíz procesado, requiere un volumen de agua del orden de 3 m³ y, la producción de nejayote, es del orden de 50 millones de m³ al año (Scheel, 2016). Sin embargo, al descargarse sin tratamiento a cuerpos de agua, el nejayote genera problemas ambientales y de salud pública, debido a su alta concentración de materia orgánica, hidróxido de calcio y elevado pH. Se han empleado varios métodos para tratar efluentes o aguas residuales con alta concentración de materia orgánica e inorgánica, uno de ellos es el proceso de coagulación química, el cual, es ampliamente utilizado a escala industrial. Desde la perspectiva agrícola, el nejayote contiene una alta cantidad de compuestos benéficos, como los nutrimentos orgánicos, con una Demanda Química de Oxígeno (DQO = 25000-28000 O₂ mg/L), nitrógeno (200 a 300 ppm), fósforo (160 -190 ppm) y minerales para el sistema suelo-planta (Cifuentes, 2011). A través de su aplicación edáfica, foliar o por recubrimiento de semilla, el nejayote podría mejorar el estado nutricional de las plantas y suelos de cultivo, contribuyendo a mantener la fertilidad y la productividad de los suelos. Actualmente, los residuos orgánicos de diferente origen son utilizados como enmiendas para aumentar la materia orgánica del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, es el maíz. El maíz es el cereal de mayor volumen de producción, antes del trigo y el arroz (FAOSTAT, 2016; FAO, 2016). En México la producción de maíz, durante el año 2014, fue de 23.27 millones de toneladas con un rendimiento medio nacional de 3.3 t/ha (SIAP 2014). Se cultiva en una gran diversidad de suelos y condiciones climáticas, bajo tres modalidades de siembra: humedad residual, de riego y de temporal. El rendimiento del maíz está en función de la tasa de crecimiento antes y durante el período de floración. Sin embargo, una baja concentración de nutrimentos disponibles en el suelo, limita la producción de maíz (Lafitte, 1994). Bajo esta perspectiva, el nejayote es susceptible de ser empleado en el sector agrícola como abono orgánico o fertilizante en cultivos agrícolas.

El propósito de este trabajo fue investigar la influencia del nejayote crudo y tratado, como fertilizante de aplicación foliar y edáfica, sobre el desarrollo de maíz azul criollo (*Zea mays*) en la región de Amozoc de Mota, Puebla. Tanto el nejayote crudo como el tratado, mostraron diferentes propiedades fisicoquímicas y distintos contenidos de materia orgánica e inorgánica. El nejayote tratado se obtuvo a partir del nejayote crudo sometido al proceso de coagulación-floculación, bajo determinadas condiciones de pH y concentraciones del coagulante Südflock® P-63 y del floculante Sumex Biofloc® A-01. Este tratamiento permitió la remoción de partículas coloidales del agua residual y, por tanto, de

carga orgánica. Debido a su importancia como variedad nativa mexicana, así como a su alto contenido en compuestos antioxidantes, fibra y carbohidratos de fácil digestión, el maíz azul criollo (*Z. mays*) de la región de Amozoc de Mota, Puebla, fue la variedad vegetal seleccionada en esta investigación para analizar el efecto del nejayote como insumo agrícola.

II. Antecedentes

2.1 La agroecología y sus perspectivas

La práctica de la agricultura industrial se ha tornado cuestionable, debido a que visualiza a los procesos de cultivo de manera atomista, sin tomar en cuenta la serie de interacciones complejas de los componentes naturales. Es así como se establece necesario reducir la dependencia a los insumos externos mediante el empleo de recursos locales ya que, de lo contrario, se producen altos costos monetarios. Al reducir la dependencia se aumenta la estabilidad, mejoran las condiciones de vida de los campesinos y se incrementa la productividad de sus tierras (Altieri, 1999).

La necesidad de generar alternativas sostenibles de producción agrícola, hizo que se produjeran nuevos conceptos y surgiera la agroecología, como una ciencia aportadora de principios que toman formas tecnológicas diferentes, de acuerdo a cada realidad social, económica, biofísica y cultural, con la capacidad de adaptarse a diversas escalas (Altieri y Nicholls, 2012; 2013). La agroecología plantea estudiar los fenómenos ecológicos dentro del campo de cultivo (competencia de cultivo/maleza o relaciones depredador/presa) y lleva a los interesados más allá de las prácticas agrícolas alternativas, proponiendo el desarrollo de sistemas con una mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía. Esta nueva ciencia ve al campo de cultivo como un ecosistema del cual, entre más se conozcan sus procesos y relaciones, mejor serán administrados sus recursos y su impacto ambiental se reducirá. Uno de sus objetivos es implementar la diversificación agrícola en los sistemas campesinos, promover interacciones biológicas y sinergias benéficas entre los componentes de un agroecosistema como unidad de producción (Altieri, 2002). De acuerdo con Elliot y Cole (1989), el agroecosistema es un tipo de ecosistema, con componentes bióticos y abióticos relacionados en un tiempo y espacio determinados, bajo control humano, con el fin de producir alimentos, fibras y combustibles.

La agroecología integra métodos e ideas de diferentes campos: ciencias agrícolas, ecología, análisis de los agroecosistemas indígenas y las investigaciones en desarrollo rural. Si bien, cada una de estas áreas del conocimiento emplea diferentes metodologías, todas han influenciado legítimamente en el pensamiento agroecológico (Altieri, 1999). Altieri y Toledo (2011) afirman que la agroecología es tanto una ciencia como un conjunto de prácticas. Su definición como ciencia se presenta como la “aplicación de la ciencia ecológica al estudio, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables” (Altieri, 2002). Como práctica, conjunta diversos elementos interdisciplinarios enfocados a la sustentabilidad y resiliencia, tomando en cuenta la diversidad y complejidad de los sistemas agrícolas. Tales méritos se pretenden alcanzar a través del desarrollo de policultivos, rotaciones, agrosilvicultura, uso de semillas nativas y de razas locales de ganado, control natural de plagas, uso de composta, fermentos y abono verde.

Gliessman (2002), cita que los principios básicos de la agroecología incluyen: el reciclaje de nutrimentos y energía, la sustitución de insumos externos; el mejoramiento de la materia orgánica, la capacidad de retención de agua y la actividad biológica del suelo; la diversificación de las especies de plantas y los recursos genéticos de los agroecosistemas en tiempo y espacio; la integración de los cultivos con la ganadería y la optimización tanto de las interacciones como de la productividad del sistema agrícola en su totalidad, no de los rendimientos aislados de las distintas especies.

La agroecología tiene como actores a los campesinos y agroecólogos, quienes se enfocan hacia el desarrollo de la agricultura campesina. Bajo este concepto, la agroecología no busca satisfacer mercados de los países ricos, sino dar prioridad a la soberanía alimentaria, la cual Altieri (2009) define como “el derecho de las personas para producir, distribuir y consumir alimentos sanos y cerca de su territorio de una manera ecológicamente sostenible”. Altieri y Toledo (2011) proponen, además de la soberanía alimentaria, aumentar la soberanía energética y tecnológica. Con ello, aunque los campesinos carezcan de una red de seguridad institucional, lograrán reducir riesgos alimentarios, económicos, y de estabilidad social. En la década de los ochentas del siglo XX, diversas Organizaciones No Gubernamentales (ONG), asociaciones de agricultores y algunos centros de investigación, iniciaron miles de proyectos aplicando principios agroecológicos para adaptar las tecnologías agrícolas a las necesidades y circunstancias locales, determinando que los nuevos sistemas agroecológicos necesitan de la participación comunal y ajustarse a las condiciones específicas de los minifundios (Uphoff, 2002). Reconocer las habilidades campesinas es causa de investigación, siendo más práctico para los agroecólogos reconocer los conocimientos y tecnologías tradicionales directamente de los campesinos y transferirse entre sí conocimientos y tecnología sin una gran cadena de intermediarios.

2.2 Manejo de suelos agrícolas

En vías de promover una agricultura sostenible, dentro del marco de la dimensión ambiental del desarrollo sostenible, es trascendente mejorar las prácticas del manejo del suelo con la perspectiva de aumentar su calidad y por consiguiente su salud, mediante un enfoque sistémico. Si bien, el concepto de calidad del suelo aún está en construcción, el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (Karlen *et al.*, 1997) la define como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

Un primer paso que contribuye a mantener un suelo de buena calidad, consiste en diagnosticarlo antes, durante y después de su manejo empleando indicadores que permitan

reconocer qué sustancias o procesos se deben incorporar o eliminar del sistema edáfico. De acuerdo con Bautista *et al.* (2004), diversos investigadores han planteado un conjunto reducido de propiedades en el suelo para ser usadas como indicadores y evaluar con ellos los cambios en el suelo a través del tiempo. Tales indicadores físicos, químicos y biológicos se presentan en la Tabla 1. Aunque este concentrado de opciones facilita la elección de indicadores, es necesario reconocer cuáles son los requerimientos específicos del suelo con el que se va a trabajar, haciendo una evaluación basada en las características principales del suelo: tipo y uso, función y factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992).

Tabla 1. Indicadores de la calidad del suelo¹.

Físicos	Químicos	Biológicos
Estructura	Fertilidad (elementos mayores)	Abundancia de micro y macro organismos ²
Densidad aparente	Carbono orgánico total	Subproductos de micro y macro organismos ²
Estabilidad de agregados	Carbono orgánico lábil	Tasa de respiración
Infiltración	pH	Tasas de descomposición de los residuos vegetales
Profundidad del suelo superficial	Conductividad eléctrica	N y C de la biomasa microbiana
Capacidad de almacenamiento del agua	Capacidad de adsorción de fosfatos	Carbono orgánico/Carbono microbiano
Conductividad hidráulica saturada	Capacidad de intercambio de cationes	
	Cambios en la materia orgánica	
	Nitrógeno total	
	Nitrógeno mineralizable	

¹Tomado de Bautista *et al.* (2004).²Bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos.

Estos indicadores, permiten al agricultor determinar la aptitud de suelo para mantener cultivos agrícolas de acuerdo con sus requerimientos nutritivos y de soporte.

2.3 Cultivos exigentes

De acuerdo con la Federación de Asociaciones de Agricultura Ecológica de Euskadi (Sauca y Urabayan, 2005), un aspecto a tener en cuenta cuando se elige trabajar con cultivos, es el nivel de fertilidad del suelo, ya que algunos de ellos toleran bien la materia orgánica en descomposición, otros no la resisten, algunos requieren de suelo con altos aportes de abono y otros están adaptados a terrenos pobres. En atención a ello, los cultivos se pueden clasificar en exigentes, medianamente exigentes y poco exigentes.

Los cultivos exigentes requieren de altas aportaciones de estiércol o de compost, aunque se encuentre parcialmente descompuesto. A este grupo pertenecen los cultivos de fruto como: maíz, tomate, col, pimiento, berenjena, papa, pepino, melón, etc. Los cultivos medianamente exigentes requieren aportaciones de medianas a altas de estiércol o de compost, pero bastante descompuesto. A este grupo pertenecen los cultivos de hoja (acelga, lechuga, escarola, borraja, achicoria, etc.). Los cultivos poco exigentes prefieren un suelo muy descompuesto, en general, le sirven las aportaciones ya efectuadas para los cultivos anteriores. A este grupo pertenecen los cultivos de raíz (betabel, cebolla, rábano, ajo, zanahoria), al que se le integra el chícharo como una excepción (Sauca y Urabayen, 2005). Se recomienda, que las rotaciones de cultivo se inicien con leguminosas, forrajera o abono verde, ya que tienen la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, o bien, iniciar con un cultivo muy exigente como el maíz, para el que se fertilizará al suelo abundantemente (Sauca y Urabayen, 2005).

2.4 Maíz

El maíz (*Z. mays*) es un cultivo exigente. Es un pasto gigante que se ha domesticado con el fin de producir forraje y granos, los cuales han servido para la elaboración de alimentos de consumo humano y animal, así como para producir medicamentos y materiales diversos (Salvador, 2001). En cuanto a su origen, se han propuesto diferentes hipótesis; no obstante, aún existen dudas provocadas por la discrepancia entre sus relaciones filogenéticas y algunos datos tanto morfológicos como arqueológicos, por lo que, de acuerdo a Hernández (1987), en México sólo se tiene la seguridad de que un factor de diferencia morfológica entre variedades de maíces se relaciona con la variación ecológica, así como con la cultura de los pueblos indígenas (Kato *et al.*, 2013).

De acuerdo con Raven *et al.* (2013), la clasificación taxonómica del maíz es la siguiente:

Reino Plantae
Phylum Anthophyta
Clase Monocotyledoneae
Orden Poales
Familia Poaceae
Género *Zea*
Especie *Zea mays*

Todas las variedades de *Z. mays* se distinguen por presentar etapas definidas de crecimiento, las cuales conforman un sistema (Lafitte, 1994). Cuando por lo menos el 50% de las plantas han llegado a una etapa determinada, se considera que el cultivo se encuentra en dicha etapa (Tabla 2). Cada etapa se caracteriza por la aparición, presencia o crecimiento de ciertas estructuras vegetales como el mesocotilo o tallo (Figura 1).

La especie *Z. mays* posee diferentes características: alcanza una profundidad radical de hasta 2 metros (Bravo y García, 2015); mide de 0.5 a 5 metros de altura al momento de la floración y consigue la madurez a partir de la siembra entre los 60 y 330 días. Además, cada planta puede producir de 1 hasta 4 mazorcas, cada una con 10 a 1,800 granos de maíz por mazorca, cuyos rendimientos pueden ir de los 0.5 a las 23.5 toneladas por hectárea. La coloración de las semillas puede ser amarilla, roja, azul, blanca e incluso de distintos colores en patrones moteados o estriados (Salvador, 2001), dependiendo de la variedad de maíz.

El grano de maíz es de tipo cariósido, se constituye por un germen, de donde surgirá la nueva planta, y por un endospermo, cuya función será otorgar nutrimentos a la plántula hasta que sea autótrofa. El almidón es una gran fuente de carbohidratos y es el principal componente del endospermo (Salvador, 2001). Los porcentajes de composición del germen, endospermo y pericarpio se encuentran en Véles (2004). De acuerdo con Bonilla (2009), en general, cada grano contiene 86% de carbohidratos, 9% de proteínas, 3% de aceite y 2% de fibra.

Conforme a la latitud y el ambiente donde se cultiva, el maíz se clasifica en: a) tropical, cultivado entre los 30° de latitud sur y los 30° de latitud norte en los ambientes más cálidos, y b) de zona templada, cultivado en las latitudes mayores a los 34° tanto de latitud norte como sur en climas más fríos y c) subtropical, el cual se siembra entre los 30° y 34° de latitud norte y sur. A su vez, el maíz tropical se clasifica en maíz de tierras bajas, de mediana altitud y de zonas altas (Bonilla, 2009). De acuerdo con Salvador (2001), en general, el cultivo de maíz se encuentra adaptado entre los 50° de latitud norte y los 40° de latitud sur, así como entre los 0 y los 4,000 metros sobre el nivel del mar.

Con respecto al manejo agronómico del maíz, su siembra se realiza directamente en el terreno definitivo de cultivo. La distribución de siembra varía dependiendo de los hábitos de manejo, del propósito de la siembra, la topografía y extensión del terreno, del grado de mecanización, así como de las variedades de maíz. Por ejemplo, para los maíces nativos del Estado de México, se considera una distancia entre hileras de 0.8 m y entre matas de 0.2 m, se emplean 40 kg/ha de semilla y se deshijan quince días después de la siembra, de modo que se consiga una densidad de 65 mil plantas/ha o, en el caso óptimo, de 50 mil plantas/ha. Este manejo disminuye la incidencia de acame provocado por las corrientes de viento y exceso de lluvias (Cruz, 2004). De acuerdo con Bonilla (2009), la semilla se siembra entre 3 y 7 cm de profundidad para fomentar una adecuada germinación y según Deras (2014), se colocan 2 semillas por mata.

NOMENCLATURA

- 1. Semilla
- 2. Radícula
- 3. Raíces seminales
- 4. Coleoptilo
- 5. Mesocotilo
- 6. Hoja cotiledonar
- 7. Primera hoja
- 8. Segunda hoja
- 9. Tercera hoja
- 10. Raíces principales, coronarias o nodales
- 11. Hoja
- 12. Raíces adventicias o de anclaje
- 13. Tallo
- 14. Panícula
- 15. Tallo secundario o hijuelo
- 16. Inflorescencia masculina
- 17. Inflorescencia femenina
- 18. Etapa de polinización
- 19. Etapa de llenado de granos

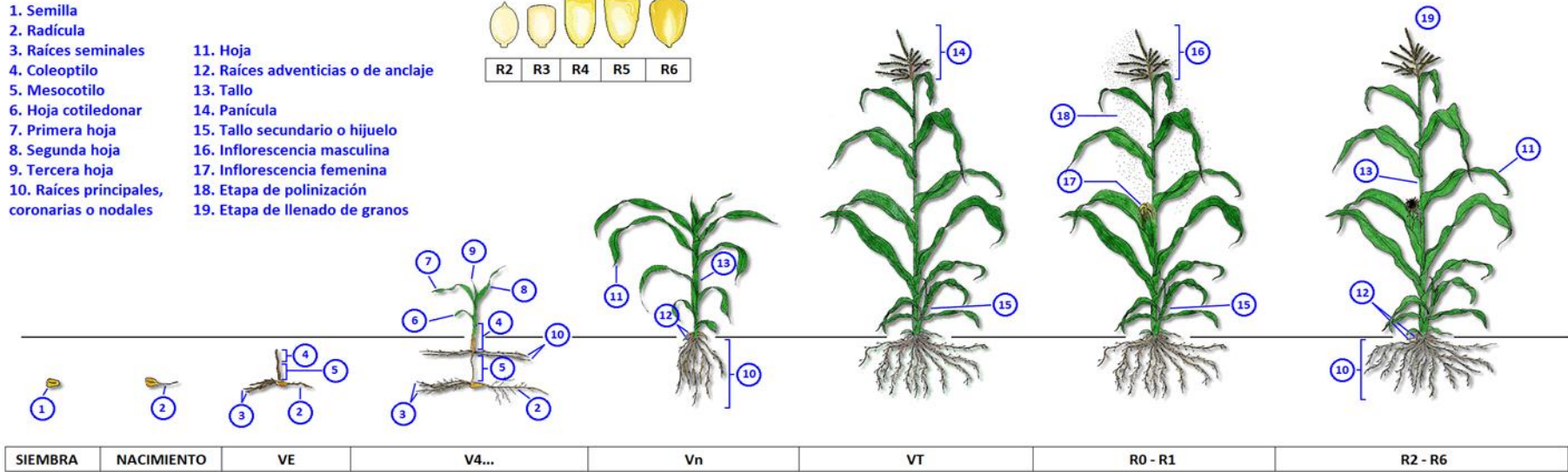
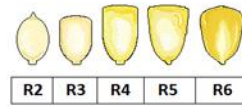


Figura 1. Crecimiento de la planta de maíz. Adaptado de Sáenz (SF) y Mueller *et al.* (2009).

Tabla 2. Etapas de crecimiento del maíz¹.

Etapa	Descripción	Etapa	Descripción
VE	El coleoptilo emerge de la superficie del suelo.	R1	Son visibles los estigmas en el 50% de las plantas (floración femenina).
V1	Es visible el cuello de la primera hoja (ésta siempre tiene el ápice redondeado).	R2	Etapa de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.
V2	Es visible el cuello de la segunda hoja.	R3	Etapa lechosa. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.
Vn	Es visible el cuello de la hoja número “n” ¹ .	R4	Etapa masosa. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano.
VT	Se observa completamente la última rama de la panícula. Es la etapa previa a la antesis.	R5	Etapa dentada. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y, cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los tipos tanto cristalinos como dentados es visible una “línea de leche” cuando se observa el grano desde el costado.
R0	Antesis o floración masculina. El polen se comienza dispersar.	R6	Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es de alrededor del 35%, generalmente.

¹Adaptado de Lafitte (1994). 2“n” es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; “n” generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para la floración se habrán perdido las primeras 4 a 5 hojas de la parte inferior.

Para una producción eficiente de maíz, la temperatura promedio en el ambiente debe encontrarse entre los 21 y 32°C, no superando los 22°C durante la noche ni los 35°C durante el día, sobre todo durante la etapa de llenado de grano (Cantú *et al.*, 2010). Además, con el fin de reducir pérdidas por pudrición, infestación por plagas (gorgojos, termitas, etc.) o por otro factor (Mueller *et al.*, 2009), la cosecha del grano se debe realizar tan pronto el fruto haya alcanzado la madurez fisiológica, la cual, se distingue por la aparición de una capa negra en el grano en su punto de unión con el olote. Antes de cosechar, algunos agricultores doblan la planta de maíz a fin de reducir la humedad del grano de maíz y evitar que sean consumidos por los animales (aves y roedores). Además, esta práctica facilita un adecuado desgrane y almacenamiento.

Las principales naciones productoras de maíz son Estados Unidos de América con un 40% de la producción total, China con un 19%, Brasil con el 6% y México con el 3%. (Cruz *et al.*, 2013). En México, de 1996 a 2005, la superficie sembrada anual promedio fue de 8.441 millones de hectáreas, de las que el 88% correspondieron al ciclo primavera - verano y el resto al ciclo otoño - invierno. Se estima, por su parte, que un 85.8% del total se cultiva con la modalidad hídrica de temporal y un 14.2% bajo condiciones de riego artificial, dando idea de la poca tecnificación aplicada a la siembra de maíz (Cruz *et al.*, 2013).

1.4.1 Maíces azules mexicanos

Con respecto a la clasificación de las variedades mexicanas de maíz, se ha distinguido una gran heterogeneidad tanto entre las muestras de la misma variedad como entre las muestras de diferentes variedades. El análisis de veintiún sistemas enzimáticos en doscientas nueve colecciones representantes de las cincuenta y nueve variedades nativas de maíz en México, arrojó que es posible clasificar los maíces mexicanos en siete grupos incluidos en tres subdivisiones principales: Altiplanos del norte y centro (Grupo 1), Ocho hileras (Grupo 2) y Elevaciones de medias a bajas (Grupo 3). El Grupo 1 incluye al Grupo Cónico (1a) y al Grupo Sierra de Chihuahua (1b). El Grupo Cónico 1a incluye a las variedades Chalqueño, Mushito, Elotes Cónicos, Cónico Norteño, Dulce de Jalisco, Arrocillo Amarillo, Cónico, Palomero Toluqueño y Palomero de Chihuahua (Sánchez *et al.*, 2000).

Sánchez (2011) registró que las variedades del Grupo 1a Cónico se distribuyen en la región centro y norte del país a alturas mayores a los 2,000 m.s.n.m., siendo en su mayoría endémicas del Valle de México; las mazorcas tienen forma cónica, granos con textura variable de 4 a 8 mm de ancho y presentan de 14 a 20 hileras de grano; por su parte, la planta posee un reducido número de ramas de la espiga, un sistema radical débil, hojas caídas y vainas de las hojas pubescentes con la presencia de antocianina. Las antocianinas se concentran en la aleurona, pericarpio o en ambas estructuras del grano de maíz; son

antioxidantes y pigmentos naturales, lo cual las hace sustancias preventivas contra el daño causado por radicales libres en organismos vivos y son excelentes aditivos en otros alimentos (Lee *et al.*, 1997; Salinas *et al.*, 1999; Stavric, 1994).

Las variedades de maíz azul se encuentran entre las que contienen mayores cantidades de fibra, carbohidratos de fácil digestión y antocianinas (Cortes *et al.*, 2005). Existen variedades de maíz azul en Chihuahua, Sinaloa, Oaxaca, Chiapas y, con mayor abundancia en los valles altos centrales de México (Sánchez, 2011); sin embargo, en esta última región, recientemente, del total sembrado en modalidad de temporal, sólo un tercio se efectúa con estas variedades u otras de colores distintos al amarillo y blanco, lo que equivale a una superficie de 150 mil hectáreas con 300 mil toneladas de grano cosechadas (Antonio *et al.*, 2004). Las razones principales por las que su cultivo ha disminuido son su grave problema de acame y su alto contenido de harina en el endospermo (Salinas *et al.*, 2010). Actualmente, han sido objeto de mejoramiento genético para promover su siembra e incrementar su comercialización.

En el municipio de Amozoc de Mota, Puebla se cultiva una variedad de maíz azul “criolla”, llamada así por la gente del lugar y, por su fenotipo y región de cultivo, corresponde a las características del Grupo 1a Cónico. En la Figura 2, se presenta la comparación morfológica entre ejemplares del Grupo 1a Cónico (Sánchez, 2011) y una mazorca de maíz azul criollo de Amozoc de Mota, Puebla. Esta variedad de maíz azul criollo fue la utilizada para llevar a cabo los estudios del presente trabajo de investigación.

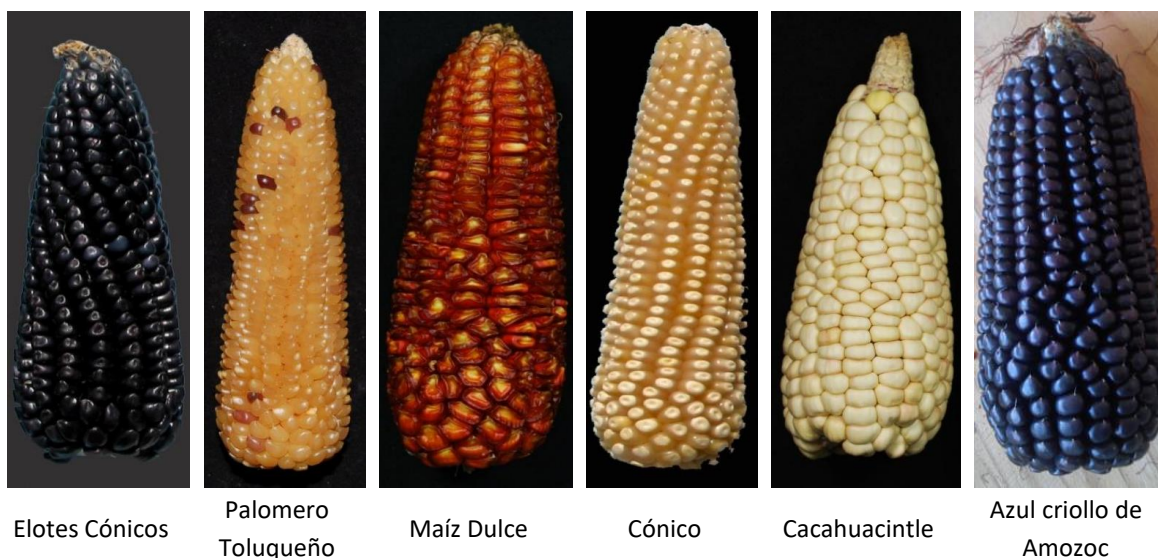


Figura 2. Maíces del Grupo 1a Cónico (Sánchez, 2011) y azul criollo de Amozoc de Mota.

2.5 Nejayote: efluente del proceso de nixtamalización

La manera más popular de consumir maíz es nixtamalizado, adjetivo que adquiere después de pasar por el proceso de nixtamalización. De acuerdo con Paredes *et al.* (2008) desde hace más de 3 500 años, la nixtamalización emplea sólo cal y agua para realizar una cocción alcalina del maíz que aumenta el contenido de nutrientes disponibles del grano. La proporción de agua y cal, así como la temperatura de cocción, pueden variar de acuerdo a los siguientes intervalos: 120% - 130% de agua y 0.1% - 5.0% de cal, donde la cantidad de masa de maíz es la base de cálculo. Los tres ingredientes se mezclan y se cuecen de 80 °C - 100°C durante 0.25 – 3.0 h. Posterior a ello, el maíz se deja en el agua de cocción por más de 24 h de 40°C - 100°C (Rosentrater, 2006). Es necesario resaltar que los tiempos de cocción y reposo varían de acuerdo a las tradiciones locales y el alimento a preparar. Invariablemente, después del reposo, el maíz nixtamalizado se separa del agua de cocción. El maíz nixtamalizado se lava de dos a tres veces con agua y, durante el proceso, se evita la remoción del pericarpio y germen. Tanto el agua de lavado como el agua de cocción, ambas llamadas nejayote (del náhuatl *nextli*, cenizas y *ayotl*, líquido: *nexayotl*), se descargan usualmente al drenaje, cuerpos de agua o al suelo. Al respecto, Reyes *et al.* (2012) calcularon un volumen de descarga entre 16 y 22 millones de m³ por año de nejayote.

