



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ciencias Biológicas

Evaluación de la fertilización a base de orina humana desinfectada en el crecimiento de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en San Bernardino Tepehene, Puebla.

Tesis que para obtener el título de

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

Solís Mancilla Jesús

NOMBRE DEL DIRECTOR:

Dr. José Luis Alcántara Flores

NOMBRE DEL CODIRECTOR:

M. en C. Sergio Martín Barreiro Zamorano



Abril 2021

Agradecimientos

Es mi deseo expresar mi gratitud a las siguientes personas e instituciones:

- A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla una excelente institución, promotora de la investigación y educación, agradezco mi estancia y apoyo en general.
- A la Facultad de Ciencias Biológicas, por formarme en un área de la ciencia tan amplia, maravillosa y compleja como lo es la biología.
- A la vicerrectoría de investigación y estudios de posgrado (VIEP), BUAP (proyectos de investigación VIEP, 2019).
- Al Dr. José Luis Alcántara por su extenso apoyo, gracias profesor por ser un orientador y un pilar para la presente investigación.
- Al M. en C. Sergio M. Barreiro por su apoyo y evaluación al proyecto, agradezco por su tiempo y colaboración.
- A la Dra. Edith en la evaluación microbiológica, así como a sus estudiantes del departamento de microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas.
- Al Dr. Cesar en la evaluación del suelo y al Dr. Genaro del departamento de investigación en ciencias agrícolas (DICA), BUAP, por su tiempo y orientación al protocolo.
- Al cuerpo académico de Investigación en Biodiversidad, Alimentación y Cambio climático (BUAP-CA-321) por su tiempo, evaluación y revisión del protocolo.
- A los revisores del proyecto en la Facultad de Ciencias Biológicas.
- A la comunidad de San Bernardino Tepehene, especialmente a los señores Gaudencio y Daniel por la disponibilidad de su tiempo y amabilidad, gracias por la confianza y las atenciones que me brindaron durante el proyecto, espero que el mismo apoye a la sustentabilidad de la comunidad y a colaborar con un grano de arena a los grandes problemas que enfrenta.
- Finalmente, a los profesores que en algún momento me felicitaron por ser un alumno dedicado (el sentimiento es mutuo hacia ellos) y a mis compañeros con los que pasé grandes momentos.

Dedicatoria

Con todo mi cariño y dedicación al verdadero maestro y mentor, doy gracias a dios porque solo el proporciona la sabiduría para ver el mundo desde una perspectiva diferente, me enseñó a admirar y a respetar la vida desde pequeño, aquel libro de dinosaurios despertó la curiosidad de un futuro biólogo. Por apoyarme y guiarme en todo lo que hago, este logro es dedicado a mi niño de 3 años.

Especial mención del sacrificio arduo y no en vano de mis padres que me brindaron su cariño, sus besos, su tiempo y valores en mi formación como profesional y en todo momento.

Dedicación especial a mamá y a mamá, por darme las fuerzas necesarias, apoyo siempre incondicional y sobre todo su amor, al final no puedo expresar por escrito lo agradecido que estoy por todo lo que me han brindado y por todo lo que hemos pasado juntos, siempre los tres hasta el final, las profesionales son ustedes, logramos esta meta unidos, con todo mi amor se los dedica su hijo. Con toda seguridad puedo expresar que mi abuelito estaría orgulloso de los tres.

Índice de contenido

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice.....	iv
Resumen/Abstract.....	vi
Abreviaturas.....	viii
1. Introducción.....	1
1.1 Desarrollo sostenible.....	1
1.2 El agua; la actual realidad del líquido vital.....	2
1.3 Sistema de saneamiento y sistema de saneamiento ecológico seco.....	4
1.4 La orina humana; ureotelismo y amoníaco.....	6
1.4.1 Composición de la orina humana y parámetros químicos.....	7
1.4.2 De residuo a fertilizante de buena calidad (patógenos y desinfección)....	10
1.5 El suelo.....	13
1.6 Uso experimental de la orina humana como fertilizante en cultivos.....	16
1.7 La planta <i>Coriandrum sativum</i> (L.).....	17
1.7.1 Descripción botánica.....	18
1.7.2 El cultivo de cilantro.....	20
1.7.3 Requerimientos en el cultivo de cilantro.....	21
1.8 El sitio de estudio: San Bernardino Tepehene, Puebla.....	22
2. Antecedentes.....	24

3. Planteamiento del problema.....	26
4. Pregunta de investigación.....	28
5. Hipótesis.....	28
6. Objetivos.....	28
6.1 Objetivo general.....	28
6.2 Objetivos particulares.....	29
7. Justificación.....	29
8. Metodología.....	31
8.4 Diseño experimental.....	37
8.8 Análisis estadístico.....	47
9. Resultados y discusión.....	49
9.1 Análisis microbiológico de agua y OHD.....	49
9.2 Análisis de nitrógeno de OHD y volumen total empleado.....	54
9.3 Peso y diámetro de 1000 frutos de <i>Coriandrum sativum</i> (L.).....	56
9.4 Análisis de suelo.....	56
9.5 Análisis microbiológico vegetal.....	60
9.6 Análisis estadístico (variables; altura, peso fresco y peso seco).....	64
9.7 Dosis óptima de N con OHD, aspectos generales y recomendaciones.....	74
10. Conclusiones.....	79
11. Bibliografía.....	80

Resumen

La orina de los mamíferos tiene altas concentraciones de N por ureotelismo, además de P, K y otros elementos, razón por la cual logra la contaminación del medio hídrico natural. El uso del fertilizante experimental a base de orina humana como alternativa sustentable a los fertilizantes químicos es de interés debido a que es gratuito y rico en nutrientes, sin embargo, los contaminantes biológicos y químicos son su principal limitante. El presente trabajo evaluó el efecto de la fertilización con orina humana desinfectada (OHD) en diferentes dosis (50, 75, 100, 125, 150 kg de N/ha⁻¹) en comparación con la dosis de fertilizante químico (urea) (80 kg de N/ha⁻¹) y sin fertilizante en la altura y peso total de *Coriandrum sativum* (L) mediante el diseño aleatorio, ANOVA y pruebas post hoc. Para evaluar la seguridad en este tipo de prácticas se citaron las Normas oficiales mexicanas (NOM) que establecen los parámetros del suelo y límites contaminantes detectables permitidos en agua, fertilizante (OHD) y plantas. Los resultados indicaron que después del almacenamiento de un año la OHD tenía valores por debajo de los límites microbiológicos para uso agrícola, los parámetros del suelo antes y después del cultivo se mantuvieron dentro del mismo intervalo en su respectiva categoría, las plantas cultivadas con OHD no excedieron el límite máximo permisible de contaminación microbiológica determinado por la NOM vigente en hortalizas de hoja verde. No se encontraron diferencias significativas en la altura y peso total (fresco y seco) entre los tratamientos de OHD y fertilizante químico. El crecimiento de cilantro no es afectado ni inhibido por elementos antagónicos como el Na hasta una dosis de 150 kg de N/ha⁻¹. En conclusión, el fertilizante experimental es tan efectivo como la urea, el cilantro puede ser producido de manera sustentable (forraje, biomasa y productos de consumo directo) en comunidades de escasos recursos bajo condiciones de higiene y sanidad rigurosamente aplicadas, se necesita más investigación para explicar aspectos de la desinfección y sobre los riesgos en la resistencia de contaminantes biológicos y químicos.

Palabras clave: cilantro, variedad Marroquí, altura, peso fresco, peso seco, fertilizante orgánico, hidrolisis de urea, amoníaco, San Bernardino Tepenene Puebla, desarrollo sostenible, contaminantes biológicos y químicos.

Abstract

Mammalian urine has high concentrations of N due to ureotelism, in addition to P, K and other elements, which is why it causes contamination of the natural water environment. The use of experimental fertilizer based on human urine as a sustainable alternative to chemical fertilizers is of interest because it is free and rich in nutrients, however, biological and chemical contaminants are its main limitation. The present work evaluated the effect of fertilization with disinfected human urine (OHD) in different doses (50, 75, 100, 125, 150 kg of N/ha⁻¹) compared to the dose of chemical fertilizer (urea) (80 kg of N/ha⁻¹) and without fertilizer in the height and total weight of *Coriandrum sativum* (L) by means of the random design, ANOVA and post hoc tests. To evaluate the safety in this type of practices, the Official Mexican Standards (NOM) were cited, which establish the soil parameters and detectable pollutant limits allowed in water, fertilizer (OHD) and plants. The results indicated that after one year storage the OHD had values below the microbiological limits for agricultural use, the soil parameters before and after cultivation were maintained within the same range in their respective category, the plants grown with OHD did not exceeded the maximum permissible limit of microbiological contamination determined by the current NOM in green leafy vegetables. No significant differences were found in height and total weight (fresh and dry) between the OHD and chemical fertilizer treatments. Coriander growth is not affected or inhibited by antagonistic elements such as Na up to a dose of 150 kg of N/ha⁻¹. In conclusion, the experimental fertilizer is as effective as urea, coriander can be produced in a sustainable way (forage, biomass and products for direct consumption) in low-income communities under rigorously applied hygiene and sanitation conditions, more research is needed to explain aspects of disinfection and the risks in the resistance of biological and chemical contaminants.

Keywords: coriander, Moroccan variety, height, fresh weight, dry weight, organic fertilizer, urea hydrolysis, ammonia, San Bernardino Tepenene Puebla, sustainable development, biological and chemical pollutants.

Abreviaturas

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OH: Orina humana

OHD: Orina humana desinfectada/ fertilizante experimental

Con-San: Saneamiento convencional

Eco-San: Ecosaneamiento/ saneamiento ecológico

SSES: Sistema de saneamiento ecológico deshidratado/ seco

DDS/ dds: Días después de la siembra

1. Introducción

El siguiente apartado expone el punto de partida en el que se sustenta el trabajo de tesis. Se presenta la delimitación y la temática a desarrollar, se proporciona toda la información reunida sintetizada (excepto aquellas partes donde se necesite enfatizar) acerca de la perspectiva teórica.

Se presenta el tratado desde los aspectos más generales; que cumplen la función de brindar una perspectiva universal de nuestro enfoque al proyecto, hasta aquellos particulares inmersos directamente en nuestro estudio, siguiendo un orden lógico y secuencial.

1.1 Desarrollo sostenible

En el informe Brundtland (1987) aparece por primera vez de forma oficial el concepto de “desarrollo duradero” en sentido amplio es aquel que trata la relación *desarrollo presente y posterior*, esta definición hace referencia al equilibrio en las necesidades actuales en relación a las futuras (una no afecta a la otra) y en el uso óptimo de los recursos medio ambientales y tecnológicos de forma viable y equitativa (Naciones Unidas, 1987). Durante la reunión en la Sede de las Naciones Unidas en Nueva York (2015) se proyectaron los *17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)* los cuales se pretenden llevar a cabo por los países desarrollados y aquellos en proceso de desarrollo, de forma concreta la finalidad es dar solución a problemas en sus tres dimensiones; económica, social y ambiental (Naciones Unidas, 2015).

Actualmente en México y en el mundo se ha hecho presente el más importante problema de todos: el paulatino pero creciente deterioro al entorno natural que nos rodea, que tiene grandes repercusiones sobre todos los seres vivos, produce pérdida de biodiversidad, incremento en los riesgos a la salud, el agotamiento de recursos, la contaminación, así como el deterioro de fuentes hídricas y de los recursos edáficos (CONAGUA, 2018). Según los programas gubernamentales e informes de resultados más recientes, con el objeto de mitigar este problema, cada protocolo de inversión y demás propuestas se pretenden realizar en el periodo 2019-2022, bajo este contexto se ha promovido la necesidad de evaluar los más recientes proyectos

fundamentalmente al adquirir nuevos enfoques en innovación y tecnología con impacto en la reducción de desechos contaminantes y de ser posible al reciclaje de nutrientes valiosos en las comunidades y países en desarrollo (Naciones Unidas, 2015), así, las ideas planteadas en el presente estudio se coordinan con varias metas sustentables (Figura 1), principalmente con aquellos propósitos de alcance específico como los objetivos 1, 2, 6, 11, 12, 13, 14 y 15 que contemplan el medio ambiente, pobreza, seguridad alimentaria, salud y nutrición, esto permite proponer soluciones alternativas, especialmente al aumentar la producción vegetal comestible (potencialmente en aquellos autóctonos) de forma sustentable y al mismo tiempo que puede ser respaldada por medio de la evaluación científica (Naciones unidas, 2015).



Figura 1. Conexión concreta como enfoque integrado en el trabajo de tesis con los objetivos del desarrollo sostenible. Elaboración propia.

1.2 El agua; la actual realidad del líquido vital

La situación del agua es de vital importancia, se sabe que debido a la reciente escasez progresiva se tiene relevancia en diversas zonas de México y el mundo. Al mismo tiempo es un asunto prioritario el cuidado de las fuentes hídricas, así como de hacer

llegar este recurso a las comunidades, optimizar su uso y verificar un adecuado tratamiento (CONAGUA, 2020a). En respuesta a la falta de este elemento algunas regiones en México han adoptado el uso de sistemas que permiten la captación y el ahorro de este recurso, por ejemplo: el aprovechamiento de los cambios en las temporadas del medio sobre la mayor parte de sus actividades (principalmente agrícolas) (Acosta *et al.*, 2018).

En las partes sureste y central del país usualmente se presentan las condiciones adecuadas de presión, temperatura, humedad atmosférica y factores climáticos del viento para provocar precipitaciones importantes en temporal, sin embargo, de forma particular en el territorio mexicano 2/3 partes se consideran áridas o semiáridas con escasos niveles de precipitación específicamente en la zona norte del país (Acosta *et al.*, 2018). A nivel local existen regiones dentro del estado de Puebla que son afectadas por condiciones de sequía (algunas no tan extremas y de corta duración), en estas condiciones la insuficiencia de lluvia o la obtención de la misma (limitada solo a la temporada) provoca que la vegetación en general se desarrolle con dificultad (CONAGUA, 2018).

En relación a la falta, el cuidado y demanda del líquido vital recientemente se ha optado por el incremento en el reúso del agua con la finalidad de reducir los volúmenes de extracción de sus fuentes y de manera preferente evitar la contaminación directa (Concha-Santos, 2012; Melilán y Fernández, 2016), sin embargo, no se han implementado de manera eficiente planes de acción para reciclar los nutrientes aprovechables antes de que lleguen a contaminar los recursos hídricos, hasta ahora la mayoría de esfuerzos solo se han enfocado en verificar fuentes de contaminación y encontrar metodologías viables cuando ya se tiene un problema establecido. La orina forma parte de los residuos antropogénicos, aporta una alta cantidad de N y una fracción del P y K a las aguas residuales, además, es un líquido prácticamente ilimitado que en su eliminación también requiere del uso del agua (Höglund *et al.*, 2002). El recuperar y reciclar los nutrientes de los residuos orgánicos justo antes de que causen deterioro al contaminar los recursos acuíferos implementa también una alternativa en el

cuidado y la reducción en el desperdicio de agua (medio común de transporte para los desechos antropogénicos) (Concha-Santos, 2012; Hu *et al.*, 2016; CONAGUA, 2020a).

1.3 Sistema de saneamiento y sistema de saneamiento ecológico seco

Las aguas residuales son aquellas que han sido utilizadas y desechadas por las actividades humanas. Estas se pueden clasificar en industriales, comerciales y domésticas según su origen, los desechos que se vierten en el agua forman parte de los saneamientos convencionales (Con-San) que en el mejor de los casos llevan los residuos mezclados por gravedad a depósitos estacionales (incluye la orina comúnmente menos contaminada), a las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (manejo con alto consumo energético y económico) o el deplorable acomodo directo al medio hídrico natural (los elementos llegan a los cuerpos de agua), son principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos y productos clave en el deterioro de entornos naturales al causar eutrofización, modificaciones en el pH natural y disminución de la cantidad de oxígeno presente, debido a este problema paulatino pero progresivo se han llevado a cabo investigaciones acerca de nuevos métodos de ahorro de agua, energía y reciclaje de nutrientes así como sus efectos al ambiente y por supuesto a la salud (CONAGUA, 2018). Los productos orgánicos de desecho humano componentes de aguas residuales domésticas contienen diferentes organismos que causan enfermedades (bacterias, hongos, virus y parásitos), el objetivo fundamental del saneamiento es eliminar los residuos antropogénicos de forma segura y al mismo tiempo evitar que sus patógenos retornen a la población (CONAGUA, 2020a).

Por otro lado, Eco-San (ecosaneamiento o saneamiento ecológico) surge en la década de 1990 como alternativa al cierre del ciclo residual con el propósito de ahorrar energía y agua, así como evitar la contaminación de la misma y reciclar nutrientes, plausible para las Naciones Unidas se aceptó dar seguimiento a la búsqueda de su implementación y difusión. Eco-San es la forma alternativa de reproducir los ciclos naturales principalmente en zonas rurales (Hu *et al.*, 2016).

Las llamadas “aldeas o pueblos ecológicos” han adoptado algunas medidas de saneamiento similares dedicando todos sus esfuerzos hacia el desarrollo sostenible (Hanæus *et al.*, 1997). En México, particularmente en Puebla no se han hecho grandes avances en la implementación de estas tecnologías, muy pocas investigaciones van dirigidas a la evaluación de su uso en zonas urbanas y áreas metropolitanas, actualmente el sistema de saneamiento ecológico es empleado (formalmente establecido) solo en algunas zonas rurales de México principalmente impulsado por unos cuantos programas y proyectos relacionados con el desarrollo sustentable y de la llamada infraestructura verde al determinar el funcionamiento, la factibilidad económica, el impacto social, temática ambiental, los procesos de tratamiento y el reciclaje de nutrientes (Pérez *et al.*, 2015; Chávez, 2019).