Dos de las principales afectaciones que puede provocar la descarga de nejayote en sistemas acuáticos son a) la modificación del comportamiento metabólico de los organismos vivos y b) la disminución de la penetración luminosa a cuerpos de agua, consecuencias debidas a su contenido en calcio y elevada concentración de sólidos totales (Téllez, 2013). No obstante, debido a que el nejayote es rico en materia orgánica (25000 a 28000 mg/L de DQO), nitrógeno (200 a 300 mg/L), fósforo (160 a 190 mg/L) y metales alcalinotérreos (Cifuentes, 2011), puede ser aprovechado en el manejo de cultivos agrícolas como fertilizante.

Entre las funciones principales de un fertilizante, se encuentra el mejorar el estado nutricional de la plantas y tierras de cultivo (Njogu *et al.*, 2014); así, la aplicación edáfica y foliar de materiales orgánicos, biofertilizantes y micronutrientes, puede incrementar la productividad de los cultivos, la calidad y el uso eficiente de nutrientes (Singh *et al.*, 2002; Malakouti, 2008). Adicionalmente, la aplicación de fertilizantes ha llegado a ser un importante acercamiento a la biofortificación para incrementar el contenido mineral, especialmente en granos (Gómez-Galera *et al.*, 2010). Aghofack-Nguemezi y Tatchago (2010) aplicaron fertilizantes con calcio y magnesio vía foliar y edáfica a plantas de tomate, ello disminuyó la incidencia y severidad de enfermedades fúngicas y generó respuestas positivas en la altura, crecimiento y rendimiento de la planta. Smith *et al.* (2015), determinó que la aplicación de biosólidos con urea generó rendimientos de cultivo comparables a la fertilización con nitrato de amonio cuando fue aplicado al voleo a maíz forrajero. Bajo esta

perspectiva, el nejayote es susceptible de ser empleado en el sector agrícola como abono orgánico o fertilizante en cultivos agrícolas. Las propiedades fisicoquímicas del nejayote reportadas en la literatura se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del nejayote¹.

Propiedad fisicoquímica	Valores obtenidos
pH	11.5
Alcalinidad	2700 mg/L
Sólidos Totales	14490 mg/L
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	290 mg/L
Proteína	762 mg/L
Fósforo Total	178 mg/L
Conductividad	1500 µmhos/cm
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	21280 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	7875 mg/L
Relación DQO/DBO ₅	<2.5
Relación DQO:N:P	512:1:0.25

¹Adaptado de Pedroza y Durán (1985); Domínguez y Pacho (2003).

1.4.2 Tratamientos aplicados al nejayote

Los tratamientos de aguas residuales aplicados al nejayote se han hecho a nivel industrial por parte de las productoras de harina de maíz, principalmente. En su informe de sustentabilidad (GRUMA, 2010), la empresa GRUMA dio a conocer dos tratamientos clave desarrollados por su División de Tecnología:

- a) Lagunas facultativas con terreno agrícola para riego del agua tratada (hidrocriba, centrifugación, hidrólisis, tratamiento anaerobio, tratamiento aerobio y clarificación).
- b) Proceso “compacto” con equipo de tratamiento como reactores de fermentación aeróbica y anaeróbica tipo tanque, clarificadores y separadores centrífugos para descargar el agua tratada a drenajes de la ciudad.

El tratamiento por lagunas se ha establecido en las industrias de harina de maíz nixtamalizado ubicadas en zonas rurales, mientras que en las plantas nixtamalizadoras localizadas en zonas suburbanas se ha integrado el proceso “compacto”.

En el mismo sentido, la Consultoría *Asesoría y Capacitación en Seguridad Salud y Ambiental* realizó un proyecto para tratar el nejayote de la empresa subsidiaria de MINSIA Corporation “Maíz Industrializado Del Norte, S.A. de C.V” localizada en Ahome, Sinaloa. El proceso consiste en la eliminación de materia flotante, coagulación química, sedimentación,

acondicionamiento de pH y temperatura. El agua ya tratada se descarga al sistema de alcantarillado y los lodos se depositan en centrífugas para minimizar su humedad, empleado como ingredientes en alimentos balanceados, acondicionadores de suelos o biocombustibles. El agua separada de los lodos durante la centrifugación, se reincorporan a la tolva receptora de nejayote para ser reprocesados (APE, 2011).

Algunas de las investigaciones realizadas para tratar nejayote se enlistan a continuación.

- Tratamiento de tipo anaerobio, aplicado a efluentes clarificados con cinco reactores en cascada (Hartmann, 1984).
- Instalación de tres biorreactores continuos en serie con bacterias aeróbicas (Salmerón *et al.*, 2003).
- Diseño de un sistema anaerobio-aerobio con recuperación de biogás y biomasa (Durán *et al.*, 2007).
- Extracción de ácido ferúlico y fenoles del nejayote que facilita el tratamiento de los compuestos que permanezcan en el agua por nanofiltración o degradación con levaduras (Asaff *et al.*, 2011).
- Coagulación empleando algunos floculantes biológicos y controlando el pH con CO₂ en un tanque sedimentador (Ramírez *et al.*, 2011).
- Evaluación de distintos medios filtrantes estableciendo sus condiciones de filtración para elaborar tortas de filtración (Valderrama *et al.*, 2013).
- Tratamiento por coagulación química y electrocoagulación empleando un electrodo de aluminio como ánodo (Pérez, 2013).
- Tratamiento por oxidación anódica y coagulación química (Téllez, 2013).
- Tratamiento por coagulación-floculación usando quitosano (Suárez *et al.* 2016).

2.6 Proceso de coagulación química

Los coloides (0.01-1µm \emptyset) son partículas insolubles con carga eléctrica superficial. Tales características favorecen la estabilidad del sistema que conforman, ya que las partículas coloidales con la misma carga dentro de un sistema, se rechazan entre sí, lo que las mantiene dispersas en el medio. Sin embargo, se plantea que, a través del proceso de coagulación, es posible remover dichas partículas con la ayuda de sustancias coagulantes y floculantes.

La efectividad de la coagulación química depende del agente coagulante y floculante usado, dosis, pH de la solución y de la naturaleza de los compuestos orgánicos presentes en agua (Zayas *et al.*, 2007; Sher *et al.*, 2013). El proceso de coagulación se lleva a cabo por dos etapas importantes: la coagulación (de orden químico) y la floculación (de orden físico).

Para realizar el proceso de coagulación se agrega el coagulante al agua y se agita desde décimas de segundo hasta 100 segundos, de acuerdo con las características del agua a tratar (pH, cantidad y naturaleza de las partículas, temperatura, etcétera). El coagulante reacciona con el agua generando especies hidrolizadas con carga, lo que promueve la desestabilización consecutiva de las partículas coloidales en suspensión. Posteriormente, se reduce la velocidad de agitación para promover el proceso de floculación. En este proceso, se debe conseguir que las especies hidrolizadas se trasladen hacia las impurezas coloidales. Cuando ello ha sucedido, las especies hidrolizadas se adsorben en la superficie de los coloides (adsorción) y forman sólidos conglomerados llamados “flóculos”, los cuales aumentarán su peso si logran adherirse a más partículas coloidales. Cuando los flóculos han alcanzado un gran tamaño y un peso tal que comienzan a sedimentar, arrastran las partículas que se encuentran en su trayecto.

La interacción entre los polielectrolitos, la fase acuosa y los coloides se efectúa a través de enlaces covalentes, intercambio iónico, puente de hidrógeno, enlaces coordinados y fuerzas de van der Waals. Estas interacciones moleculares e intermoleculares explican al proceso de coagulación junto con los mecanismos de: compresión de la capa difusa (I), adsorción para producir la neutralización de la carga (II), captura mediante el precipitado (III) y adsorción para que se dé el puente interparticular (IV).

La adsorción y puente interparticular (IV), explica la actividad de los polímeros orgánicos sintéticos, los cuales, aun siendo aniones, han podido coagular coloides con carga negativa. Ya que este fenómeno no puede ser explicado por el mecanismo de adsorción y neutralización de carga (I), se desarrolló la teoría del puente por Smelle y La Mer, así como por La Mer y Healy, que de acuerdo con Pérez *et al.* (2006), es posible describirla en seis reacciones (Figura 3):

Reacción 1. Adsorción inicial con la dosis óptima de polímero. La molécula polimérica tiene ciertos sitios activos que interaccionan con un coloide.

Reacción 2. Formación del floc. Al extenderse el resto de la cadena polimérica en la solución, es posible que interaccione con otras partículas coloidales.

Reacción 3. Adsorción secundaria de polímero. El polímero se deja adsorber en otros sitios del mismo coloide que, al no adsorberse por otra u otras partículas, lo dejan inservible como puente.

Reacción 4. Adsorción inicial exceso de dosis de polímero. La superficie de los coloides se satura al adsorber polímero en toda su superficie impidiendo la generación de puentes interparticulares.

Reacción 5. Ruptura del floc. Si la agitación es intensa, las partículas de floc se rompen generando fragmentos de coloides desestabilizados.

Reacción 6. Adsorción secundaria de polímeros. Los fragmentos de coloides desestabilizados pueden volverse a estabilizar mediante la adsorción secundaria de los fragmentos de floc por el coloide.

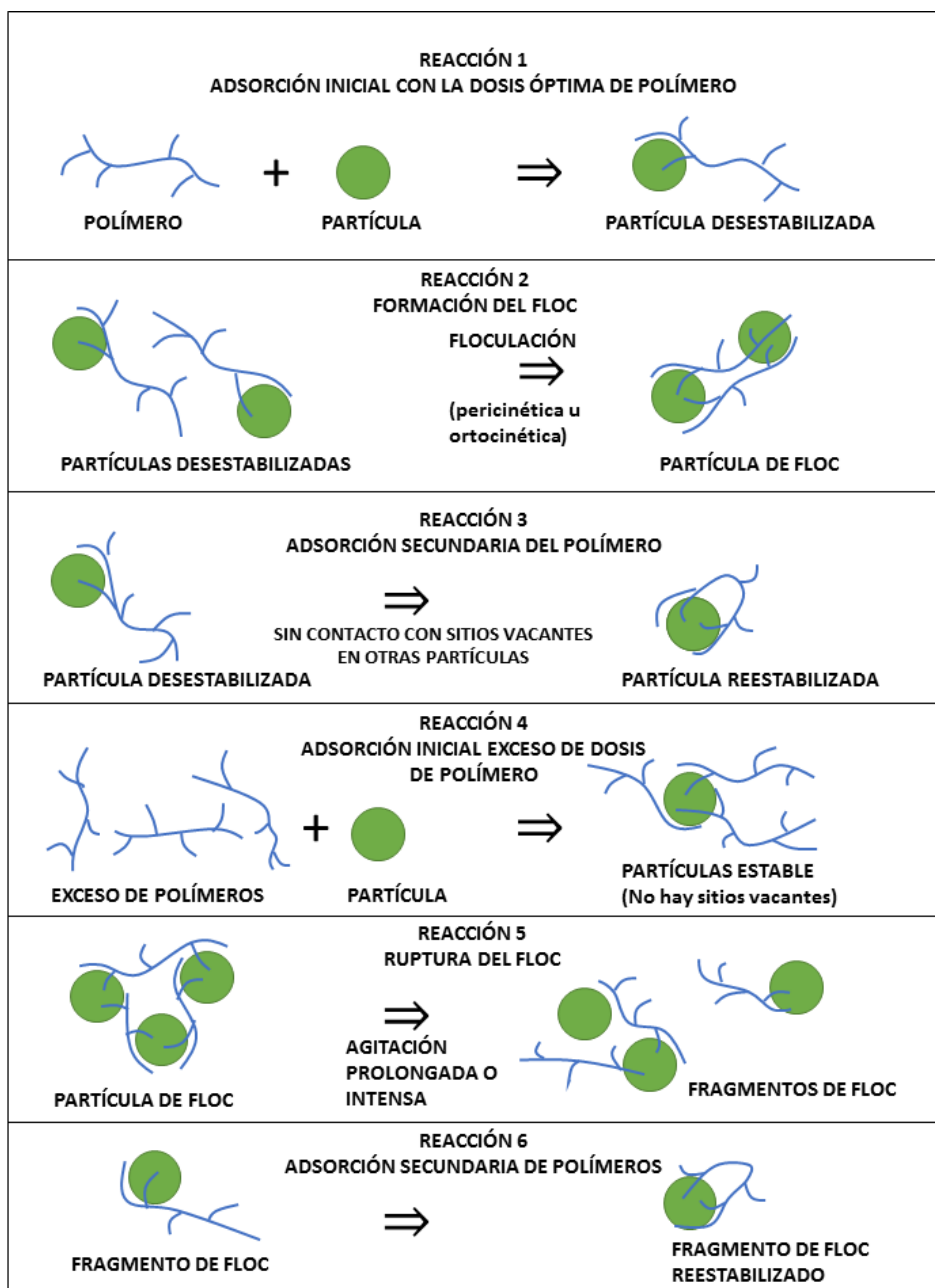


Figura 5. Mecanismo de adsorción y puente interparticular para desestabilizar coloides con polímeros. Adaptado de Pérez *et al.* (2006).

Es posible hallar las condiciones óptimas para el tratamiento por coagulación química de un agua residual ensayando con distintos tipos y dosis de coagulante, pH, tiempos y velocidades de agitación en un equipo de “prueba de jarras” (Bratby, 2008). En general, los coagulantes tienen tres características básicas (Davis y Masten, 2007):

1. Un catión trivalente. Los coloides naturales con frecuencia tienen carga negativa, por lo que se necesitan cationes que neutralicen esa carga.
2. No toxicidad. Se requiere esta característica para que el agua tratada al final no resulte con material tóxico disuelto.
3. Insoluble en el intervalo de pH neutro. Las altas concentraciones del coagulante en el agua tratada son indeseables. Por consiguiente, un coagulante suele ser relativamente insoluble a los valores deseados de pH.

Entre los coagulantes más usados se encuentran las sales de Fe^{+3} , sales de Al^{+3} y polielectrolitos. En general, los coagulantes polielectrolíticos se clasifican en naturales y artificiales. Los coagulantes naturales son polímeros producidos por organismos vivos. Entre ellos se encuentran la goma guar, almidón, ácido algínico y quitosano (Bolto y Gregory, 2007). Otros coagulantes de origen natural son el polvo de semillas de durazno, el de habas, la penca de tuna y las arcillas, las cuales tienen una enorme importancia industrial.

Bentonita es el nombre genérico comercial de un grupo de minerales arcillosos cuyo componente principal lo constituyen las esmectitas. Estos minerales son aluminosilicatos laminares bidimensionales (Tuesta *et al.*, 2005) y su estructura se puede observar en la Figura 4.

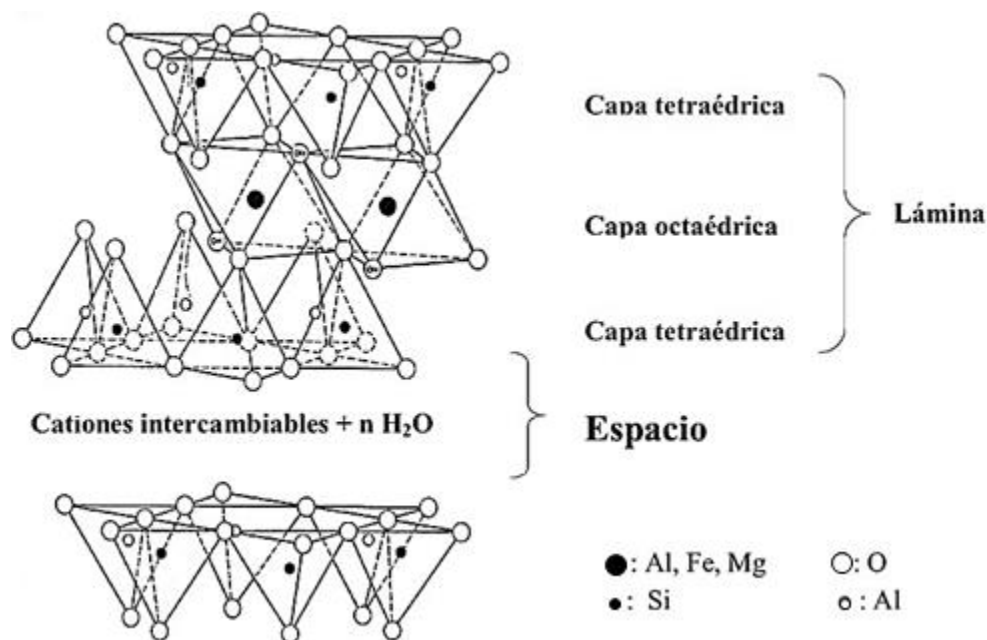


Figura 4. Estructura laminar de las bentonitas. Adaptado de Tuesta *et al.* (2005).

De acuerdo con Zhou *et al.*, (2015), las arcillas bentonitas se caracterizan por su gran superficie específica, buena adsorción, habilidad para intercambio iónico, nula toxicidad, cohesión y por su afinidad hidrofílica. Tanto el Si⁴⁺ en la estructura tetraédrica del Si–O como el Al³⁺ en la estructura octaédrica Al–O de bentonita, pueden ser reemplazados por elementos con estados de oxidación menores, como Li¹⁺, Mg²⁺, y Fe²⁺, lo que genera un desbalance de carga en la bentonita. Así, la capa intermedia de la bentonita se carga negativamente. La carga superficial negativa puede ser balanceada con cationes hidratados intercambiables, los cuales son inestables y tienden a intercambiarse con otros iones. Por esa razón, las arcillas bentonitas son frecuentemente usadas como adsorbentes en el tratamiento de agua.

De acuerdo con Degremont (1991), los coagulantes artificiales son macromoléculas de cadenas largas provenientes de la asociación de monómeros sintéticos que poseen mayoritariamente grupos ionizables y cargas eléctricas, pudiéndose clasificar en aniónicos (acrilamidas, copolímeros de ácido acrílico), neutros (poliacrilamidas) y catiónicos (copolímeros de acrilamida y monómeros catiónicos).

Las poliacrilamidas son polímeros sintéticos derivados del monómero de acrilamida (Figura 5). Su uso inicial fue como matriz de soporte en la electroforesis; sin embargo, por su aplicabilidad y economía, se han utilizado para diferentes fines (Yang, 2008). De acuerdo con Green y Stott (1999), la poliacrilamida aniónica ha sido utilizada para estabilizar los agregados del suelo, así como para flocular las partículas en suspensión. La poliacrilamida

se ha utilizado en el riego por surcos donde reduce la erosión, la formación de costras y la escorrentía, al mismo tiempo que mejora la calidad del agua y del suelo. Se ha usado en recortes de construcción, carreteras y otros suelos alterados para estabilizar pendientes pronunciadas. El polímero de acrilamida también se ha empleado para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales, como las provenientes de la industria del papel (Wong *et al.*, 2006).

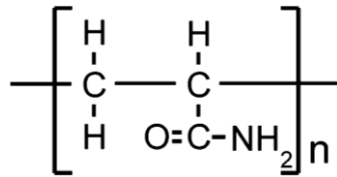


Figura 7. Monómero de la poliacrilamida (Sojka y Lentz, 2016).

III. Marco teórico

3.1 Fertilización

La fertilización es un “proceso a través del cual se preparará al suelo para la siembra añadiéndole diversas sustancias que tienen el objetivo de hacerla más fértil y útil a la hora de la siembra y la plantación de semillas” (ECURED, 2014). De acuerdo con Salgado *et al.* (2012) el empleo de fertilizantes es imprescindible en los sistemas agrícolas a largo plazo para mantener o incrementar los rendimientos de los cultivos, además de inducir resistencia a enfermedades, plagas o estrés climático. El agregar fertilizantes al sistema agrícola permite complementar los nutrientes disponibles en el sustrato para satisfacer la demanda del cultivo, compensa los nutrientes perdidos por lixiviación o remoción por la planta y mantiene o mejora las condiciones involucradas con el desarrollo de la planta.

3.1.1 Nutrientes

En el siglo XIX, Justus von Liebig mostró la importancia de los elementos minerales en el crecimiento de las plantas. Más tarde, Arnon y Stout propusieron el término “elemento esencial” o “nutrimiento esencial” para aquellos elementos que cumplieren con tres criterios: 1) la planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral; 2) la función de este elemento no puede ser reemplazada por la de otro elemento y 3) el elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta (Salgado *et al.*, 2012). Prácticamente, todos los elementos naturales se encuentran en las especies vegetales, sin embargo, sólo diecisiete de ellos se consideran elementos esenciales para su nutrición, tres de los diecisiete elementos (O, C e H) conforman el 95% del total requerido y los asimila la planta por vía hídrica y aérea; los catorce restantes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B, Cl y Ni) deben encontrarse en el sustrato de forma asimilable para la planta en las concentraciones requeridas, ya sea que se encuentren de manera natural o se añadan artificialmente (Moreno, 2013). En la Tabla 4 se presentan las demandas de nutrientes del maíz.

De acuerdo con (Hanafi, 2012), el N, P y K, se identifican como macronutrientes primarios, por ser absorbidos en grandes cantidades por las plantas, razón por la cual en los cultivos agrícolas se requieren aplicar como fertilizantes. El Ca, Mg y S se conocen como macronutrientes secundarios porque si bien, son necesarios en grandes cantidades por la planta, su aplicación contribuye más bien a corregir problemas diferentes a su deficiencia. Los elementos Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B, Cl y Ni se conocen como micronutrientes ya que la planta los requiere en menor proporción que a los demás elementos, ello se debe a que sus funciones en el organismo vegetal no son metabólicas sino estructurales.

El calcio se encuentra en los organismos vegetales como ion libre o en forma adsorbida, además, se encuentra en la vacuola o en la pared celular formando sales. El Ca^{2+} participa en el equilibrio electrostático de la célula actuando como ion acompañante de aniones orgánicos e inorgánicos, lo que contribuye al balance de cationes y aniones en las vacuolas. El Ca^{2+} , además de actuar en procesos de hidratación y deshidratación, tiende a formar compuestos quelatados, los cuales unidos a los pectatos de la lamela media, incrementa la elasticidad de las paredes celulares. La elongación y multiplicación celular en los tejidos meristemáticos se activan por el calcio. El calcio actúa favorablemente sobre el crecimiento de las raíces (Alcántar *et al.*, 2013). Una forma de aplicación tradicional es la pulverización foliar de Ca^{2+} proveniente de cáscaras de huevo (Chang *et al.*, 2013), con el fin de regular el crecimiento y desarrollo de la planta.

Tabla 4. Requerimientos nutrimentales del suelo (kg/ha) para producir 12 t/ha de maíz¹.

Elemento	Símbolo	Sustancia fertilizante	Fórmula	Volumen de fertilizante requerido (kg/ha)
Nitrógeno	N	Nitrógeno	N	294.00
Fósforo	P	Óxido fosfórico	P_2O_5	106.00
Potasio	K	Óxido de potasio	K_2O	188.00
Calcio	Ca	Óxido de calcio	CaO	108.00
Magnesio	Mg	Óxido de magnesio	MgO	112.00
Azufre	S	Azufre	S	44.00
Hierro	Fe	Hierro	Fe	4.00
Manganeso	Mn	Manganeso	Mn	2.12
Boro	B	Boro	B	0.12
Zinc	Zn	Zinc	Zn	0.60
Cobre	Cu	Cobre	Cu	0.14
Molibdeno	Mo	Molibdeno	Mo	Trazas
Cloro	Cl	Cloro	Cl	Trazas

¹Adaptado de Salgado *et al.* (2012).

3.2 Aplicación de fertilizantes

Los tres mecanismos responsables del movimiento de nutrimentos son 1) el flujo de masa, el movimiento de los nutrimentos a través del suelo en el agua, 2) la difusión, áreas de mayor concentración de nutrimentos a áreas de concentración más baja y, 3) la interceptación radicular, la absorción de los nutrimentos por extensión de la raíz (Khouri, 2005). La manera en la que se aplican los fertilizantes, está relacionada con la vía de aprovechamiento de los nutrimentos por las plantas. Los cuatro sitios de aplicación del fertilizante son: al agua de riego, insertado en el tronco, al suelo y al follaje.

3.2.1 Fertilización al agua de riego

De acuerdo con Salgado *et al.* (2012), en México, durante la última década del siglo XIX, se comenzaron a aplicar nutrimentos a través del agua de riego, cuando las aguas residuales de la Ciudad de México se utilizaron para regar los campos agrícolas del Valle de Tula. Por su parte, la adición de dosis y nutrimentos seleccionados se inició en México durante los años 1960's, cuando en los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California, se inyectó amoniaco anhidro y fosfato monoamónico (8-24-0) en canales de riego para los cultivos de trigo y algodón. Los fertilizantes utilizados en fertirriego se comercializan en dos presentaciones: sólidos solubles y soluciones líquidas. La composición química del agua resulta trascendental para una adecuada fertirrigación. Debido a que los fertilizantes son sales que reaccionan con las sales disueltas en el agua de riego, una condición alcalina puede provocar que el fósforo precipite en presencia de Ca y Mg, produciendo taponamiento en los sistemas de irrigación.

3.2.2 Fertilización al tronco de los árboles

Este método consiste en la colocación de bolsas plásticas equipadas con una aguja hueca que se debe clavar en el tronco hasta el tejido vascular. Las bolsas se cuelgan del mismo tronco por encima del punto de inyección con un clavo, de manera que la solución fertilizante caiga por gravedad a través de la aguja hueca y se difunda por el sistema vascular del árbol. Se debe proceder con cuidado para evitar infecciones (Velarde, 2015).

3.2.3 Fertilización edáfica

Salgado *et al.* (2012), afirma que esta modalidad de fertilización es sumamente versátil, ya que permite la aplicación de fertilizantes sólidos, tanto granulados como en polvo, o bien fluidos, sean soluciones, suspensiones o gases. Las formas de aplicación edáfica son al voleo, en banda y mateado. La aplicación al voleo se realiza colocando el fertilizante uniformemente sobre la superficie del suelo, de manera manual o mecánica. Este tipo de aplicación se recomienda para cultivos cuyas raíces se extienden uniformemente en el terreno, o bien, cuando se necesita que el material aplicado esté en contacto prolongado y directo con el suelo, es decir, cuando se requiere que reaccionen con el suelo para obtener el beneficio. La aplicación en banda se realiza en sistemas agrícolas sembrados en surco o hilera y se realiza a unos 10 cm de la hilera de siembra. Al colocarse próximo a las raíces del cultivo, resulta más eficiente que la fertilización al voleo. Por su parte, la aplicación por mateado se utiliza en cultivos sembrados en terrenos irregulares o en surcos. El fertilizante

se deposita en un hueco abierto cerca de la raíz y se tapa. Se recomienda para cultivos como el maíz, frijol o árboles frutales.

3.2.4 Fertilización foliar

Conforme con Trejo-Téllez *et al.* (2013), Marionette en 1676 describió por primera vez el fenómeno de la absorción foliar, el cual se define como el paso de sustancias a través de hojas. Un siglo más tarde, Fosyth inició aplicaciones foliares de estiércol, ceniza de madera, cal y orina para fertilizar. A finales del siglo XIX, Böhm reportó que las sales minerales en solución eran absorbidas por la superficie de las hojas y empleadas en el metabolismo de la planta. A mediados del siglo XX, comenzaron estudios sobre los mecanismos de absorción vía foliar utilizando radioisótopos. Actualmente se sabe que la penetración de nutrimentos se da a través de estomas, cutícula, ectodesmos y tricomas. Los factores que afectan la absorción foliar se relacionan con la solución a asperjar, el ambiente y la especie vegetal. En cuanto a la solución fertilizante influyen los factores pH, presencia de surfactantes, así como el tipo y concentración de nutrimentos en la solución. Referente a los factores ambientales se encuentran la temperatura, luz, humedad relativa y el viento. De acuerdo a la especie vegetal, son determinantes el grosor de la capa cuticular y epicuticular, la edad, superficie de la hoja, la especie vegetal, la etapa vegetativa y el estado nutrimental de la planta.

Salgado *et al.* (2012), menciona que las condiciones favorables para realizar aplicaciones foliares son un clima nublado, sin viento y baja temperatura ambiental. Además, la solución que se asperje debe diluirse para evitar quemaduras al follaje. Dependiendo del cultivo, las aplicaciones foliares se puede hacer de manera manual con mochilas de aspersión, aplicaciones mecánicas con turbinas o vía aérea. La fertilización foliar tienen la finalidad de corregir las deficiencias nutrimentales que, por manejo o condiciones del sustrato, no son viables de corregir con aplicaciones edáficas. Por ello, la fertilización foliar se usa en la práctica como complemento de la fertilización edáfica.

3.3 Fertilizantes

Existen diferentes tipos de fertilizantes. Se encuentran los orgánicos e inorgánicos, también los naturales o sintéticos. Independientemente de su origen, deben proporcionar a la especie vegetal uno o más elementos químicos esenciales para su sano desarrollo. Al fertilizar sosteniblemente, se propone la aplicación de diferentes fuentes de materia orgánica por medio de abonos orgánicos (compostas, biofermentos, abonos verdes, etc.), fertilizantes para fertirrigación, fertilizantes de liberación lenta, enmiendas no solubles,

corrección con microelementos, inoculación con microorganismos, entre otros (IFDC-UNIDO, 1998).

3.3.1 Fertilizantes orgánicos

Los abonos líquidos fermentados, también llamados biofermentos o bioles, son producto de la fermentación de desechos orgánicos (estiércoles, ceniza, melaza, leche o suero, hierba fresca, frutos), cuya aplicación es foliar y edáfica. Los bioles tienen un efecto bioestimulante, contienen nutrimentos y hormonas de crecimiento (Mamani *et al.*, 2012), tales como purinas, giberelinas, y auxinas (Aparcana y Jansen 2008; Guanopatín, 2012; Carhuancho, 2012). La característica común de estos elementos incorporables es que aseguran una buena calidad del suelo a lo largo del tiempo mientras se apliquen en las condiciones y cantidades adecuadas. Se han realizado varios trabajos de investigación para promover la fertilización con residuos agrícolas, municipales o industriales vía foliar y al suelo, cuyo contenido esté libre de elementos con riesgo a la salud, tales como la aplicación foliar de *shale water*-agua empleada para la ruptura de esquisto- (Silva-Messias *et al.*, 2013), la aplicación edáfica de biosólidos enriquecidos con urea (Smith *et al.*, 2015), o bien, de paja de trigo, torta de aceite y semilla de algodón (Meng *et al.*, 2005).

La fertilización se respalda con la teoría de la trofobiosis (Chaboussou, 1987), ya que, la salud de la planta está directamente asociada a su metabolismo (edad, adaptación de la variedad) y, por consiguiente, a su equilibrio dinámico interno. Según la teoría, no cualquier planta es atacada por plagas y enfermedades, son atacadas únicamente aquellas que llevan a cabo procesos metabólicos deficientes que debilitan a la planta y que, además, vuelven disponibles los compuestos de los que se alimentan insectos, ácaros, nematodos o microorganismos (hongos o bacterias).

La fertilización incorpora elementos esenciales necesarios para un adecuado metabolismo en la planta, nulificando o reduciendo la posibilidad de ataques biológicos, mientras las prácticas de manejo sean adecuadas (distancia entre las plantas, desbroce, poda) y el ambiente sea idóneo (clima, luz, temperatura, humedad, suelo, viento) bajo un esquema de equilibrio (Guazzelli *et al.*, 2007).

Para lo que concierne a la fertilidad del suelo y fertilización del mismo, existen las siguientes Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas vigentes (NMX) (DGN, 2015).

- Norma Oficial Mexicana NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes- Condiciones de seguridad e higiene.

- Norma Oficial Mexicana NOM-077-FITO-2000, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones para la realización de estudios de efectividad biológica de los insumos de nutrición vegetal.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 Protección ambiental- Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-182-SSA1-2010, Etiquetado de nutrientes vegetales.
- Norma Mexicana NMX-Y-035-1988 Fertilizantes-líquidos, polvos y gránulos procedimiento de muestreo - contenido general e introducción.
- Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 Humus de lombriz (lombricomposta)- especificaciones y métodos de prueba.

El anterior marco normativo sirve de base para promover un uso racional y sostenido de los recursos fertilizantes y funcionar como referencia para la fabricación de nuevos productos que cumplan la misma función.

3.4 Uso agrícola de aguas residuales

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, las aguas residuales son “las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas”. En conformidad con la Norma recién citada y la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, las aguas residuales se han reutilizado de diversas maneras, principalmente para reincorporarse al proceso del que salieron o funcionando como insumo agrícola. Con respecto a este último objetivo, son de interés aquellas aguas residuales que contienen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, ya que estos elementos nutren a las plantas. De esta manera, resulta indispensable eliminar o reducir mediante tratamientos físicos, químicos o biológicos la concentración de aquellos compuestos presentes en el agua residual que no serán requeridos por la especie vegetal cultivada.

En relación a este esquema, la agroecología, enfoque teórico y metodológico de la presente investigación, observa favorable el reciclaje de nutrimentos que pueden proveer las aguas

residuales a los sistemas agrícolas. De acuerdo con Gliessman (2002), por su contenido en materia orgánica, nutrimentos y agua, el uso agrícola de residuos es imprescindible para una agricultura sostenible. Por ello, se propone investigar sobre la eliminación de patógenos y sustancias con riesgo a la salud contenidas en las aguas residuales, así como diseñar sistemas de recolección, tratamiento y transporte de residuos más eficientes. En Europa y Estados Unidos, se han aplicado aguas residuales a cultivos agrícolas de consumo humano y animal, donde la disminución en costos de fertilización ha compensado parcialmente el costo de aplicación de las aguas residuales. Así, en función a las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, así como a los requerimientos del cultivo agrícola, se determina el tipo de tratamiento que se dará al efluente y el tipo de aplicación incidente en la planta, principalmente edáfica o foliar.

Los abonos orgánicos fueron los primeros fertilizantes utilizados por el ser humano para favorecer el desarrollo de las plantas y el rendimiento de las cosechas. Actualmente, son un recurso promovido por la agroecología para el incremento de la materia orgánica en el cultivo (Salgado *et al.*, 2012). Los abonos orgánicos pueden clasificarse, en correspondencia con su origen y naturaleza, en biofertilizantes y fertilizantes orgánicos (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de abonos orgánicos¹.

Biofertilizantes	Fertilizantes orgánicos
	Estiércoles
	Compostas
Inoculantes a base de <i>Rhizobium</i> , <i>Azospirillum</i> , y/o micorriza	Esquilmos
	Abonos verdes
	Desechos de plantas agroindustriales
	Aguas negras y derivados
	Efluentes de biodigestores

¹Adaptado de Salgado *et al.* (2012).

Como se observa, las aguas residuales se han clasificado como un tipo de abono orgánico en el sector agrícola. La investigación en este rubro ha dado cabida al empleo de aguas residuales en la agricultura para riego y como mejoradores de suelo en su fertilidad y demás aspectos físicos, químicos y biológicos (Asano, 2000; Manahan, 2013).

IV. Justificación

Fue a comienzos de la “Revolución Verde”, originada entre los años 1940 y 1970 en Estados Unidos, que las técnicas de cultivo se especializaron en la producción de algunas variedades híbridas de semillas en monocultivo, lo cual, si bien inicia generando grandes rendimientos, requiere de grandes extensiones de terreno agrícola con fuertes costos de inversión para mantenerse. Aunado a ello, los monocultivos, al tener plantas genéticamente similares, proveen un sustrato continuo para los patógenos en área y tiempo, induciendo a la especialización mediante la mecanización y el empleo inmoderado de agroquímicos (Francis, 1990; Robinson, 2000). Las técnicas agroindustriales de cultivo, al implementarse durante varios años consecutivos en un mismo terreno, han desgastado los suelos por la lixiviación de nutrientes (reducción de la fertilidad del suelo), pérdida de biodiversidad y erosión.

Además de lo anterior, la industria agrícola y alimentaria (Wang *et al.*, 2008), así como otros sectores industriales, comenzaron a demandar enormes volúmenes de agua para sus procesos, reduciendo la capacidad de recarga de las reservas hídricas y desabasteciendo del recurso, tanto a los organismos integrantes de los ecosistemas como a la población mundial humana. Sólo para contextualizar el panorama en este último rubro, del año 1980 al 2000, la población creció de 4,400 millones a 6,000 millones (Quiroz *et al.*, 2011), para mediados del año 2015 alcanzó los 7,300 millones (ONU, 2015) y se estiman 8,501 millones para el 2030, 9,725 millones, para el 2050, y 11,213 millones, para el año 2100 (ONU, 2015), requiriéndose para cubrir las necesidades básicas entre 50 y 100 litros/habitante día (OMS, 2015).

En un sentido económico, la liberación del mercado de todos los sectores productivos a favor de los oligopolios, está haciendo que la agricultura no sea rentable para los pequeños y medianos productores. Esto ocasiona un abandono de las tierras de cultivo y migración hacia las ciudades o países más desarrollados en busca de mejores condiciones de vida. Sin embargo, por los campesinos que no migraron o retornaron a su lugar de origen, se puede constatar la ineficacia de la Revolución Verde, ya que los paquetes tecnológicos que esta ofrecía, no se acoplaron a los predios de ladera y suelos poco profundos en los que los campesinos estaban adaptados a producir con sus tecnologías. El estudio de los saberes campesinos y científicos, ofrecen los principios para el desarrollo de una agricultura orientada hacia la sostenibilidad.

La necesidad de mantener fértil el suelo cultivable, trasciende en un adecuado desarrollo y crecimiento de la especie sembrada. Ello se consigue mediante la aplicación de diferentes fuentes de materia orgánica en condiciones y cantidades adecuadas, tales como abonos orgánicos (compostas, biofermentos, abonos verdes, etc.), fertilizantes para fertirrigación,

fertilizantes de liberación lenta, enmiendas no solubles, inoculación con microorganismos, corrección con microelementos, entre otros.

Se reconoce que el uso de residuos como fertilizantes resulta conveniente, ya que existen en todo asentamiento humano y suelen contener N, P, K, Ca, Mg y S, elementos primarios y secundarios para el metabolismo vegetal. De esta manera, resulta viable aplicar aguas residuales crudas o tratadas en cultivos agrícolas (Salcedo *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2008; Veliz *et al.*, 2009; Forero *et al.*, 2010; Jiménez *et al.*, 2012; Trejos y Agudelo, 2012), sobre todo cuando proceden de la industria agroalimentaria, ya que poseen un elevado contenido en materia orgánica y sólidos en suspensión (Wang *et al.*, 2008), así como un muy bajo o nulo contenido en elementos con riesgo a la salud (Ros *et al.*, 2012).

En Mesoamérica, la forma de procesamiento del maíz más popular es la nixtamalización, la cual aumenta el contenido de nutrimentos disponibles del maíz al cocerlo en un medio alcalino (Paredes *et al.*, 2008). El nejayote (agua residual de la nixtamalización) es un efluente con una concentración de 200 a 300 ppm de nitrógeno, 160 hasta 190 ppm de fósforo y 25,000 a 28,000 ppm de materia orgánica, características que le dan valor en el ámbito agrícola (Cifuentes, 2011). Debido a que la nixtamalización se realiza de manera abundante a escala industrial y doméstica, la descarga de nejayote oscila entre los 16 y 22 millones de m³ por año en la República Mexicana (Reyes *et al.*, 2012). Así, los grandes volúmenes descargados, aunados a su composición rica en nutrimentos (libre de elementos con riesgo a la salud), hacen al nejayote susceptible de ser empleado como fertilizante para cultivos agrícolas.

En una parcela del ejido La Venta, en el municipio de Amozoc de Mota, Puebla se planteó aprovechar como recurso agrícola al nejayote crudo (sin tratamiento ni estabilización), así como tratado por coagulación química y/o fermentación (biol) en un cultivo de maíz (*Z. mays*) azul criollo. Esta variedad se considera de interés para la región, por estar adaptada al clima templado subhúmedo (característico del municipio) y, porque a nivel nacional, su especie tiene una gran importancia económica y alimentaria, ya que constituye la fuente principal de carbohidratos en la dieta mexicana (SAGARPA, 2009; Secretaría de Economía, 2012).

V. Objetivos

5.1 Objetivo General

Valorar como recurso agrícola a los efluentes de la industria del nixtamal tratados por coagulación química y fermentación, en el cultivo de maíz azul criollo (*Zea mays* L.) en el ejido la Venta del municipio de Amozoc de Mota, Puebla, México.

5.2 Objetivos Particulares

Caracterizar al nejayote proveniente de un molino de nixtamalización mediante análisis fisicoquímicos.

Determinar las condiciones óptimas del tratamiento de nejayote por coagulación química para la obtención de agua tratada.

Evaluar diferentes dosis y formas de aplicación de nejayote en un cultivo de plantas de *Z. mays* mediante las variables diámetro de tallo, altura de planta, número de hojas y rendimiento de grano.

Evaluar la calidad edáfica de las unidades experimentales a las que se les aplicó nejayote al suelo antes y después de la aplicación de nejayote utilizando indicadores fisicoquímicos.

VI. Hipótesis

El uso agrícola de nejayote crudo y tratado por coagulación química, así como su fermentación a través de bioles, beneficiará tanto al desarrollo del cultivo de maíz azul criollo (*Zea mays*) como a la calidad del suelo, en el ejido la Venta del municipio de Amozoc de Mota, Puebla, México.

VII. Desarrollo experimental

7.1 Equipo, materiales y reactivos

7.1.1 Equipo

Además de los equipos indicados en las normas NMX-AA-034-SCFI-2001, NMX-AA-008-AA-2011, NMX-AA-093-SCFI-2000, NMX-FF-109-SCFI-2008, NMX-AA-026-SCFI-2010, NMX-AA-029-SCFI-2001, NMX-AA-051-SCFI-2001 y NOM-021-SEMARNAT-2000, se presentan los siguientes.

Balanza analítica. Con ayuda de una balanza analítica marca Scout OHAUS® con sensibilidad de 0.01 g y alcance máximo de 2 kg, se pesaron los reactivos empleados durante la experimentación para hallar las condiciones óptimas del tratamiento de nejayote por coagulación química.

Báscula digital. Se empleó una báscula digital Torrey® modelo PCR de acero inoxidable con un rango de medición de 2g a 40 kg para pesar los materiales necesarios en la elaboración de los bioles, así como para pesar el grano cosechado de las parcelas útiles del experimento en campo.

Digestor Kjeldahl. Se empleó un digestor Kjeldahl block SEV® para determinar nitrógeno total

Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Se empleó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo AANALYST 200 para determinar fósforo, boro, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc.

Flexómetro. Se empleó un flexómetro profesional marca Pretul® de 3m de largo y 57 mm de ancho para medir la altura de las plantas de maíz en las cinco mediciones efectuadas.

Fotómetro. La Demanda Química de Oxígeno, color, turbidez, así como contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y azufre se midieron en un fotómetro marca Merck® modelo SQ 118, de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Los valores de color y turbidez se obtuvieron utilizando celdas de cuarzo de 20 y 50 mm, respectivamente.

Mechero Bunsen. Se empleó un mechero Bunsen con llave, para gas natural de 150 mm de alto con estabilizador de llama Humboldt® para perforar las tapas de los bidones y botellas donde se introduciría la manguera para permitir el flujo de CO₂ al exterior.

Mochila de aspersión. Se empleó un aspersor marca Bellota® con capacidad de 20 L para realizar las aplicaciones de los tratamientos foliares.

Mufla. Se utilizó una mufla Thermolyn® Benchtop para determinar Sólidos Totales (ST) y materia orgánica (MO)

Potenciómetro. Se utilizó un potenciómetro Conductronic Mod. PC 16 para determinar el pH y la conductividad eléctrica

Prueba de jarras. En el proceso de coagulación química se empleó un equipo de prueba de jarras SEV® modelo AM-3 Agitador Múltiple que cuenta con tres agitadores de acero inoxidable y lámpara de iluminación, para visualizar la formación de los flóculos.

Sonda/Medidor de humedad en grano. Para medir la humedad de los granos de maíz se empleó un medidor de humedad de TPM EQUIPOS modelo TPM. MD7822 con sonda de 26 cm de longitud y rango de medición de humedad del 2% al 40%.

Vernier. El vernier o calibrador electrónico digital de acero inoxidable marca Truper® Modelo CALDI-6MP, Código 14388, con un rango de medición de 0.01 mm a 150 mm, fue empleado para medir el diámetro del tallo de las plantas de maíz en las cinco mediciones efectuadas.

7.1.2 Materiales

Además de los materiales indicados en las normas NMX-AA-034-SCFI-2001, NMX-AA-093-SCFI-2000, NMX-FF-109-SCFI-2008, NMX-AA-026-SCFI-2010, NMX-AA-029-SCFI-2001, NMX-AA-051-SCFI-2001 y NOM-021-SEMARNAT-2000, se empleó papel filtro marca Ahlstrom No. 5 para filtrar al nejayote, 50 cm de manguera de PVC de ¼" ø por cada biodigestor para el flujo de gases, así como recipientes de 20 y 200 L de polietileno de alta densidad (PEHD) para el almacenaje, traslado y tratamiento de nejayote.

Por su parte, para la elaboración de cada biol (40 L) se emplearon:

- 28 L de agua, nejayote crudo o nejayote tratado por coagulación química
- 16 kg de estiércol
- 400 g de ceniza
- 1.6 kg de piloncillo y 6.4 kg para las cuatro aplicaciones cada 72 horas
- 4.8 L suero de leche y 9.4 L para las cuatro aplicaciones cada 72 horas
- 1 kg de follaje de la planta leguminosa alfalfa (*Medicago sativa* L.) en trozos
- 1 kg de follaje de la planta repelente xicalote (*Argemone mexicana* L.) seca y triturada
- 160 g de levadura de pan (*Saccharomyces cerevisiae*)
- 400 mL de orina
- 1 palo de madera para revolver

La variedad de maíz sembrada en campo se obtuvo en el municipio de Amozoc de Mota, Puebla, México y es llamada en la región “maíz azul criollo”.

7.1.3 Reactivos

Además de los reactivos indicados en las normas NMX-AA-034-SCFI-2001, NMX-AA-008-AA-2011, NMX-AA-093-SCFI-2000, NMX-AA-026-SCFI-2010, NMX-AA-029-SCFI-2001, NMX-AA-051-SCFI-2001 y NOM-021-SEMARNAT-2000, se menciona lo siguiente.

Para el tratamiento por coagulación química se probó la viabilidad de los coagulantes Südflock® P-63 al 5 % con Sumex Biofloc® A-01 al 0.1 %. El coagulante Südflock® P-63 es una arcilla bentonita alcalina o aluminosilicato alcalino activado. Por su facilidad de hinchamiento, incrementa el área de superficie del coloide, generando flóculos fáciles de separar. Debido a su efectividad coagulante, ayuda a la remoción de grasas, aceites, elementos con riesgo a la salud, olor, etcétera (ACC, 2004). El floculante Sumex Biofloc® A-01 es un polímero amoniaco (poliacrilamida) de carga negativa y peso molecular muy alto. Funciona como coadyuvante en la producción de flóculos al tener una alta capacidad de absorción y adherencia (LMC, 2007). El proveedor de ambos reactivos fue la empresa Süd-Chemie de México S.A. de C.V (Hojas de Seguridad en el Anexo B).

Para modificar el pH del nejayote se emplearon soluciones acuosas al 1% de HCl fumante al 37% marca Merck® y de NaOH en pellets marca J.T. Baker. Además, para la medición de 500 a 10,000 mg/L de DQO, se utilizaron cubetas reactivas “14553”.

7.2 Nejayote

7.2.1 Producción de nejayote

Con el fin de conocer la cantidad de nejayote producido en el municipio de Amozoc de Mota, Puebla, se realizó una búsqueda inicial en la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía del Censo Económico 2009 (INEGI, 2009a) disponible en línea, sitio del cual se extrajeron datos sobre la actividad económica “Elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal” correspondientes a los rubros I) Número de unidades económicas y II) Total de ventas de productos elaborados (tortillas) al año. Los datos recabados corresponden a las actividades realizadas por las unidades económicas del 1 de enero al 31 de diciembre de 2008 (INEGI, 2010).

Además de permitir identificar la distribución porcentual de los establecimientos censados dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal en el país de México, fue posible estimar la cantidad de nejayote descargado a partir de los kilogramos de tortillas

producidos en el municipio de Amozoc de Mota, tomando en cuenta los comercios censados durante el año 2008 (ecuación 1):

$$\text{Unidades de producto elaborado (kg)} = \frac{\text{Total de ventas de productos elaborados (pesos)}}{\text{Precio por unidad (pesos/kg)}} \quad (1)$$

El precio promedio de la tortilla por kilogramo en Tortillerías de la zona metropolitana del Estado de Puebla durante el año 2008, se obtuvo del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2015), cuyo valor fue de \$7.47 (siete pesos 47/100 M.N.).

Se requieren 714 g de maíz para producir hasta 1 kg de tortilla de manera tradicional (GRUMA, 2015) y se necesitan por cada porción de granos de maíz, dos porciones de una solución al 1% de cal (Paredes *et al.*, 2008). Así, se deduce que por cada kg de tortilla se necesitan 14 g de cal y 1.414 L de agua. Para calcular la cantidad de nejayote producido en el municipio de Amozoc de Mota al año, se empleó la ecuación 2:

$$\text{Nejayote producido (L)} = \text{Unidades de producto elaborado (kg)} \cdot 1.414 \left(\frac{\text{L nejayote}}{\text{kg de tortilla}} \right) \quad (2)$$

Aunado a ello, de acuerdo con la Tabla 3, cada litro de nejayote contiene 14.49 g de sólidos, por lo tanto, con la ecuación 3 fue posible estimar la cantidad de sólidos descargados al año en Amozoc de Mota.

$$\text{Sólidos de nejayote (Ton)} = \text{Nejayote producido (L)} \cdot 14.49 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{Ton de sólidos}}{\text{L de nejayote}} \right) \quad (3)$$

7.2.2 Muestreo del nejayote crudo

El nejayote o agua residual del proceso de nixtamalización (Figura 6) utilizado en este trabajo fue colectado en un molino de nixtamal, en el municipio de Amozoc de Mota, Puebla (Figura 7). El nejayote fue almacenado en envases de plástico de 20 L y conservado bajo refrigeración a 4 °C durante todo el trabajo experimental.



Figura 6. Muestra de nejayote.



Figura 7. Tortillería de Amozoc de Mota, Puebla.

7.2.3 Caracterización de nejayote crudo

La caracterización del nejayote crudo se realizó tomando en cuenta las siguientes variables fisicoquímicas:

Sólidos totales. El porcentaje de sólidos totales se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

pH. El pH se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-008-AA-2011. Análisis de agua – determinación del pH – método de prueba.

Color. Se obtuvo con base en los métodos de análisis del manual SPECTROQUANT Fotómetro SQ 118 (método No. 139).

Turbidez. Se obtuvo con base en los métodos de análisis del manual SPECTROQUANT Fotómetro SQ 118 (método No. 113).

Demanda Química de Oxígeno. Se obtuvo con base en los métodos de análisis del manual SPECTROQUANT Fotómetro SQ 118 (método No. 112).

Conductividad Eléctrica. La conductividad eléctrica se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000 análisis de agua - determinación de la Conductividad electrolítica - método de prueba.

Materia Orgánica. La materia orgánica se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba.

Nitrógeno Total. El nitrógeno total se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010 Análisis de agua - medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y Residuales tratadas - método de prueba.

Fósforo. El porcentaje de fósforo se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas - determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Boro. El porcentaje de boro se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-063-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de boro en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Metales. El porcentaje de los metales potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc en la muestra se determinó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

7.2.4 Tratamiento de nejayote por coagulación química

El nejayote tratado se obtuvo a partir del nejayote crudo sometido al proceso de coagulación-floculación, este proceso reduce la carga orgánica, color y turbidez, respecto al nejayote crudo.

El proceso de coagulación-floculación de nejayote crudo previamente filtrado fue estudiado en función del pH (3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0), dosis del coagulante Südflock® P-63 (7.5 g/L, 8.5 g/L, 9.5 g/L, 10.5 g/L, 11.5 g/L) y dosis del floculante Sumex Biofloc® A-01 (100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L, 300 mg/L) en un equipo de prueba de jarras SEV® modelo AM-3 con agitadores múltiples.

Tanto el coagulante como el floculante fueron suministrados por la empresa Süd-Chemie de México S.A. de C.V.

El proceso experimental de coagulación-floculación a escala de laboratorio, consistió en colocar agua residual en cinco vasos de precipitado en un volumen de 500 mL. Posteriormente, las muestras del agua residual se sometieron a agitación constante de 120 rpm durante 60 segundos para homogenizar el medio y a continuación una agitación lenta por 40 rpm durante 20 minutos, para favorecer la formación de los flóculos. Las muestras tratadas se dejaron en reposo por 30 min. El sobrenadante fue filtrado por medio de papel filtro marca Ahlstrom® No. 5, y posteriormente se determinaron los porcentajes de remoción de color, turbidez y DQO. Cada experimento se realizó por triplicado a temperatura ambiente (25°C).

El análisis estadístico de los datos experimentales del proceso de coagulación-floculación de nejayote, obtenidos con respecto al pH, concentración de coagulante (Südflock® P-63) y concentración del floculante (Sumex Biofloc® A-01), permitió seleccionar las condiciones del tratamiento de coagulación-floculación para reducir la turbidez, color y DQO con respecto a nejayote crudo.

7.3 Preparación de fertilizantes a base de nejayote

7.3.1 Preparación de bioles a partir de nejayote crudo y tratado para aplicación foliar

Los bioles preparados fueron etiquetados como: BT, BNCQ y BNC. a) BT, para biol tradicional con agua potable como control, b) BNCQ para el biol con nejayote tratado por coagulación-floculación y c) BNC para el biol con nejayote crudo. El procedimiento de preparación fue el siguiente: En un recipiente se agregaron 28 L de agua potable o nejayote tratado por coagulación o nejayote crudo (de acuerdo a cada tratamiento), la mitad al iniciar la preparación y el resto al finalizarla. Se adicionaron 11 kg de estiércol, 275 g de ceniza, 1.1 kg de melaza y 6.6 L de suero de leche, 700 g del follaje de alfalfa (*M. sativa*), 700 g del follaje de la planta xicalote (*A. mexicana*), 110 g de levadura y 275 mL de orina humana masculina. Todos los ingredientes fueron mezclados perfectamente. Posteriormente los bioles se colocaron en biodigestores de 20 L de capacidad cerrados herméticamente (Figura 8). Con el propósito de disolver el CO₂ producido por la fermentación, cada biodigestor fue conectado con una manguera a una botella con 300 mL de agua potable. Las uniones con la manguera fueron selladas con silicón. La mezcla se dejó fermentar durante 60 días. Durante el proceso de fermentación, en cuatro ocasiones (cada 72 horas) se agregaron 825 mL de suero y 550 mL de melaza por cada biodigestor. Los biodigestores permanecieron en un lugar seco y fresco durante toda la etapa de fermentación. El número total de bioles preparados se muestra en la Tabla 6, la cual incluye el número de tratamiento, el tipo de fertilizante (foliar o edáfico), el nombre del tratamiento, el porcentaje de dilución utilizado y la simbología respectiva.



Figura 8. Biodigestores empleados para la producción de bioles.

7.3.2 Preparación de fertilizantes orgánicos con nejayote crudo para aplicación edáfica

Los fertilizantes orgánicos para aplicación edáfica fueron preparados con nejayote crudo (NC) a diferentes porcentajes de dilución. Los tratamientos de aplicación edáfica se prepararon con nejayote crudo (NC) al 50%, 75% y 100% y el control o testigo con agua potable (AP). El número total de tratamientos preparados a partir de nejayote crudo, se indican en la Tabla 6.

Tabla 6. Tratamientos aplicados al cultivo de maíz.

#	Bio-fertilizante	Tratamientos	Dilución	Simbología
1	Foliar	Control: Biol tradicional	5%	BT5
2	Foliar	Biol de nejayote crudo	5%	BNC5
3	Foliar	Biol de nejayote crudo	15%	BNC15
4	Foliar	Biol de nejayote crudo	30%	BNC30
5	Foliar	Biol de nejayote tratado por coagulación química	5%	BNCQ5
6	Foliar	Nejayote tratado por coagulación química	30%	NCQ30
7	Edáfica	Control: Agua potable	0%	AP
8	Edáfica	Nejayote crudo	50%	NC50
9	Edáfica	Nejayote crudo	75%	NC75
10	Edáfica	Nejayote crudo	100%	NC100

7.4 Trabajo experimental

7.4.1 Localización y características climáticas de la parcela experimental

La investigación se realizó en el municipio de Amozoc de Mota, Puebla (Figura 9), en una parcela localizada a 19°03'20.0" latitud Norte y 98°03'06.0" longitud Oeste, respecto al meridiano de Greenwich, con una altitud de 2331 msnm. De acuerdo con INEGI (2009b), el clima en Amozoc de Mota es templado, subhúmedo con lluvias en verano (100%). Mantiene un rango de temperatura y precipitación de 12–18°C y 900–1100 mm respectivamente. El suelo de la región se compone por Leptosol (39%), Luvisol (20%), Arenosol (20%), Phaeozem (1%) y Durisol (1%). El cultivo de maíz azul en esta parcela se realizó en condiciones de temporal.