A diferencia del saneamiento convencional un sistema de saneamiento ecológico deshidratado (SSES) no necesita de cantidades excesivas de agua para su funcionamiento, costos de tratado de aguas residuales y gastos energéticos altos, asimismo respaldan una estrategia sostenible al reducir los costos de construcción y al ser menos vulnerable ante fenómenos naturales (Hanæus *et al.*, 1997). De esta manera, se aprovechan (mediante la separación de sus componentes) el reciclaje de nutrientes y recursos orgánicos, además de detener el ciclo de enfermedades de retorno a la población (CONAGUA, 2014; CONAGUA, 2020a).

El SSES es aquel que no emplea agua para su funcionamiento y no se conecta a una red de aguas residuales:

- Saneamiento:** maneja residuos orgánicos de una forma adecuada.
- Ecológico:** recolecta, recicla, reutiliza y aprovecha los ciclos biológicos naturales para transformar la materia orgánica en un producto para aplicar al suelo.
- Seco:** no utiliza agua y evita contaminarla.

Existen múltiples modelos de SSES, algunos prefabricados, no obstante, tienen la misma finalidad y componentes (Figura 2).

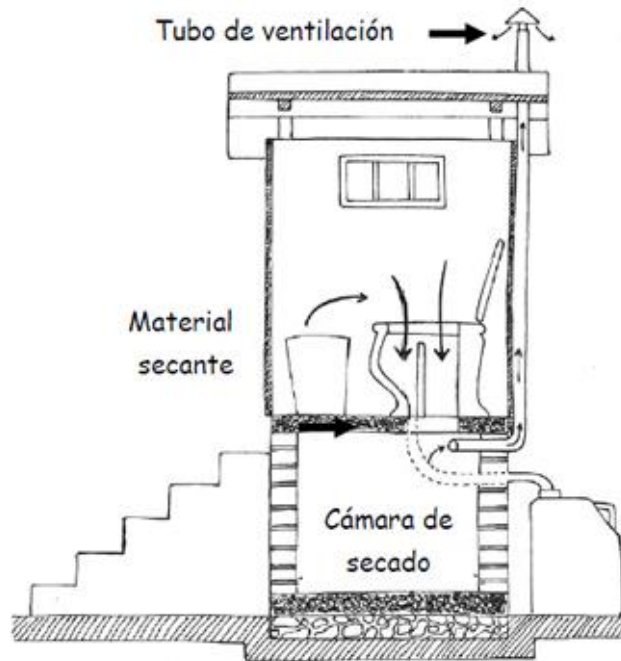


Figura 2. Representación pictográfica del modelo general de un SSES (Modificado de Castillo, 2002, p. 6). **Para residuos sólidos;** se depositan en un espacio con material secante (aserrín, ceniza, arena, tierra o cal), a partir de ahí pasa al compostaje para el campo. **Para orina;** por medio de la separación se evita el contacto con otros residuos (desvío de orina), se acumula en galones de plástico y se almacena sellada, bajo sombra y a temperatura ambiente.

El éxito que presentan los sistemas ecológicos en el cierre de ciclos de nutrientes reciclados depende de diversos factores, de acuerdo con Hanæus *et al.* (1997) estos pueden ser:

- La implementación adecuada
- El diseño del sistema
- La apropiada utilización

1.4 La orina humana; ureotelismo y amoníaco

La orina es un líquido que actúa como medio de eliminación de sustancias al transportar productos de desecho del metabolismo, se forma en la nefrona del túbulo urinífero por filtración glomerular, es recolectada por los cálices de los riñones y se transporta por los uréteres para posteriormente almacenarse temporalmente en la vejiga, de ahí se expulsa fuera del cuerpo por medio de la uretra. Se estima que en

promedio se producen cerca de 1.5 L de orina por persona al día, en un año de entre 400 hasta 500 L, aunque depende del equilibrio hídrico del individuo (Karak y Bhattacharyya, 2011). Desde el punto de vista biológico la orina es de vital importancia para la eliminación de una gran cantidad de productos tóxicos para el cuerpo; derivados del metabolismo, medicamentos y otras drogas o exceso de elementos como el sodio. En el ser humano el CO₂ y el agua en exceso son fáciles de eliminar, a diferencia de estos, el nitrógeno residual derivado del metabolismo de las proteínas y de los ácidos nucleicos es producido como amoníaco (NH₃). El amoníaco se transforma en otros compuestos nitrogenados menos tóxicos y no volátiles, además, para excretar estos compuestos como el ácido úrico (aves y algunos reptiles) o la urea (mamíferos, algunos reptiles y peces) se necesita menos agua por lo que se obtiene una orina concentrada (Kardong, 2007).

1.4.1 Composición de la orina humana y parámetros químicos

La orina tiene una composición de 91-95% de agua, el resto son elementos de bajo peso molecular y no volátiles como la urea, sales orgánicas e inorgánicas, creatinina y colorantes. Su pH oscila entre 6 y 9 aunque estos valores tanto como los de su composición (principalmente el contenido de nitrógeno, fosforo, potasio, sodio y otros elementos) pueden variar (Tablas 1 y 2) conforme a la dieta, hidratación y otros factores (Kirchmann y Pettersson, 1995; Heinonen-Tanski *et al.*, 2007).

Tabla 1

Principales parámetros químicos variables de la orina humana.

Parámetro	Rango de valor/valor	Fuente
pH	5.6-9	Pradhan et al. (2009)
Conductividad	14.8–47.2 mScm ⁻¹	Kirchmann & Pettersson (1995)
		Pradhan et al. (2010a)
Densidad	1003-1035 g L ⁻¹	Jönsson et al. (2004)
		Kirchmann y Pettersson (1995)
Olor	Característico a amoníaco	Kirchmann y Pettersson (1995)

Color	Incolora-ligeramente ámbar	Kirchmann y Pettersson (1995)
DBO	180 mg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)

Nota. Elaboración propia con información de Karak y Bhattacharyya, 2011.

Como se sabe además de la presencia de factores clave como la textura del suelo, pH, humedad, temperatura, luz, entre otros, las plantas requieren de los minerales y elementos del suelo o sustrato, a la falta de estos, los fertilizantes, abonos orgánicos, fijadores biológicos y simbioses cumplen con el objeto de proveer protección y los nutrientes necesarios para que las plantas se desarrollen (Nabors, 2006), una alternativa equivalente a la nutrición dada por fertilizantes químicos es la orina al ser rica en elementos (Tabla 2), principalmente en nitrógeno que las plantas necesitan en grandes cantidades.

Tabla 2

Principales elementos químicos presentes en la orina humana.

Nutriente/elemento	Rango de valor/valor	Fuente
N total	1.8-9 g L ⁻¹	Pradhan et al. (2009) Kirchmann y Pettersson (1995)
NH ₄ ⁺ (N)	1.117-8.57 g L ⁻¹	Pradhan et al. (2009) Heinonen-Tanski et al. (2007) Kirchmann y Pettersson (1995)
NH ₃ (N)	0.574-0.773 g L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Amino ácidos (N)	0.104-0.110 g L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
NO ₃ (N)	45 µg l ⁻¹ -0.01 g L ⁻¹	Pradhan et al. (2009) Kirchmann y Pettersson (1995)
NO ₂ (N)	10-20 µg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Urea	85% total de N	Kirchmann y Pettersson (1995)
P total	0.15-0.7 g L ⁻¹	Pradhan et al. (2009)

HPO ₄	3.23-3.39 mEq L ⁻¹	Heinonen-Tanski et al. (2007) Kirchmann y Pettersson (1995) Kirchmann y Pettersson (1995)
PO ₄ ⁻ (P)	2.3 g L ⁻¹	Pradhan et al. (2009)
K total	0.59-2 g L ⁻¹	Pradhan et al. (2009) Heinonen-Tanski et al. (2007) Kirchmann y Pettersson (1995)
S	0.175-0.225 g L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Cl ⁻	2.24-3.03 g l ⁻¹	Pradhan et al. (2010a) Kirchmann y Pettersson (1995)
Al	0.185-0.210 mg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
B	0.435-0.440 mg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Ca	13.34-15.75 mg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Cd	0.2 µg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Co	1-12 µg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Cr	2-7 µg L ⁻¹	Jönsson et al. (2004) Kirchmann y Pettersson (1995)
Cu	67-155 µg L ⁻¹	Jönsson et al. (2004) Kirchmann y Pettersson (1995)
Fe	0.165-0.205 mg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Hg	0.44-0.55 µg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Mg	1.5-1.63 mg L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Na	0.938-0.982 g L ⁻¹	Kirchmann y Pettersson (1995)
Na ⁺	2.34 g L ⁻¹	Pradhan et al. (2010a)
Ni	5-227 µg L ⁻¹	Jönsson et al. (2004) Kirchmann y Pettersson (1995)
Pb	1-2 µg L ⁻¹	Jönsson et al. (2004) Kirchmann y Pettersson (1995)
Zn	30-110 µg L ⁻¹	Jönsson et al. (2004) Kirchmann y Pettersson (1995)

Nota. Los valores se pueden clasificar como macro y micro nutrientes. Elaboración propia con información de Karak y Bhattacharyya, 2011.

1.4.2 De residuo a fertilizante de buena calidad (patógenos y desinfección)

La orina se ha empleado para diferentes propósitos; desde su aplicación en las técnicas de supervivencia rudimentaria, herramienta de diagnóstico como biomarcador, en la ciencia espacial para de nuevo obtener agua limpia, entre otros, hasta el más reciente cómo fertilizante experimental a pesar de que desde hace siglos los agricultores saben que se incrementa el rendimiento de los cultivos al agregar fertilizantes orgánicos (Kirchmann & Pettersson, 1995; Nabors, 2006). En individuos sanos la orina no es estéril y puede llegar a presentar múltiples grupos taxonómicos viables (algunos no necesariamente patógenos), no obstante, en su transporte hacia afuera del cuerpo puede llegar a contaminarse aún más con bacterias, virus, hongos o parásitos propios del ser humano o del medio ambiente (Karak y Bhattacharyya, 2011). Se ha identificado la presencia de ciertos microorganismos como contaminantes de la orina, solo unos pocos se excretan pero son potencialmente dañinos (Tabla 3), la otra manera de contaminar la orina es no separarla desde su recolección, por lo tanto, **sí** se requiere de un tratamiento previo a su utilización que no solo asegure la eliminación de aquellos microorganismos que pueden resultar perjudiciales, sino también para la elaboración del propio fertilizante (Kirchmann y Pettersson, 1995; Mamani-Mamani *et al.*, 2015).

Tabla 3

Principales patógenos contaminantes de la orina humana.

Microorganismo	Fuente
<i>Ancylostoma</i> sp.	Karak y Bhattacharyya (2011)
<i>Ascaris</i> sp. y sus huevos	
<i>Entamoeba histolytica</i>	
<i>Enterovirus</i> y otros virus	

<i>Enterococcus faecalis</i>	Chandran et al. (2009)
	Heinonen-Tanski et al. (2007)
<i>Escherichia coli</i>	Karak y Bhattacharyya (2011)
	Mundt y Shanahan (2011)
	Chandran et al. (2009)
	Heinonen-Tanski et al. (2007)
<i>Schistosoma haematobium</i>	Karak y Bhattacharyya (2011)
	Mundt y Shanahan (2011)
<i>Salmonella</i> sp.	Chandran et al. (2009)
<i>Salmonella enterica</i> serovar <i>Typhimurium</i>	Chandran et al. (2009)
<i>Candida albicans</i> y levaduras	Mundt y Shanahan (2011)
<i>Enterobius vermicularis</i>	Mundt y Shanahan (2011)

Nota. La presencia de la mayoría de patógenos es consecuencia de la contaminación cruzada.

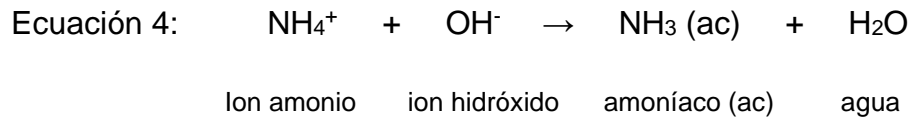
Elaboración propia con información de Karak y Bhattacharyya, 2011.

El tratamiento que se recomienda utilizar para el uso seguro en los cultivos es el cambio en las formas químicas del N por simple almacenamiento como método de desinfección, ya que no es necesario el empleo de energía ni de instrumental costoso para su transformación y manejo, los productos del almacenaje se pueden aprovechar en las actividades de agricultura (Kirchmann & Pettersson, 1995; Mamani-Mamani *et al.*, 2015).

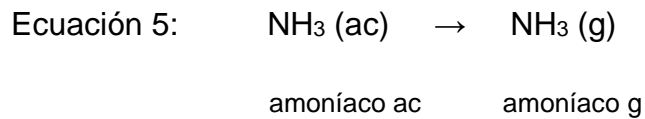
El proceso de desinfección precisa de varios pasos para ser completado, lo primero es separar la orina de la fuente (desvío de orina), se colecta en depósitos o contenedores para su posterior almacenaje, el siguiente paso es esperar a que se auto elabore el fertilizante por un periodo de espera ≥ 6 meses por digestión de los compuestos, acción enzimática microbiana y equilibrio químico (a mayor tiempo de almacenaje mayor desinfección y concentración de N total disponible), como resultado se tiene un incremento en el pH por la concentración del nitrógeno (>90%) en formas amoniacales (importante el amoníaco $[\text{NH}_3]$) y con hasta ocho diferentes especies iónicas como cationes (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^+) y aniones (Cl^- , SO_4^- , PO_4^- y HCO_3^-) (Kirchmann y

Amoníaco (g) agua ion amonio ion hidróxido

En este punto el pK_a hace que el amonio se disocie (9.30) a 25 °C y pH 9, por lo que se pone en equilibrio con el amoníaco (ac) (ecuación 4).



Finalmente, el amoníaco ac está en equilibrio con el amoníaco g (ecuación 5).



El siguiente paso está determinado por los microorganismos del suelo (Ecuaciones 6 y 7) donde ocurre la transformación del amoníaco o del ion amonio a nitrito y producción de nitrato ya asimilable por las plantas (Madigan *et al.*, 2015).



Respecto a otros macro y micro nutrientes presentes en la orina desinfectada no se necesita de ningún proceso ya que los compuestos que los contienen están disponibles para la planta en todo momento en su forma mineral o iónica (precipitados por el pH), además, la microbiología en el suelo aprovecha parte de ellos convirtiéndolos en otros compuestos ya asimilables (Heinonen-Tanski *et al.*, 2007; Chipako & Randall, 2020).

1.5 El suelo

De entre muchas de las propiedades y componentes del suelo en el presente estudio son de interés; conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), la textura y los elementos químicos necesarios para el crecimiento vegetal.

Por definición el suelo es aquella capa más superficial de la tierra, se forma por los procesos de meteorización y de intemperismo (FAO, 2002), está formado principalmente por materia orgánica, aire, agua y por partículas de diferente tamaño,

estas pueden ser: piedra (mayor que 2 mm diámetro), arena (2,0-0,02 mm), limo (de 0,02-0,002 mm) y arcilla (menor que 0,002 mm), la presencia de estas en diferentes proporciones determina la textura del suelo de interés (Figura 3). El suelo actúa como depósito de nutrientes y agua, por lo tanto, a la falta de una buena superficie o cuando el suelo es de mala calidad se emplean sustratos alternativos empleados en las labores agrícolas o actividades con requerimientos experimentales (FARP *et al.*, 1988; FAO, 2002).

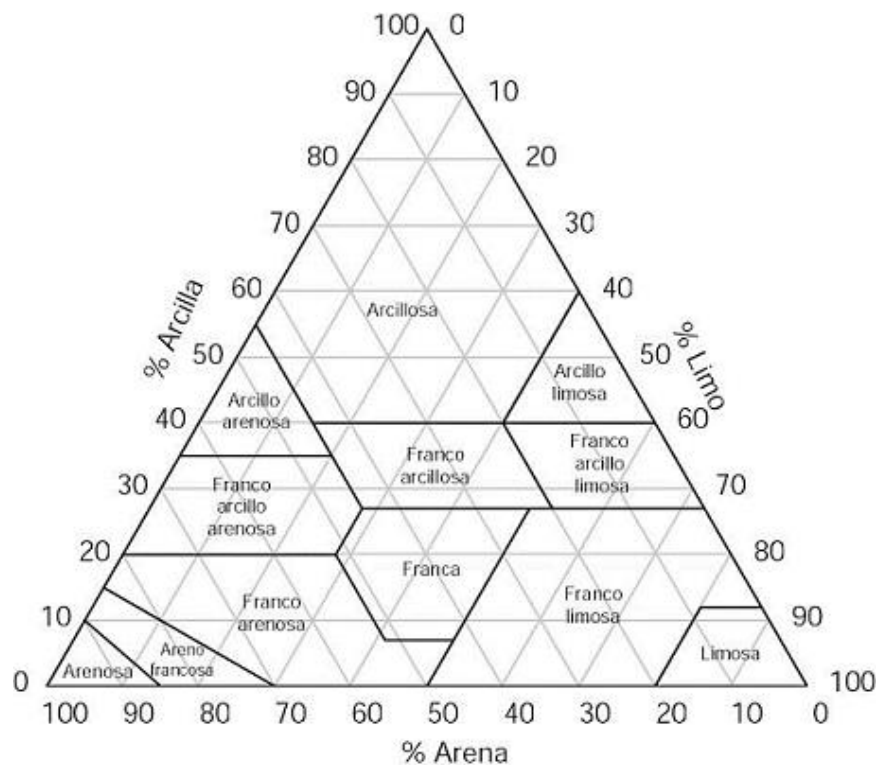


Figura 3. Diagrama triangular de texturas respecto al porcentaje de partículas. Tomado de FARP *et al.*, 1988 p. 7.

Así mismo, el suelo posee partículas con cargas negativas; arcilla y materia orgánica (materia en descomposición) que tienen la capacidad de retener cationes que a su vez pueden ser reemplazados por otros cationes, esta propiedad es la *capacidad de intercambio catiónico*, por otro lado, la *conductividad eléctrica* es aquella propiedad que permite conducir electricidad y que tiene relación con la cantidad de sales en el sustrato (NOM-021-RECNAT-2000; FAO, 2002).

En cuanto a los elementos, sabemos que las plantas los obtienen en forma no mineral del CO₂ en el aire (C y O) y del agua (H y O), en cambio el suelo o sustrato además de brindar un soporte y cubierta para las raíces contiene a los elementos minerales.

Por clasificación cuantitativa los elementos se pueden agrupar según su requerimiento por las plantas como:

- Macroelementos primarios: aquellos que se requieren en grandes cantidades como el N, P y K.
- Macroelementos secundarios: los que se necesitan en cantidades considerables, pero se consideran secundarios como el S, Ca, Mg y
- Microelementos: aquellos que se requieren en cantidades muy pequeñas como el B, Na, Cu, Zn, Fe, Mo, Mn, Cl y otros.

El suministro de nutrientes es importante ya que repercute en procesos vitales, como síntesis de proteínas, lípidos, carbohidratos, el metabolismo de enzimas y actividad fotosintética, por lo tanto, la ausencia como el exceso de estos afectan el crecimiento, producción de frutos, semillas y rendimiento de las plantas (Figura 4) (FAO, 2002).



Figura 4. Factores generales que afectan el crecimiento y rendimiento de las plantas. Tomado de FAO,

2002 p. 11.

1.6 Uso experimental de la orina humana como fertilizante en cultivos

La literatura referente al uso de la orina como único fertilizante en cultivos no era suficiente, antes y hasta el año de 1994 solo se habían empleado tratamientos de biofertilizantes, compuestos químicos y otros fertilizantes orgánicos sin tener en cuenta la orina a pesar de conocer los valores de N-P-K presentes en la misma. Un trabajo específico sobre la composición de la orina humana fue el de Kirchmann y Pettersson (1995) en Suecia, en su análisis determinaron concentraciones altas de N, P, K y la presencia de muchos otros compuestos, en consecuencia, plantearon una nueva brecha de investigación sobre el uso de la orina como fertilizante, quizá este fue el primer trabajo experimental formal sobre orina humana que fue pionero en evaluar la respuesta en un cultivo experimental, donde se evaluó el efecto de la orina humana como fertilizante nitrogenado en cebada (Kirchmann y Pettersson, 1995).

Lato sensu, se puede mencionar que a partir del estudio de Kirchmann y Pettersson se ha evaluado el potencial de la orina en diferentes cultivos, fueron posteriores las propuestas de realizar análisis microbiológicos del producto final para demostrar que no existe la presencia de patógenos entre los que se encuentran los principales indicadores de contaminación en alimentos como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp, además de la realización de otras pruebas cuantitativas y cualitativas en la identificación de otros riesgos, en la comparación con fertilizantes comerciales y para realizar la inferencia en el campo, como resultado se han obteniendo respuestas variables según la tolerancia del tipo de planta cultivada, sin embargo, aún hay mucho que revelar sobre este tema el cual se mantiene en expansión principalmente impulsado por el interés de recuperar elementos útiles de los residuos antropogénicos y más recientemente por alcanzar la visión del desarrollo sostenible (Pradhan *et al.*, 2010; Naciones unidas, 2015).

Por medio de diversos estudios se ha evaluado la posibilidad de usar el fertilizante a base de orina humana como fuente principal de nitrógeno y distintos elementos, así como fuente secundaria donde se emplea en conjunto de otros fertilizantes. Se ha llegado a la conclusión de que es posible emplear esta fuente de nutrientes particularmente para producir y satisfacer la demanda familiar ya que existe viabilidad

para este tipo de prácticas principalmente en el cultivo de hortalizas y otros vegetales (Tabla 4).

Tabla 4

Variedad de estudios donde se evaluó a la orina humana como fuente de nutrientes.

Cultivo	Fuente
Cebada	Kirchmann y Pettersson (1995)
Pepino	Heinonen-Tanski et al. (2007)
Caña de azúcar	Villavicencio (2009)
Jitomate	Concha-Santos (2012)** Pradhan et al. (2009)
Hinojo, trigo, arroz, bambú, mostaza india, plátano, pimiento, apio, higo, zanahoria, espinaca, frijol, Maíz y pasto forrajero (raigrás)	Karak y Bhattacharyya (2011) Winker et al. (2010) Sene et al. (2019)
Calabaza	Pradhan et al. (2010)
Betabel	Chávez (2019)** Pradhan et al. (2010a)
Lechuga	Chávez (2019)** Mamani-Mamani et al. (2015)
Chile jalapeño	Esparza-Rivera et al. (2015)**
Papa	Condori-Guarachi et al. (2018)

Nota. **Estudios en México. Elaboración propia.

1.7 La planta *Coriandrum sativum* (L.)

Coriandrum sativum L., (1753) deriva del griego “*Korion*” (insecto) por el aroma del fruto inmaduro y “*sativum*” (que se cultiva) comúnmente llamado cilantro o coriandro (Figura 5) es una hierba anual, aromática y comestible, es originario del sur de Europa y de la región del Mediterráneo Occidental, es ampliamente cultivado en todo el mundo

principalmente en América Latina (particularmente en México) y el Medio Oriente en el sur de Asia (Diederichsen, 1996; Hernández, 2003).



Figura 5. Partes de la planta (morfología) de izquierda a derecha: hojas medias (Marroquí), esquizocarpos (Marroquí) y hojas superiores, flores e inflorescencias. Elaboración propia.

De acuerdo con su taxonomía el coriandro pertenece a la familia de las apiáceas (*Apiaceae* antes *Umbelliferae*) (Figura 6), es clasificado como hortaliza de hoja y de clima frío (Diederichsen, 1996).

Kingdom	Plantae – plantas, Planta, Vegetal, plants
Subkingdom	Viridiplantae – green plants
Infra kingdom	Streptophyta – land plants
Superdivision	Embryophyta
Division	Tracheophyta – vascular plants, tracheophytes
Subdivision	Spermatophytina – spermatophytes, seed plants, phanérogames
Class	Magnoliopsida
Superorder	Asteranae
Order	Apiales
Family	Apiaceae
Genus	Coriandrum L. – coriander
Species	<i>Coriandrum sativum</i> L. – Chinese-parsley, Chinese parsley, coriander

Figura 6. Clasificación taxonómica de *Coriandrum sativum* (L.). (Integrated Taxonomic Information System, 2020).

1.7.1 Descripción botánica

El coriandro posee 22 cromosomas, es diploide (2n), tiene una germinación epigea, el tipo de raíz es axonomorfa, tiene un sistema radicular fino y sencillo pero muy ramificado lo que hace difícil el trasplante y es de polinización cruzada. El tallo de la planta es tubular, suave, delgado, erecto, además de simpodial con ramas que terminan en inflorescencia, el tallo puede alcanzar una altura de entre 20 hasta 140 cm, generalmente es de color verde, pero puede tornarse rojo o violeta durante la floración. Las hojas pueden ser de color verde intenso o verde amarillento con la parte inferior brillante, a veces se vuelven rojas o violetas en etapa de floración, en general las hojas son compuestas por folíolos que cambian conforme se insertan en la planta dependiendo de la altura; las hojas basales son indivisas con tres lóbulos, le siguen las hojas inferiores que presentan tallos, estas hojas son anchas, dentadas y ovaladas mientras que las hojas superiores poseen cuatro o cinco segmentos largos y estrechos. La inflorescencia es una umbela compuesta que tiene umbelas periféricas con flores hermafroditas con protandria rodeando a umbelas estaminadas centrales, la flor está formada por cinco piezas y es de color blanca o ligeramente rosa. El fruto es un esquizocarpo que contiene dos mitades (cada fruto contiene dos semillas) que completan una forma esférica de aproximadamente 5 mm de diámetro y tiene conductos que contienen el aceite esencial (Figura 7) (Diederichsen, 1996; Hernández, 2003).



Figura 7. *Coriandrum sativum* (L.) tomado de *Köhler's Medizinal-Pflanzen in naturgetreuen Abbildungen mit kurz erläuterndem Texte*, 1883, vol. 2, p. 145.

1.7.2 El cultivo de cilantro

La planta se cultiva ampliamente en el mundo, actualmente los principales productores son India, México, Irán, China, Turquía, Marruecos, Egipto, República árabe siria, Afganistán, Canadá, Túnez y Rusia. El cultivo es muy importante para México, tanto para consumo propio como para exportar, anualmente se producen cerca de 100 mil 560 toneladas en 7099 hectáreas con un rendimiento de $14,165.4 \text{ Kg/ha}^{-1}$, por lo tanto, México se sitúa como productor primario en el mundo. En todo el país se cultiva coriandro, sin embargo, los principales estados productores de cilantro son Aguascalientes, Baja California, Puebla y Zacatecas. Puebla es el mayor productor con una superficie de 3295 hectáreas destinadas a la siembra que producen 47 mil 664 toneladas al año, en Puebla los distritos productores son Libres, Cholula, Tecamachalco y Tehuacán (González *et al.*, 2017; CESAVEP, 2020; FAOSTAT, 2020b).

En el caso de las exportaciones los datos más recientes sugieren que se ha incrementado la demanda del producto hasta un 123.2 % tan solo entre los años 2012-2017. De la aproximación en la producción mexicana (alrededor de 80 mil toneladas, en 7 mil hectáreas anuales) en 2017 se exportaron 64 mil 647 toneladas, de las cuales poco más de 98 % se exportó a Estados Unidos, el 1.5 % a Canadá y el 0.4 % restante a Guatemala, Cuba y Emiratos árabes con un ingreso de 47.3 mdd, además, se puntualiza que el mercado es cerrado ya que la India es el mayor abastecedor de la mayoría de los países de oriente (SIAP, 2018).

1.7.3 Requerimientos en el cultivo de cilantro

El cultivo se puede realizar en dos momentos del año (verano e invierno), la duración de cultivo varía entre 50-140 días dependiendo del producto que se desea obtener (hojas o semilla), para la producción de hoja fresca en verano la cosecha se realiza entre 50-70 dds (días después de la siembra) y en invierno a los 115-125 dds, otra opción es esperar hasta alcanzar la altura de interés agrícola (25-30 cm) y para semilla entre 120-140 dds cuando el cilantro maduró (Hernández, 2003).

El coriandro se cultiva bien en casi cualquier sustrato, pero prefiere suelo de textura arenosa ligera y franca con un pH de 6 o 7, también puede acomodarse en suelo moderado arcilloso. La germinación ocurre entre 10-21 días y precisa de una temperatura óptima de 15-30 °C, en esta fase se necesita una humedad media-alta y riego constante cada 5 o 6 días en los primeros 20 días del cultivo. En cuanto al fotoperiodo, *C. sativum* prefiere días cortos con sol directo, aunque también crece en condiciones lumínicas limitadas, en la etapa de crecimiento la temperatura puede variar entre 15-18°C (es bastante resistente al frío) con una máxima de 24-26°C, en este periodo el riego es menor (1 vez por semana), en la etapa cercana a la cosecha cuando la raíz se extendió, la demanda de agua es menor, es una planta ventajosa respecto a otros cultivos (Hernández, 2003; González *et al.*, 2017). El cilantro necesita de 50-150 kilogramos de N por hectárea (Kg de N/ha⁻¹) por cada siembra, dependiendo de la calidad del suelo (Diederichsen, 1996; González *et al.*, 2017).

Además de ser un cultivo de exportación, en la gastronomía mexicana *C. sativum* se utiliza en la preparación de salsas, mole, sopa, caldo, etc., y a pesar de que toda la planta se puede consumir (raíz, tallo, hojas, flor y semilla) es más frecuente el consumo de las hojas frescas (por lo que se considera hortaliza de hoja de consumo crudo) y las hojas y semillas secas (generalmente molidas) como especia (González *et al.*, 2017). Por otra parte, la planta posee compuestos volátiles y aromáticos que se pueden obtener por hidrodestilación, su producto es el aceite esencial que se utiliza como aromatizante de perfumes o bebidas y la planta en general en la fabricación de biodiesel (González *et al.*, 2017). Por su alto contenido de ácidos grasos volátiles presentes en todas las estructuras vegetales se ha reportado el uso de extractos en la inhibición bacteriana de contaminantes biológicos comunes en cultivos y alimentos (*Escherichia coli* y *Salmonella* sp.) principalmente por la presencia de diversos compuestos activos en su aceite esencial como el linalool de los frutos o el alfa-pineno de las hojas, además es conocido y apreciado en la medicina tradicional por tener efecto carminativo, tratar la indigestión, insomnio, reumatismo y dolor de articulaciones. Por otro lado *C. sativum* también es valorado y llamativo para la medicina y la farmacología por su actividad antioxidante, antidiabética, promotora de la reparación del ADN, inmunomoduladora, antihelmíntica, efecto antimicrobiano, antifúngico entre otros (Hernández, 2003). En cuanto a patógenos y plagas que atacan a esta especie pueden ser ácaros, insectos como *Trialeurodes vaporariorum* (mosquita blanca) y otros no exclusivos del coriandro, dentro de los específicos se conocen pocos, entre estos se encuentran algunos hongos (*Verticillium* sp. y *Fusarium* sp.), sin embargo, actualmente se producen pérdidas significativas a causa de *Pseudomonas syringae* pv. *Coriandricola* (CESAVEP, 2020).

1.8 El sitio de estudio: San Bernardino Tepenene, Puebla

El presente estudio se realizó en el ejido de San Bernardino Tepenene ubicado en el municipio de Tzicatlacoyan en la región de la Mixteca en el estado de Puebla, a una altura de aproximadamente 2120 msnm (Figura 8), el lugar se encuentra cerca de *la presa de Valsequillo* por lo que está expuesto a polución constante, la localidad es catalogada como ranchería campesina debido a que la agricultura y el comercio local,

así como la ganadería y producción de mezcal son las actividades económicas que imperan en la región, sin embargo, el sistema productivo no es firme debido a la mala calidad del terreno y a la falta de agua (INAFED, 2010; Pérez *et al.*, 2015).

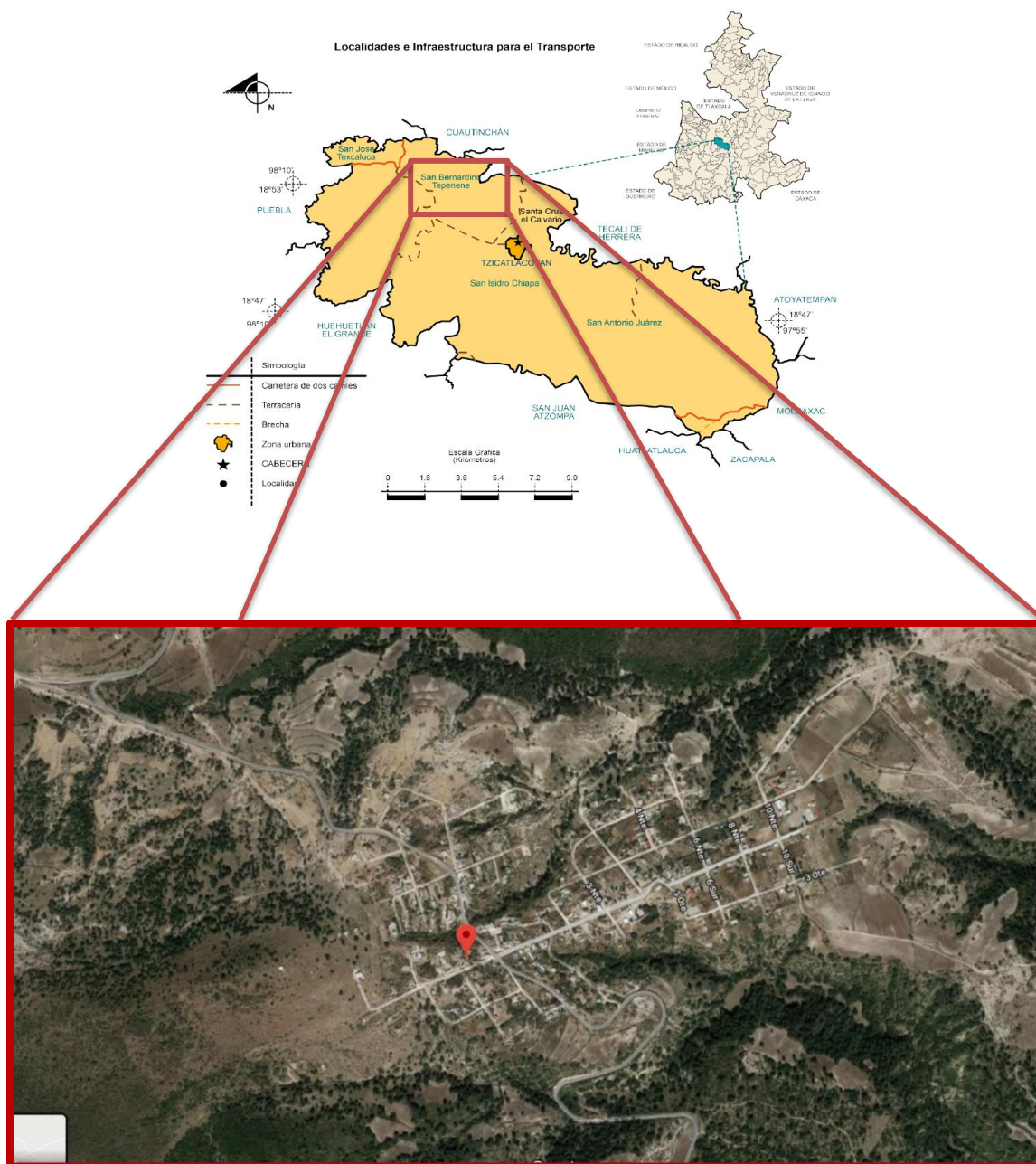


Figura 8. Localidad de San Bernardino Tepenene en Puebla (tomado de Pérez *et al.*, 2015, p. 11 y Google Maps, 2020).