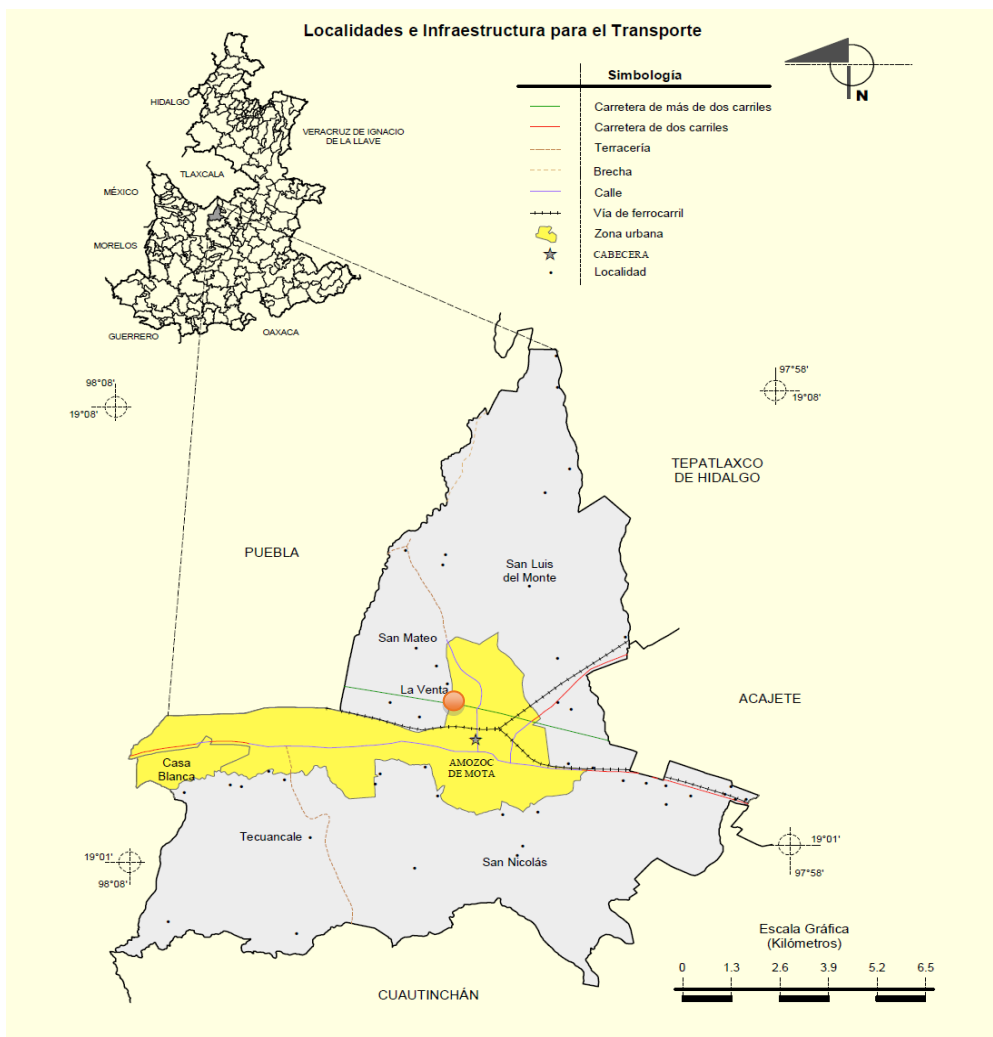


Figura 9. Ejido la Venta, municipio de Amozoc de Mota, Puebla. (INEGI, 2009b).

La extensión empleada del terreno fue de 525 m² tomando en cuenta el espacio de los surcos entre bloques (un surco entre cada bloque) y un metro entre unidades experimentales. El área ocupada por las 50 unidades experimentales fue de 350 m², con 7m² cada una.

7.4.2 Evaluación de la calidad del suelo

Antes de la fecha de siembra se tomaron muestras de suelo en zig zag a lo largo y ancho de toda la parcela experimental a una profundidad de 5 a 30 cm y se formó una muestra compuesta para el análisis fisicoquímico. El muestreo de suelo se repitió a los 139 días después de la siembra y se generaron cuatro muestras (suelo con agua potable, suelo con nejayote crudo al 50%, 75% y 100%) para su análisis fisicoquímico. Este muestreo se efectuó el día 16 de septiembre de 2015, en la etapa de llenado de grano.

Los indicadores de la calidad del suelo fueron: pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, textura, densidad real, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, lámina de riego y porosidad. Se evaluaron las variables con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Las variables capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, lámina de riego y porosidad, fueron obtenidas como a continuación se menciona.

- Capacidad de campo. Se determina con la ecuación 4 tomando en cuenta el porcentaje de saturación, cuyo método de obtención se encuentra en la NOM-021-SEMARNAT-2000.

$$CC = \frac{PS}{1.84} - 0.48 \quad (4)$$

Donde CC = capacidad de campo (%) y PS = porcentaje de saturación (%).

- Punto de marchitez permanente. Se determina con la ecuación 5 tomando en cuenta el valor de la capacidad de campo.

$$PMP = CC \cdot 0.595 \quad (5)$$

Donde CC = capacidad de campo (%) y PMP = punto de marchitez permanente (%).

- Humedad aprovechable. Se obtiene de la ecuación 6.

$$HA = CC - PMP \quad (6)$$

Donde HA = humedad aprovechable (%), CC = capacidad de campo (%) y PMP = punto de marchitez permanente (%).

- Lámina de riego. Para su cálculo se emplea la ecuación 7.

$$L = (H_{cc} - H_{pm})(D_a)(h) \quad (7)$$

Donde L = lámina de riego (cm), H_{cc} = contenido de humedad a capacidad de campo (%), H_{pm} = contenido de humedad al punto de marchitez permanente (%), D_a = densidad aparente (g/cm^3) y h = profundidad del suelo (cm) que se quieren humedecer.

- Porosidad. El porcentaje de porosidad o espacio poroso se deriva de la relación entre densidad real y la densidad aparente y se calcula con la ecuación 8:

$$EP = \frac{100(Dr - Da)}{Dr} \tag{8}$$

Donde EP = espacio poroso (%), Dr = Densidad real (g/cm^3) y Da = densidad aparente (g/cm^3).

7.4.3 Diseño experimental y cultivo de maíz

Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar y aplicación de diez tratamientos y cinco réplicas, empleando como planta indicadora al maíz azul criollo (*Z. mays*) perteneciente al grupo 1a Cónico (Sánchez *et al.*, 2000).

En la Figura 10 se puede observar la distribución aleatoria de los diez tratamientos en cada uno de los cinco bloques (I, II, III, IV y V) que conformaron la parcela experimental. Cada bloque constituyó una de las cinco repeticiones que se realizaron de los tratamientos. Cada una de las 50 unidades experimentales constó de 7 m² con una distancia entre surcos de 70 cm. Para evitar interferencia entre los bloques, se separó con un surco sin siembra. La siembra se efectuó con cinco semillas de maíz azul criollo por mata. La distancia entre las matas fue de 50 cm. Cuando la planta alcanzó los 30 cm de altura, se efectuó el raleo y se consideraron tres plantas por mata. Cada unidad experimental se conformó por 60 plantas, con 18 plantas por parcela útil. En la Figura 11 se puede observar un diagrama, donde la línea de contorno azul, enmarca a la parcela útil.

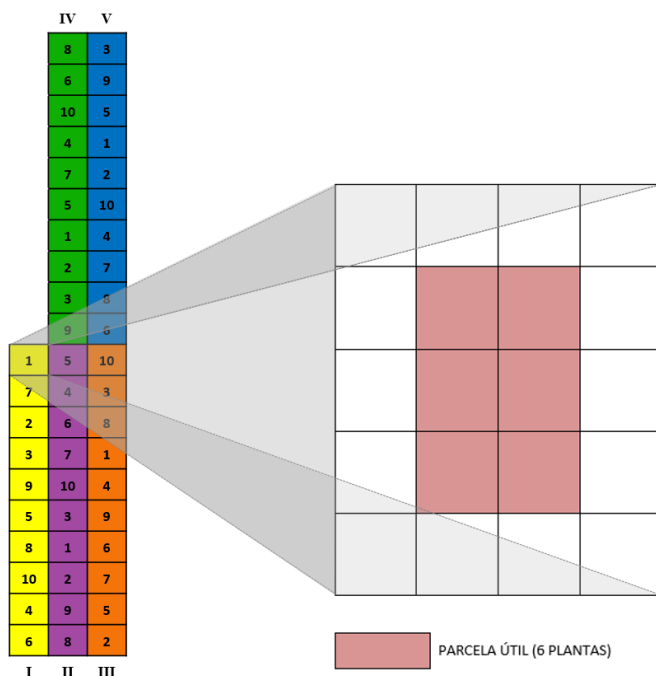


Figura 10. Diseño experimental Bloques Completos al Azar.

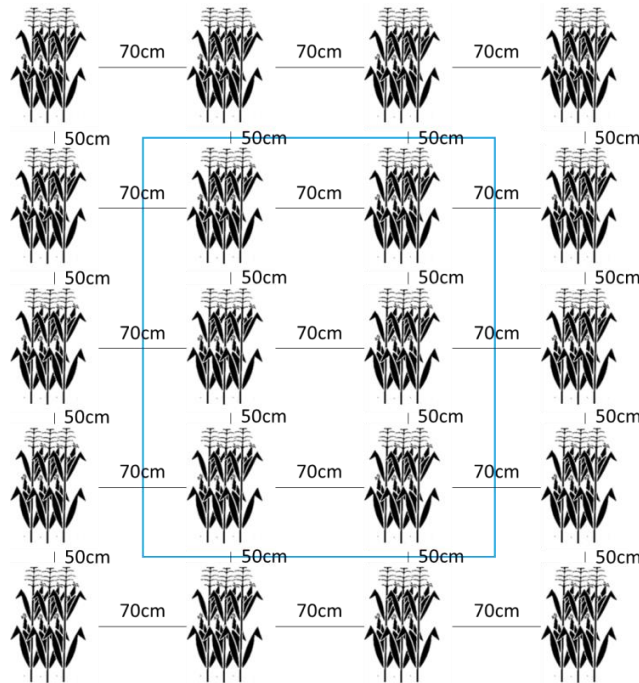


Figura 11. Distribución de las plantas de maíz por unidad experimental.

7.4.4 Metodología de aplicación foliar y edáfica de los fertilizantes en cultivo de maíz

La aplicación de fertilizantes a partir de nejayote crudo y tratado, comprende la aplicación foliar y edáfica. En la fertilización foliar se aplicaron seis tratamientos con bioles preparados a diferentes diluciones y corresponden a los tratamientos 1-6 de la Tabla 6 mientras que, en la fertilización edáfica, se aplicaron cuatro tratamientos a partir de diluciones de nejayote crudo y corresponden a los tratamientos 7-10 de la Tabla 6, incluyendo los testigos. Un día antes de la siembra, las semillas se humedecieron en las soluciones de los respectivos tratamientos, luego el grano se dejó reposar durante 24 horas antes de la siembra.

El cultivo se estableció y desarrolló del 1 de mayo al 16 de noviembre de 2015 (Ver Anexo A). Veintiocho días después de la siembra, se realizó la primera aplicación de los tratamientos, tanto foliar como edáfica. Las siguientes cinco aplicaciones fueron realizadas cada 15 días. A medida que aumentaba el área foliar de la planta en las unidades experimentales, aumentó el volumen de tratamiento foliar, adicionando 45, 50, 55, 60 y 65 mL por mata en la primera, segunda, tercera, cuarta y quinta aplicación, respectivamente. La fertilización foliar se realizó con una mochila de aspersión rociando adecuadamente el área foliar de cada planta, de acuerdo con el diseño experimental de la Figura 12. Antes de verter los bioles en la mochila aspersora, se filtraron con una malla de tela fina.



Figura 12. Aplicación de los tratamientos foliares.

La aplicación edáfica de los tratamientos involucró un tipo de riego superficial por inundación total y se emplearon 3 L por mata por cada aplicación. Se aplicó la misma cantidad de volumen en las cinco ocasiones. El tratamiento control recibió únicamente riego con agua potable. Se conformaron cuatro cajetes con cinco matas en cada unidad experimental establecida en el terreno (Figura 13).



Figura 13. Aplicación de los tratamientos al suelo.

De las plantas de maíz evaluadas, se registraron los valores de la altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas en cinco ocasiones, cada 21 días iniciando el 3 de junio. La variable “altura de planta” fue medida con un flexómetro. Para la medición, se colocó un extremo de la cinta al centro de la base del tallo y se midió hasta el punto máximo de la curvatura de la hoja superior. La variable “diámetro de tallo” se midió a la mitad del primer y segundo nudo con un vernier y, cuando aún no había formación de nudos, se midió a 3 cm con respecto a la base de la planta. Por su parte, la medición de la variable “número de hojas” consistió en contar las hojas verdes, excluyendo así a las hojas que caían por la expansión del tallo y el envejecimiento en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Durante la madurez fisiológica se cosecharon las mazorcas de maíz. Dos meses después, se determinó la humedad del grano con un medidor de humedad utilizando un Equipo TPM

Mod. MD7822. Posteriormente, se pesó el grano de maíz, procedente de 6 plantas de la parcela útil, para calcular el rendimiento de grano.

El rendimiento de grano se obtuvo empleando la ecuación 9.

$$Rg = \frac{Pg}{npp} \cdot npa \cdot 10 \text{ Ton/ha} \quad (9)$$

Donde

Rg = rendimiento de grano (t/ha)

Pg = peso de grano (kg de grano/parcela útil)

npp = número de plantas por parcela útil (6 plantas/parcela útil)

npa = número de plantas por unidad de área (60 plantas/ 7m²),

$$10 \text{ Ton/ha} = \left(\frac{1 \times 10^4 \text{ m}^2}{\text{ha}} \right) \left(\frac{1 \text{ Ton}}{1 \times 10^3 \text{ kg de grano}} \right)$$

Los datos de peso de grano se registraron cuando el grano tuvo un 12.5% de humedad, dos meses después de la cosecha.

Para evaluar todas las variables en las cinco ocasiones, se tomaron los datos sólo de una planta por mata, aquella que presentara un porte medio entre las tres. Se evaluaron 6 plantas por parcela útil y 300 en toda la parcela experimental. Durante el periodo vegetativo, se realizaron dos labores para evitar el acame de las plantas.

7.5 Análisis estadístico

Para el tratamiento de nejayote por coagulación química a nivel de laboratorio, se evaluaron las variables de respuesta: color, turbidez y DQO por triplicado y, para los tratamientos foliares y edáficos en campo aplicados al cultivo de maíz azul criollo, se evaluaron las variables de respuesta: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y rendimiento de grano en cinco replicas, usando el Programa Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.02 (Statpoint Technologies Inc. 2010). Todas las variables fueron analizadas por ANOVA de un factor (ANOVA simple) con la prueba de Bartlett y por ANOVA multifactorial con la prueba de Tukey, en la que se utilizó $\alpha = 0.07$, para las variables de respuesta al tratamiento por coagulación química de nejayote, y $\alpha = 0.05$, para las variables de respuesta de los tratamientos foliares y edáficos en campo.

VIII. Resultados y Discusión

8.1 Producción de nejayote

De acuerdo con los datos de INEGI (2009a), recabados durante el Censo Económico 2009 en los establecimientos dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal, sobre el total de ventas de productos elaborados-tortillas, se estimó la cantidad de tortillas producidas con base en su costo de \$7.47 (siete pesos 47/100 M.N.) durante el año 2008 y, en consecuencia, del volumen de nejayote y cantidad de sólidos de nejayote producidos a nivel nacional, en el estado de Puebla y en el municipio de Amozoc de Mota durante el año 2008. Los datos se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Estimación de la producción anual de nejayote y sólidos de nejayote a nivel nacional.

	México (país)	Puebla (estado)	Amozoc (municipio)
Total ventas productos elaborados ¹ (\$)	\$27,399,357,000.00	\$1,075,856,000.00	\$22,756,000.00
Unidades de producto elaborado ² (kg)	3,667,919,277.11	144,023,560.91	3,046,318.61
Nejayote producido ² (L)	5,186,437,857.83	203,649,315.13	4,307,494.51
Nejayote producido ² (m ³)	5,186,437.86	203,649.32	4,307.49
Sólidos de nejayote ² (Ton)	75,151.48	2,950.88	62.42

¹Datos obtenidos de INEGI (2009a). ²Datos calculados.

Resulta importante recalcar que el total de ventas de productos elaborados (pesos mexicanos) presentado por INEGI, está basado en la producción de 78,852 establecimientos dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal en la República Mexicana, de 8,058 establecimientos en el estado de Puebla y de 144 en el municipio de Amozoc. De este modo, sólo se estima la producción de nejayote y sólidos de los establecimientos censados. El volumen de agua concesionados para el año 2009 al uso consuntivo agrícola fueron de 61,794 hm³ de agua/año en México a nivel nacional y de 1,962 hm³ de agua/año en el estado de Puebla (CONAGUA, 2011). Tales cifras pueden compararse con los volúmenes de descarga de nejayote. De acuerdo con la Tabla 7, en la República Mexicana se descargaron 5.1 hm³ de nejayote/año, lo que equivalió al 0.008% del volumen de agua concesionado en el 2009 para el uso consuntivo agrícola a nivel nacional. Por su parte, en el estado de Puebla, se descargaron 2 x 10⁵ m³ de nejayote/año, lo que equivalió al 0.01% del volumen de agua concesionado en el 2009 para el uso consuntivo agrícola en el mismo estado. Si bien, son bajos los volúmenes estimados de descarga de nejayote, en comparación con los volúmenes de agua concesionados al uso consuntivo agrícola, de ser reciclados, representan una oportunidad de ahorro hídrico en la agricultura.

Por su parte, la cantidad estimada de sólidos de nejayote que fueron producidos durante el año 2008 a nivel nacional, es comparable con la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de 208,754 habitantes mexicanos, 360 kg de RSU/hab/año (SEMARNAT, 2013), durante el mismo año. Esa cantidad de habitantes es casi dos veces mayor que la del municipio de Amozoc de Mota con 100,964 habitantes para el año 2010 (INEGI, 2011). Es decir, la cantidad de sólidos de nejayote producidos a nivel nacional, es equiparable con la cantidad de RSU producidos por 208,754 habitantes mexicanos, el doble de habitantes del municipio de Amozoc de Mota registrados por INEGI en el año 2010.

INEGI informa sobre los datos de los 217 municipios del estado de Puebla y de los 2,454 municipios del resto del país existentes en el 2008. En la Figura 14, se presenta el porcentaje del número de establecimientos dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal correspondiente al estado de Puebla con respecto al total de la República Mexicana en el año 2008. Así mismo, se presentan los porcentajes del número de establecimientos dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal correspondientes a los municipios del estado de Puebla en el año 2008.

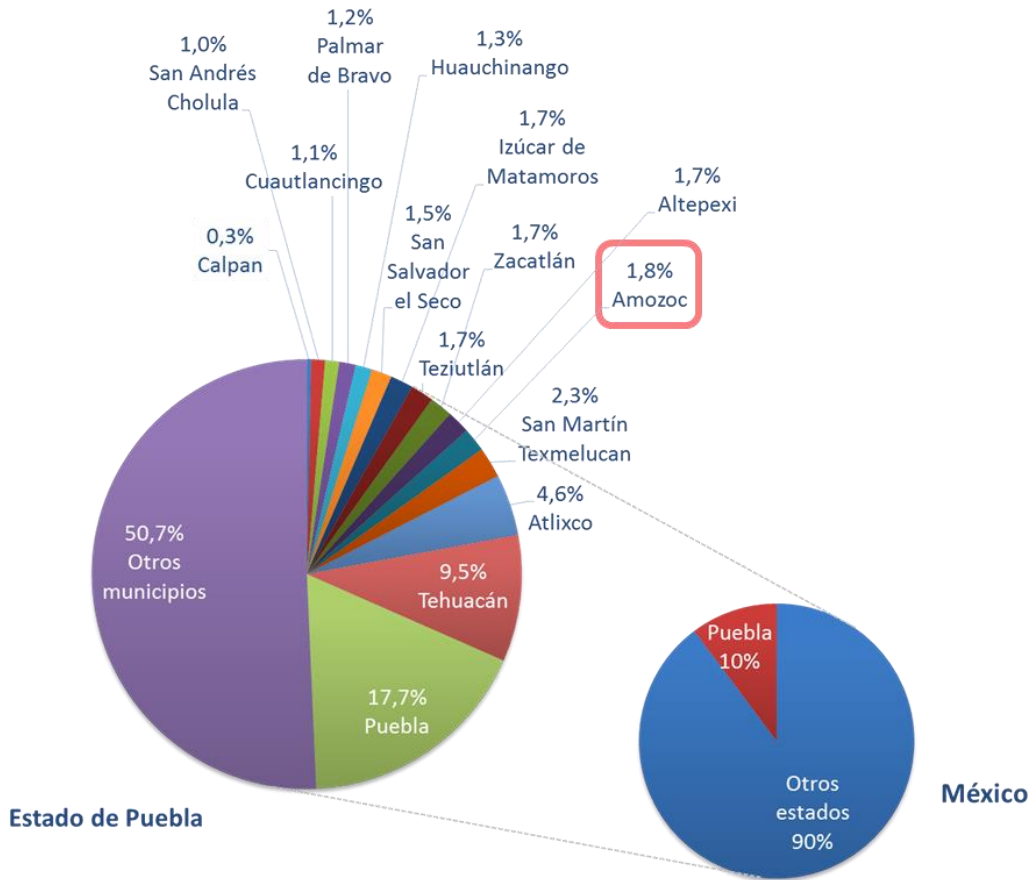


Figura 14. Distribución porcentual de los establecimientos censados dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal en la República Mexicana y el Estado de Puebla.

Se observa que, del total de establecimientos dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal a nivel nacional, el 10% corresponden al Estado de Puebla. Según los datos oficiales, entre los municipios del estado de Puebla que cuentan con más establecimientos dedicados a la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal, se encuentran Puebla, Tehuacán, Atlixco, San Martín Texmelucan y Amozoc de Mota, lo cual está relacionado con la densidad poblacional de tales regiones, ya que se consume mayor cantidad de nixtamal que en los sitios menos poblados. De acuerdo con SAGARPA (2010), el 73% del territorio perteneciente al Estado de Puebla se emplea para actividades rurales. Tales datos se pueden considerar al municipio de Amozoc y al estado de Puebla, sitios con alto potencial para reciclar nejayote en la agricultura.

8.2 Tratamiento de nejayote por coagulación química

El nejayote crudo fue sometido al proceso de coagulación-floculación utilizando al coagulante Südflock®P-63 y al floculante Sumex Biofloc®A-01. Se evaluaron los diferentes valores de pH inicial, dosis de coagulante y dosis de floculante, con el objetivo de encontrar las condiciones óptimas para obtener un mayor porcentaje de remoción de partículas coloidales y suspendidas presentes en el nejayote. Las variables de respuesta para el tratamiento fueron color (1/m), turbidez (UNT) y DQO (mg/L) del nejayote crudo y tratado. En la Tabla 8 se presenta el efecto de la variación del pH, dosis de coagulante y dosis de floculante en el porcentaje de remoción de color, turbidez y DQO de nejayote. Los datos se muestran de manera gráfica en el Anexo C.

Se ha informado de un gran número de investigaciones relacionadas con arcillas naturales o bentonitas, como coagulantes o floculantes en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales (Liu *et al.*, 2013; Awad *et al.*, 2013; Syafalni *et al.*, 2013). Las bentonitas como coagulantes, tienen la capacidad de desestabilizar y adsorber iones metálicos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}), compuestos orgánicos o partículas contaminantes con carga positiva, las cuales se adhieren a la superficie de la arcilla mediante adsorción-neutralización de cargas, durante el proceso de coagulación química, en el seno de la solución del agua residual (Hu *et al.*, 2006). Los contaminantes son microencapsulados y rodeados por las partículas de arcilla unidos por interacciones de Van der Waals y fuerzas electrostáticas (Abdelaal, 2004). Después de la coagulación, ocurre la floculación, debido a la desestabilización de las partículas coloidales provocada por la adición de algunos polímeros solubles en agua de alto peso molecular, los cuales ofrecen mayores sitios de adsorción. Los mejores mecanismos de floculación con polielectrolitos son la neutralización de carga superficial y por puente interparticular. La neutralización de carga superficial

ocurre si la carga de los floculantes es opuesta en signo a la de las partículas suspendidas. El puente interparticular consiste en la adsorción de moléculas poliméricas muy largas en la superficie de las partículas coloidales. Estas partículas tienden a formar puentes que se extienden a cierta distancia de la superficie en dirección a la fase acuosa. Estos puentes y sus extremos pueden entrar en contacto con otras partículas, generando puentes interparticulares (Singh *et al.*, 2000). Los mismos mecanismos de remoción de contaminantes por coagulación-floculación fueron causados por el coagulante comercial Südflock® P-63 (bentonita alcalina) y el floculante comercial Sumex Biofloc® A-01 (poliacrilamida aniónica) en el nejayote tratado, obteniendo flóculos grandes, densos, fuertes, compactos y fácilmente sedimentables.

Tabla 8. Efecto del pH y dosis de coagulante y floculante en el color, turbidez y DQO de nejayote.

Variable	Valor	Remoción (%)		
		Color	Turbidez	DQO
pH	3.0	59.83 ± 8.16 a ¹	68.20 ± 5.72 a	- 4.95 ± 9.07 a
	5.0	63.26 ± 9.48 a	70.92 ± 6.88 ab	6.680 ± 3.52 a
	7.0	60.86 ± 7.78 a	77.05 ± 4.17 ab	6.490 ± 3.62 a
	9.0	65.27 ± 6.42 a	79.72 ± 6.69 b	10.01 ± 2.79 a
	11.0	57.57 ± 13.0 a	77.17 ± 9.16 ab	6.390 ± 4.47 a
Dosis de coagulante (mg/L)	7500	63.11 ± 5.10 a	82.08 ± 5.55 a	7.240 ± 4.66 a
	8500	61.02 ± 8.20 a	78.88 ± 6.74 a	8.270 ± 3.08 a
	9500	68.64 ± 9.30 a	82.91 ± 5.01 a	16.01 ± 2.42 a
	10500	62.00 ± 11.5 a	78.04 ± 8.08 a	14.28 ± 4.00 a
	11500	59.70 ± 14.6 a	75.27 ± 10.1 a	13.33 ± 2.36 a
Dosis de floculante (mg/L)	100	68.87 ± 9.30 a	81.30 ± 5.28 a	17.34 ± 1.73 ab
	150	68.99 ± 7.10 a	83.03 ± 5.21 ab	18.46 ± 1.77 ab
	200	71.73 ± 6.70 a	84.81 ± 4.93 b	19.85 ± 2.46 b
	250	69.88 ± 7.70 a	83.99 ± 5.18 ab	16.85 ± 1.85 ab
	300	69.88 ± 8.31 a	83.19 ± 5.85 ab	14.40 ± 3.30 a

¹No existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias identificadas con la misma letra en el sentido de las columnas que pertenecen al mismo factor: pH, dosis de coagulante, dosis de floculante. Prueba de Tukey ($P \leq 0.07$).

De acuerdo a la Tabla 8, el análisis estadístico de los datos experimentales obtenidos con respecto al pH, por la prueba de Tukey ($\alpha=0.07$), mostró que el efecto del pH generó diferencias estadísticamente significativas para la remoción de turbidez, pero no en el caso de remoción de color y DQO. A pH inicial de 9.0, el porcentaje de remoción de turbidez, presentó una diferencia estadísticamente significativa con respecto al resto de los

tratamientos. Además, se observó que a pH 3.0, el valor de DQO se incrementó después del tratamiento. Esto implica que, la poliacrilamida aniónica remueve ineficientemente los contaminantes a un pH bajo, concordando con los resultados obtenidos por Aguilar *et al.* (2005). Puesto que el pH condiciona fuertemente la densidad de la carga superficial de las arcillas minerales (König *et al.*, 2012), el que el pH óptimo haya sido alcalino, pudo deberse a que las arcillas adquirieron cargas negativas extras en su superficie. Un ambiente alcalino aumenta las cargas negativas en los grupos hidroxilo de bentonita, lo que conlleva a que los cationes sean adsorbidos (Hu *et al.*, 2006). Así, se vio mejorada la atracción electrostática entre las cargas positivas del nejayote y los sitios de adsorción cargados negativamente de la bentonita alcalina, dando como resultado una mayor remoción de los cationes presentes en el nejayote. Debido a que la poliacrilamida añadida fue aniónica, se incrementó la densidad de carga negativa, lo que aumentó la capacidad de remoción de cargas catiónicas en el nejayote. Los cationes adsorbidos por el coagulante y el floculante añadidos al nejayote, provinieron de la materia orgánica y metales disueltos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}) en el seno de la solución. El mismo efecto de remoción de cationes causado por la arcilla alcalina o la poliacrilamida aniónica, ha sido identificado en otros trabajos de investigación (Yariv y Michaelian, 2002; Hu *et al.*, 2006; Haydar y Aziz, 2009; Zagklis *et al.*, 2012).