La región cuenta con una gran biodiversidad, se caracteriza por ser una zona con clima templado subhúmedo y un entorno semiárido que mantiene vegetación de pastizal, bosque de encino y matorral xerófilo, se estima que el promedio anual de precipitación exclusiva en verano es de 737.5 mm al año comparado con el rango promedio de Puebla de 947-1200 mm (CONAGUA, 2018), por tanto las posibilidades de mantener una producción estable son diezmadas, uno de los grandes retos que tiene la comunidad es hacer llegar agua a los pobladores, la colecta de agua de lluvia es el principal modo de obtenerla y que posteriormente utilizan en sus cultivos y actividades diarias (Pérez *et al.*, 2015).

El lugar es catalogado como un sitio de pobreza extrema, hambre, desempleo y servicios limitados (grado de marginación alto), las principales carencias de esta localidad son sistemas de alcantarillado y drenaje, la zona rural forma parte del 25% de la población que no poseen agua en la vivienda y del 32.5% que no poseen servicios de alcantarillado y saneamiento básico, sin embargo, algunos hogares de la zona poseen sistemas de saneamiento ecológico y captación de agua de lluvia principalmente impulsado por algunos proyectos de desarrollo social rural (INAFED, 2010; Pérez *et al.*, 2015; CONAGUA, 2018).

A pesar de que en la comunidad no se cultiva cilantro a escala media o alta, al menos es cultivado para consumo local (producción familiar y mínima producción para venta en la comunidad), algunos de los cultivos que en la localidad predominan son: (*Physalis philadelphica* (LAM.) (tomate verde), *Solanum lycopersicum* (L.) (jitomate), *C. sativum* (L.) (cilantro), algunas especies del género *Capsicum* y el emblema de la región; el maguey mezcalero (*Agave* sp.) (Pacheco, 2018).

2. Antecedentes

Se revisaron aquellos trabajos acerca de parámetros de crecimiento en plantas con “OHF” como fundamento para los objetivos en el presente escrito, es importante indicar que no se encontraron trabajos previos con relación a la aplicación de fertilizante experimental en *C. sativum*, así como otros proyectos en San Bernardino Tepenene (sitio de estudio).

En Suecia, el trabajo pionero de Kirchmann y Pettersson (1995) sustenta el uso de la “*orina humana almacenada*” como fertilizante experimental, en este trabajo el objetivo fue determinar su composición química y su valor fertilizante (en N y P) en plantas de *Hordeum vulgare* (cebada) mediante marcaje isotópico con ^{15}N , ^{32}P , análisis por muestreo y ANOVA. Respecto a la composición química se encontraron cantidades considerables de N, P, K, otros elementos esenciales y no esenciales para el crecimiento de las plantas. La “*orina humana almacenada*” tenía un pH alcalino por la concentración (>90%) de nitrógeno amoniacal y diferentes especies iónicas como cationes (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^+) y aniones (Cl^- , SO_4^- , PO_4^- y HCO_3^-). Finalmente se concluye que el valor como fertilizante experimental fue mejor que su equivalente comercial (en el caso del P), sin embargo, en N fue menor al fertilizante químico debido a la significativa volatilización del N.

Algunos años después en México, el trabajo de Concha-Santos (2012) tuvo por objetivo evaluar el uso de diferentes dosis de “*orina humana almacenada*” sobre el crecimiento y producción de *Lycopersicon esculentum* (jitomate) bajo condiciones de invernadero en comparación del fertilizante mineral y sin fertilizar en dos sustratos (ácido y neutro), este estudio tuvo un diseño factorial de dos factores con 2 y 4 niveles, evaluación por ANOVA y prueba de comparaciones múltiples. Se realizó la caracterización de parámetros (químicos y biológicos) de los fertilizantes, el suelo y material vegetal antes y después del cultivo. Los resultados de las pruebas microbiológicas de la orina después de seis meses de almacenamiento (solo coliformes totales y fecales) fueron negativas, por otro lado, los aspectos edáficos (CE, CIC y lixiviados) aumentaron. Finalmente se concluye que el crecimiento y rendimiento son comparables al fertilizante mineral (excepto en sustrato ácido).

Recientemente, en Japón el trabajo de Sene *et al.* (2019) tuvo por objetivo evaluar el momento y frecuencia de aplicación del fertilizante experimental (orina sintética) en el crecimiento de la herbácea *Spinacia oleracea* (espinaca), las propiedades del suelo (antes y después del cultivo) y lixiviación en condiciones de sustrato arenoso. Se emplearon 52 unidades experimentales en 7 tratamientos con 7 repeticiones y control negativo, las evaluaciones se llevaron a cabo por medio del análisis de muestras, el

ANOVA y pruebas post hoc. Los resultados indicaron que el fertilizante experimental proporcionó un crecimiento favorable en la herbácea para los parámetros evaluados con la frecuente aplicación después de la germinación, por otro lado, se observó el incremento en los parámetros de pH y CE, finalmente se concluye que el fertilizante experimental no es efectivo cuando se aplica completamente antes del cultivo ya que se presenta menor crecimiento vegetal y mayor lixiviado de elementos.

Además de los trabajos ya mencionados existen diversas publicaciones que sustentan el uso del fertilizante experimental para las plantas por el crecimiento y rendimiento equivalente al proporcionado por los fertilizantes (Tabla 4), sin embargo, también es importante identificar y evaluar las desventajas, el presente trabajo contempla la mayoría de estos aspectos desde el punto de vista biológico.

A partir de la información sintetizada se sustituirá el término ***orina humana fermentada*** (OHF) por ***orina humana desinfectada*** (OHD).

3. Planteamiento del problema

En el presente apartado breve podemos puntualizar las principales dificultades actuales que en el proyecto se pretenden alcanzar con enfoque regional pero también universal. Actualmente el medio natural presenta un deterioro grave y progresivo, por lo que se pretende que la presente investigación tenga impacto en la reducción de contaminación del agua, al mismo tiempo, proyectar una alternativa a los fertilizantes comerciales químicos, a su vez estos problemas se enlazan directamente con otros como lo son la pobreza, amenaza en la seguridad alimentaria, el saneamiento y la salud.

Desde siempre se ha dado un distintivo enfoque al cuidado de los recursos hídricos (el aprovechamiento, consumo y uso del agua), se estima que cerca de 7 mil 410 hm³ de agua se descargan en sistemas de alcantarillado como agua residual de origen urbano-rural y de origen industrial cerca de 6 mil 880 hm³ de agua lo que nos da un total de 14 mil 290 hm³ de agua residual, del cual solo el 48.42 % tuvo tratamiento (CONAGUA, 2018). Un producto tan nutrido, abundante y prácticamente interminable (se estima que al menos el 1% del total de aguas residuales es orina) se transforma en un contaminante de difícil control, no permite reducir el uso del agua (en su eliminación)

mientras que su potencial acomodo final en ríos, lagos, fuentes hídricas subterráneas, mares y demás recursos naturales resulta fatal y a veces irremediable (Höglund *et al.*, 2002; CONAGUA, 2020a).

Por otro lado, se encuentra la sobreexplotación de recursos en la producción de fertilizantes, actualmente en las actividades agrícolas la calidad de las cosechas depende de factores principales como:

- la calidad del suelo, su composición y disponibilidad de nutrientes y
- de la implementación de fertilizantes que en su procesamiento y fabricación producen elementos contaminantes (entre estos yeso con algunos metales pesados y elementos radioactivos) así como aceleración en la futura escasez de la fuente como la roca fosfórica, debido a la extracción a gran escala, por otro lado, son cada vez más costosos, se necesitan en dosis más grandes llegando a ser económicamente inaccesibles y fáciles de perder (perdida hacia horizontes profundos) por lo que es difícil garantizar la calidad del suelo y cosechas a largo plazo (Karak y Bhattacharyya; Chipako & Randall, 2020).

En México se producen 168 mil 519 toneladas de N en forma de *amoníaco anhidro* (amoníaco puro), sin embargo, se importan hasta 857 mil 148 toneladas de las cuales 681 mil 462 se destinan para uso agrícola, por otro lado, la importación del fertilizante *urea* es de hasta 1,717,574.05 toneladas debido a que tan solo para cilantro las demandas de su producción aumentaron un 123% en un periodo de solo cinco años, por lo que el requerimiento de fertilizantes también se incrementó, generalmente otros elementos son importados en forma de cloruro de potasio, fosfato diamónico, nitrato de amonio cálcico, nitrato de potasio, sulfato de amonio y fórmulas comerciales de N-P-K (SIAP, 2018; FAOSTAT, 2020a).

La pobreza también juega un papel importante en muchos lugares en Puebla, México y el mundo, así como la escasez de recursos básicos, como el agua y en la alimentación además de económicos y la inestabilidad de condiciones óptimas para el desarrollo, se reitera que existen localidades (y muchas más que se suman) donde el líquido vital es limitado o casi nulo (CONAGUA, 2014).

Los problemas presentados anteriormente son característicos de la localidad de San Bernardino Tepehene en Puebla, la escasez de agua y un suelo pobre y degradado han impulsado a la adquisición e intensificación en el uso de fertilizantes químicos para mejorar sus cosechas locales, en consecuencia, se opta por la búsqueda de nuevas fuentes de nutrientes por lo que desde el punto de vista de la investigación biológica se propone introducir alternativas prácticas al uso de fertilizantes químicos comerciales con el fin de apoyar a comunidades con bajos recursos que a su vez tiene consecuencias directas al evitar y reducir la contaminación de los recursos naturales, el reciclado de nutrientes y su mejor aprovechamiento, finalmente que el lugar prospere con lo que produce hacia la búsqueda del desarrollo duradero.

4. Pregunta de investigación

Para cumplir con la finalidad de hacer trascendente el presente estudio en los ámbitos científico, social, tecnológico, económico y ambiental al implementar la investigación biológica sobre los problemas de contaminación, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Existen diferencias significativas entre el efecto fertilizante de la orina humana desinfectada (OHD) en diferentes dosis y la dosis de fertilizante químico recomendada en el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) al evaluar la altura, peso seco y peso fresco bajo condiciones de invernadero en la localidad de San Bernardino Tepehene en el estado de Puebla, Pue?.

5. Hipótesis

Existe una dosis de OHD en donde las variables de altura, peso fresco y peso seco son iguales o mayores que en la dosis de fertilizante químico en el cultivo de cilantro debido a que la orina humana es rica en nutrientes necesarios para la planta como N, P, K, entre otros, principalmente en N disponible en formas amoniacales por almacenamiento >6 meses.

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la fertilización a base de orina humana desinfectada en diferentes dosis como principal fuente de nitrógeno, en comparación con la dosis de fertilizante químico comercial más recomendado, en el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum* L.).

6.2 Objetivos particulares

- a) Obtener un fertilizante orgánico seguro, gratuito, renovable y rico en nutrientes a base de orina humana desinfectada por almacenamiento ≥ 6 meses.
- b) Aplicar experimentalmente los fertilizantes (orgánico y comercial) con dosis de 0, 50, 75, 100, 125 y 150 kg N/ha⁻¹ y 80 kg N/ha⁻¹ respectivamente al cultivo de cilantro en tres tiempos durante un periodo experimental de 3 meses.
- c) Evaluar si existen diferencias significativas en las variables de altura, peso fresco y peso seco entre los tratamientos de OHD y fertilizante químico en el coriandro.
- d) Determinar si existe una dosis de nitrógeno con OHD para recomendar en el crecimiento de cilantro.

7. Justificación

En la actualidad la localidad de San Bernardino Tepenene en Puebla, así como en muchas otras comunidades, presenta carencia de recursos, especialmente económicos y del líquido vital, estos problemas limitan muchas de las actividades llevadas a cabo por los pobladores. En relación con lo anterior es de principal importancia fomentar el cuidado y eficiencia del agua, debido a que nos encontramos con uno de los mayores problemas que desde siempre ha tenido relevancia, por lo que se procura apoyar a reducir su consumo y contaminación.

El estudio es interesante porque la orina además de ser producida de forma considerable, se conoce y trata como un residuo sin valor, que no es aprovechado de ninguna forma y además resulta contaminante si se utilizan los sistemas de saneamiento convencionales u otros más simples, pero si se le da un correcto tratamiento y manejo pueden surgir diversos productos aprovechables como su transformación en fertilizante orgánico capaz de competir con otros de carácter comercial, además de ser económico, rico en nutrientes, de calidad y seguro (si se

obtiene de personas sanas). Por otra parte, reduce el impacto en la utilización de los fertilizantes químicos comerciales, también deja de lado la tipicidad lo que nos conduce a la implementación de tecnologías viables y sustentables tanto en el rehúso de elementos presentes en la orina, así como en la verificación de su uso en cultivos ya que este tipo de estudios tomaron auge desde 1995 manteniéndose aún en exploración y expansión. El presente estudio también integra una red sustentable por aceleración; inicia con la captación de agua de lluvia, el saneamiento ecológico, el cuidado del entorno natural, el ahorro de agua y que culmina con una agricultura y seguridad alimentaria sustentable como meta de algunos de los objetivos del desarrollo sostenible.

A partir del enfoque en investigación complementar información en el cultivo de hortalizas con fertilizantes alternos, especialmente en el cultivo de la planta de cilantro ya que existen estudios en otro tipo de hortalizas, pero no en el coriandro, la razón de utilizar *C. sativum* como unidad experimental se sustenta por ser una hierba de rápido crecimiento, fácil manejo y características de la planta que lo hacen resistente a suelos arcillosos y al frío, esto nos brinda la oportunidad para probar la eficiencia de este método e integrar una base de referencia, diferentes metodologías y propuestas de exploración, además de proponer una metodología experimental sustentable en el cultivo del cilantro, ya que en el presente trabajo la motivación se origina en el impacto al apoyar el trabajo de campo en las comunidades con bajos recursos que no pueden acceder a un fertilizante por su situación económica (Figura 9), al mismo tiempo identificar riesgos potenciales en estas propuestas (aspectos clave en microbiología, biología vegetal, las propiedades edáficas, agricultura y responsabilidad social) al aplicar los conocimientos de las ciencias biológicas para evaluarlas. Finalmente distinguir el papel de los biólogos al identificar y proponer soluciones a los problemas citados, contribuir a la creación de brechas y encaminar al surgimiento de nuevas preguntas y oportunidades de investigación.



Figura 9. Principales motivos que impulsan a la aplicación de fertilizantes alternativos.

8. Metodología

La realización metodológica consistió en 3 fases: la primera como fase preparativa donde se describen los procedimientos y las técnicas utilizadas en la obtención de la orina humana desinfectada (OHD), análisis microbiológicos preliminares de muestras de orina y fuentes de agua, análisis de nitrógeno total en orina, análisis de textura de suelo, otros preparativos de experimentación (preparado del material, cálculo de dosis de fertilizantes y diseño del experimento). La segunda parte corresponde a la ejecución experimental (trasplante, fertilización, riego y primer análisis microbiológico vegetal). Finalmente, la última parte corresponde a la cosecha, toma de valores de las variables de respuesta, análisis microbiológico vegetal final y las pruebas estadísticas realizadas.

El presente estudio se realizó en un invernadero ubicado en la localidad de San Bernardino Tepehene en el estado de Puebla y la duración de la etapa experimental fue de 3 meses.

8.1 Obtención de la OHD (recolección y almacenamiento)

La orina sin diluir fue obtenida por donación de una familia residente de San Bernardino Tepenene, se obtuvo de un SSES por lo que se colectó en galones de plástico con capacidad para 20 L, finalmente el volumen total de orina colectada fue de varios galones con 19 L cada uno (por un periodo de acumulación de poco más de 1 año). El tratamiento de desinfección consistió en un almacenamiento a temperatura ambiente (20 ± 2.5 °C) y bajo sombra por un periodo de aproximadamente un año y tres meses en la cámara de almacenamiento del SSES, es importante indicar que la orina se transportó al lugar de experimentación hasta que estuvieran listos todos los preparativos para evitar una contaminación inducida y variación en el tratamiento.

8.2 Análisis preliminares de muestras (OHD y agua)

- a) **Análisis de muestras de orina por almacenamiento >6 meses:** Se obtuvo una muestra de orina de los recipientes almacenados.
- b) **Análisis de las fuentes de agua destinadas al experimento:** Se obtuvo la muestra de agua de dos fuentes principales en el sitio de estudio:
 - 1) Una cisterna de ferrocemento de 10 000 L con colecta de agua de lluvia.
 - 2) Un depósito *Rotoplas* de 1100 L (con agua de la primera fuente, pero con 25 días de reposo, esta última destinada como fuente exclusiva de líquido para la experimentación).

Las muestras de orina y agua se colectaron según la metodología descrita en la norma oficial (NMX-AA-042-SCFI-2015) y se transportaron al Departamento de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP ubicado en Ciudad Universitaria, ahí se solicitó un análisis para la enumeración de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, fecales, mohos y levaduras.

- c) **Análisis de N en orina por almacenamiento >6 meses:** Se solicitó un análisis de nitrógeno total al Laboratorio de Control Ambiental, BUAP, ubicado en Ciudad Universitaria.
- d) **Análisis de suelo del sitio de colecta:** Se realizó un barrido y toma de muestra en forma de “z” de acuerdo con la metodología planteada en la norma oficial (NOM-021-RECNAT-2000) para análisis de nitrógeno y textura solicitado al

Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA), área de Edafología de la BUAP ubicado en Ciudad Universitaria.

- e) **Sustrato:** se compraron 7.5 kg de sustrato vermiculita a la tienda de artículos para agricultura *El sembrador*.

8.3 Preparación del material (sustratos, macetas, semillas, siembra y germinación, invernadero y cálculos de dosis de fertilizantes)

a) Sustratos (de germinación y crecimiento)

Para la **germinación** se utilizó el sustrato vermiculita, se utilizaron 7.5 kg para un total de dos bandejas de plástico a manera de almácigos con su respectivo desagüe (Figura 10), no se emplearon las clásicas charolas de propagación y germinación debido a que la raíz se fractura al sacar la plántula. Se requirió una esterilización estándar por autoclave (121 °C) en el Departamento de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas, BUAP ya que la vermiculita empleada fue de un empaque ya abierto por el vendedor.



Figura 10. Sustrato mineral vermiculita; química y biológicamente inerte, ligero y con textura suave utilizado por su retención de humedad y pH requeridos por el coriandro en sus primeras fases de desarrollo.

Para el **crecimiento** de la planta se utilizó tierra baldía (tierra sin cultivar) de San Bernardino Tepenene, se identificó el lugar de colecta de sustrato con las coordenadas

(18°53'02.7"N 98°05'38.4"W) donde se delimitó el área total de muestreo y colecta siendo un total de 4 m², se removieron los primeros 15 cm de suelo para eliminar hierbas, imperfecciones y hacer homogénea la extracción del sustrato, el suelo se tamizó con cernidor de arena de malla grande de 300 x 500 mm, para después ser colocado en un cuadro de lona de 2 x 2 m (Figura 11), finalmente se colocaron 8 L de sustrato en cada una de las bolsas negras de uso agrícola.



Figura 11. Obtención y colecta del sustrato de crecimiento.

b) Macetas

Se prepararon 70 bolsas de plástico negro para agricultura de la medida 35 x 35 cm con capacidad máxima de hasta 13 L y 22 cm de diámetro (radio 11 cm) con el sustrato de crecimiento, se realizaron agujeros de aproximadamente 1 cm de diámetro en la base, también se emplearon 70 bolsas negras con medidas de 48 x 48 cm como desagüe colector (Figura 12), posteriormente se realizó el cálculo del área de la maceta (para estimar las dosis de fertilizantes) que fue de 380.1336 cm² con la fórmula: $A= \pi \cdot r^2$



Figura 12. Macetas con sustrato de crecimiento y su distribución en el invernadero.

c) Esquizocarpo con semillas

Para la obtención de la semilla, se compraron 1000 g de frutos secos (esquizocarpos) de *C. sativum* de la variedad Marroquí (macrocarpo) (Figura 5), el coriandro para prueba experimental se eligió por ser una planta ampliamente cultivada a pequeña y gran escala, tiene importancia y demanda dentro y fuera del estado, además, es una hortaliza de fácil manejo, por otro lado, la base empírica de los agricultores y la literatura reportan un crecimiento y punto de cosecha en aproximadamente 75-90 dds.

d) Siembra y germinación

Para la siembra (día 1) se realizó un pre-triturado en seco del esquizocarpo para dejar expuestas las verdaderas semillas en un mortero de porcelana de 350 ml para asegurar un menor tiempo de germinación (se tuvo precaución de no triturar de más), fueron colocadas en el sustrato vermiculita a una profundidad de 3 cm (Figura 13), para la obtención de las plántulas de coriandro el periodo de espera de germinación fue de 10 días.



Figura 13. Método propio de siembra.

e) Invernadero

Se utilizó un invernadero de tipo asimétrico (Figura 14) con dimensiones de 5m x 8m (40 m²) ubicado en la localidad de San Bernardino Tepenene con las coordenadas (18°53'01.0"N 98°05'39.9"W).



Figura 14. Invernadero empleado en la experimentación con buena exposición a la luz.

f) Dosis de fertilizantes (OHD y fertilizante comercial)

El cálculo de dosis se realizó con transformaciones simples, para el fertilizante químico se utilizó la masa molar de la urea y su cantidad de N en g, se determinó que para la dosis de 80 Kg de N/ha⁻¹ (dosis recomendada de fertilizante químico) se requieren 171.15 Kg de urea, mientras que para la orina se requiere la cantidad de N total que

esta haya acumulado durante el almacenamiento, realizando las conversiones pertinentes (dependientes del área de la maceta) se obtienen los valores según las dosis de N/ha⁻¹ que se requieren aplicar (Tabla 5).

El tipo de fertilizante que se empleó fueron los cristales de urea (NH₂CONH₂ [Urea 99.0-100.5%]) de la marca comercial de reactivos J.T. Baker®, el reactivo se manejó a dosis de 80 Kg de N/ha⁻¹ (análoga a la urea de cultivo con 46% de nitrógeno). La urea se pesó en laboratorio con una balanza analítica estándar, la dosis original dividida en 3 partes (Tabla 5) se tuvo preparada en 3 frascos pequeños de vidrio listas para llevar al campo (Figura 18).

Tabla 5

Dosis de fertilizantes (total y por aplicación) para cada tratamiento.

Dosis (Kg de N/ha ⁻¹)	Dosis de 1 maceta (todo el cultivo)	Fertilizante para el cultivo de 10 macetas	1/3 Aplicación para 1 maceta	1/3 Aplicación para 10 macetas	Número de macetas y tratamiento
0	0 ml	0 ml	0 ml	0 ml*	1-10 (T1)
50	31.457 ml	314.572 ml	10.485 ml	104.857 ml*	11-20 (T2)
75	47.185 ml	471.858 ml	15.728 ml	157.286 ml*	21-30 (T3)
100	62.914 ml	629.144 ml	20.971 ml	209.714 ml*	31-40 (T4)
125	78.643 ml	786.430 ml	26.214 ml	262.143 ml*	41-50 (T5)
150	94.371 ml	943.717 ml	31.457 ml	314.572 ml*	51-60 (T6)
Urea (80)	0.6519 g	6.519 g	0.2173	2.173 g*	61-70 (T7)

Nota. *Valores donde se añadió el volumen correspondiente de agua para estandarizar a 1.5 L constantes (ejemplo: 104.857 ml de orina + 1395 ml de agua=1.5 L).

8.4 Diseño experimental

La experimentación se realizó con un diseño completamente aleatorio (DCA) con siete tratamientos, diez repeticiones por tratamiento y 70 unidades experimentales iniciales, de las cuales 14 fueron seleccionadas aleatoriamente (de su respectivo tratamiento) para un análisis microbiológico vegetal (7 plantas en el primero y 7 plantas en el segundo), por lo que las mediciones de las variables de respuesta se obtuvieron de 56 unidades experimentales efectivas en siete tratamientos con ocho repeticiones cada uno, seis tratamientos con fertilizante a base de OHD ([0 Kg de N/ha⁻¹/solo agua], 50, 75, 100, 125, 150 kg de N/ha⁻¹) y uno de urea (80 kg de N/ha⁻¹) (doble control) (Figura 15 y Tabla 6). Cada unidad experimental estuvo compuesta por; la planta de coriandro + el sustrato+ la maceta compuesta (Figura 15).

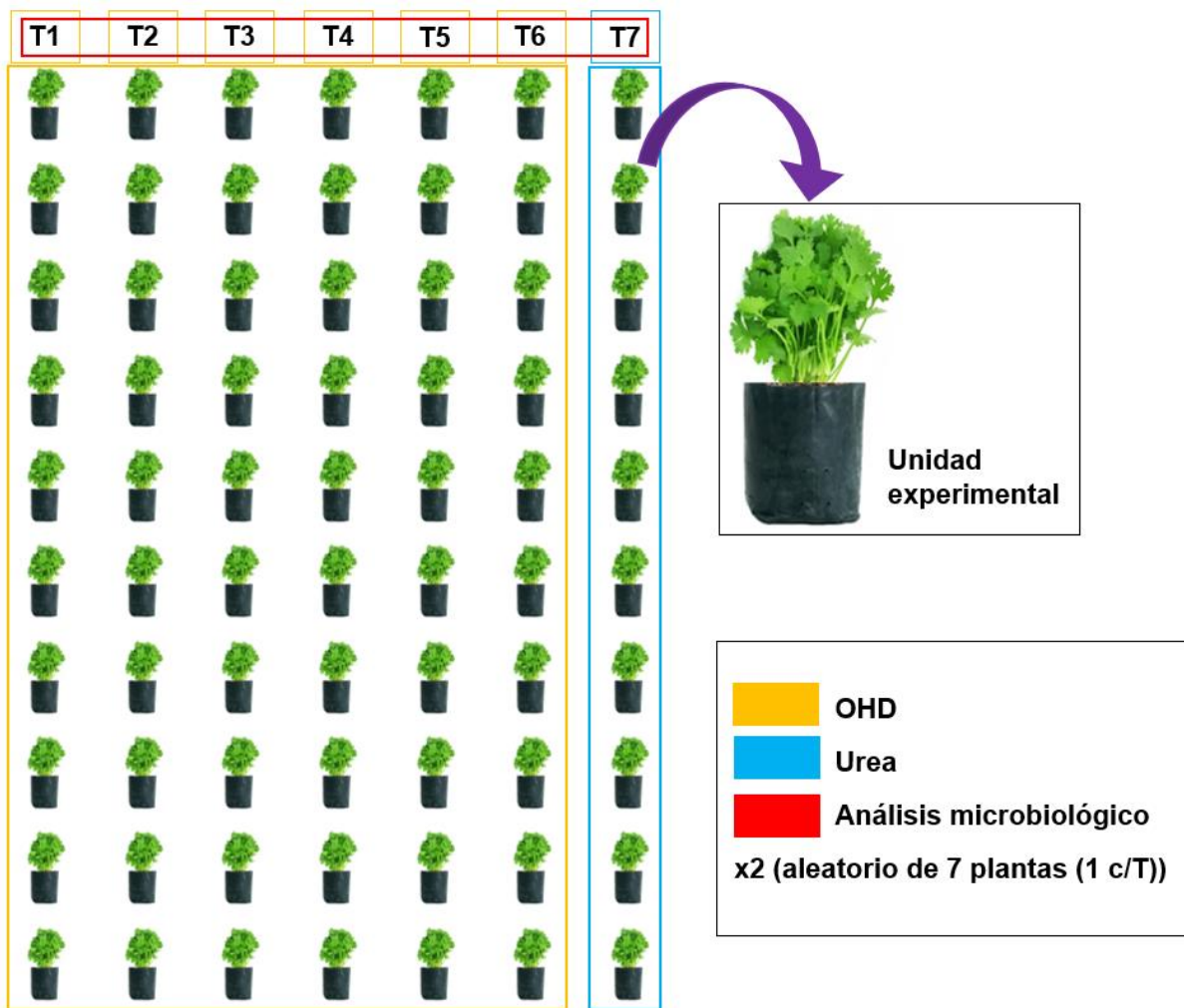


Figura 15. Representación de los tratamientos y la unidad experimental.

Tabla 6.

Dosis de fertilizantes por tratamiento.

Tratamiento	Descripción del tratamiento
T1	0 kg de N/ha ⁻¹ que corresponde a 0 ml de orina dividido y aplicado en 3 tiempos
T2	50 kg de N/ha ⁻¹ que corresponde a 314.572 ml de orina dividido y aplicado en 3 tiempos
T3	75 kg de N/ha ⁻¹ que corresponde a 471.858 ml de orina dividido y aplicado en 3 tiempos
T4	100 kg de N/ha ⁻¹ que corresponde a 629.144 ml de orina dividido y aplicado en 3 tiempos
T5	125 kg de N/ha ⁻¹ que corresponde a 786.430 ml de orina dividido y aplicado en 3 tiempos
T6	150 kg de N/ha ⁻¹ que corresponde a 943.717 ml de orina dividido y aplicado en 3 tiempos
T7	80 kg de N/ha ⁻¹ que corresponde a 6.519 g de urea dividido y aplicado en 3 tiempos

8.5 Ejecución experimental

8.5.1 Método de trasplante

El trasplante (día 15) consistió en la separación de las plántulas de coriandro del almácigo (con 5-6 cm de altura), se eliminó todo el sustrato de germinación (vermiculita) de la raíz y se realizó el trasplante de 4 plántulas por maceta centradas (Figura 16) para un total de 70 unidades experimentales uniformes.



Figura 16. Trasplante y unidad experimental con riego inicial.

8.5.2 Aplicación experimental de los fertilizantes en 3 tiempos

Las dosis originales de fertilizantes se dividieron en tres aplicaciones separadas por 15 días (dosis original/3 = 1/3 por fertilización). Cada fertilización se llevó a cabo conforme a la aleatorización de los tratamientos sobre las unidades experimentales. Todos los materiales se lavaron con detergente sin fosfatos.

La primera fertilización (día 30) se aplicó a los 15 días después del trasplante, se aplicaron los fertilizantes (OHD y comercial) con dosis de 0, 50, 75, 100, 125, 150 y 80 kg de N/ha⁻¹ respectivamente.

Para orina: para exponer una explicación sencilla se tomó como ejemplo la aplicación de una dosis (50 kg de N/ha⁻¹ del tratamiento 2); primero se realizó la homogeneización de elementos mineralizados agitando el recipiente original de orina, posteriormente con una probeta graduada de 500 ml se procedió a la toma de 104.857 ml (ajustes con una pipeta graduada de 10 ml) y se diluyeron en un recipiente de 2000 ml con el volumen correspondiente de agua para tener un volumen constante de 1.5 L (1/3 dosis total de orina correspondiente a 10 macetas + ml de agua necesaria = 1500 ml totales), luego se tomó 1/10 de la nueva solución y se aplicó a cada una de las unidades experimentales correspondientes a T2 (Figura 17), se realizó el mismo método para los demás tratamientos de orina (75, 100, 125 y 150 kg de N/ha⁻¹) excepto para la dosis con OHD de 0 kg de N/ha⁻¹ (T1) donde solo se aplicó agua (150 ml por unidad experimental).



Figura 17. Preparación de dosis de OHD y su aplicación a las unidades experimentales.

Para urea: debido al estado físico del fertilizante químico en cada aplicación la urea se diluyó para tener la misma consistencia que la orina, para su preparación se diluyeron 2.173 g de urea (1/3 de la dosis original de 80 kg de N/ha⁻¹) en 1.5 L de agua, se tomó la décima parte y se fertilizó cada una de las plantas del tratamiento 7 (Figura 18).



Figura 18. Preparación del fertilizante comercial y su aplicación a las unidades experimentales.

Ambos fertilizantes se aplicaron siempre en sentido de las manecillas del reloj y de forma circular (sin mojar las hojas), este proceso se repitió durante 2 fertilizaciones más (días 45 y 60). Todas las diluciones de los fertilizantes se llevaron a 1.5 L de agua (debido a que es mejor preparar la solución para 10 macetas que por separado). La última fertilización (3/3) se llevó a cabo 1 mes antes de la cosecha.

8.5.3 Análisis microbiológico vegetal

A los 45 dds se realizó el primer muestreo aleatorio simple de 7 plantas (1 por cada tratamiento) para su análisis microbiológico, las muestras se colectaron según la norma oficial (NOM-109-SSA1-1994) para obtener la planta completa (Figura 19), finalmente se transportaron en bolsas plásticas con doble sello al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP, ubicado en Ciudad Universitaria, donde se requirió la enumeración de bacterias mesofílicas aerobias, coliformes totales, fecales y de hongos, este procedimiento se repitió el día de la cosecha.



Figura 19. Manejo y preparación de las unidades experimentales para su transporte.

8.5.4 Riego

El riego inicial para germinación fue de 1.8 L, en la germinación 400 ml y durante los primeros 20 días después del trasplante todas las macetas se regaron con 400 ml de agua de lluvia cada 5 días, debido a la dilución de fertilizantes las fertilizaciones se tomaron como riego de 150 ml, después de la última fertilización se optó por el riego de 250 a 300 ml (se necesitó de mayor o menor cantidad de agua) por semana hasta completar el periodo experimental de 3 meses.

8.6 Cosecha

*Antes de cosechar se midió la altura en cm de las 56 plantas.

A los 84 dds se realizó la cosecha (un mes después de la última fertilización), la planta se tomó completa procurando obtener la mayor parte del sistema radicular, se enjuagó y secó la raíz (este procedimiento no se aplicó a las muestras vegetales destinadas al análisis microbiológico), cada planta se colocó en bolsas plásticas de doble sello para luego ser transportadas para las mediciones de peso (Figura 20).



Figura 20. Plantas de *C. sativum* (momento de obtención de la variable altura) y posterior cosecha.

El muestreo vegetal final para determinar la enumeración de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, fecales y de hongos se llevó a cabo por medio de un muestreo aleatorio simple (selección antes de la cosecha) de 7 plantas (1 por cada tratamiento), las plantas fueron transportadas en bolsas de plástico con doble cierre al

Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP para la segunda parte del análisis microbiológico vegetal.

8.7 Toma de valores de las variables de respuesta

a. Altura en cm

La altura se midió antes de la cosecha con una regla graduada en cm desde la base del sustrato hasta el ápice aéreo más alto (Figura 21).

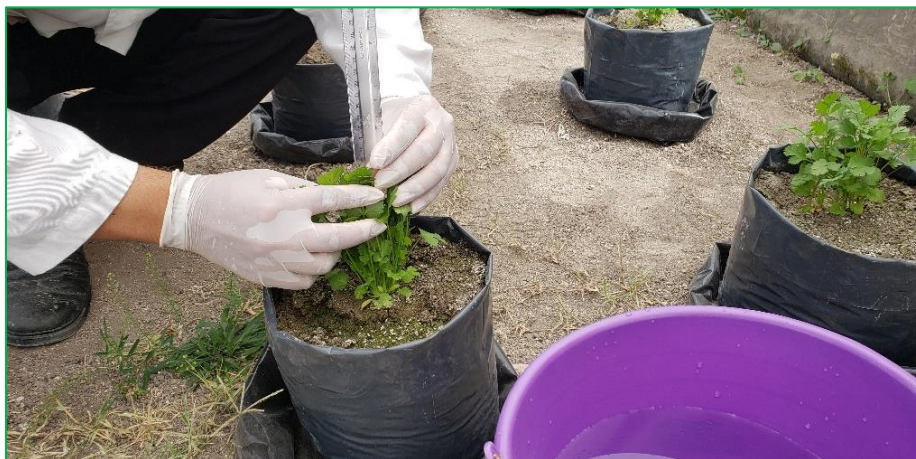


Figura 21. Medición de altura en cm.

b. Peso fresco total (g)

El peso fresco total de las 56 plantas se obtuvo por medio de una báscula *Escali* con burbuja de nivel con un error de ± 0.01 g, el peso de las plantas se registró cuando estaban dentro de la bolsa plástica, por lo que la báscula se calibró con el valor de una bolsa vacía (2.82 g) con el fin de que no existieran pérdidas en el peso por transpiración ni ganancias por ningún otro factor (Figura 22).