A diferentes concentraciones del coagulante Südflock® P-63 a pH 9.0 constante, se observó que el efecto de las concentraciones entre 7.5 y 11.5 g/L del coagulante no fue estadísticamente significativo en ninguna de las variables evaluadas. No obstante, con el fin de evaluar las dosis del floculante Sumex Biofloc® A-01 en presencia de una dosis constante de coagulante, se seleccionó de manera arbitraria a la concentración 9.5 g/L del coagulante Südflock® P-63 entre las dosis evaluadas (7.5 – 11.5 g/L), bajo la comprobación estadística en la que ninguna de las dosis evaluadas generó porcentajes de remoción de color, turbidez y DQO estadísticamente diferentes entre sí (Tukey $\alpha = 0.07$) como se observa en la Tabla 8. Así, se utilizó a la dosis 9.5 g/L de Südflock® P-63 en los experimentos sucesivos, de manera constante.

Para la evaluación de diferentes concentraciones del floculante Sumex Biofloc® A-01 a una concentración del coagulante Südflock® P-63 (9.5 g/L) y pH (9.0) constantes, se realizó un análisis estadístico con la Prueba de Tukey ($\alpha = 0.07$) de los porcentajes de remoción de color, turbidez y DQO obtenidos en los experimentos. Se encontró que el efecto de la dosis del floculante no fue estadísticamente significativo para la remoción de color. Sin embargo, con la dosis de 200 mg de Sumex Biofloc® A-01 por cada litro de nejayote, se generaron diferencias estadísticamente significativas respecto a la respuesta de los demás tratamientos en cuanto a los porcentajes de remoción de turbidez y DQO (Tabla 8).

Por lo tanto, las condiciones óptimas determinadas para el tratamiento por coagulación química de nejayote fueron a un pH inicial de 9.0, una concentración del coagulante Südflock® P-63 de 9.5 g/L y una concentración de Sumex Biofloc® A-01 de 200 mg/L. Sin embargo, el coagulante Südflock® P-63 funcionó eficientemente en el rango de $3.0 \geq \text{pH} \leq 11.0$, lo cual concuerda con los resultados de Awad *et al.* (2013). En la Figura 15 se compara al a) nejayote crudo, b) nejayote durante el tratamiento por coagulación química y al c) nejayote tratado por coagulación química mediante las condiciones óptimas halladas.

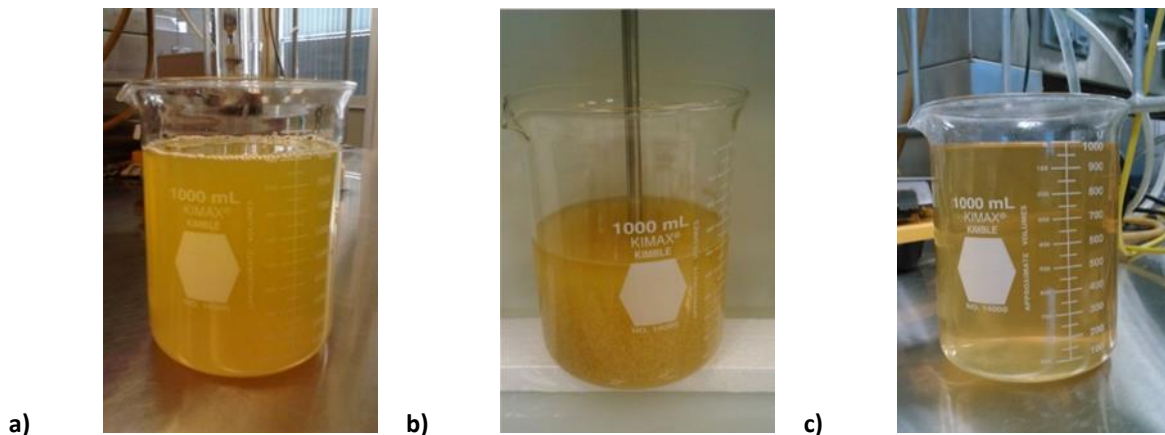


Figura 15. Comparación del a) nejayote crudo, b) nejayote durante el tratamiento por coagulación química y c) nejayote tratado por coagulación química bajo condiciones óptimas.

Los tratamientos foliares Nejayote tratado por coagulación química al 30% (NCQ30) y Biol de nejayote tratado por coagulación química al 5% (BNCQ5) de la Tabla 6, fueron elaborados con nejayote tratado por coagulación química conforme a las condiciones óptimas obtenidas.

8.3 Caracterización del nejayote crudo y tratado

Las propiedades fisicoquímicas del nejayote crudo y tratado por coagulación-floculación se presentan en la Tabla 9. De acuerdo con el análisis de micronutrientes, los elementos Mn, Cu, Zn y B no fueron detectados. El nejayote crudo es de color amarillo oscuro, altamente alcalino y turbio; la carga orgánica es elevada (17,146 mg O₂/L) y presenta una conductividad eléctrica alta. El contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y hierro fue inferior al 1%.

Tabla 9. Propiedades fisicoquímicas del nejayote crudo y tratado.

Propiedad fisicoquímica	Nejayote	
	Crudo	Tratado
pH	11.2	9.0
Color (1/m)	50.4	15.40
Turbidez (UNT)	1,072	143.0
Sólidos Totales (%)	1.08	3.00
DQO (mg/L)	17,146	14,058
Materia Orgánica (%)	61.48	11.90
Conductividad Eléctrica (dS/m)	3.95	2.36
Nitrógeno Total (%)	0.08	0.06
Fósforo (%)	0.015	ND
Potasio (%)	0.001	0.030
Calcio (%)	0.941	0.870
Magnesio (%)	0.174	0.400
Hierro (%)	0.0011	ND

ND: No Detectado. UNT: Unidad Nefelométrica de Turbidez.

El contenido de calcio en nejayote es relativamente alto y proviene principalmente del hidróxido de calcio utilizado en el proceso de nixtamalización. La concentración de iones calcio en nejayote es relativamente elevada si se compara con efluentes de la industria láctea o de alimentos (Wang *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2012). Para fines agrícolas, el Ca representa una alternativa para el control de microorganismos patógenos como *Aphanomyces euteiches* Drechsler (Heyman *et al.*, 2007) que reduce el volumen y la función de las raíces. El porcentaje de materia orgánica en nejayote es considerablemente alto y se atribuye a los residuos del pericarpio desprendido del grano de maíz, cuya composición, de acuerdo con Watson (1987), consiste en cenizas (0.8%), almidón (7.3%), azúcares (0.34%), proteínas (3.7%), extracto etéreo (1%) y fibra cruda (86.7%). El nejayote tratado por coagulación química usando al coagulante Südflock® P-63 en un intervalo de 7.5 a 11.5 g/L, con una dosis de floculante (Sumex Biofloc® A-01) de 200 mg/L y pH 9.0, modifica las propiedades fisicoquímicas del nejayote crudo, reduce considerablemente el color, la turbidez y, parcialmente, la carga orgánica, así como la presencia de iones en solución. Durante el proceso de humificación y mineralización, la materia orgánica del nejayote crudo y tratado, puede añadir nutrimentos a los cultivos agrícolas de su composición química, al mismo tiempo que puede mejorar la estructura del suelo y facilitar la disponibilidad de minerales quelatados en las plantas. Con base en su análisis fisicoquímico, tanto el nejayote

crudo como el nejayote tratado por coagulación química, pueden utilizarse como insumos agrícolas en el cultivo de maíz azul.

8.4 Empleo de nejayote para la elaboración de bioles

Cada uno de los distintos tipos de bioles a base de I) agua potable —biol tradicional— (BT), II) nejayote tratado por coagulación química (BNCQ) y III) nejayote crudo (BNC), fueron caracterizados fisicoquímicamente bajo las mismas propiedades utilizadas con el nejayote crudo (Tabla 10). Los elementos Cu y B no fueron detectados. La Figura 16 presenta los bioles que fueron caracterizados.

Tabla 10. Resultados del análisis fisicoquímico de los bioles.

Propiedad fisicoquímica	Biofertilizantes		
	BT	BNCQ	BNC
pH	3.7	4.0	4.1
Sólidos totales (%)	38.47	8.18	9.73
Color (1/m)	224.4	535.7	240.9
Turbidez (UNT)	2,948	8,232	3,036
Conductividad Eléctrica (dS/m)	12.49	15.41	15.47
Materia Orgánica (%)	82.03	73.56	83.5
Nitrógeno Total (%)	0.09	0.12	0.01
Fósforo (%)	0.01	0.02	0.01
Potasio (%)	0.12	0.10	0.13
Calcio (%)	0.22	0.29	0.41
Magnesio (%)	0.219	0.24	0.257
Hierro (%)	0.0059	0.0049	0.0058
Manganeso (%)	0.0013	0.0010	0.0007
Zinc (%)	0.0011	0.0011	0.0010

UNT: Unidad Nefelométrica de Turbidez.

Dado que la diferencia entre los tres bioles fue el agua empleada, el porcentaje de Ca en BNC fue mayor que en BT y BNCQ. El contenido de Ca en BNCQ fue similar al de BT debido a que fue removido del nejayote por sedimentación y filtración al decantarse, ya sea i) junto con los sólidos sedimentables, antes de la coagulación química, o ii) junto con otros cationes neutralizados por aniones del coagulante y floculante, durante el proceso de coagulación química.

Las ventajas de que un biol contenga calcio son diversas. Los aniones provenientes de los compuestos de calcio, como los carbonatos e hidróxidos, funcionan como álcalis de reserva, ya que neutralizan los productos ácidos resultantes de la fermentación. Además, al aumentar la velocidad de mineralización de la materia orgánica (especialmente de material celulósico), contribuyen a la movilización de los cationes asociados (Ca^{2+} , Mg^{2+}) que, a su vez, estimulan la actividad bacteriana de descomposición y funcionan como nutrimentos para las plantas (Vogel y Todaro, 1997; Delincé, 1992; Gliński *et al.*, 2011). Aunado a ello, los ácidos fúlvicos producidos por la fermentación forman quelatos con los iones metálicos Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} y Fe^{3+} ; ello facilita el transporte y regula la biodisponibilidad de estos nutrimentos vía foliar (Vermeer, 1996; Stevenson, 1994). En los sitios donde ocurren precipitaciones pluviales ácidas, la aplicación foliar de calcio puede reducir los efectos adversos, aquellos causados a las células del cultivo por los radicales libres (Dolatabadian *et al.*, 2013), además de promover el crecimiento de la raíz y la fructificación (Chang *et al.*, 2013).



Figura 16. Bioles elaborados.

En las propiedades fisicoquímicas de los bioles, el efecto de la presencia del nejayote puede observarse en los Sólidos Totales, pH, Conductividad Eléctrica, Nitrógeno Total y Magnesio. El porcentaje de Sólidos Totales en BT fue mayor que en BNCQ y BNC, posiblemente, debido a que una mayor presencia de calcio en BT promovió la descomposición de los materiales sólidos a compuestos líquidos o gaseosos. Por su parte, el pH fue ligeramente menos ácido en BNC que en BT y BNCQ. Esto confirma lo mencionado por Vogel y Todaro (1997), quienes afirman que una mayor concentración de calcio incrementa la neutralización de ácidos en el fermento, elevando a su vez el pH. En cuanto a la Conductividad Eléctrica, se registraron valores mayores en BNC que en BT. Ello se debe a que hubo una mayor concentración de cationes divalentes Ca^{2+} en BNC que en BT. La similitud de la conductividad eléctrica entre BNCQ y BNC se debió a la contribución iónica adicional en BNCQ por la adición de bentonita

durante el tratamiento del nejayote por coagulación química (Loloei *et al.*, 2014). La cantidad de Nitrógeno Total en BNCQ fue mayor que en BNC y BT. Se sugiere que el mayor contenido de calcio en BNC pudo ser la causa de un menor contenido de nitrógeno con respecto a los otros dos bioles ya que, si bien, el calcio incrementa la solubilidad y disponibilidad del nitrógeno (Gliński *et al.*, 2011), también puede promover su gasificación en forma de amoníaco (Gu *et al.*, 2007; McLaurin y Wade, 2015). En lo que se refiere a la cantidad de Magnesio en BNC fue mayor que en BT y BNCQ. De acuerdo con Gliński *et al.* (2011), el incremento de pH vuelve más disponible al N, P, S, Mo, K, Mg y Ca y menos disponible al B, Mn, Cu y Zn en la solución acuosa del suelo, respuesta similar a la observada en los bioles. En relación a ello, Aghofack-Nguemezi y Tatchago (2010) mencionaron que los fertilizantes líquidos adicionados con Ca^{2+} , provocaron un aumento del contenido de Mg^{2+} en los frutos de jitomate. Esto disminuyó la incidencia y severidad de enfermedades fúngicas e incrementó las respuestas positivas en salud, crecimiento y rendimiento fitosanitario. Con base en lo anterior, se sugiere que, a mayor concentración de Ca en el biol, mayor será el contenido de Mg disponible.

8.5 Efecto del nejayote en el desarrollo de maíz

Para conocer el efecto del nejayote aplicado vía foliar o al suelo, se evaluaron las variables respuesta altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm), número de hojas y rendimiento de grano (t/ha) mediante un análisis estadístico de los valores obtenidos con la Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Las cinco mediciones de las tres primeras variables respuesta fueron tomadas en las etapas de crecimiento i) V5, ii) V8, iii) V9, iv) de VT a R0 y v) de R1 a R2 definidas por Lafitte (1994) y descritas en la Tabla 2. Se hallaron diferencias estadísticamente significativas durante la etapa V8 en las variables diámetro de tallo y número de hojas, mientras que, en el resto de las mediciones, las variables altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas fueron homogéneas. Cabe destacar que sólo se aplicaron los tratamientos foliares y edáficos de estudio, sin el empleo de abonos orgánicos distintos ni de insumos sintéticos.

8.5.1 Altura de planta

La comparación entre las medias de altura de las plantas de maíz azul criollo, a las que se les aplicaron los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 11. Ya que la altura de las plantas de maíz depende del genotipo y de las condiciones ambientales (Luchsinger y Camilo, 2008), es un indicador de respuesta, tanto a la diferenciación de genotipos para su clasificación, como a los insumos aplicados para evaluar el crecimiento vegetal (Ghaffari *et al.*, 2011). Para fines de este estudio y con base tanto en las características morfológicas

como en distribución geográfica, se identificó dentro del Grupo 1a Cónico (Sánchez *et al.*, 2000) a la variedad del maíz azul criollo utilizado en esta investigación, posibilitando la comparación de los datos obtenidos sobre el crecimiento y rendimiento del maíz con los de otras investigaciones.

En su clasificación, Sánchez *et al.* (2000), identificaron para el grupo 1a Cónico una altura mínima y máxima de 142.7 (cm) y 294.3 (cm) respectivamente, lo que concuerda con las medias de las alturas obtenidas en la quinta medición de este estudio en las etapas R1-R2 (Tabla 11), donde se observa una variación entre 174.47 cm (NCQ30) y 197.67 cm (NC75) sin diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0.05$). La altura de planta se incrementó en un 120.81% de V5 a V8, en un 84.36% de V8 a V9-VT, en un 58.13% de V9-VT a VT-R0 y en un 10.72% de VT-R0 a R0-R1 en promedio. En cuanto a las condiciones ambientales, el efecto de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0.05$) en alguna de las etapas de crecimiento evaluadas para la variable altura de planta. En comparación con los resultados del control (AP), se interpreta que las dosis, frecuencia y tipos de tratamientos evaluados no generaron cambios favorables ni desfavorables para la variable altura de planta, durante el primer ciclo de cultivo en el que se aplicó.

Tabla 11. Efecto de los tratamientos en la altura de plantas de maíz azul criollo.

Tratamientos	Altura planta (cm)				
	V5 03/06/15	V8 24/06/15	V9-VT 15/07/15	VT-R0 05/08/15	R1-R2 26/08/15
AP	25.12 ± 2.28 a ¹	61.68 ± 4.70 a	105.66 ± 9.00 a	162.62 ± 6.50 a	176.00 ± 8.96 a
BT5	27.20 ± 3.97 a	59.31 ± 8.45 a	114.95 ± 11.9 a	169.20 ± 11.4 a	189.93 ± 8.66 a
NCQ30	25.91 ± 2.10 a	60.38 ± 3.16 a	102.58 ± 8.22 a	158.14 ± 9.19 a	174.47 ± 10.3 a
BNCQ5	26.15 ± 2.68 a	56.90 ± 5.08 a	107.77 ± 12.8 a	165.50 ± 17.6 a	185.50 ± 14.1 a
BNC5	27.47 ± 2.11 a	57.87 ± 4.20 a	112.03 ± 11.1 a	160.57 ± 11.5 a	179.27 ± 10.9 a
BNC15	26.42 ± 1.64 a	60.40 ± 5.32 a	112.00 ± 10.0 a	168.12 ± 15.1 a	178.50 ± 11.8 a
BNC30	26.37 ± 2.49 a	60.85 ± 4.70 a	108.05 ± 5.76 a	172.17 ± 5.11 a	190.27 ± 8.07 a
NC50	23.98 ± 0.68 a	48.17 ± 2.60 a	89.95 ± 6.586 a	155.88 ± 8.79 a	176.11 ± 11.3 a
NC75	24.13 ± 2.55 a	54.95 ± 5.00 a	103.93 ± 11.4 a	182.23 ± 9.41 a	197.67 ± 10.6 a
NC100	24.13 ± 2.27 a	46.70 ± 3.91 a	88.78 ± 7.330 a	159.13 ± 11.7 a	183.17 ± 11.9 a

¹Medias identificadas con la misma letra en el sentido de las columnas significan que no existe diferencia estadísticamente significativa. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). V5: cuello visible de la quinta hoja; V8: cuello visible de la octava hoja; V9-VT: cuello visible de la novena hoja-última rama de la panícula completamente visible; VT-R0: última rama de la panícula completamente visible-floración masculina; R1-R2: estigmas visibles en el 50% de las plantas-etapa de ampolla.

8.5.2 Diámetro del tallo

La comparación entre las medias de diámetro de tallo de las plantas de maíz azul criollo, a las que se les aplicaron los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 12. En la segunda medición (etapa V8), los tratamientos AP, BT5 y Nejayote tratado por coagulación química al 30(NCQ30) fueron los únicos que generaron una diferencia estadísticamente significativa en el diámetro de tallo respecto a los demás tratamientos con 17.9, 18.8 y 18.3 mm respectivamente, mientras que con el tratamiento NC100 se obtuvo una media de 11.4 mm, la cual mostró una diferencia estadísticamente significativa en comparación con el resto de los tratamientos. La concentración de calcio en los tratamientos que contuvieron nejayote, pudo aminorar temporalmente el crecimiento del diámetro de tallo en la etapa V8, al incrementar el pH de la solución del suelo y reducir la disponibilidad de otros nutrientes (Malvi, 2011). Sin embargo, en el resto de las etapas, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el efecto de los tratamientos. El diámetro de tallo se incrementó en un 83.41% de V5 a V8, en un 39.51 % de V8 a V9-VT y en un 7.43% de VT-R0 a R0-R1, pero se redujo en un 12.78% de V9-VT a VT-R0 en promedio.

Tabla 12. Efecto de los tratamientos en el diámetro de tallo de plantas de maíz azul criollo.

Tratamientos	Diámetro tallo (mm)				
	V5 03/06/15	V8 24/06/15	V9-VT 15/07/15	VT-R0 05/08/15	R1-R2 26/08/15
AP	8.4 ± 0.8 a ¹	17.9 ± 0.80 b	22.3 ± 1.36 a	18.8 ± 1.46 a	21.3 ± 0.88 a
BT5	9.1 ± 0.8 a	18.8 ± 0.73 b	22.6 ± 2.01 a	19.1 ± 1.68 a	20.1 ± 0.76 a
NCQ30	8.5 ± 0.7 a	18.3 ± 0.67 b	20.9 ± 1.74 a	20.0 ± 1.52 a	21.0 ± 0.73 a
BNCQ5	8.9 ± 0.9 a	14.3 ± 1.60 ab	22.3 ± 1.26 a	18.5 ± 1.22 a	20.2 ± 0.60 a
BNC5	8.6 ± 0.7 a	14.8 ± 1.32 ab	21.4 ± 1.87 a	18.5 ± 1.60 a	21.1 ± 1.34 a
BNC15	8.8 ± 0.8 a	14.4 ± 1.57 ab	21.9 ± 0.68 a	18.8 ± 1.03 a	20.9 ± 0.80 a
BNC30	8.7 ± 0.7 a	14.9 ± 1.85 ab	21.1 ± 1.38 a	18.8 ± 1.49 a	18.9 ± 1.35 a
NC50	7.6 ± 0.3 a	14.8 ± 0.36 ab	20.9 ± 1.18 a	18.5 ± 1.19 a	18.5 ± 0.98 a
NC75	8.1 ± 0.6 a	16.5 ± 1.72 ab	23.5 ± 2.30 a	20.7 ± 1.01 a	21.3 ± 0.84 a
NC100	8.3 ± 0.8 a	11.4 ± 0.65 a	20.6 ± 1.67 a	18.0 ± 2.03 a	20.5 ± 0.85 a

¹Medias identificadas con la misma letra en el sentido de las columnas significan que no existe diferencia estadísticamente significativa. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). V5: cuello visible de la quinta hoja; V8: cuello visible de la octava hoja; V9-VT: cuello visible de la novena hoja-última rama de la panícula completamente visible; VT-R0: última rama de la panícula completamente visible-floración masculina; R1-R2: estigmas visibles en el 50% de las plantas-etapa de ampolla.

De acuerdo con Boomsma *et al.* (2009), independientemente de la densidad de plantas de maíz y de la cantidad de N que aplicaron de manera localizada, el diámetro de tallo de sus plantas se redujo pronunciadamente entre el periodo vegetativo tardío y el preámbulo de

la floración femenina. Como en el presente trabajo, tal efecto pudo deberse al fenómeno de tigmomorfogénesis, respuesta a la estimulación mecánica (Paul-Victor y Rowe, 2011; Goodman y Ennos, 1998), y a las características genéticas de la variedad 1a Cónica de *Z. mays*. Fuera de este estudio, no se encontraron datos previos del diámetro de tallo de maíz correspondientes al grupo 1a Cónico; no obstante, su morfología convendría ser ampliamente estudiada, ya que sus múltiples variedades son la base de la producción en zonas agrícolas del centro del país, donde se usa como alimento para consumo humano (Arellano *et al.*, 2003). Conocer el diámetro de tallo posibilita determinar la resistencia al acame (García *et al.*, 2001) y predecir, mediante modelación matemática, el rendimiento de grano utilizando otros factores morfológicos y ambientales (Mourtzinisa *et al.*, 2013).

8.5.3 Número de hojas

La comparación entre las medias de número de hojas de las plantas de maíz azul criollo, a las que se les aplicaron los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 13. En la segunda medición (etapa V8), con los tratamientos AP, BT5, NCQ30, BNC5, BNC15 y BNC30 se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa en el número de hojas con 7.97, 8.58, 7.73, 7.88, 7.77 y 7.87, respectivamente; mientras que con el tratamiento NC100 se obtuvo una media de 6.13 mostrando una diferencia estadísticamente significativa en comparación con el resto de los tratamientos (Tukey $P \leq 0.05$). No obstante, en el resto de las etapas, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el efecto de los tratamientos. El número de hojas se incrementó en un 45.68% de V5 a V8 y en un 25.50% de V8 a V9-VT, pero se redujo en un 0.72% de V9-VT a VT-R0 y en un 19.73% de VT-R0 a R0-R1 en promedio.

En su clasificación, Sánchez *et al.* (2000) identificaron para el grupo 1a Cónico un número de hojas por planta mínima y máxima de 12.2 y 19.7 respectivamente, no concordando con las medias de número de hojas obtenidas en la quinta medición de este estudio en las etapas R1-R2 (Tabla 13), donde se observa una variación, no significativa estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$), entre 7.27 hojas (NCQ30) y 7.87 hojas (AP). La discordancia se debe a que, en el presente estudio, únicamente se contabilizaron las hojas verdes, sin contemplar las hojas que cayeron por la expansión del tallo y el envejecimiento durante las diferentes etapas de crecimiento (O'Keeffe, 2009).

Aunque se interpreta que las dosis, frecuencia y tipos de tratamientos evaluados no generaron cambios favorables en comparación con los resultados de los controles AP y BT para la variable número de hojas, tampoco generaron cambios desfavorables, por lo que otras condiciones de aplicación de los tratamientos podrían incrementar la síntesis y translocación de fotoasimilados, optimizar la absorción y/o translocación de minerales a

través del xilema, mejorar el crecimiento vegetativo y el rendimiento, así como estimular la síntesis de compuestos nutrimentales y funcionales (Silva-Messias *et al.*, 2013).

Tabla 13. Efecto de los tratamientos en el número de hojas de plantas de maíz azul criollo.

Tratamientos	Número hojas				
	V5 03/06/15	V8 24/06/15	V9-VT 15/07/15	VT-R0 05/08/15	R1-R2 26/08/15
AP	5.27 ± 0.28 a ¹	7.97 ± 0.27 b	9.70 ± 0.45 a	9.53 ± 0.18 a	7.87 ± 0.23 a
BT5	5.27 ± 0.15 a	8.58 ± 0.31 b	9.90 ± 0.60 a	9.53 ± 0.34 a	7.50 ± 0.28 a
NCQ30	5.13 ± 0.28 a	7.73 ± 0.17 b	9.36 ± 0.29 a	9.13 ± 0.12 a	7.27 ± 0.11 a
BNCQ5	5.30 ± 0.23 a	7.46 ± 0.27 ab	9.30 ± 0.72 a	9.30 ± 0.25 a	7.63 ± 0.08 a
BNC5	5.43 ± 0.23 a	7.88 ± 0.28 b	9.73 ± 0.38 a	9.03 ± 0.31 a	7.53 ± 0.26 a
BNC15	5.20 ± 0.22 a	7.77 ± 0.42 b	9.37 ± 0.32 a	9.43 ± 0.29 a	7.30 ± 0.14 a
BNC30	4.77 ± 0.19 a	7.87 ± 0.45 b	9.47 ± 0.31 a	9.57 ± 0.21 a	7.73 ± 0.11 a
NC50	5.14 ± 0.21 a	7.10 ± 0.12 ab	9.27 ± 0.22 a	9.60 ± 0.22 a	7.47 ± 0.15 a
NC75	5.07 ± 0.29 a	7.13 ± 0.47 ab	9.53 ± 0.67 a	9.60 ± 0.12 a	7.73 ± 0.22 a
NC100	5.33 ± 0.27 a	6.13 ± 0.22 a	9.27 ± 0.38 a	9.50 ± 0.44 a	7.60 ± 0.36 a

¹Medias identificadas con la misma letra en el sentido de las columnas significan que no existe diferencia estadísticamente significativa. Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). V5: cuello visible de la quinta hoja; V8: cuello visible de la octava hoja; V9-VT: cuello visible de la novena hoja-última rama de la panícula completamente visible; VT-R0: última rama de la panícula completamente visible-floración masculina; R1-R2: estigmas visibles en el 50% de las plantas-etapa de ampolla.

8.5.4 Peso de granos de las mazorcas

El rendimiento de grano se determinó cuando la semilla tenía un porcentaje de humedad del 12.5%. La comparación entre las medias de peso de grano de las plantas de maíz azul criollo, a las que se les aplicaron los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 14.

El peso de grano obtenido con el tratamiento Biol de nejayote crudo al 5% (BNC5), cuyo valor fue de 447 gramos, mostró una diferencia estadísticamente significativa en comparación con el tratamiento Biol de nejayote crudo al 15% (BNC15) con el cual se obtuvo un peso de 162 gramos (Tukey P ≤ 0.05). Los tratamientos AP, BT5, NCQ30, BNCQ5, BNC30, NC50, NC75, NC100 no mostraron diferencias estadísticamente significativas en comparación con los tratamientos BNC15 y BNC5 (Tukey P ≤ 0.05), interpretando que sus dosis y frecuencia de aplicación, no generaron cambios favorables ni desfavorables en el rendimiento de grano. Los valores de rendimiento oscilaron entre 0.231 t/ha (BNC15) y 0.639 t/ha (BNC5), lo cual se sitúa por debajo del rango reportado por Arellano *et al.* (2003) de 2.7 t/ha hasta 10.5 t/ha; sin embargo, estos últimos, a diferencia de los rendimientos obtenidos en este estudio, se consiguieron en otros sitios de estudio, con diferentes

variedades de maíz azul y mediante un manejo agronómico convencional, para el que se emplearon fertilizantes inorgánicos NPK y herbicida pre-emergente Gesaprim C90.

Salinas *et al.* (2010) mencionaron que los rendimientos por hectárea reportados de maíz azul han sido divergentes, pudiendo depender de la variedad genética cultivada (Wang *et al.*, 2011), las condiciones ambientales (Liu *et al.*, 2010) y el manejo agronómico del cultivo (Duvick, 1997). En este estudio, los factores determinantes del bajo rendimiento de maíz obtenido, podrían deberse a la necesidad de mayores concentraciones de NPK administradas a través de los tratamientos, así como al periodo de canícula, ya que del 15 de julio al 15 de agosto del año 2015 (etapas V9-R1), las sequías se categorizaron como “anormalmente secas” en el estado de Puebla por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2015), lo cual afecta en general al desarrollo vegetativo y reproductivo (NeSmith y Ritchie, 1992; Saini y Westgate, 2000; Arellano *et al.*, 2003; Avendaño *et al.*, 2008).

Ya que el fin principal de este estudio fue evaluar el efecto de nejayote como recurso agrícola bajo condiciones de temporal, sólo se aplicaron los tratamientos edáficos y foliares como se indica en la metodología; sin embargo, con el fin de incrementar el rendimiento de grano será factible aumentar la disponibilidad de macro y micro nutrimentos en combinación con otros abonos, así como incrementar la humedad aprovechable.

Tabla 14. Efecto de los tratamientos en el peso y rendimiento de grano.

Tratamientos	Peso (g)	Rendimiento (t/ha)
AP	329 ± 74.8 ab ¹	0.470 ± 0.1070 ab
BT5	411 ± 49.1 ab	0.587 ± 0.0702 ab
NCQ30	214 ± 8.32 ab	0.305 ± 0.0119 ab
BNCQ5	301 ± 49.2 ab	0.430 ± 0.0703 ab
BNC5	447 ± 84.8 b	0.639 ± 0.1210 b
BNC15	162 ± 29.9 a	0.231 ± 0.0428 a
BNC30	252 ± 45.2 ab	0.361 ± 0.0648 ab
NC50	343 ± 29.6 ab	0.491 ± 0.0422 ab
NC75	276 ± 67.1 ab	0.395 ± 0.0959 ab
NC100	371 ± 36.9 ab	0.530 ± 0.0527 ab

¹Medias identificadas con la misma letra en el sentido de las columnas significan que no existe diferencia estadísticamente significativa. Prueba de Tukey (P ≤ 0.05).

8.5.5 Análisis fisicoquímico del suelo

En la Tabla 15 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico del suelo antes y después de la aplicación de los tratamientos AP, NC50, NC75 y NC100.

Tabla 15. Caracterización fisicoquímica del suelo agrícola. Parcela de Amozoc de Mota, Puebla.

Propiedad fisicoquímica	Valores obtenidos				
	Antes de la aplicación	Después de la aplicación			
		AP	NC50	NC75	NC100
pH	7.45	6.20	6.09	5.85	6.26
Arena (%)	68	77	69	67	71
Arcilla (%)	16	14	20	18	10
Limo (%)	16	9	11	15	19
Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso
Materia Orgánica (%)	0.90	1.47	1.59	1.71	1.83
Densidad Real (g/cm ³)	3.33	0.83	0.56	0.56	0.56
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.26	0.42	0.38	0.42	0.42
Capacidad de Campo (%)	18.91	12.54	18.74	15.19	11.76
Punto de Marchitez Permanente (%)	10.28	6.28	10.18	7.95	5.80
Humedad Aprovechable (%)	8.62	6.26	8.56	7.24	5.97
Lámina de Riego (cm)	4.80	4.83	5.71	4.17	3.98
Porosidad (%)	62.16	49.40	32.14	25.00	25.00
Conductividad Eléctrica (dS/m)	1.42	0.71	0.84	0.45	0.04
Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol/kg)	1.40	1.40	1.20	1.40	2.00
Nitrógeno Total (%)	0.024	0.007	0.007	0.430	1.269
Fósforo (%)	0.002	ND	ND	ND	ND
Potasio (%)	0.004	ND	ND	ND	ND
Calcio (%)	0.028	0.020	0.044	0.047	0.052
Hierro (%)	0.0043	0.0019	0.0027	0.0030	0.0029
Manganeso (%)	0.0001	0.0001	0.0003	0.0003	0.0003
Bicarbonatos (%)	0.0491	0.0184	0.0061	ND	0.0061
Cloruros (%)	ND	0.0048	0.0064	0.0096	0.0032
Sulfatos (%)	0.0257	ND	ND	ND	ND

ND: No Detectado.

La textura del suelo donde se instaló el cultivo de maíz azul fue franco arenosa. Este tipo de suelo se erosiona fácilmente con el viento (Ademosun, 1990), carece de cohesión (Hossne *et al.*, 2011), contiene pocas bases intercambiables (Mg, K, Ca), baja retención de

nutrimentos (Zhao *et al.*, 2005), alta permeabilidad, baja capacidad de retención de agua y bajo calor específico (Wambeke van, 1992). No obstante, son suelos fáciles de cultivar (Mojid *et al.*, 2009).

El nejayote crudo (caracterizado en la Tabla 9) contiene un alto porcentaje de materia orgánica (61.48%) y calcio (0.941%), debido a ello, la fertilización edáfica con los tratamientos NC50, NC75 y NC100, duplicó el porcentaje de iones calcio y materia orgánica en el suelo. El mayor porcentaje de materia orgánica y calcio se registró en el tratamiento NC100 (nejayote crudo al 100%). Cuando el contenido de calcio aumenta en el suelo, en general, el crecimiento microbiano se estimula, lo que afecta positivamente tanto la disponibilidad de nutrimentos como a la fijación de nitrógeno (Gliński *et al.*, 2011). De acuerdo a estudios previos (FAO, 2005; Smith *et al.*, 2015), la adición de materia orgánica al suelo aumenta el volumen total de poros, promueve la agregación, disminuye la densidad aparente y eleva la capacidad de retención de agua, por ello su efecto se debe observar en las propiedades fisicoquímicas evaluadas en este estudio.

Marsden (1989) enuncia que el calcio incrementa la tasa de descomposición de materia orgánica en sedimentos, especialmente de material celulósico, como el del nejayote, a la vez que reduce el riesgo de propagación de enfermedades, neutraliza los ácidos producidos en la descomposición anaerobia de la materia orgánica y, al disolver las sales de carbonato, permite la movilización de sus contraiones (calcio, magnesio y fosfatos asociados). Este efecto favorece la liberación de nutrimentos incrementando su disponibilidad para el cultivo.

La densidad real obtenida en la muestra compuesta del suelo antes de la aplicación de los tratamientos AP, NC50, NC75 y NC100, fue mayor que las obtenidas después de las cinco aplicaciones en las parcelas experimentales. Esta diferencia se atribuye al incremento del contenido edáfico de materia orgánica después de aplicar los tratamientos de nejayote, ya que la densidad real de la materia orgánica es mucho menor que la de las partículas minerales del suelo (Boyd, 1995). La misma tendencia se observa con la densidad aparente, debido a que fue mayor antes de la aplicación de los tratamientos que después. Ello corrobora lo mencionado por Hossain *et al.* (2015), que a mayor contenido de materia orgánica menor es la densidad aparente. La materia orgánica al proveer de macroporos y canales, contribuye a la descompactación del suelo (Brady y Weil, 2000). En relación a ello, la lámina de riego, al depender de la densidad aparente (Castaño *et al.*, 2012), aumentó con el tratamiento NC50, pero se redujo con los tratamientos NC75 y NC100, lo cual perfila a estos últimos tratamientos con potencial para reducir el consumo de agua.

Otras de las propiedades dependientes del contenido de materia orgánica en el suelo, son la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la humedad aprovechable, las

cuales de acuerdo con Topp *et al.* (1997), mantienen rangos definidos por cada tipo de suelo; en suelos francos, la capacidad de campo se encuentra en el orden de 10-25% y, tanto el punto de marchitez permanente como la humedad aprovechable, entre el 5 y 15%, los cuales son rangos congruentes con los obtenidos en este estudio. No obstante, de acuerdo con la misma referencia (Topp *et al.*, 1997), la reducción de sus valores, de antes a después de la aplicación de los tratamientos, pudo depender, además del incremento de la materia orgánica, de los cambios en las condiciones de porosidad, estructura del suelo y las propiedades químicas del suelo (concentración de sales solubles, nutrimentos y elementos traza).

En cuanto al porcentaje de porosidad, se redujo su valor conforme se incrementó la concentración de nejayote aplicado al suelo. Ya que la porosidad depende directamente de las densidades aparente y relativa, es modificable conforme el manejo dado al suelo de cultivo, con lo que resulta ser, probablemente, la propiedad del suelo más variable (Badalíková, 2010). Walker y Skogerboe (1987) determinaron que, al adicionar materia orgánica en texturas arenosas, se aumenta el tamaño de poro, pero se reduce la porosidad y, por efecto, el porcentaje de agua disponible; no obstante, cabe destacar que el agua retenida en los poros de la materia orgánica es liberada paulatinamente. Por su parte, se ha encontrado que la adición edáfica de calcio, componente característico del nejayote, incrementa el espacio poroso (Dunne, 2009), por lo que la continua conjunción de la materia orgánica y del calcio podría mantener controlado el porcentaje de porosidad en el suelo.

La disponibilidad de nutrimentos y actividad biológica dependen del pH, el cual es un factor fundamental para el desarrollo vegetal. En este estudio su valor se redujo de antes a después de la aplicación de los tratamientos (NC50, NC75 y NC100). Esta reducción es similar al de las parcelas control AP. Con ello, se puede entender que la disminución del pH no dependió en su totalidad de los tratamientos con nejayote, dada la capacidad buffer del suelo. La disminución de este factor, después de la aplicación de los tratamientos, se encontró entre 5.85 y 6.26, rango que el maíz requiere, por lo general, para crecer adecuadamente (Lafitte, 1994), ello pudo deberse al carácter ligeramente ácido de los biofertilizantes.

El incremento de la conductividad eléctrica edáfica afecta negativamente a la porosidad total del suelo, la densidad aparente y la estabilidad estructural (Tejada y González, 2005), no debiendo sobrepasar los 1.7 dS/m para evitar la disminución del crecimiento de maíz (Cramer, 1994). La evaluación de la conductividad eléctrica de antes a después de la aplicación de los tratamientos, mostró una reducción considerable en NC50, NC75 y NC100, con valores por debajo del umbral indicado por Cramer (1994). De acuerdo con Wang *et al.*

(2014), el calcio y la materia orgánica son eficaces para aminorar la salinidad del suelo, por lo que los tratamientos edáficos resultaron causar un efecto positivo en la conductividad eléctrica. No obstante, también se observó una disminución de la conductividad eléctrica en el control AP del 50%, de lo que se deduce una contribución del efecto en todos los tratamientos a factores externos.

La Capacidad de Intercambio Catiónico se incrementó sólo en las parcelas donde se aplicó NC100. De acuerdo con Wang *et al.* (2014), el aumento de esta propiedad se debe a la oxidación continua de las enmiendas orgánicas añadidas en el suelo. Por consecuencia, se ven mejorados la estructura, disponibilidad de nutrimentos, niveles de calcio y la capacidad buffer contra cambios de pH. En cuanto a los macroelementos N, P y K, se observó un aumento en el porcentaje de Nitrógeno Total, mientras que después de la aplicación de los tratamientos, no fue posible cuantificar P o K, incluso en el control, ya que los niveles existentes antes de la aplicación fueron consumidos por el cultivo. Un mayor porcentaje de N (0.08%) que P (0.015%) y K (0.001%) en la materia orgánica del nejayote (Tabla 9), fueron los causantes primordiales de este efecto.

Si bien, es probable que la adición de nejayote al suelo, en ciclos de cultivo continuos, pudiera reducir la disponibilidad de cationes distintos al calcio, no se observó dicho efecto bajo las condiciones aplicadas. La cantidad de calcio de antes a después de la aplicación de los tratamientos disminuyó en el control AP y aumentó en los tratamientos NC50, NC75 y NC100. Incrementar el contenido de calcio en el suelo, por lo general, estimula el crecimiento microbiano y tiene influencia positiva tanto en la disponibilidad de nutrimentos como en la fijación de nitrógeno (Gliński *et al.*, 2011).

El porcentaje de manganeso en el suelo prácticamente se triplicó de antes a después de la aplicación de los tratamientos y disminuyó en el control AP. El cobre no se encontró en un estado disponible antes de la aplicación de los tratamientos, no obstante, después de su aplicación, se observó un aumento tanto en el control AP como en los suelos tratados con nejayote, siendo mayor en NC75. El Zn no pudo ser detectado ni antes ni después de la aplicación de los tratamientos. En el caso del Fe, por el contrario, su concentración disminuyó de antes a después de la aplicación de los tratamientos; sin embargo, se observó un ligero efecto de amortiguamiento por los tratamientos con nejayote, en comparación con el control AP, donde disminuyó poco más del 50%.

Los HCO_3^- en el suelo de antes a después de la aplicación de los tratamientos se redujeron en AP, NC50, NC100 y totalmente en NC75, ya que no pudieron detectarse. Los bicarbonatos suelen incrementar el pH del suelo. Con los cloruros (Cl^-) sucedió lo contrario, de no encontrarse en disolución, pasaron a un gran incremento con el tratamiento NC75, mostrándose un amortiguamiento con los demás tratamientos, principalmente con NC100.

Los iones Mg^{2+} , Na^{+} y CO_3^{2+} no fueron detectados ni antes ni después de la aplicación de los tratamientos, por lo que podría deducirse que los aportes provenientes del nejayote fueron mínimos o totalmente consumidos por el cultivo. El mismo caso del P y K sucedió con el ión SO_4^{2+} , ya que sólo se cuantificaron 257.46 ppm en el suelo antes de la aplicación de los tratamientos, no detectándose posteriormente.

IX. Conclusiones

Se encontró que el nejayote crudo tiene valor agrícola, dado su alto contenido en materia orgánica y presencia de nutrimentos inorgánicos. El proceso de coagulación química, usando la bentonita alcalina Südflock® P-63 como coagulante y la poliacrilamida Sumex Biofloc® A-01 como floculante a un pH de 9, contribuyó a disminuir el contenido en compuestos orgánicos e inorgánicos del nejayote ya tratado con respecto al nejayote crudo. De esta manera se establecieron dos tipos de nejayote: “nejayote crudo” y “nejayote tratado”, con diferentes propiedades fisicoquímicas. El biol con nejayote crudo (BNC) presentó un mayor contenido de calcio que el biol tradicional (BT) y que el biol con nejayote tratado por coagulación química (BNCQ), lo cual incrementa la disponibilidad de este mineral para la planta.

La adición de nejayote al suelo incrementó el contenido de materia orgánica y elevó la disponibilidad de nitrógeno y calcio. Los efectos significativos de la aplicación foliar y edáfica del nejayote crudo y tratado aplicados al cultivo de maíz azul criollo, ocurrieron en la etapa temprana del desarrollo de la planta y se reflejaron, principalmente, en el diámetro del tallo de la planta bajo el tratamiento Nejayote tratado por coagulación química al 30% (NCQ30), así como en el número de hojas bajo el tratamiento Biol de nejayote crudo al 5% (BNC5). En la etapa final del desarrollo del cultivo, se obtuvo el mayor rendimiento con el tratamiento Biol de nejayote crudo al 5% (BNC5) de aplicación foliar, lo que dio como resultado una diferencia estadísticamente significativa en relación con el resto de los tratamientos foliares y edáficos. Este hallazgo indica que el aprovechamiento de nutrimentos absorbidos de manera foliar fue más eficiente que el aprovechamiento de nutrimentos absorbidos a través del suelo.

El porcentaje de dilución del nejayote crudo o tratado aplicado de forma foliar o edáfica, constituye un factor determinante al aplicarse en los cultivos de maíz azul. De los diferentes tratamientos aplicados, sólo los de bajas concentraciones de biol con nejayote crudo (5%) y de nejayote tratado por coagulación química (30%) dieron una respuesta favorable. Así, tanto el nejayote crudo como el nejayote tratado por coagulación química pueden usarse como insumos agrícolas en el cultivo del maíz.

X. Bibliografía citada

- Abdelaal, A. M. 2004. Using a natural coagulant for treating wastewater. Eighth International Water Technology Conference. IWTC8 2004. 26 al 28 de marzo. Mansoura University. Alexandria, Egipto. 781-792.
- ACC. 2004. Proyecto: Descarga de agua tratada en el río Mezcalapa. Manifiesto de Impacto Ambiental, Modalidad Particular. México. 85 páginas.
- Ademosun, O. C. 1990. The design and operation of a soil tillage dynamics equipment. *The Nigerian Engineer*, 25, 51-57.
- Aghofack-Nguemezi, J. and Tatchago, V. 2010. Effects of Fertilizers Containing Calcium and/or Magnesium on the Growth, Development of Plants and the Quality of Tomato Fruits in the Western Highlands of Cameroon. *International Journal of Agricultural Research*, 5, 821-831.
- Aguilar, M. I.; Sáez, J.; Lloréns, M.; Soler, A.; Ortuño, J. F.; Meseguer, V. and Fuentes, A. 2005. Improvement of coagulation–flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. *Chemosphere*, 58, 47–56.
- Alcántar, G.; Trejo-Téllez, L. I.; Fernández, L. y Rodríguez, M. N. 2013. Capítulo 2: Elementos esenciales. En: Alcántar, G. y Trejo-Téllez, L. I. (eds). *Nutrición de cultivos*. Colegio de Postgraduados. 1° edición. Estado de México, México. 8-47.
- Altieri, M. A. 1999. *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan–Comunidad. Montevideo, Uruguay. 338 páginas.
- Altieri, M. A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93, 1–24.
- Altieri, M. A. 2009. Agroecology, small farms and food sovereignty. *Monthly Review*, 61, 102–111.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. Una contribución a las discusiones de Rio+20 sobre temas en la interface del hambre, la agricultura, y la justicia ambiental y social. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). [Fecha de consulta: 5 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://rio20.net/wp-content/uploads/2012/06/final2.pdf>
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8, 7-20.
- Altieri, M. A. and Toledo, V. M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies*, 38, 587–612.
- Antonio, M.; Arellano, J. L.; García, G.; Miranda, S.; Mejía, J. A. y González, F. V. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27, 9-15.
- Aparcana, S. y Jansen, A., 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso de fermentación anaeróbica para producción de biogás. German Profec. [Fecha de consulta: 10 de

- diciembre de 2015]. Disponible en: http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf
- APE. 2011. Resumen de manifestación de impacto ambiental modalidad particular de MINSA. Maíz Industrializado del Norte S.A. de C.V. Planta los Mochis. Sinaloa, México. 89 páginas.
- Arellano, J. L.; Tut, C.; Ramírez, A. M.; Salinas, Y. y Taboada, O. R. 2003. Maíz Azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de Grano y Caracteres Agronómicos Revista Fitotecnia Mexicana, 26, 101–107.
- Arshad, M. A. and Coen, G. M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American Journal of Alternative Agriculture, 7, 25-31.
- Asaff, A.; Reyes, Y.; Martínez, A.; Pérez, N.; Aceves, A. y Alejo, L. 2011. Desarrollo de la Cadena de Valor de los Efluentes de la Industria del Nixtamal. XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. 19 al 20 de junio. Querétaro, México.
- Asano, T. (ed.). 2000. Wastewater reclamation and reuse. Water Quality Management Library. Volumen 10. CRC Press LLC. Estados Unidos de América. 1528 páginas.
- Avendaño, C. H.; Molina, J. D.; Trejo, C.; López, C. y Cadena, J. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. Agronomía Mesoamericana, 19, 27-37.
- Awad, M.; Li, F. and Hongtao, W. 2013. Application of natural clays and poly aluminium chloride (PAC) for wastewater treatment. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, 15, 287-291.
- Badalíková, B. 2010. Capítulo 2: Influence of Soil Tillage on Soil Compaction. En: Athanasios, D. y Bartzanas, T. (eds.). Soil Engineering, Soil Biology Series. Springer-Verlag. Berlin. 101-120.
- Bautista, A.; Etchevers, J.; Castillo del, R. E. y Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas, 13, 90-97.
- Bolto, B. and Gregory, J. 2007. Organic polyelectrolytes in water treatment. Water Research, 41, 2301–2324.
- Bonilla, N. (comp.); Vargas, A; Acuña, A.; León, R.; Vargas, A.; Guzmán, P.; Rodríguez, C. y Carrillo, O. 2009. Manual De Recomendaciones Técnicas Cultivo de maíz (*Zea mays*). Manual de recomendaciones de cultivo de maíz. Instituto de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica. 72 páginas.
- Boomsma, R. C.; Santini, B. J.; Tollenaar, M. and Vyn, J. T. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. Agronomy Journal, 101, 1426-1452.
- Boyd, C. E. 1995. Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture. Department of fisheries and allied aquacultures at Auburn University, Alabama. Springer Science & Business Media. Estados Unidos de América. 348 páginas.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 2000. Elements of the nature and properties of soil. Prentice Hall, Inc. 12° edición. Estados Unidos de América. 559 páginas.

- Bratby, J. 2008. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. IWA Publishing. Estados Unidos de América. 407 páginas.
- Bravo, F. y García, M. 2015. Cultivo de Maíz. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2015]. Disponible en: <http://documents.mx/documents/cultivo-de-maiz-559936cd02a08.html>
- Cantú, M. A.; Reyes, C. A. y Rodríguez, L. A. 2010. La fecha de siembra: una alternativa para incrementar la producción de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tamaulipas. México. Folleto Técnico N° 44, 40 páginas.
- Carhuancho, F. M. 2012. Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria la Molina Facultad de Ciencias. Perú. 148 páginas.
- Castaño, A. M.; Aristizábal, A. M. and González, H. 2012. Hydric Requirements of Plantain Dominico-Harton (*Musa* AAB Simmonds) in the Santagueda Region (Palestina, Caldas). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 15, 331–338.
- Chaboussou, F. 1987. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos (A teoria da trofobiose) (Plantas enfermas por el uso de agrotóxicos: la teoría de la trofobiosis). L&PM Editores. Porto Alegre, Brasil. 323 páginas.
- Chang, K. C. S.; McGinn, J. M.; Weinhert, E.; Miller, S. A.; Ikeda, D. M. and DuPonte, M. W. 2013. Natural Farming: Water-Soluble Calcium. Sustainable Agriculture. College of Tropical Agriculture and Human Resources University of Hawaii at Mānoa. Honolulu, Hawái. SA-10, 3 páginas.
- Cifuentes, L. 2011. Nejayote produced at household level by Mayan women in Guatemala. Is it a threat to aquatic ecosystems or a resource for food security? Tesis de Maestría. Sustainable Water Management. Kristianstad University. Kristianstad, Suecia. 46 páginas.
- CONAGUA. 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D. F., México. 181 páginas.
- Cortes, A.; San Martín, E.; Martínez, F. and Vázquez, G. M. 2005. Tortillas of blue maize (*Z. mays*) prepared by a fractionated process of nixtamalization: analysis using response surface methodology. Journal of Food Engineering, 66, 273–281.
- Cramer, G.R. 1994. Response of maize (*Z. mays*) to salinity. En: Pessaraki, M. (ed.). Handbook of plant and soil stresses. New York, Estados Unidos de América. 449-459.
- Cruz, M. S.; Gómez, M. M.; Ortiz, M. E. y Suárez, C. Y. (eds). 2013. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 174 páginas.
- Cruz, P. 2004. Variedad experimental de maíz Cacahuazintle VC-I. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. Dirección de Apoyo Técnico y Divulgación, Conjunto SEDAGRO. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Gobierno del Estado de México. México. 8 páginas.
- Davis, M. L. y Masten, S. J. 2007. Ingeniería y Ciencias Ambientales. Mc Graw Hill. México. 750 páginas.

- Degremont. 1991. Water Treatment Handbook. Volumen 1. 6° edición. Francia. 1459 páginas.
- Delincé, G. 1992. The ecology of the fish pond ecosystem with special reference to Africa. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Países Bajos. 230 páginas.
- Deras, H. 2014. Guía técnica el cultivo de maíz. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Proyecto Red de Innovación Agrícola. Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Plan de Agricultura Familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador. 42 páginas.
- DGN. 2015. Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas. Dirección General de Normas. México. Dirección General de Normas (DGN). [Fecha de consulta: 14 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/inicio.do>
- Dolatabadian, A.; Sanavy, S. A. M. .M.; Gholamhoseini, M.; Joghhan, A. K.; Majdi, M. and Kashkooli, A. B. 2013. The role of calcium in improving photosynthesis and related physiological and biochemical attributes of spring wheat subjected to simulated acid rain. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 19, 189-198.
- Domínguez, R. y Pacho, D. 2003. Efluentes de la industrialización del maíz: ¿contaminante o recurso valioso? *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 227, 54-63.
- Dunne, N. 2009. Conditioning Your Soil. En: Dunne, N. (ed.) and Buchanan, S. (Il.). *Healthy Soils for Sustainable Gardens*. Brooklyn Botanic Garden All-Region Guide. Estados Unidos de América. 192, 42-49.
- Durán, C.; Sánchez, S. A.; Hernández, M. R. and Bernal, M. 2007. Use of Anaerobic-Aerobic Treatment Systems for Maize Processing Installations: Applied Microbiology in Action. Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 10 páginas.
- Duvick, D. N. 1997. What is yield? En: Edmeades, G. O.; Bänziger, M.; Mickelson, H. R. and Peña-Valdivia, C. B. (eds.). *Developing drought and low N-tolerant maize*. Proceedings of a symposium, 25 al 29 de marzo de 1996. CIMMYT. D. F., México. 332-335.
- ECURED. 2014. Fertilización. Enciclopedia Colaborativa Cubana en la Red. [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2014]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Fertilizaci%C3%B3n>
- Elliot, E. T. and Cole, C. V. 1989. A perspective on agroecosystem science. *Ecology*, 70, 1597-1602.
- FAO. 2005. The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food and production by Alexandra Bot and José Benites. *FAO SOILS BULLETIN 80*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 78 páginas.
- FAO. 2016. Ahorrar para crecer en la práctica: maíz · arroz · trigo. Guía para la producción sostenible de cereales. Ahorrar para crecer. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 111 páginas.
- FAOSTAT. 2016. Production quantities in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. [Fecha de consulta: 2016-07-09]. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/home/E>

- Forero, F. E.; Fernández, J. P. y Álvarez, J. G. 2010. Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 13, 77-86.
- Francis, C. A. 1990. Potential of multiple cropping systems. En: Altieri, M. A. y Hecht, S. B. (eds.). Agroecology and Small Farm Development. CRC Pres Boca Raton. Boston, Estados Unidos de América. 137-150.
- García, M.; Watson, C. y Salcedo, F. 2001. Evaluación de métodos para determinar resistencia al acame de raíces en maíz dulce (*Z. mays*). Bioagro, 13, 22-23.
- Ghaffari, A.; Ali, A.; Tahir, M.; Waseem, M.; Ayub, M.; Iqbal, A. and Mohsin, A. U. 2011. Influence of Integrated Nutrients on Growth, Yield and Quality of Maize (*Z. mays*). American Journal of Plant Sciences, 2, 63-69.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 358 páginas.
- Gliński, J.; Horabik, J. and Lipiec, J. (eds.). 2011. Encyclopedia of Agrophysics. Institute of Agrophysics. Polish Academy of Sciences. Países Bajos. 1028 páginas.
- Gómez-Galera, S.; Rojas, E.; Sudhakar, D.; Zhu, C.; Pelacho, A. M.; Capell, T. and Christou, P. 2010. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. Transgenic Research, 19, 165-180.
- Goodman, A. M. and Ennos, A. R. 1998. Responses of the root systems of sunflower and maize to unidirectional stem flexure. Annals of Botany, 82, 347-357.
- Green, V. S. and Stott D. E. 1999. Polyacrylamide: A Review of the Use Effectiveness and Cost of a Soil Erosion Control Amendment. The 10th International Soil Conservation Organization Meeting. 24 al 29 de mayo. Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. West Lafayette, Indiana, Estados Unidos de América. 384-389.
- GRUMA. 2010. Informe de Sustentabilidad GRUMA S. A. B. de C.V. México. 56 páginas.
- GRUMA. 2015. MASECA: un salto tecnológico de 5000 años. [Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2015]. Disponible en: https://www.gruma.com/media/196879/maseca_salto_tecnologico-de_5000_a_os.pdf
- Gu, C.; Maggi, F.; Riley, W.J. and Oldenburg, C. 2007. Lime and Soil Moisture Effects on Nitrogen gas Loss Following Fertilizer Application. American Geophysical Union. Fall Meeting. 10 al 14 de diciembre. San Francisco, California, Estados Unidos de América.
- Guanopatín, M. R. 2012. Aplicación de Biol en el Cultivo Establecido de Alfalfa (*Medicago Sativa*). Tesis de Licenciatura. Facultad De Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica De Ambato. Cevallos, Ecuador. 93 páginas.
- Guazzelli, M. J.; Meirelles, I.; Barreto, R.; Gonçalves, A.; Motter, C. y Rupp, L. C. 2007. Servicios del agroecosistema: una experiencia en la Sierra Gaucha. En: Gianella-Estrems, T.; Maza, C.; Pinzás, T. y Ugás, R. (eds.). El aporte de la naturaleza, agricultura sostenible y procesos ecológicos. LEISA. Asociación Ecología, Tecnología y Cultura en los Andes en convenio con la Fundación ILEIA. Revista de Agroecología, 22, 5-8.