Figura 22. Captura de valores de peso fresco total.

c. Peso seco total

Las plantas se colocaron en bolsas de papel y se sometieron al tratamiento de deshidratación en una estufa de cultivo *Riossa digital* a 70 °C por 30 hrs (hasta alcanzar peso constante) finalmente se registró el peso seco total de las 56 plantas con la báscula *Escali* (Figura 23).



Figura 23. Tratamiento de deshidratación y captura de valores constantes de peso seco final.

8.8 Determinación de una dosis óptima de nitrógeno para el crecimiento del cilantro con OHD

Según los resultados de las pruebas estadísticas se determinó la dosis de nitrógeno recomendada para el crecimiento del cilantro con OHD por lo que se consideró el tratamiento con el mayor valor de respuesta promedio en las variables de altura, peso fresco total y peso seco total respecto a la dosis de fertilizante comercial.

8.9 Análisis estadístico

8.9.1 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov

Se realizó una prueba de ajuste de Kolmogórov-Smirnov para observar normalidad de los datos, se empleó $X' = \log(X)$ en caso de no ajustarse a una distribución normal.

Para la prueba de K-S el valor de contraste con D_α es la diferencia observada (D) en la estadística de prueba:

$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} \left| \hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i) \right|$$

Donde:

- D: es la diferencia máxima observada
- X_i : el i-ésimo valor observado en la muestra.
- $\hat{F}_n(x_i)$: la frecuencia de distribución acumulada observada.
- $F_0(x)$: la frecuencia constante de H_0 .

Para D_α con C_α del modelo normal y $\alpha=0.05$ se emplea:

$$D_\alpha = \frac{C_\alpha}{k(n)} \quad \text{con} \quad k(n) = \sqrt{n} - 0.01 + \frac{0.85}{\sqrt{n}}$$

Donde:

- D_α : Valor práctico del estadístico
- C_α : la constante de la distribución normal (0.895) con $\alpha= 0.05$
- $K(n)$: valor asociado a las constantes de la distribución M y tamaño de n

Las hipótesis a contrastar en la prueba de K-S son:

- H_0 = La distribución observada se ajusta a una distribución M
- H_a = La distribución observada no se ajusta a una distribución M

8.9.2 Análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) se empleó para comparar las medias de las variables de respuesta entre los tratamientos de OHD y fertilizante comercial con un intervalo de

confianza del 95% con su respectiva tabla. Se determinaron los supuestos de distribución de la población, independencia de datos e igualdad de varianzas.

Sea el modelo lineal de ANOVA:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, k \text{ y } j = 1, 2, \dots, n_i$$

Donde:

- Y_{ij} es la variable aleatoria que representa la j -ésima observación del i -ésimo tratamiento
- μ = la media global
- T_i = efecto del tratamiento i
- ε_{ij} = el error atribuible a la medición Y_{ij}

Las hipótesis estadísticas de ANOVA cuando se compara la media de la variable de respuesta en k tratamientos son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_A : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

Tabla resumen del ANOVA unifactorial con los valores F y p asociados:

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor- p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i\cdot}^2}{n_i} - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	$N - 1$			

8.9.3 Prueba de comparaciones múltiples de Tukey

Para identificar las diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos se empleó la prueba para comparaciones múltiples de Tukey al rechazar H_0 ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$), por diferencia mínima significativa con un nivel de significancia α . Los estadísticos de prueba y transformaciones de datos se realizaron en el software estadístico Minitab 19[®].

*Para las diferencias entre tratamientos, los datos fueron corroborados por medio de la estadística no paramétrica (prueba de Kruskal-Wallis) (datos no publicados).

9. Resultados y discusión

9.1 Análisis microbiológico de agua y OHD

Los valores que determinaron el grado de contaminación de la orina (Tabla 7) fueron obtenidos por las mismas normas oficiales vigentes del análisis general de agua.

Tabla 7

Resultados del análisis microbiológico (agua y OHD).

Contaminante	Muestra de agua cisterna	Muestra de agua <i>Rotoplas</i>	Muestra de OHD	Método
Bacterias mesofílicas aerobias	25 UFC/ml	17 UFC/ml	360 UFC/ml	NOM-092-SSA1-1994
Coliformes totales	-NMP/100ml	-NMP/100ml	≤2 NMP/100ml	NMX-AA-042-SCFI-2015
Coliformes fecales	-NMP/100ml	-NMP/100ml	≤2 NMP/100ml	NMX-AA-042-SCFI-2015
Hongos	M= 50 UFC/ml	M= 50 UFC/ml	M= ≤10 UFC/ml	NOM-111-SSA1-1994
Mohos (M)	L= 75 UFC/ml	L= ≤10 UFC/ml	L= ≤10 UFC/ml	
Levaduras (L)				

El agua para riego (agua de lluvia), así como el propio fertilizante (OHD) empleados en el proyecto tienen valores que no rebasan los estipulados por la *Ley Federal de Derechos; disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2020* donde se establece una estimación microbiológica en la calidad del agua para uso agrícola

(coliformes totales 1000 NMP/100 ml y coliformes fecales 1000 NMP/100 ml), en el caso de bacterias mesófilas aerobias y hongos no se tiene una estimación del límite para agua de riego pero si para la materia vegetal (cilantro fresco), sin embargo, en el proyecto los valores de estos contaminantes se mantuvieron muy bajos debido al almacenamiento coincidiendo con los valores reportados por Pradhan *et al.* (2010) y Concha-Santos (2012), el fertilizante experimental puede ser considerado como agua de tratamiento residual o mejor aún como agua para riego, en el presente estudio los valores de contaminación de la orina como fertilizante fueron mínimos para todos los parámetros contaminantes contemplados (CONAGUA, 2020b).

En el caso del agua para riego la variación de los valores está determinada por la contaminación en su obtención y recolección (agua de lluvia) y en caso de la orina por el grado de contaminación cruzada y el tiempo de almacenamiento (en el presente trabajo mayor a un año), autores señalan que el tiempo mínimo para realizar una desinfección aceptable varía dependiendo de la supuesta contaminación de la orina almacenada sin diluir, en algunos estudios se reportan hasta seis meses debido a pruebas con organismos modelo como virus (28B de *S. typhimurium*, MS2, Phi-x174 y rotavirus rhesus), bacterias (*Salmonella* sp., *S. typhimurium*, *Enterococcus faecalis*, *E. coli*, *Aeromonas* sp. y *Shigella* sp.) y parásitos y sus huevos (*Ascaris* sp.) (Höglund *et al.*, 2002; Chandran *et al.*, 2009; Karak y Bhattacharyya, 2011). A partir de los resultados del análisis microbiológico se determina que el almacenamiento es un método simple, pero de larga duración que en general elimina efectivamente bacterias mesófilas aerobias, bacterias coliformes termotolerantes y fecales (donde se encuentra *E. coli*) (Pradhan *et al.*, 2009), así como mohos y levaduras no resistentes, en el caso de otros patógenos como *Salmonella* sp.) se condiciona su presencia a la de *E. coli* debido a que es relativamente fácil de eliminar en medios alcalinos (Park y Diez-González, 2003), sin embargo, los patógenos entéricos, aerobios, fermentativos y microaerófilos por razones evidentes pueden no ser indicadores adecuados (Chandran *et al.*, 2009).

A pesar de que son múltiples los estudios donde se emplea la orina humana con potencial de fertilizante es importante señalar que el proceso de desinfección no es del

todo claro, solo se sugiere que el amoníaco en altas concentraciones a pH 9 y a temperatura ambiente elimina bacterias patógenas, parásitos y sus huevos por permeabilidad en la membrana (Park y Diez-González, 2003). Es probable que existan otros factores que en general influyen en la desinfección y utilización del fertilizante (Figura 24), en el almacenamiento es importante el efecto sinergista de diferentes bases en la desinfección; el anión carbonato (CO_3^{2-}) como agente quelante que en conjunto con el NH_3 , temperatura y pH reducen los patógenos contaminantes como *Salmonella Typhimurium*; más tolerante a la concentración de carbonato, pero no de amoníaco y *E. coli* O157:H7 más tolerante al amoníaco, pero no al carbonato (probable efecto equivalente en virus) (Park y Diez-González, 2003).

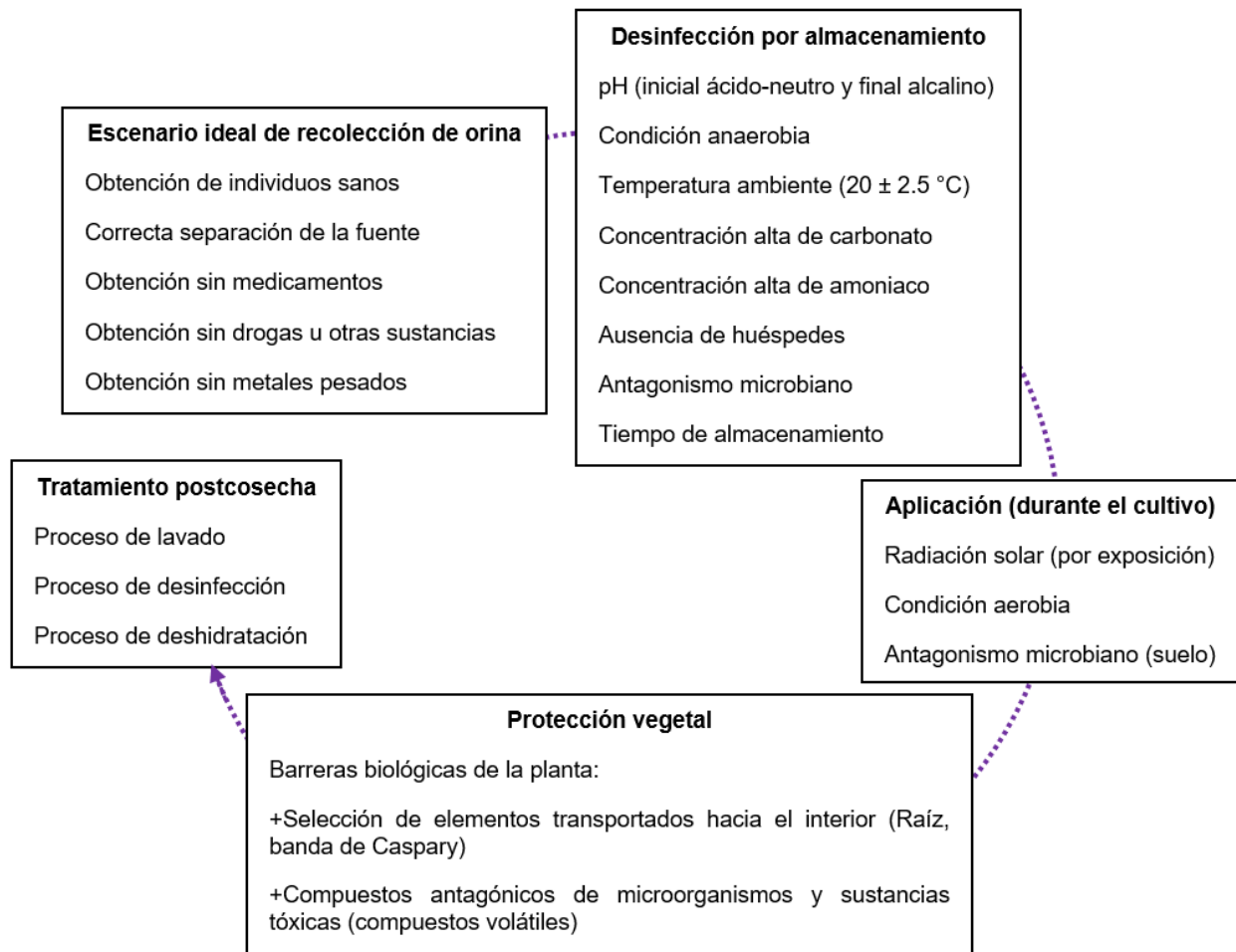


Figura 24. Condiciones para la obtención de un fertilizante seguro y factores que limitan el crecimiento de microorganismos durante el proceso de desinfección (almacenamiento). Elaboración propia.

Desde el punto de vista biológico se pueden complementar aspectos del proceso de desinfección; inicialmente durante la recolección de la orina, el pH es ácido o neutro, durante el almacenamiento la pared celular de las bacterias confiere resistencia a temperaturas de entre 8-48 °C (mesófilos), sin embargo, esta no confiere protección ante otros factores que resultan importantes en el crecimiento (aumento de NH_3 y pH), las bacterias no pueden crecer en un ambiente básico alrededor de 8.9-9.5 donde se favorece la alteración del pH intracelular, el desequilibrio en los iones, la inactivación de macromoléculas o enzimas específicas y el posterior incremento en el mantenimiento celular (a excepción de alcalotolerantes, alcalófilos y extremófilos), las membranas en bacterias no alcalófilas que son expuestas a concentraciones crecientes de amoníaco y carbonato presentan crecimiento muy lento o son lisadas (Park y Diez-González, 2003; Madigan *et al.*, 2015). En el caso de los virus el almacenamiento propicia un ambiente virostático y en consecuencia su inactivación, también ocurre la desactivación funcional de proteínas y desensamble de la cápside, así como sensibilidad a la lisis de membrana y del material genético (dependiente del tipo de genoma) en medios básicos (el ARN expuesto se desestabiliza por efecto de ambientes alcalinos) (Madigan *et al.*, 2015; Goetsch *et al.*, 2018). En la mayoría de hongos no tolerantes su ARN y proteínas son lábiles en ambientes básicos al igual que los parásitos (capas lipídicas permeables a la molécula de NH_3), estos últimos son eliminados de mejor manera al ser parásitos intracelulares y huéspedes obligados de otros organismos a los cuales ya no tienen oportunidad de desplazarse o por el simple hecho de requerir condiciones aerobias. Fuera del sistema cerrado (al momento de su aplicación al cultivo) muchos de los patógenos que proliferaron durante el almacenamiento mueren a lo largo del tiempo dependiendo de una combinación de nuevos factores como la humedad, temperatura, condición aerobia o el comportamiento antagónico de la competencia microbiana por la disponibilidad de nutrientes en el nuevo ambiente (Udert *et al.*, 2006; Madigan *et al.*, 2015).

Sin embargo, quedan por determinar muchos más aspectos como la presencia de alcalotolerantes patógenos que pueden resistir la etapa de almacenamiento, algunas bacterias de los géneros *Bacillus* y principalmente *Clostridium* (bacterias putrefactivas) logran sobrevivir grandes periodos de tiempo en la orina o en condiciones anaerobias (Udert *et al.*, 2006), así como diferentes patógenos no necesariamente entéricos o aquellos que presenten dosis infecciosas relativamente bajas (ejemplo virus) (Höglund *et al.*, 2002), la posible capacidad de tolerar desinfectantes (cambio en la composición lipídica para resistir el efecto del NH₃) o directamente en la formación de biofilms, particularmente en el precipitado (sedimento de sales y minerales) y superficies donde no se tenga exposición directa al amoníaco (riesgo potencial en las plantas, el suelo, los agricultores, el ganado, el consumidor final o la vida silvestre) (Udert *et al.*, 2006; Heinonen-Tanski *et al.*, 2007; Tejerina *et al.*, 2007), por ultimo a pesar del bajo potencial de transmisión en orina es de vital importancia establecer si persisten formas no vegetativas como las esporas fúngicas, endosporas bacterianas u otras más simples como toxinas y proteínas patógenas. A través de la revisión de literatura se establece que no existe unanimidad sobre los patógenos indicadores de seguridad en la OHD y biomasa obtenida, estas limitaciones (seguridad vs fertilizante) brindan la oportunidad de impulsar más a la investigación en este tipo de prácticas, actualmente no existe suficiente evidencia que evalúe el riesgo potencial de patógenos tolerantes, extremófilos y sus formas o partículas más resistentes.

Asimismo, los microorganismos no son los únicos contaminantes alarmantes a la hora de introducir estas tecnologías también lo son las hormonas, residuos farmacéuticos, medicamentos, metales pesados, sustancias adictivas, la presencia de genes de resistencia a antibióticos y contaminantes generalizados que al no ser degradados pueden causar contaminación del suelo y agua, inducir resistencia biológica indirecta a ciertos compuestos o ser absorbidos por las plantas (Kirchmann y Pettersson, 1995; Winker, 2009; Winker *et al.*, 2010; Arias *et al.*, 2019), no obstante, autores señalan que a pesar de que estas sustancias son equivalentes, en humanos son más bajas en comparación a los encontrados en residuos animales destinados a la agricultura, pero con un espectro más amplio (Jönsson *et al.*, 2004). La microbiología en la superficie aerobia biológicamente activa del suelo por si sola es capaz de sustentar el uso

responsable de la orina como fertilizante ante la presencia nula o mínima de estos compuestos de mejor manera que en medios hídricos (Richert *et al.*, 2011).

Debido a lo anterior y para evitar que la orina se transforme en fómite y fuente de contaminantes químicos se recomienda el proceso más simple y económico (almacenamiento >6 meses) cuando se cree que la contaminación es mínima, cuando se entiende que es mayor se puede optar por un tratamiento adicional como el incremento de temperatura hasta la desnaturalización de biomoléculas o donde el porcentaje de NH₃ disuelto en agua sea mayor al de la temperatura ambiente y en consecuencia un mayor efecto desinfectante (la temperatura aumenta el porcentaje de amoníaco en medios alcalinos) (Emerson *et al.*, 1975), sin embargo, se pierde la autonomía del proceso y se requiere del uso de energía externa sin mencionar la potencial inhibición de la ureólisis, por otro lado, tratamientos como la ozonización, esterificación, deshidratación, radiación, precipitación, evaporación, el uso de carbón activado o la captura de nutrientes por separado (minerales y elementos específicos) puede reducir considerablemente el tiempo en el uso de un fertilizante más seguro o de sus elementos libres de contaminantes biológicos o químicos antes de que lleguen al campo y al consumidor final (Chipako & Randall, 2020).

Finalmente es importante considerar que en sentido estricto el término "*orina humana fermentada*" empleado en varios estudios no es aplicable al fertilizante experimental (solo ureólisis por almacenamiento), en este los productos derivados de la hidrólisis de la urea en formas más simples (amoníaco, amonio, carbonatos, etc.) así como los minerales precipitados no corresponden a productos de rutas fermentativas (ácidos orgánicos, alcoholes o la producción de gas) debido a que solo ocurre la fase de descomposición de la materia orgánica y la posterior desinfección anaerobia (dada la cantidad de compuestos disueltos por acción biológica) para terminar con un proceso de equilibrio químico que interrumpe la fermentación (Madigan *et al.*, 2015).

9.2 Análisis de nitrógeno de OHD y volumen total empleado

La OHD se obtuvo por un periodo de almacenamiento >6 meses, los resultados de la cantidad de nitrógeno (Tabla 8) son de importancia ya que los cálculos para las dosis experimentales dependen del valor de N-total.

Tabla 8

Nitrógeno total en la OH durante un periodo de almacenamiento de 15 meses por método Kjeldahl.

Identificación de la muestra	Parámetro	Resultado (*min)
OHD	pH	9
	N-nitratos	0,100* mg /L
	N-nitritos	0.019* mg /L
	N-amoniacal	5718,720 mg /L
	N-orgánico	323,230 mg /L
	Nitrógeno total	6042,069 mg /L

En comparación con otros autores se reportan valores de 1.7 g/L hasta cerca de 18 g/L de N-total y valores de pH de hasta 9.2 (almacenamiento >6 meses), en el presente trabajo el contenido de N-total fue de hasta 6 g/L (frecuente entre valores medios) dependiente de la ingesta de N en la dieta en el sitio de estudio, del cual alrededor del 94.6% es N-amoniacal (NH₃ [ac], NH₃ [g], NH₄⁺ y otros), en el caso del pH se alcanzó un valor de 9, por lo tanto, los parámetros obtenidos corresponden a valores óptimos para la desinfección, no se recomiendan valores de N-total inferiores a 5 g/L, así como valores de pH que van desde 5-7 (almacenamiento ≤1 mes), 6-7.5 (≤3 meses) y temperatura menor a la ambiental para su posterior uso debido a que la concentración de nitrógeno en forma de amoníaco libre es menor y puede verse comprometido el efecto desinfectante e incluir patógenos persistentes (Emerson *et al.*, 1975; Kirchmann y Pettersson, 1995; Höglund *et al.*, 2002; Karak y Bhattacharyya, 2011).

Por otro lado, el empleo del fertilizante líquido es adecuado para su uso a pequeña escala (en el presente experimento el volumen total de fertilizante utilizado fue de 3.145 L y 7.171 g de urea), sin embargo, por su naturaleza acuosa el empleo a gran escala

podría ser difícil debido al volumen, tan solo en el presente trabajo la cantidad requerida de fertilizante químico para 1 ha⁻¹ es de 171 kg de urea para una dosis de 80 kg de N/ha⁻¹, para la misma demanda de nitrógeno se requieren de 13, 240.5 L de OHD, sin embargo, este valor es inestable y depende del N-total/L de OHD y de la dosis por ha⁻¹ requerida, por lo que se puede recomendar la implementación de métodos adicionales que permitan reducir el tiempo de desinfección y uso, además de evitar el almacenamiento y manejo de grandes volúmenes (Chipako & Randall, 2020).

9.3 Peso y diámetro de 1000 frutos de *Coriandrum sativum* (L.)

Dato anexo; el valor del peso de 1000 frutos comprados (esquizocarpos completos) de coriandro Marroquí fue de 10.014 gramos y con 4 mm de diámetro, de acuerdo con Diederichsen (1996) estos valores son característicos de *Coriandrum sativum* (L.) var. Sativum (macrocarpo).

9.4 Análisis de suelo

Para el análisis de suelo se compararon los valores antes del cultivo y los obtenidos después del cultivo, los valores representativos fueron correspondientes a los tratamientos de agua (T1), mayor cantidad de OHD (T6) y fertilizante comercial (T7) (Tabla 9).

Tabla 9.

Medición inicial y final en el sustrato de crecimiento de los tratamientos representativos (NOM-021-RECNAT-2000).

	Inicial (tierra baldía)	Final Agua (T1)	Final OHD (T6)	Final Urea (T7)
Parámetro	Valor/ interpretación	Valor/ interpretación	Valor/ interpretación	Valor/ interpretación
pH	7.94 Medianamente alcalino	8.0 Medianamente alcalino	7.8 Medianamente alcalino	8.0 Medianamente alcalino
M.O. %	2.96 Medio	2.6 Medio	2.4 Medio	2.8 Medio

N total %	0.139	0.399	0.143	0.154
	Medio	Alto	Medio	Alto
Arena %	27.0	28.0	24.0	20.0
Limo %	22.0	30.0	38.0	44.0
Arcilla %	51.0	42.0	38.0	36.0
Textura	Arcillosa	Arcillosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa
Ca	20.6	24.0	26.8	24.4
(Cmol/Kg ⁻¹)	Alto	Alto	Alto	Alto
Mg	6.0	8.4	9.2	8.4
(Cmol/Kg ⁻¹)	Alto	Alto	Alto	Alto
Na	0.4	0.4	0.5	0.4
(Cmol/Kg ⁻¹)				
K	0.5	0.4	0.4	0.4
(Cmol/Kg ⁻¹)	Medio	Medio	Medio	Medio
CIC	30.3	33.5	35.0	33.4
(Cmolc/Kg)	Alta	Alta	Alta	Alta
P	2.0	4.0	1.0	1.0
(mg/kg ⁻¹)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
DA	1.13	1.13	1.15	1.16
(g/ml)				
CE	0.19	0.75	1.03	0.78
(dS/m ⁻¹)	Efecto salinidad nulo	Efecto salinidad nulo	Efecto salinidad nulo	Efecto salinidad nulo

Los valores estimados se mantuvieron sin cambios importantes durante el cultivo, no se encontró variación significativa sobre los parámetros del suelo después de la cosecha, el pH se mantuvo *Medianamente alcalino* en todas las mediciones, no obstante, se ha observado que con la aplicación de dosis relativamente grandes de fertilizante experimental el pH del suelo tiende a disminuir ligeramente (a pesar de ser un fertilizante alcalino), en un estudio en suelo ácido y neutro el pH disminuyó con dosis crecientes de fertilizante experimental hasta el punto de limitar la productividad en el sustrato ácido, en comparación con el presente estudio se registró un valor ligeramente bajo en el tratamiento T6 (150 Kg de N/ha⁻¹) con la mayor cantidad de fertilizante (Tabla 9) que de la misma forma cambió muy ligeramente hacia valores de acidez, de acuerdo

con otros trabajos el ajuste puede ser atribuido principalmente a cationes de hidrógeno libres por nitrificación del amonio o del amoníaco que en menor medida compensan la escala de suelos alcalinos (un aspecto importante a considerar en suelos de naturaleza ácida) (Concha-Santos, 2012; Esparza-Rivera *et al.*, 2015). En cambio, las dosis más altas no afectaron el crecimiento del coriandro (al menos hasta el punto de cosecha) en pH medianamente alcalino.

La textura tuvo un papel fundamental ya que se anticipaba que el sustrato tendría un efecto negativo sobre el crecimiento, no obstante, la porción de arcilla en el suelo aportó una ligera ventaja ya que inmovilizó mayor cantidad de agua lo que redujo los riegos y por tanto la compactación del sustrato, por otro lado, el coriandro crece bien en terreno franco-arcilloso y tolera la textura arcillosa, se determinó que por el tipo de raíz *C. sativum* muestra ventajas importantes en la absorción de agua y elementos sobre partículas susceptibles a compactación (Hernández, 2003; González *et al.*, 2017) por lo tanto se puede obtener beneficio de la capacidad de campo ante la limitación de agua y calidad del terreno característicos de la zona de estudio.

En el presente trabajo se identificó un incremento en el contenido de Ca, Mg y Na, la naturaleza de la orina puede explicar estos valores residuales en el suelo postcosecha, sin embargo, respecto a la medición inicial los parámetros de Ca y Mg se mantuvieron en la categoría *Alta* según la norma oficial vigente, en los tratamientos el K disminuyó ligeramente (Tabla 9) y de igual forma se mantuvo en su categoría como valor *Medio* (NOM-021-RECNAT-2000), en otros estudios se obtuvieron resultados parecidos con estos elementos donde los valores residuales también aumentaron con la aplicación de dosis crecientes de OH debido a que gran parte de los iones en exceso presentes en la misma no se absorben por la planta y son inmovilizados en el sustrato (Jönsson *et al.*, 2004; Esparza-Rivera *et al.*, 2015).

En el caso de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), es alta por el contenido de materia orgánica y la textura (NOM-021-RECNAT-2000), en el presente estudio el valor de CIC aumentó al aplicar OHD sin llegar a cambiar la categoría y se conservó como *Alta*, así como la proporción de intercambio de saturación (Concha-Santos. 2012). Por otro lado, el contenido de sales en el suelo tiene efecto sobre la conductividad eléctrica

(CE), al inicio de la experimentación la CE fue muy baja (0.19 dS/m), este valor corresponde a *Efecto de salinidad nulo* por bajo contenido en sales. En el caso de los valores obtenidos después de aplicar los fertilizantes fueron más altos, pero no se superó el valor de 1 dS/m (a excepción del tratamiento con mayor cantidad de OHD (T6), por lo tanto, la conductividad eléctrica aumenta con dosis altas del fertilizante experimental coincidiendo con lo reportado por Concha-Santos (2012), a pesar del incremento de la CE en este estudio la calidad del suelo aún se mantiene con *Efecto de salinidad nulo* (NOM-021-RECNAT-2000). Por lo anterior es importante evaluar la posibilidad de causar un efecto salino, tan solo en un ciclo en el cultivo de cilantro se observó un aumento considerable en la CE en el tratamiento con OHD más alto y queda por evaluar el efecto por acumulación en cultivos sucesivos (particularmente en el sitio de estudio) debido a la composición media-alta de arcilla que retiene sales y donde la falta de precipitación no permita su remediación inmediata, se puede recomendar el empleo de sustratos inertes para observar un efecto más preciso. En relación a lo anterior, es importante subrayar que *C. sativum* es medianamente tolerante a la salinidad y sodicidad, no obstante, el cilantro resistió bien el estrés fisiológico ocasionado por los elementos contenidos en la máxima dosis de OHD, pero es probable que con dosis más altas a la de T6 con alto contenido de sodio exista un efecto antagónico sobre otros elementos (Pradhan *et al.*, 2010), tan solo en la forma de NaCl disminuye el contenido total de ácidos grasos insaturados de las hojas, afectando la fluidez de membrana, la tasa fotosintética y el crecimiento del cilantro (Neffati y Marzouk, 2008).

La diferencia entre el valor inicial y los valores finales en algunos parámetros se debe a variaciones inherentes en las mediciones, en el caso del porcentaje N y cantidad de P en el tratamiento solo de agua se mantuvieron mayores respecto a otros tratamientos probablemente por el incremento en la actividad biológica al agregar alguna fuente de nutrientes. A pesar de la modificación sobre las propiedades del suelo, el fertilizante experimental cumple con la demanda de N y otros nutrientes en el cultivo de *C. sativum* aún por pérdidas en sus diferentes formas por desnitrificación, inmovilización microbiana, volatilización, lixiviación y la retención del amonio por la arcilla en el sitio de estudio (Madigan *et al.*, 2015).

Para finalizar, es importante tener moderación y responsabilidad en el uso del fertilizante experimental, en este estudio no se evaluó la concentración de formas iónicas (NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^- , etc.) en el lixiviado del suelo por lo que se sugiere estimar su porcentaje residual en las dosis más altas, estos iones resultan de interés por ser móviles y contaminantes de medios subterráneos (esencialmente hídricos) de la misma forma que en los fertilizantes químicos (Sene *et al.*, 2019).

9.5 Análisis microbiológico vegetal

Los análisis microbiológicos inicial (Tabla 10) y final (Tabla 11) determinaron el grado de contaminación en las plantas de cilantro en dos momentos del periodo experimental.

Tabla 10.

Contaminantes del primer análisis microbiológico vegetal (a los 45 dds).

Muestra vegetal del tratamiento <i>i</i>	Bacterias mesofílicas aerobias por NOM-092-SSA1-1994	Coliformes totales por NOM-112-SSA1-1994	Coliformes fecales por NOM-112-SSA1-1994	Hongos Mohos (M) y Levaduras (L) por NOM-111-SSA1-1994
Muestra de T1	50,000 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 200 UFC/g L= 40 UFC/g
Muestra de T2	2,000 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 190 UFC/g L= ≤10 UFC/g
Muestra de T3	48,000 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 630 UFC/g L= 70 UFC/g
Muestra de T4	100,000 UFC/g	70 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 32,000 UFC/g L= 1,000 UFC/g
Muestra de T5	80,000 UFC/g	4 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 4,000 UFC/g L= 100 UFC/g
Muestra de T6	2,800 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 118,000 UFC/g L= 3,000 UFC/g
Muestra de T7	26,000 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 300 UFC/g L= 200 UFC/g

Tabla 11.

Contaminantes del segundo análisis microbiológico vegetal a los 84 dds (cosecha).

Muestra vegetal del tratamiento <i>i</i>	Bacterias mesofílicas aerobias por NOM-092-SSA1-1994	Coliformes totales por NOM-112-SSA1-1994	Coliformes fecales por NOM-112-SSA1-1994	Hongos Mohos (M) y Levaduras (L) por NOM-111-SSA1-1994
Muestra de T1	30,000 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 500 UFC/g L= 30,000 UFC/g
Muestra de T2	6,000 UFC/g	4 NMP/g	4 NMP/g	M= 100 UFC/g L= 1,000 UFC/g
Muestra de T3	50,000 UFC/g	7 NMP/g	7 NMP/g	M= 250 UFC/g L= 55,000 UFC/g
Muestra de T4	5,000 UFC/g	4 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 1,800 UFC/g L= 48,000 UFC/g
Muestra de T5	25,000 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 120 UFC/g L= 360 UFC/g
Muestra de T6	7,000 UFC/g	≤3 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 90 UFC/g L= 48,000 UFC/g
Muestra de T7	70,000 UFC/g	4 NMP/g	≤3 NMP/g	M= 70 UFC/g L= 1,600 UFC/g

La inocuidad del cultivo comienza desde la desinfección del fertilizante ya que esto determina la calidad y utilidad del mismo con métodos simples y accesibles, es importante establecer que la contaminación total sobre las plantas de cilantro se debe la suma de diferentes fuentes contaminantes como el suelo, agua pluvial para riego, el aporte de los fertilizantes, el error experimental, la polución ambiental y factores aleatorios no controlables.

En el primer análisis microbiológico el grado de contaminación general fue moderado, sin embargo, se hallaron valores altos de bacterias mesofílicas aerobias (BMA) sobre las muestras 4 y 5, en el caso de las bacterias coliformes totales (CT) solo la muestra 4 presentó un valor significativo pero sin observaciones de bacterias coliformes fecales (CF), en el caso de los contaminantes fúngicos (M y L) estos estuvieron altamente

presentes principalmente en la muestra 6 y en menor medida en la muestra 4 (en forma de mohos) (Tabla 10). De forma general estos valores indican que la planta con más categorías acumuladas de contaminación fue representativa del tratamiento experimental 4. En el segundo análisis microbiológico se hallaron valores elevados de BMA sobre la muestra 7, en el caso de coliformes totales y fecales la mayor observación alcanzó un valor notorio solo en la muestra 3 donde también se encontró el valor más alto de levaduriformes, mientras que la mayor cantidad de hongos filamentosos la tuvo el tratamiento 4 (Tabla 11), por lo tanto, la muestra con más categorías acumuladas de contaminación postcosecha fue del tratamiento experimental 3. En contraste con lo reportado por Esparza-Rivera *et al.* (2015), Mamani-Mamani *et al.* (2015) y Chávez (2019) los resultados son bajos, pero no “negativos”.

Es importante establecer que las mediciones fueron realizadas sobre muestras de *C. sativum* “en bruto” (plantas obtenidas directamente del cultivo experimental del invernadero en el sitio de estudio) y no sobre el producto listo para su consumo (hierbas de hoja verde de consumo en crudo desinfectadas con yodo, cloro, plata coloidal u otros) (NOM-093-SSA1-1994), sin embargo, estos resultados sobre las plantas de cilantro pueden ser comparados directamente con los límites establecidos de contaminación microbiológica específica para alimentos (ensaladas verdes o crudas) por la NOM-093-SSA1-1994 (Tabla 12).

Tabla 12.

Valores máximos de contaminación obtenidos en dos momentos del cultivo en comparación con los límites de la NOM-093-SSA1-1994. Elaboración propia.

Indicador microbiológico	(Momento del muestreo) Tratamiento/ Límite superior.	Límite para “Ensaladas: Verdes. Crudas o de Frutas” según la NOM-093-SSA1- 1994.
Bacterias mesofílicas aerobias (BMA)	(45 dds) T4 / 100,000 UFC/g (84 dds) T7 / 70,000 UFC/g	≤150, 000 UFC/g*
Coliformes totales (CT)	(45 dds) T4 / 70 NMP/g (84 dds) T3 / 7 NMP/g	100 UFC/g o NMP/g**

Coliformes fecales (CF)	(45 dds) - (84 dds) T3 / 7 NMP/g	100 UFC/g o NMP/g
Hongos (M= mohos y L= levaduras).	(45 dds) M= T6 / 118,000 UFC/g L= T6 / 3,000 UFC/g (84 dds) M= T4 / 1,800 UFC/g L= T3 / 55,000 UFC/g	≤150, 000 UFC/g*

Nota. **Valor no oficial pero establecido con referencia de la NOM-093-SSA1-1994.