- Hanafi, Y. S. 2012. Ecology and Agriculture in the Himalayan Region. Problems and Prospects of Agricultural Development in North Western Himalaya. Himalayan Studies. Concept Publishing Company PVT. LTD. Nueva Delhi, India. 435 páginas.
- Hartmann, L. 1984. Anaerobic treatment of maize processing wastewater nejayote in a packed bed reactor cascade. Environmental Technology Letters, 5, 89-96.
- Haydar, S. and Aziz, J. A. 2009. Coagulation–flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers. Journal of Hazardous Materials, 168, 1035-1040.
- Hernández, X., E. 1987. Exploración etnobotánica en maíz. En: Xolocotzia, obras de Efraim Hernandez Xolocotzi. Tomo II. Universidad Autonoma Chapingo. México. 439 páginas.
- Heyman, F.; Lindahl, B.; Persson, L.; Wikström, M. and Stenlid, J. 2007. Calcium Concentrations of Soil Affect Suppressiveness against Aphanomyces Root Rot of Pea. Soil Biology & Biochemistry, 39, 2222-2229. DOI:10.1016/j.soilbio.2007.03.022
- Hossain, M. F.; Chen, W. and Zhang, Y. 2015. Bulk density of mineral and organic soils in the Canada's arctic and sub-arctic. Information Processing in Agriculture, 2, 183-190.
- Hossne, A. J.; Paredes, G.; Carvajal, R.; Santaella, E. y Malaver, J. 2011. Cohesión aparente de un suelo agrícola franco arenoso de sabana. Acta Universitaria, 21, 5-13.
- Hu, Q. H.; Qiao, S. Z.; Haghseresht, F.; Wilson, M. A. and Lu, G. Q. 2006. Adsorption Study for Removal of Basic Red Dye Using Bentonite. Industrial & Engineering Chemistry Research, 45, 733-738.
- IFDC-UNIDO. 1998. Fertilizer manual. International Fertilizer Development Center. Reference Manual R-1. International Fertilizer Development Center. United Nations Industrial Development Organization. Kluwer Academic Publishers. Muscle Shoals. Alabama, Estados Unidos de América. 353 páginas.
- INEGI. 2009a. Censos Económicos 2009. Resultados definitivos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). [Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www3.inegi.-org.mx/sistemas/saic/>
- INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Amozoc, Puebla. México. Clave geoestadística 21015, 9 páginas.
- INEGI. 2011. Perspectiva Estadística, Puebla “Diciembre 2011”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 111 páginas.
- INEGI. 2010. Metodología de los Censos Económicos 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 63 páginas.
- Jiménez, Y; Valdés, L. A.; Pérez, Y. y Negrin, A. 2012. Evaluación del impacto ambiental derivado del uso agrícola de biosólidos procedentes de aguas residuales pecuarias. Centro Agrícola, 39, 49-55.
- Karlen, D. L.; Mausbach, M. J.; Doran, J. W.; Cline, R. G.; Harris, R. F. and Schuman, G. E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal, 61, 4-10.

- Kato, A.; Ortega, R.; Boege, E.; Wegier, A.; Serratos, J. A.; Alavez, V.; Jardón, L.; Moyers, L. y Ortega, D. 2013. Capítulo I. Origen y Diversificación del maíz. En: Álvarez, E. R. y Piñeyro A. (coords). El maíz en peligro ante los transgénicos: un análisis integral sobre el caso de México. Colección debate y reflexión. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. Universidad Autónoma de México. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad. México. 25-60.
- Khoury, E. A. 2005. Dinámica del fósforo en suelos cálcicos de áreas mediterráneas: trabajo experimental. Universidad de Oviedo. España. 85 páginas.
- König, T. N.; Shulami, S. and Rytwo, G. 2012. Brine wastewater pretreatment using clay minerals and organoclays as flocculants. *Applied Clay Science*, 67–68, 119–124.
- Lafitte, H.R. 1994. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical: Guía de campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). D. F., México. 122 páginas.
- Lee, L. S.; Chang, E. U.; Rhim, J. W.; Ko, B. S. and Choi, S. W. 1997. Isolation and identification of anthocyanins from purple sweet potatoes. *Journal of Food Science and Nutrition*, 2, 83-88.
- Liu, Y.; Wang, E. L.; Yang, X. G. and Wang, J. 2010. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the north China plain since 1980s. *Global Change Biology*, 16, 2287-2299.
- Liu, T.; Zheng, K.; Wang, D.; Li, S. and Wang, H. 2013. Bentonite Adsorption & Coagulation Treatment of Recycled Fiber Pulping Wastewater. *Engineering*, 5, 314-320.
- LMC. 2007. Proyecto: Montaje de Planta de tratamiento de Aguas Residuales Estacionaria, Plantas Móviles y Punto de descarga de Agua Residual Tratada en el Río Carrizal. Servicios Ambientales S. A. de C. V. Tabasco, México. 117 páginas.
- Loloei, M.; Alidadi, H.; Nekonam, G. and Kor, Y. 2014. Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 3, 17-21.
- Luchsinger, A. and Camilo, F. 2008. Sweet corn cultivars and their behavior with different sowing dates in the 6th region of Chile. *IDESIA*, 26, 45-52.
- Malakouti, M. J. 2008. Zinc is a Neglected Element in the Life Cycle of Plants: A review. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1, 1-12.
- Malvi, U. R. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24, 106-109.
- Mamani, P.; Chávez, E. y Ortuño, N. 2012. El Biol. Biofertilizante casero para la producción ecológica de cultivos. Fundación PROINPA. Bolivia. 7 páginas.
- Manahan, S. E. 2013. *Fundamentals of Environmental and Toxicological Chemistry: Sustainable Science*. CRC Press. 4° edición. New York, Estados Unidos de América. 614 páginas.
- Marsden, M. W. 1989. Lake restoration by reducing external phosphorus loading: the influence of sediment phosphorus release. *Freshwater Biology*, 21, 139-162.

- McLaurin, W. J. and Wade, G. L. 2015. Composting and Mulching. A Guide to Managing Organic Landscape Refuse. Former Extension Horticulturists. UGA Extension. University of Georgia. Fort Valley State University. U.S. Department of Agriculture. Georgia, Estados Unidos de América. 8 páginas.
- Meng, L.; Ding, W. and Cai, Z. 2005. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N₂O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 2037-2045.
- Mojid, M. A.; Mustafa, S. M. T. and Wyseure, G. C. L. 2009. Growth, yield and water use efficiency of wheat in silt loam-amended loamy sand. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 7, 403-410.
- Moreno, A. 2013. Mantenimiento y manejo de invernaderos. Ediciones Paraninfo S. A. España. 75 páginas.
- Mourtzinisa, S.; Arriaga, F. J.; Balkcom, K. S. and Ortiz, B. V. 2013. Corn Grain and Stover Yield Prediction at R1 Growth Stage. *Agronomy Journal*, 105, 1045-1050.
- Mueller, D. (ed.); Pope, R. (ed.); Abendroth, L.; Elmore, R.; Hartzler, B.; McGrath, C.; Munkvold, G.; Rice, M.E.; Robertson, A.; Sawyer, J.; Schaefer, K.; Tollefson, J. and Tylka, G. 2009. Corn field guide. Iowa State University Extension. Ames, Iowa, Estados Unidos de América. CSI 0001, 84 páginas.
- NeSmith, D. S. and Ritchie, J. T. 1992. Short- and long-term responses of corn to a preanthesis soil water deficit. *Agronomy Journal*, 84, 107-113.
- Njogu, R. N. E.; Kariuki, D. K.; Kamau, D. M. and Wachira, F. N. 2014. Effects of Foliar Fertilizer Application on Quality of Tea (*Camellia sinensis*) Grown in the Kenyan Highlands. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 2707-2715.
- Norma Mexicana NMX-AA-008-AA-2011. Análisis de agua – determinación del pH – método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010 Análisis de agua - medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y Residuales tratadas - método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas - determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Mexicana NMX-AA-063-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de boro en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.

- Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000 análisis de agua - determinación de la Conductividad electrolítica - método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 Humus de lombriz (lombricomposta)-especificaciones y metodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Mexicana NMX-Y-035-1988 Fertilizantes-líquidos, polvos y gránulos procedimiento de muestreo - contenido general e introducción. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-Condiciones de seguridad e higiene. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 Protección ambiental- Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-077-FITO-2000, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones para la realización de estudios de efectividad biológica de los insumos de nutrición vegetal. Diario Oficial de la Federación. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-182-SSA1-2010, Etiquetado de nutrientes vegetales. Diario Oficial de la Federación. México.
- O'Keefe, K. 2009. Maize growth & development. Department of Primary Industries. NSW Department of Primary Industries, [Orange, N.S.W.]. Nueva Gales del Sur, Australia. 50 páginas.
- OMS. 2015. El derecho humano al agua y al saneamiento: Nota para los medios. Organización Mundial de la Salud. Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015/Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio (UNW-DPAC). España. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2015]. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right-to_water_and_sanitation_media_brief_spa.pdf
- ONU. 2015. The 2015 Revision: Key Findings and Advance Tables. Organización de las Naciones Unidas. Department of Economic and Social Affairs Population Division World Population Prospects. ESA/P/WP.241. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2015]. Disponible en: http://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf

- Paredes-López, O.; Guevara-Lara, F. y Bello-Pérez, L. A. 2008. La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92-93, 60-70.
- Paul-Victor, C. and Rowe, N. P. 2011. Effect of mechanical perturbation on the biomechanics, primary growth and secondary tissue development of inflorescence stems of *Arabidopsis thaliana*. *Annals of Botany*, 107, 209-218.
- Pedroza, R. y Durán, C. 1985. Producción de proteína unicelular de desechos (PUCD) a partir de efluentes de la industrialización del maíz para consumo humano. *Rev. Tecnol. Aliment. Méx.*, 20, 3-10.
- Pérez, J. M.; Cánepa de Vargas, L. M. y Richter C. 2006. Coagulación. En: Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Organización Panamericana para la Salud. [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan-/016322/016322-01.pdf>
- Pérez, P. 2013. Estudio de coagulación química y electrocoagulación de nejayote empleando un electrodo de aluminio como ánodo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Química. Colegio de Ingeniería Ambiental. Centro de Química Ambiental ICUAP. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 61 páginas.
- Quiroz, I.; Amo del, S. y Ramos, J. M. 2011. Desarrollo sustentable, ¿Discurso político o necesidad urgente? *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. Septiembre-Diciembre de 2011. Volumen XXIV. Número 3 [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2015]. Disponible en: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol24num3/articulos-/desarrollo/>
- Ramírez, G.; Ortega, J. L.; Cornejo, M. A.; Reyes, A., y Ambriz, J. J. 2011. Eliminación de Sólidos Suspendidos en Nejayote y Manejo para su Reutilización. *Memorias del Simposium Internacional sobre Tecnologías convencionales y Alternativas en el Procesamiento del Maíz*. 3 al 5 de agosto. Chihuahua, México. 219-224.
- Raven, P. H.; Evert, R. F. and Eichhorn, S. E. 2013. *Raven Biology of Plants*. W. H. Freeman and Company Publishers. 8ª edición. New York, Estados Unidos de América. 237 páginas.
- Reyes-Vidal, M. Y.; Aceves, A.; Martínez, A. y Asaff, A. 2012. Investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el cuidado y reúso del agua. *Coordinación de Ciencia de los Alimentos, CIAD. Laboratorios Minkab*. México. Estudios sociales, segundo número especial, 201-216.
- Robinson, R. A. 2000. Retorno a la Resistencia. *Fitomejoramiento para Dependier Menos de los Plaguicidas*. Romero, F. (trad.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 292 páginas.
- Ros, M.; Pascual, J. A.; Ayuso, M.; Morales, A. B.; Miralles, J. R. y Solera, C. 2012. Salidas valorizables de los residuos y subproductos orgánicos de la industria de los transformados de frutas y hortalizas: proyecto Life+ Agrowaste. *Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)*. Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación (CTC). España. 9 páginas.
- Rosentrater, K.A. 2006. A Review of Corn Masa Processing Residues: Generation, Properties, and Potential Utilization. *Waste Management*, 26, 284-292. DOI:10.1016/j.wasman.2005.03.010
- Sáenz, C. SF. *Biología de Cultivos Anuales. Morfología y estados de desarrollo en cereales, leguminosas, papa y remolacha*. Cereales. Maíz. *Agrosistemas*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.

Departamento de Desarrollo Académico de SECICO. Producción de Granos. University of Minessota. Pontificia Universidad Católica de Chile. [Fecha de consulta: 17 de agosto de 2015]. Disponible en: http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/index.html

- SAGARPA. 2009. Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional. Caballero, M. (respons.); Velázquez, A. (coord.); Aguilar, A. E.; Ortiz, M. A.; Morales F.; González, J. O.; Hernández, M. R.; Cordova, L.; Santillan, A.; Molina, J. A. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación/Fideicomiso de Riego Compartido: Agencia Promotora de Agronegocios/ Comité Nacional de Sistema Producto Oleaginosas/ Colegio de Postgraduados. México. 256 páginas.
- SAGARPA. 2010. Análisis Integral Estructurado del Medio Rural en el Estado de Puebla. Documento I. Análisis Cuantitativo. Puebla. Diagnóstico Cuantitativo del Sector Rural Agropecuario del Estado de Puebla. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 118 páginas.
- Saini, H. S. and Westgate, M. E. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*, 68, 59-96.
- Salcedo; E.; Vázquez, A.; Krishnamurthy, L.; Zamora, F.; Hernández, E. y Rodríguez, R. 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Interciencia*, 32, 115-120.
- Salgado, S.; Núñez, R.; Palma, D. J.; Lagunes, L. C.; Debernardi, H. y Mendoza, R. H. 2012. Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos. Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. México. 146 páginas.
- Salinas, Y.; Martinez, F. and Soto, M. 1999. Selection of blue and red corn grain genotypes for preparing nixtamalized corn products and other derivatives. The 10th World Congress of Food Science & Technology. 3 al 8 de octubre. Australian Institute of Food Science and Technology Incorporated. Sydney, Australia. 72 páginas.
- Salinas, Y.; Soria, J. y Espinosa, E. 2010. Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Valle de México Coatlinchan, Texcoco, Estado de México. México. Folleto Técnico N° 42, 50 páginas.
- Salmerón, A.; Rodríguez, N.; Pineda, V.; Cristiani, E.; Juárez, C.; Ruiz, N. and Galíndez, J. 2003. Aerobic treatment of maize-processing wastewater (nejayote) in a single-stream multi-stage bioreactor. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2, 401-406.
- Salvador, R. J. 2001. Maíz. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Publicaciones del Programa Nacional de Etnobotánica. Serie: Traducciones. Chapingo, México. N° 15, 14 páginas.
- Sánchez, G. J. J. 2011. Diversidad del Maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Manuscrito. México. 98 páginas.

- Sánchez, G. J. J., Goodman, M.M. and Stuber, C.W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54, 43-59.
- Sauca, E. y Urabayan, D. 2005. Rotaciones y asociaciones de cultivos. Ekonekazaritza. Federación de Asociaciones de Agricultura Ecológica de Euskadi. Gráficas Ulzama. España. Monográficos Ekonekazaritza N° 7, 16 páginas.
- Scheel, C. 2016. Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner Production*, 131, 376-386.
- Secretaría de Economía. 2012. Análisis de la Cadena de Valor Maíz-Tortilla: Situación Actual y Factores de Competencia Local. Dirección General de Industrias Básicas. México. 38 páginas.
- SEMARNAT. 2013. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Edición 2012. México. 361 páginas.
- Sher, F.; Malik, A. and Liu, H. 2013. Industrial polymer effluent treatment by chemical coagulation and flocculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1, 648-689.
- SIAP. 2014. Producción agrícola anual OI-PV 2014, cultivo maíz grano. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Fecha de consulta: 9 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Silva, J.; Torres, P. y Madera, C. 2008. Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26, 347-359.
- Silva-Messias da, R.; Galli, V.; Schirmer, M. A.; Pillon, C. N.; Anjos e Silva da, S. D.; Posser Silveira, C. A. and Rombaldi, C. V. 2013. Yield and quality of maize following the foliar application of a fertilizer based on the byproduct "shale water". *Agricultural Sciences*, 4, 56-65.
- Singh, D. K.; Pandey, A. K.; Pandey, U. B. and Bhonde, S. R. 2002. Effect of Farmyard Manure Combined with Foliar Application of NPK Mixture and Micronutrients on Growth, Yield and Quality of Onion. *Newsletter-National Horticultural Research and Development Foundation*, 21-22, 1-7.
- Singh, R. P.; Tripathy, T.; Karmakar, G. P.; Rath, S. K.; Karmakar, N. C.; Pandey, S. R.; Kannan, K.; Jain, S. K. and Lan, N. T. 2000. Novel biodegradable flocculants based on polysaccharides. *Current Science*, 78, 798-803.
- Singh, S. N.; Srivastava, G. and Bhatt, A. 2012. Physicochemical Determination of Pollutants in Wastewater in Dheradun. *Current World Environment*, 7, 133-138.
- Smith, G. H.; Chaney, K.; Murray, C. and Le, M. S. 2015. The Effect of Organo-Mineral Fertilizer Applications on the Yield of Winter Wheat, Spring Barley, Forage Maize and Grass Cut for Silage. *Journal of Environmental Protection*, 6, 103-109.
- SMN. 2015. Monitor de Sequía en México (MSM). México. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). [Fecha de consulta: 25 de abril de 2016]. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=74

- SNIIM. 2015. Información Mensual de Precios Diarios de Tortilla en Tortillerías y Autoservicios de México. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM). Secretaría de Economía. México. [Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www.economiasniim.gob.mx/TortillaAnualPorDia.-asp?Cons=D&prod=1&Anio=2008&preEdo=Amb&Formato=Xls&submit=Ver+Resultados>
- Sojka, R.E. and Lentz, R. D. 2016. Polyacrylamide (PAM). A New Weapon in the Fight Against Irrigation-induced Erosion. Pacific West Area. Northwest Irrigation and Soils Research. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Kimberly, Idaho. ESTADOS Unidos De América. Station Note 01-94. [Fecha de consulta 27 de octubre de 2016]. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/kimberly-id/northwest-irrigation-and-soils-research/docs/station-note-01-94-polyacrylamide-pam-a-new-weapon-in-the-fight-against-irrigation-induced-erosion/>
- Statpoint Technologies Inc. 2010. STATGRAPHICS Centurion XVI. Version 16.1.02. Virginia, Estados Unidos de América.
- Stavric, B. 1994. Antimutagens and anticarcinogens in foods. *Food and Chemical Toxicology*, 32, 79-90.
- Stevenson, F. J. 1994. Organic forms of soil nitrogen. En: Wiley, J. (ed.). *Humic Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. New York, Estados Unidos de América. 59-95.
- Suárez, K. A.; Ponce, S. M.; López, J. T.; Cornejo, J. M.; Oropeza, M. T. and López, E. A. 2016. Eco-friendly innovation for nejayote coagulation–flocculation process using chitosan: Evaluation through zeta potential measurements. *Chemical Engineering Journal*, 284, 536-542.
- Syafalni, S.; Abdullah, R.; Abustan, I. and Ibrahim, A. N. M. 2013. Wastewater treatment using bentonite, the combination of bentonite-zeolite, bentonite-alum, and bentonite-limestone as adsorbent and coagulant. *International Journal of Environmental Sciences*, 4, 379-391.
- Tejada, M. and González, J. L. 2005. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. *European Journal of Agronomy*, 23, 336-347.
- Téllez, V. 2013. Efluente del proceso de nixtamalización tratado por coagulación química y oxidación anódica. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Química. Colegio de Ingeniería Ambiental. Centro de Química Ambiental ICUAP. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 65 páginas.
- Topp, G. C.; Reynolds, W. D.; Cook, F. J. and Kirby, J. M. 1997. Chapter 2. Physical attributes of soil quality. En: Gregorich, E. G. y Carter, M. R. (eds.). *Soil quality for crop production and ecosystem health. Developments in soil science. Volumen 25*. Elsevier. New York, Estados Unidos de América. 21-58 páginas.
- Trejos, M. y Agudelo, N. 2012. Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles la Rosa” como alternativa para la generación de biosólidos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Ambientales. Administración Ambiental. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Risaralda, Colombia. 104 páginas.

- Trejo-Téllez, L. I.; Rodríguez, M. N. y Alcántar, G. 2013. Capítulo 9: Fertilización foliar. En: Alcántar, G. y Trejo-Téllez, L. I. (eds). Nutrición de cultivos. Colegio de Postgraduados. 1° edición. Estado de México, México. 8-47.
- Tuesta, E. G.; Vivas, M.; Sun, R. y Gutarra, A. 2005. Modificación química de arcillas y su aplicación en la retención de colorantes. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 71, 26-36.
- Uphoff, N. 2002. *Agroecological innovations: increasing food production with participatory development*. Earthscan Publications Ltd. Londres, Reino Unido. 306 páginas.
- Valderrama, C.; Gutiérrez, E.; Contreras, M.; Oaxaca, A.; Real-López del, A.; Espinosa, D.G. y Rodríguez, M.E. 2013. Tratamiento físico-mecánico de un subproducto de la nixtamalización (nejayote). *CyTA - Journal of Food*, 11, 75-83.
- Velarde, F. G. A. 2015. *El cultivo de las plantaciones frutales*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 241 páginas.
- Véles, J. J. 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional. D. F., México. 205 páginas.
- Veliz, E.; Llanes, J. G.; Fernández, L. A. y Bataller, M. 2009. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40, 35-44.
- Vermeer, A. W. P. 1996. Interactions between humic acid and hematite and their effects on metal ion speciation. Tesis de Doctorado. Wageningen University. Wageningen, Países Bajos. 199 páginas.
- Vogel, H. C. and Todaro, C. L. (eds.). 1997. *Fermentation and biochemical engineering handbook*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 2° edición. Estados Unidos de América. 801 páginas.
- Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1987. *Surface Irrigation: Theory and Practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. Nueva Jersey, Estados Unidos de América. xiii, 386 páginas.
- Wambeke van, A. 1992. *Soils of the tropics. Properties and appraisal*. McGraw Hill. New York, Estados Unidos de América. 69-95 páginas.
- Wang, L. K.; Hung, Y. T.; Lo, H. H. y Yapijakis, C. 2008. Tratamiento de los residuos de la industria del procesado de alimentos. Acibia editorial. España. 408 páginas.
- Wang, L.; Sun, X.; Li, S.; Zhang, T.; Zhang, W. and Zhai, P. 2014. Application of Organic Amendments to a Coastal Saline Soil in North China: Effects on Soil Physical and Chemical Properties and Tree Growth. *Plos One*, 9, e89185.
- Wang, T. Y.; Ma, X. L.; Li, Y.; Bai, D. P.; Liu, C.; Liu, Z. Z.; Tan, X. J.; Shi, Y. S.; Song, Y. C.; Carlone, M.; Bubeck, D.; Bhardwaj, H.; Jones, E.; Wright, K. and Smith, S. 2011. Changes in yield and yield components of single-cross maize hybrids released in China between 1964 and 2001. *Crop Science*, 51, 512-525.
- Watson, S. A. 1987. Structure and composition. En: Watson, S. A. y Ramstad, E. D. (eds.). *Corn: Chemistry and Technology*. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. Saint Paul, Minnesota, Estados Unidos de América. 53-82.

- Wong, S. S.; Teng, T. T.; Ahmada, A. L.; Zuhairia, A. and Najafpour, G. 2006. Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. *Journal of Hazardous Materials*, 135, 378–388.
- Yang, T. H. 2008. Recent Applications of Polyacrylamide as Biomaterials. *Recent Patents on Materials Science*, 1, 29-40.
- Yariv, S. and Michaelian, K.H. 2002. Structure and surface acidity of clay minerals. En: Yariv, S. y Cross, H. (eds.), *Organo-Clay Complexes and Interactions*. Marcel Dekker, Inc. New York, Estados Unidos de América. 1–38.
- Zagklis, D. P.; Koutsoukos, P. G. and Paraskeva, C. A. 2012. A Combined Coagulation/Flocculation and Membrane Filtration Process for the Treatment of Paint Industry Wastewaters. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, 15456–15462.
- Zayas, T.; Romero, V.; Salgado, L.; Meraz, M. and Morales, U. 2007. Applicability of coagulation/flocculation and electrochemical processes to the purification of biologically treated vinasse effluent. *Separation and Purification Technology*, 57, 270-276.
- Zhao, Y. G.; Zhang, G. L.; Wen-Jun, Z. and Gong, Z. T. 2005. Soil characteristics and crop suitability of sandy soils in Hainan, China. *Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture: "A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics"*. 27 de noviembre al 2 de diciembre. International Union of Soil Sciences, Wageningen, Países Bajos. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Tailandia. Department of Agricultural Extension; FAO, Bangkok (Tailandia). Regional Office for Asia and the Pacific. Khon Kaen, Tailandia. 5 páginas.
- Zhou, F.; Li, J.; Zhou, L. and Liu, Y. 2015. Preparation and Mechanism of a New Enhanced Flocculant Based on Bentonite for Drinking Water. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 579513.

Anexo A
CALENDARIZACIÓN DEL CULTIVO DE PLANTAS DE MAÍZ AZUL CRIOLLO

2015

ENERO								FEBRERO								MARZO								
L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		
			1	2	3	4								1									1	
5	6	7	8	9	10	11		2	3	4	5	6	7	8		2	3	4	5	6	7	8		
12	13	14	15	16	17	18		9	10	11	12	13	14	15		9	10	11	12	13	14	15		
19	20	21	22	23	24	25		16	17	18	19	20	21	22		16	17	18	19	20	21	22		
26	27	28	29	30	31			23	24	25	26	27	28		^{23/30}	^{24/31}	25	26	27	28	29			
ABRIL								MAYO								JUNIO								
L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		
		1	2	3	4	5					1	2	3		1	2	3	4	5	6	7			
6	7	8	9	10	11	12		4	5	6	7	8	9	10		8	9	10	11	12	13	14		
13	14	15	16	17	18	19		11	12	13	14	15	16	17		15	16	17	18	19	20	21		
20	21	22	23	24	25	26		18	19	20	21	22	23	24		22	23	24	25	26	27	28		
27	28	29	30					25	26	27	28	29	30	31		29	30							
JULIO								AGOSTO								SEPTIEMBRE								
L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		
		1	2	3	4	5							1	2		1	2	3	4	5	6			
6	7	8	9	10	11	12		3	4	5	6	7	8	9		7	8	9	10	11	12	13		
13	14	15	16	17	18	19		10	11	12	13	14	15	16		14	15	16	17	18	19	20		
20	21	22	23	24	25	26		17	18	19	20	21	22	23		21	22	23	24	25	26	27		
27	28	29	30	31				^{24/31}	25	26	27	28	29	30		28	29	30						
OCTUBRE								NOVIEMBRE								DICIEMBRE								
L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		L	M	Mi	J	V	S	D		
			1	2	3	4								1					1	2	3	4	5	6
5	6	7	8	9	10	11		2	3	4	5	6	7	8		7	8	9	10	11	12	13		
12	13	14	15	16	17	18		9	10	11	12	13	14	15		14	15	16	17	18	19	20		
19	20	21	22	23	24	25		16	17	18	19	20	21	22		21	22	23	24	25	26	27		
26	27	28	29	30	31			^{23/30}	24	25	26	27	28	29		28	29	30	31					

○ = Día de siembra; ◻ = Aplicación de tratamientos; ◻ = Medición de variables altura, diámetro y nº de hojas de plantas de maíz; ◻ = Día de cosecha.

Anexo B



BU: ADSORBENTS AND ADDITIVES

SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A. DE C.V.
Km. 7 carretera Puebla-Tlaxcala
San Pablo Xochimehuacan
72920 Puebla, Pue.
MEXICO

SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A. DE C.V., Apdo. Postal 828, 72000 Puebla, Pue.

Tel.: (52-2) 288-1191
Fax: (52-2) 288-1200
www.sued-chemie.com

SÜDFLOCK® P-63

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCION I DATOS GENERALES

a) FECHA DE ELABORACION	MARZO 2002	b) FECHA DE ACTUALIZACION	ENERO 2008
c) NOMBRE DE QUIEN ELABORA LA HDS : SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A DE C.V.		d) DATOS GENERALES DEL FABRICANTE O IMPORTADOR DE LA SUSTANCIA PELIGROSA : SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A DE C.V. Km. 7 Carretera Puebla, Tlaxcala C.P. 72920 Puebla, Pue. México Tel. 01(222) 88-11-88	
TELEFONOS DE EMERGENCIA : SÜD CHEMIE DE MÉXICO, S.A DE C.V. 01(222) 88-11-88			

SECCION II DATOS DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

a) NOMBRE QUIMICO O CODIGO : Aluminosilicato alcalino activado	b) NOMBRE COMERCIAL : SÜDFLOCK® P-63
c) FAMILIA QUIMICA: Aluminosilicato	e) OTROS DATOS RELEVANTES: NA
d) SINONIMOS: Bentonita alcalina	

SECCION III IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA QUIMICA

III.1 IDENTIFICACION :					
NOMBRE DE LOS COMPONENTES	%	a) No. CAS	b) No. O.N.U	c) LMPE-PPT, LMPE-CT y LMPE-P	d) IPVS (IDLH)
Bentonita	95	13-02-78-9	NA	2 mg/m ³	NA
Sílica Cristalina	< 5.0	14808-60-7	NA	0.1 mg/m ³	NA
III.2 CLASIFICACION DE LOS GRADOS DE RIESGO :					
a) SALUD	b) INFLAMABILIDAD	c) REACTIVIDAD	d) ESPECIAL	E.P.P.	
1	0	0	NA	E	
III.3 COMPONENTES RIESGOSOS :					
NOMBRE	Sílica Cristalina	PORCENTAJE, %	< 5.0		

SECCION IV PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS

a) TEMPERATURA DE EBULLICION (°C)	NA	b) TEMPERATURA DE FUSION (°C)	> 1000°C	
c) TEMPERATURA DE INFLAMACION (°C)	No es flamable	d) TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C)	ND	
e) DENSIDAD	2.2 g/cm ³	f) pH	7 a 10	
g) PESO MOLECULAR	ND	h) ESTADO FISICO	Sólido	
i) COLOR	gris-crema	j) OLOR	Sin olor	
k) VELOCIDAD DE EVAPORACION (butil-acetato=1)	ND	l) SOLUBILIDAD EN AGUA	Insoluble	
m) PRESION DE VAPOR mmHg 20 °C	ND	n) % DE VOLATILIDAD (21 °C)	0%	
o) LIMITES DE INFLAMABILIDAD O EXPLOSIVIDAD	LIMITE SUPERIOR	NA	LIMITE INFERIOR	NA
p) OTROS DATOS	ND			

SECCION V RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSION

V.1 MEDIO DE EXTINCIÓN:	a) AGUA	NA	b) ESPUMA	NA	c) CO ₂	NA	d) POLVO QUIMICO SECO	NA	e) OTROS MEDIOS	NA
V.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL ESPECIFICO A UTILIZAR EN LABORES DE COMBATE DE INCENDIO :	NA									
V.3 PROCEDIMIENTO Y PRECAUCIONES ESPECIALES DURANTE EL COMBATE DE INCENDIOS:	NA									
V.4 CONDICIONES QUE CONDUCEN A OTRO RIESGO ESPECIAL:	NA									
V.5 PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN QUE SEAN NOCIVOS PARA LA SALUD:	NA									



SÜDFLOCK® P-63

SECCION VI DATOS DE REACTIVIDAD

VI.1 CONDICIONES DE:	a) ESTABILIDAD	Si	b) INESTABILIDAD	No
VI.2 INCOMPATIBILIDAD	No			
VI.3 PRODUCTOS PELIGROSOS DE LA DESCOMPOSICIÓN	No			
VI.4 POLIMERIZACION ESPONTÁNEA:	No			
VI.5 OTRAS CONDICIONES QUE SE DEBEN PROCURAR DURANTE EL USO DE LA SUSTANCIA QUÍMICA PELIGROSA, A FIN DE EVITAR QUE REACCIONE:	No			

SECCION VII RIESGOS A LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS

VII.1 SEGÚN LA VIA DE INGRESO AL ORGANISMO :							
a) INGESTIÓN	Si se ingieren grandes cantidades puede causar irritación estomacal y/o intestinal.						
b) INHALACIÓN	Inhalación repetida y prolongada puede causar irritación a las vías respiratorias.						
c) CONTACTO	Contacto con ojos puede causar irritación mecánica.						
VII.2 SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO:	a) CARCINOGENICA	No	b) MUTAGENICA	No	a) TERATOGENICA	No	
VII.3 INFORMACION COMPLEMENTARIA:	a) CL ₅₀	ND	b) DL ₅₀	> 5,000 mg/kg			
VII.4 EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:							
VII.4.1 MEDIDAS PRECAUTORIAS EN CASO DE:							
a) INGESTIÓN :	NA						
b) INHALACIÓN:	Trasladar a una zona libre de polvo a un ambiente con aire fresco						
c) CONTACTO:	En contacto con ojos lavar copiosamente con agua, consultar al médico si la irritación persiste						
VII.4.2. OTROS RIESGOS A LA SALUD	ND						
VII.4.3 ANTIDOTOS	NA						
VII.4.4 OTRA INFORMACIÓN IMPORTANTES PARA LA ATENCIÓN MÉDICA PRIMARIA	NA						

SECCION VIII INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

VIII.1 PROCEDIMIENTO Y PRECAUCION INMEDIATAS:	En caso de que el material se derrame recuperarlo, utilizar vacío o lavado con agua para prevenir espolvoreo.
VIII.2 METODO DE MITIGACION:	NA

SECCION IX PROTECCION ESPECIAL ESPECIFICA PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA

IX.1 EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL ESPECIFICO	Mascarilla aprobada para polvos
---	---------------------------------

SECCION X INFORMACION SOBRE TRANSPORTACION

(X.1 DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS)	NA
(X.2 DE ACUERDO A NOM-004-SCT2-2000)	NA
(X.3 DE ACUERDO CON RECOMENDACIONES DE LA ONU PARA EL TRANSPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS)	NA
(X.4 DE ACUERDO CON LA GUIA NORTEAMERICANA DE RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA)	NA

SECCION XI INFORMACION SOBRE ECOLOGIA

(XI.1 DE ACUERDO A LA SEMARNAP)	Disponer de una manera segura de acuerdo con las regulaciones locales / nacionales
---------------------------------	--

SECCION XII PRECAUCIONES ESPECIALES

XII.1 PARA SU MANEJO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO :	
Evitar la formación y respiración de polvo, evitar el contacto con los ojos, usar con una adecuada ventilación, el producto es resbaladizo cuando está mojado / almacenar en lugar seco y bajo techo.	
XII.2 OTRAS PRECAUCIONES :	NA

REFERENCIA BIBLIOGRAFICOS : NOM-018-STPS-2000, SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y COMUNICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS POR SUSTANCIAS QUÍMICAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO. (DOF: 27-10-00). NOM-004-SCT-2000, SISTEMA DE IDENTIFICACION DE UNIDADES DESTINADAS AL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS, MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS (DOF: 27-09-00) HAZARD CHEMICALS DESK REFERENCE, THIRD EDITION, RICHARD J. LEWIS, SR. EDIT. VAN NOSTRAND REINHOLD

NA: No aplica ND: No disponible

SÜD-CHEMIE
Creating Performance Technology



BU: ADSORBENTS AND ADDITIVES

SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A. DE C.V.
Km. 7 carretera Puebla-Tlaxcala
San Pablo Xochimehuacan
72920 Puebla, Pue.
MEXICO

SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A. DE C.V., Apdo. Postal 828, 72000 Puebla, Pue.

Tel.: (52-222) 288-1191
Fax: (52-222) 288-1200
www.sued-chemie.com

SUMEX BIOFLOC® A-01

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCION I DATOS GENERALES

a) FECHA DE ELABORACION	NOVIEMBRE 1999	b) FECHA DE ACTUALIZACION	ENERO 2008
c) NOMBRE DE QUIEN ELABORA LA HDS : SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A. DE C.V.		d) DATOS GENERALES DEL FABRICANTE O IMPORTADOR DE LA SUSTANCIA PELIGROSA : SUD CHEMIE DE MEXICO, S.A. DE C.V. Km. 7 Carretera Puebla, Tlaxcala C.P. 72920 Puebla, Pue. México Tel. 01(222) 288-11-88	
TELEFONOS DE EMERGENCIA : SÜD CHEMIE DE MÉXICO, S.A. DE C.V. 01(222) 288-11-88			

SECCION II DATOS DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

a) NOMBRE QUIMICO O CODIGO : Poliacrilamida	b) NOMBRE COMERCIAL : SUMEX BIOFLOC® A-01
c) FAMILIA QUIMICA: Poliacrilamida	d) SINONIMOS: Polímero Aniónico
e) CLASIFICACIÓN: Este Producto no es peligroso de acuerdo con 29 CFR-1910.1200	

SECCION III IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA QUIMICA

III.1 IDENTIFICACION :					
NOMBRE DE LOS COMPONENTES	%	a) No. CAS	b) No. O.N.U	c) LMPE-PPT, LMPE-CT y LMPE-P	d) IPVS (IDLH)
Poliectrolito	100	25085-02-3	NA	2 mg/m ³	NA
III.2 CLASIFICACION DE LOS GRADOS DE RIESGO :					
a) SALUD	b) INFLAMABILIDAD	c) REACTIVIDAD	d) ESPECIAL	E.P.P.	
1	0	0	NA	E	
III.3 COMPONENTES RIESGOSOS :					
NOMBRE	Silica Cristalina	PORCENTAJE, %	< 5.0		

SECCION IV PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS

a) TEMPERATURA DE EBULLICION (°C)	NA	b) TEMPERATURA DE FUSION (°C)	> 1000°C	
c) TEMPERATURA DE INFLAMACION (°C)	No es flamable	d) TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C)	ND	
e) DENSIDAD	0.82 – 0.84 g/cm ³	f) pH	7 a 10	
g) PESO MOLECULAR	ND	h) ESTADO FISICO	Sólido	
i) COLOR	Blanco	j) OLOR	Sin olor	
k) VELOCIDAD DE EVAPORACION (butil-acetato=1)	ND	l) SOLUBILIDAD EN AGUA	Solubilidad limitada por viscosidad	
m) PRESION DE VAPOR mmHg 20 °C	ND	n) % DE VOLATILIDAD (21 °C)	0%	
o) LIMITES DE INFLAMABILIDAD O EXPLOSIVIDAD	LIMITE SUPERIOR	NA	LIMITE INFERIOR	NA
p) OTROS DATOS	ND			

SECCION V RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSION

V.1 MEDIO DE EXTINCIÓN:	a) AGUA	NA	b) ESPUMA	NA	c) CO ₂	NA	d) POLVO QUIMICO SECO	NA	e) OTROS MEDIOS	NA
V.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL ESPECIFICO A UTILIZAR EN LABORES DE COMBATE DE INCENDIO :	NA									
V.3 PROCEDIMIENTO Y PRECAUCIONES ESPECIALES DURANTE EL COMBATE DE INCENDIOS:	NA									
V.4 CONDICIONES QUE CONDUCEN A OTRO RIESGO ESPECIAL:	NA									
V.5 PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN QUE SEAN NOCIVOS PARA LA SALUD:	NA									



SECCION VI DATOS DE REACTIVIDAD

VI.1 CONDICIONES DE:	a) ESTABILIDAD	SI	b) INESTABILIDAD	No
VI.2 INCOMPATIBILIDAD	No			
VI.3 PRODUCTOS PELIGROSOS DE LA DESCOMPOSICIÓN	No			
VI.4 POLIMERIZACION ESPONTÁNEA:	No			
VI.5 OTRAS CONDICIONES QUE SE DEBEN PROCURAR DURANTE EL USO DE LA SUSTANCIA QUÍMICA PELIGROSA, A FIN DE EVITAR QUE REACCIONE:	No			

SECCION VII RIESGOS A LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS

VII.1 SEGÚN LA VIA DE INGRESO AL ORGANISMO :							
a) INGESTIÓN	Si se ingieren grandes cantidades puede causar irritación estomacal y/o intestinal.						
b) INHALACIÓN	Inhalación repetida y prolongada puede causar irritación a las vías respiratorias.						
c) CONTACTO	Contacto con ojos puede causar irritación mecánica.						
VII.2 SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO:	a) CARCINOGENICA	No	b) MUTAGENICA	No	a) TERATOGENICA	No	
VII.3 INFORMACION COMPLEMENTARIA:	a) CL ₅₀	ND	b) DL ₅₀	> 5,000 mg/kg			
VII.4 EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:							
VII.4.1 MEDIDAS PRECAUTORIAS EN CASO DE:							
a) INGESTIÓN :	NA						
b) INHALACIÓN:	Trasladar a una zona libre de polvo a un ambiente con aire fresco						
c) CONTACTO:	En contacto con ojos lavar copiosamente con agua, consultar al médico si la irritación persiste						
VII.4.2. OTROS RIESGOS A LA SALUD	ND						
VII.4.3 ANTIDOTOS	NA						
VII.4.4 OTRA INFORMACIÓN IMPORTANTES PARA LA ATENCIÓN MÉDICA PRIMARIA	NA						

SECCION VIII INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

VIII.1 PROCEDIMIENTO Y PRECAUCION INMEDIATAS:	En caso de que el material se derrame recuperarlo, utilizar vacío o lavado con agua para prevenir espolvoreo.
VIII.2 METODO DE MITIGACION:	NA

SECCION IX PROTECCION ESPECIAL ESPECIFICA PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA

IX.1 EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL ESPECIFICO	Mascarilla aprobada para polvos
---	---------------------------------

SECCION X INFORMACION SOBRE TRANSPORTACION

(X.1 DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS)	NA
(X.2 DE ACUERDO A NOM-004-SCT2-2000)	NA
(X.3 DE ACUERDO CON RECOMENDACIONES DE LA ONU PARA EL TRANSPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS)	NA
(X.4 DE ACUERDO CON LA GUIA NORTEAMERICANA DE RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA)	NA

SECCION XI INFORMACION SOBRE ECOLOGIA

(XI.1 DE ACUERDO A LA SEMARNAP)	Disponer de una manera segura de acuerdo con las regulaciones locales / nacionales
---------------------------------	--

SECCION XII PRECAUCIONES ESPECIALES

XII.1 PARA SU MANEJO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO : Evitar la formación y respiración de polvo, evitar el contacto con los ojos, usar con una adecuada ventilación, el producto es resbaladizo cuando está mojado / almacenar en lugar seco y bajo techo.	
XII.2 OTRAS PRECAUCIONES :	NA

REFERENCIA BIBLIOGRAFICOS : NOM-018-STPS-2000, SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y COMUNICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS POR SUSTANCIAS QUÍMICAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO. (DOF. 27-10-00). NOM-004-SCT-2000, SISTEMA DE IDENTIFICACION DE UNIDADES DESTINADAS AL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS, MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS (DOF. 27-09-00) HAZARD CHEMICALS DESK REFERENCE, THIRD EDITION, RICHARD J. LEWIS, SR. EDIT. VAN NOSTRAND REINHOLD

NA: No aplica ND: No disponible

Anexo C

I. Efecto del pH

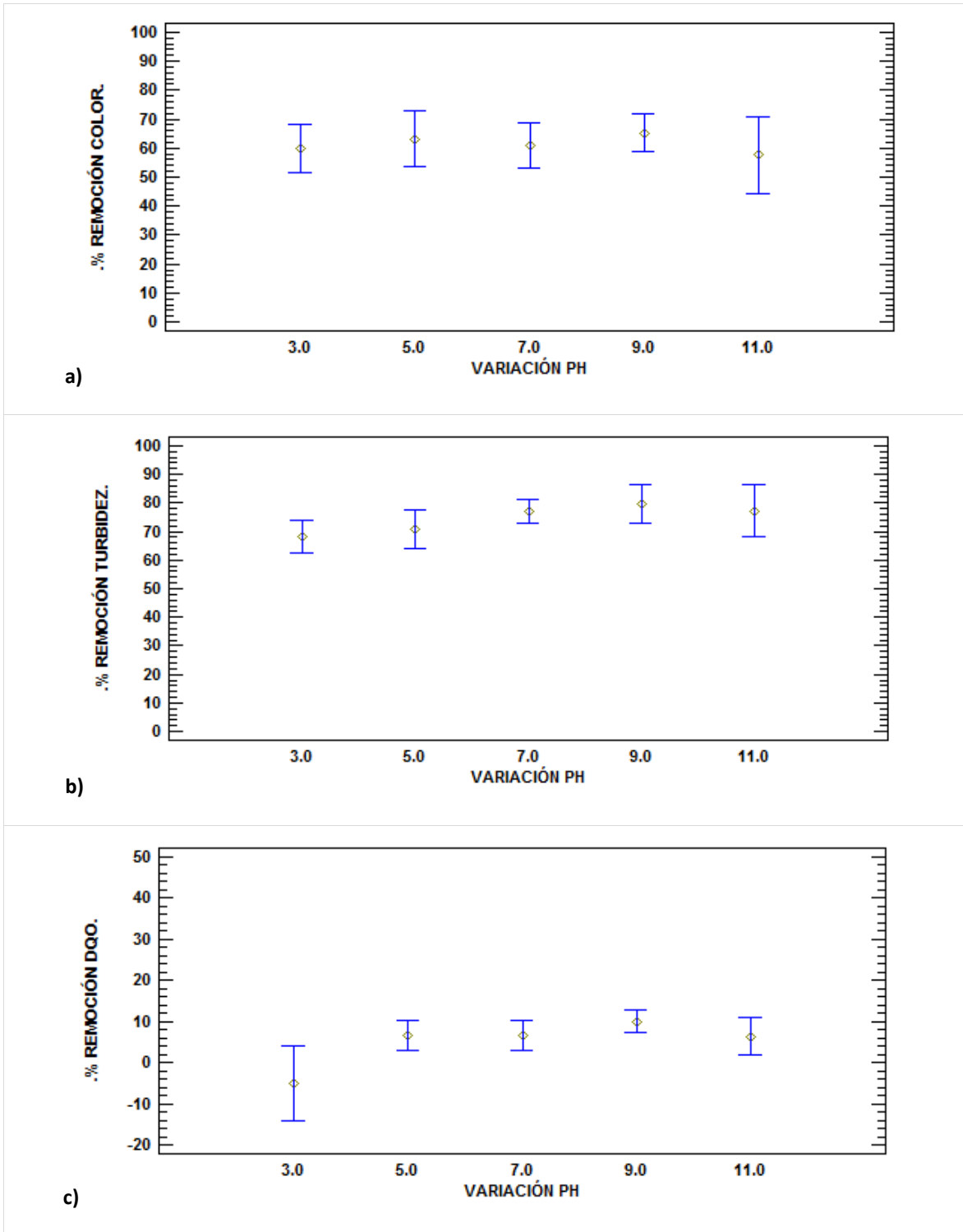


Figura IC. Gráficos de medias y error estándar de los porcentajes de remoción de a) color, b) turbidez y c) DQO al tratar nejayote por coagulación química variando el pH.

II. Efecto de la dosis de coagulante

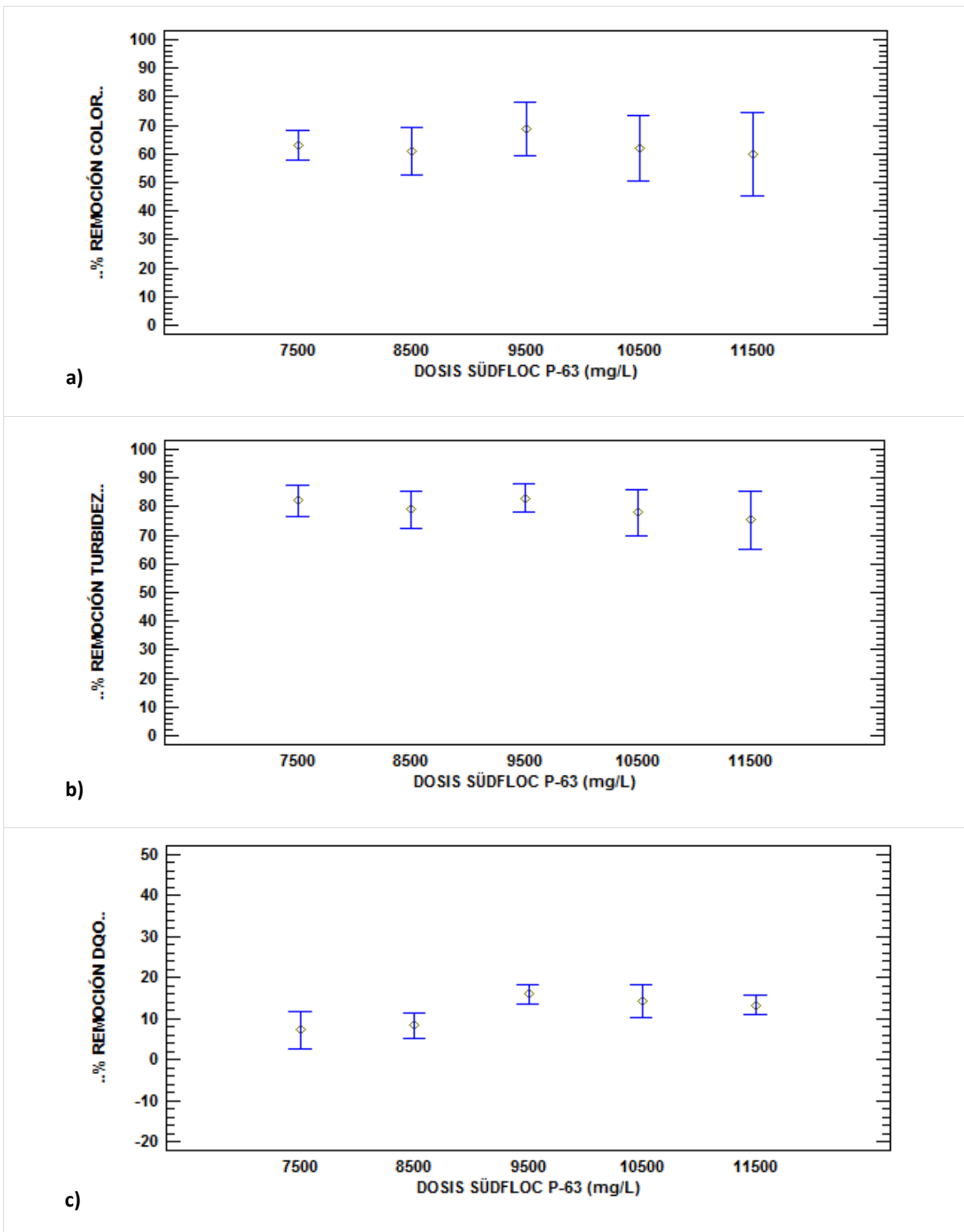


Figura IIC. Gráficos de medias y error estándar de los porcentajes de remoción de a) color, b) turbidez y c) DQO al tratar nejayote por coagulación química variando la dosis de coagulante.

III. Efecto de la dosis de floculante

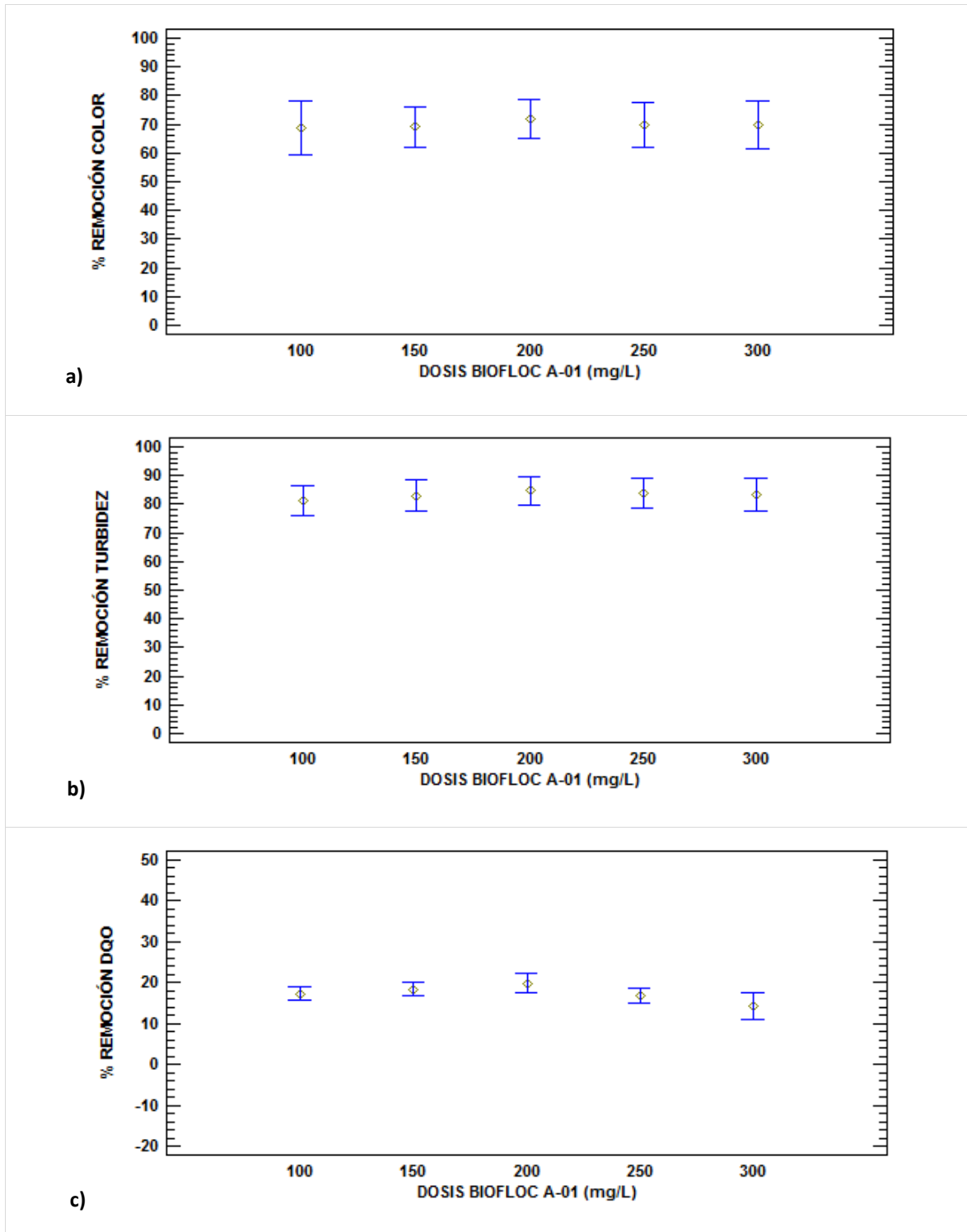


Figura III.C. Gráficos de medias y error estándar de los porcentajes de remoción de a) color, b) turbidez y c) DQO al tratar nejayote por coagulación química variando la dosis de floculante.