*Cuenta total de mesófilos aerobios (BMA + Hongos).

A partir de los resultados anteriores se puede comprobar que el grado de contaminación presente puede ser explicado por la polución durante el manejo del cultivo pero no por la aplicación del fertilizante experimental ya que este tuvo valores aceptables para su uso (Tabla 7), esto se puede comprobar ya que los tratamientos de agua (T1) y urea (T7) mostraron parámetros variables (Tablas 10 y 11) a pesar de que no tuvieron contacto con OHD, por otro lado, durante el muestreo las plantas se obtuvieron con cierta cantidad de sustrato que pudo interferir en los resultados aportando carga microbiológica (Figura 19), no obstante, sin importar el tratamiento al que las plantas fueron sometidas estas no sobrepasaron los valores establecidos por las normas oficiales mexicanas (Tabla 12) y por lo tanto cumplen con el requerimiento más exigente como producto en crudo (NOM-093-SSA1-1994). Autores señalan que bajo las mismas medidas rigurosas de precaución la cosecha puede ser útil en la alimentación del ganado (Winker *et al.*, 2010) u otros propósitos no comestibles (biocombustibles, ornamento, etc.) (Arias *et al.*, 2019).

En el presente trabajo no se evaluó la contaminación parasitaria ni la presencia directa por *salmonella* spp. en plantas, es probable que la contaminación exista y esté presente en un nivel aceptable, principalmente atribuida a las mismas fuentes que aportaron mesófilos aerobios, CT y CF a las plantas durante su manejo, por lo tanto, se

puede recomendar la evaluación sobre la presencia, así como la identificación presuntiva específica de diferentes microorganismos que pueden o no resultar patógenos al consumidor final.

Por otro lado, un riesgo importante no biológico es el contenido de metales pesados, no se realizó ninguna evaluación de su desplazamiento y contenido en las plantas puesto que no se destinaron unidades experimentales a este tipo de análisis, pero se recomienda realizar estudios sobre esta posibilidad donde el flujo de estos elementos puede ser cíclico en vegetales y hierbas de consumo fertilizados con OH y en aquellos sitios expuestos a polución constante (sitio de estudio), sobre esta cuestión Kirchmann y Pettersson (1995), Jönsson *et al.* (2004) y Karak y Bhattacharyya (2011) en la revisión sobre los elementos de la orina demuestran que la concentración de metales pesados es baja y que es poco probable contaminar al suelo, agua, cultivos y alimento del ganado más que en los aportados por la producción de fertilizantes sintéticos (minerales).

9.6 Análisis estadístico

a) Altura de la planta en cm

Los valores de F y de p del estadístico observados a partir de los resultados del análisis de varianza para los datos de altura en cm de *C. sativum* (Tabla 13) se compararon con el valor crítico de la distribución $F\alpha$ y nivel de significancia α (0.05) respectivamente, se determinó que el valor de $F=2.37$ (observado) es mayor al valor de la distribución $F\alpha=2.299$ (6/47 GL) ($F > F\alpha$), así como el valor p calculado es menor al valor de α ($p < 0.05$), ambos resultados sugieren el rechazo de H_0 , por lo tanto, se concluyó que existen diferencias en la altura en cm de las plantas de *C. sativum* al menos entre un par de tratamientos (Figura 25).

Tabla 13

Análisis de Varianza de altura (cm).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

tratamiento	6	106.3	17.720	2.37	0.044
Error	47	352.0	7.489		
Total	53	458.3			

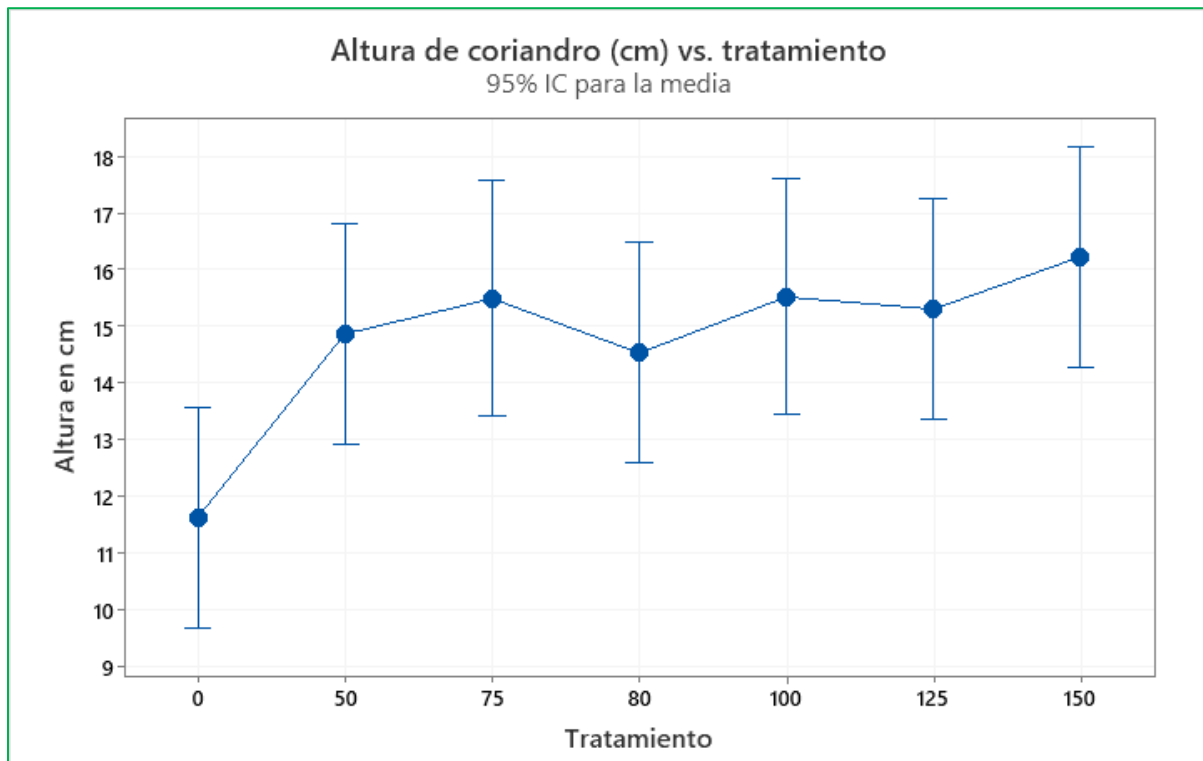
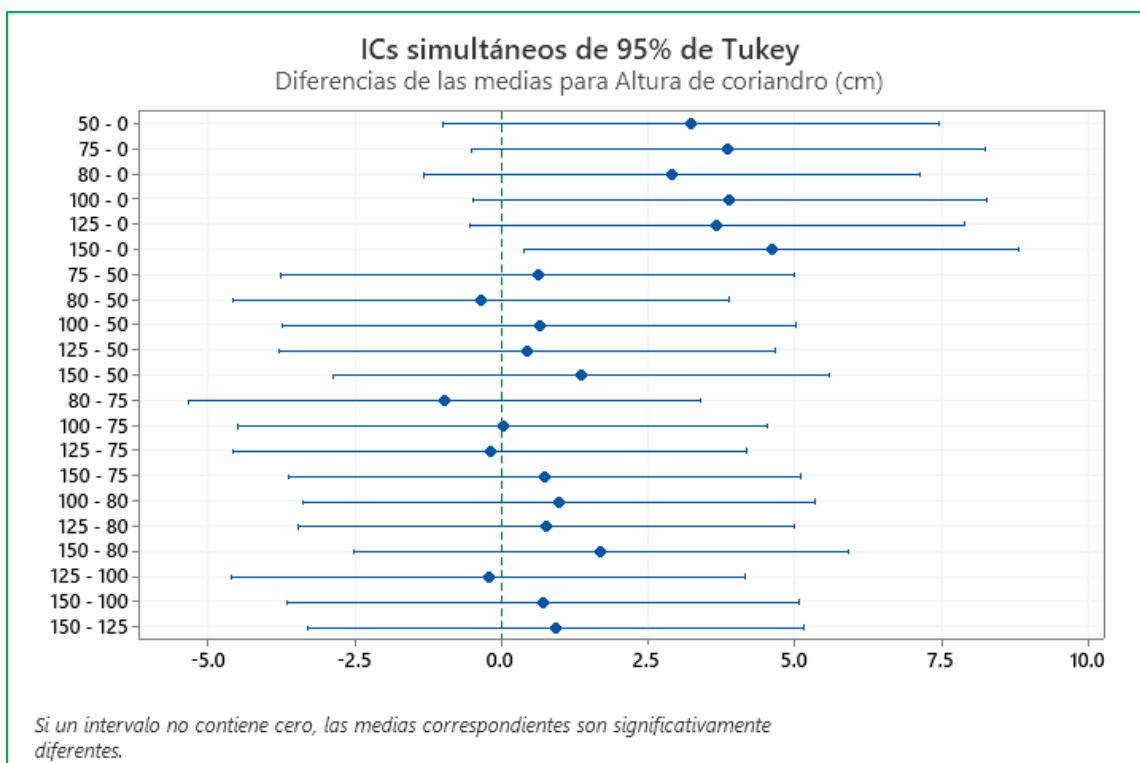


Figura 25. Comparación de la altura en cm de *C. sativum* entre tratamientos (IC al 95%).

La prueba de Tukey para comparaciones múltiples especificó que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T6 (OHD [150 kg de N/ha⁻¹]) y T1 (agua [0 Kg de N/ha⁻¹]) con valores promedio en la altura de 16.23 y 11.62 cm respectivamente, dentro del rango del IC de 150-0 no se incluye cero (Figura 26 superior), por lo que se indicó que existe al menos una diferencia en la altura para los tratamientos T6-T1. No se observaron combinaciones de parejas con valores diferentes a cero entre tratamientos de OHD y fertilizante químico (Figura 26).



tratamiento	N	Media	Agrupación
150	8	16.23	A
100	7	15.51	A B
75	7	15.49	A B
125	8	15.30	A B
50	8	14.863	A B
80	8	14.525	A B
0	8	11.625	B

Figura 26. Intervalos de confianza (IC al 95%) para la diferencia entre medias de la altura (cm) de *C. sativum* (superior) e información de agrupación de las combinaciones de parejas (inferior) por prueba de Tukey, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

b) Peso fresco total en gramos

Los valores de F y de p observados a partir de los resultados del análisis de varianza para los datos transformados del peso fresco total (g) de *C. sativum* (Tabla 14) se compararon con los valores de la distribución F_{α} y α respectivamente, se determinó que el valor $F=3.35$ (observado) es mayor al valor de la distribución $F_{\alpha}=2.299$ (6/47 GL) ($F > F_{\alpha}$), mientras que el valor p calculado es menor al valor de α ($p < 0.05$), en

consecuencia también se rechazó la H0, por lo tanto, se concluyó que existen diferencias significativas en el log del peso fresco en gramos de las plantas de *C. sativum* al menos entre un par de tratamientos (Figura 27).

Tabla 14.

Análisis de Varianza para los datos transformados de peso fresco total (g).

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	6	0.8643	0.14406	3.35	0.008
Error	47	2.0197	0.04297		
Total	53	2.8841			

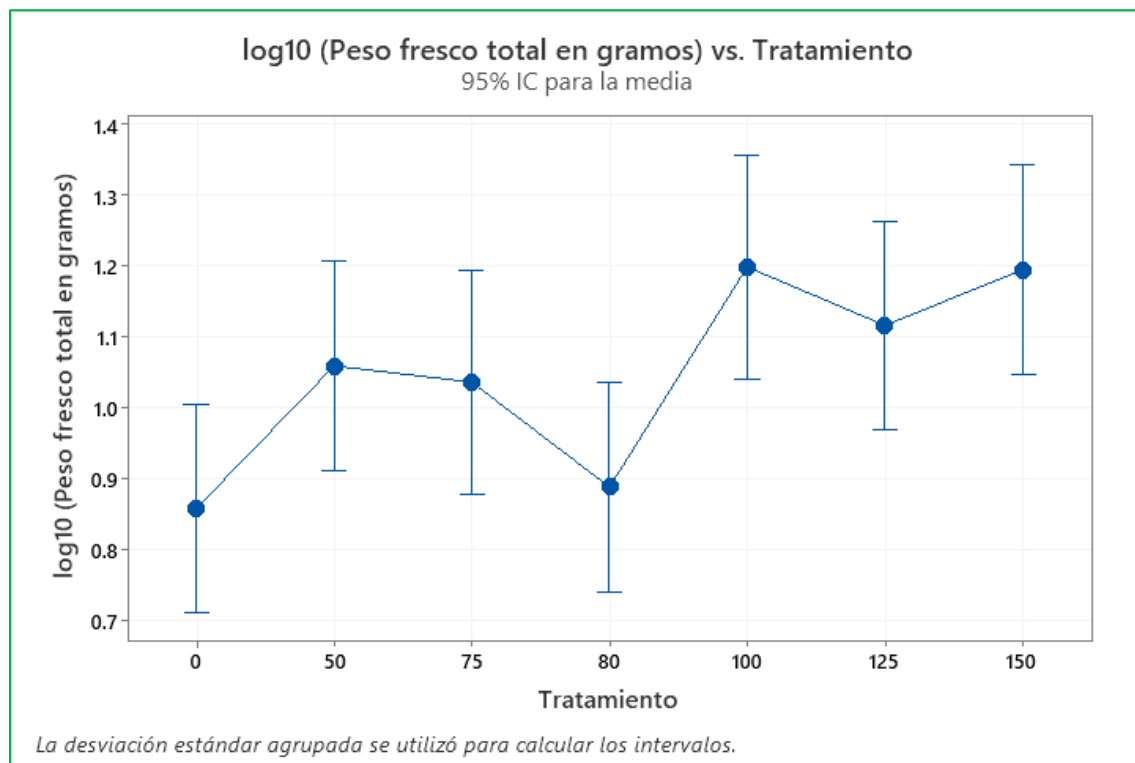
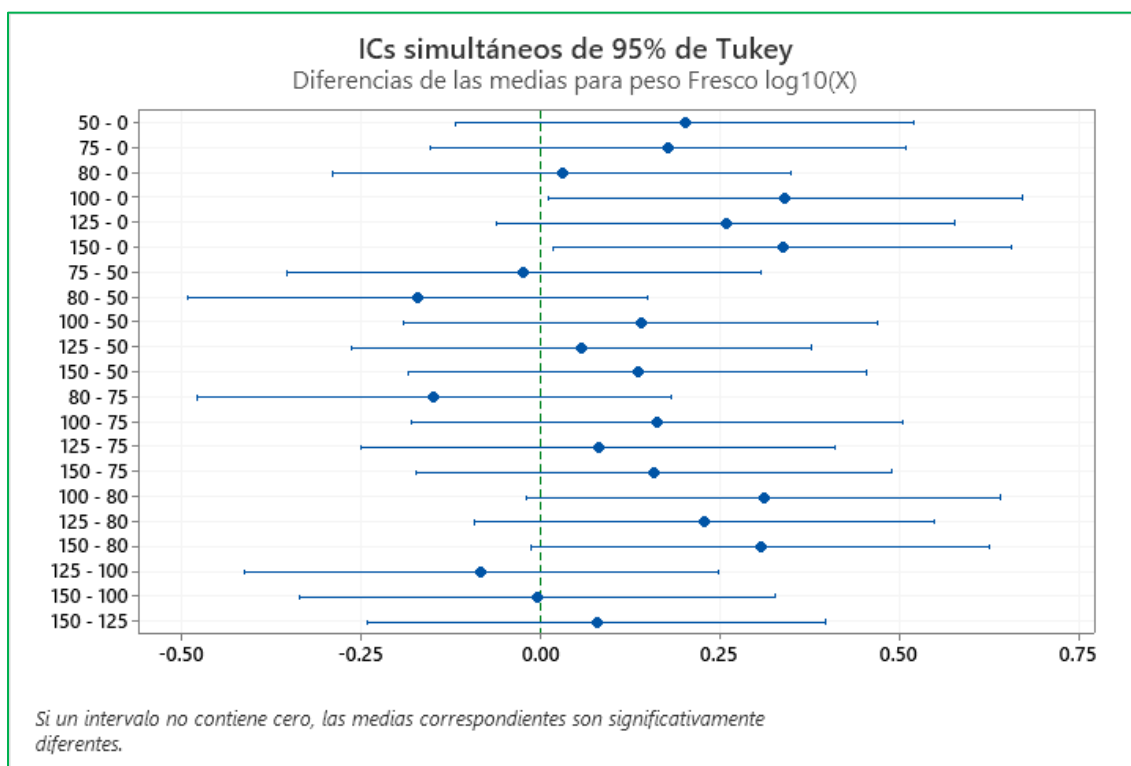


Figura 27. Comparación de log del peso fresco en gramos de *C. sativum* entre tratamientos (IC al 95%).

La prueba de Tukey indicó que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T4 (OHD [100 kg de N/ha⁻¹]) con T1 (agua [0 Kg de N/ha⁻¹]) y T6 (OHD

[150 kg de N/ha⁻¹]) con T1 (agua [0 Kg de N/ha⁻¹]), dentro del rango del IC de 100-0 no se incluye cero, de igual forma para el IC de 150-0 (Figura 28 superior), por lo que se concluyó que existen dos pares de tratamientos T4-T1 y T6-T1 que difieren en el log del peso fresco total en gramos. No se observaron combinaciones de parejas con valores diferentes a cero entre tratamientos de OHD y fertilizante químico (Figura 28).



Tratamiento	Media peso fresco (g)	Tratamiento N	Media Agrupación
T1=0	7.2028	100	7 1.1984 A
T2=50	11.4499	150	8 1.1943 A
T3=75	10.8568	125	8 1.1159 A B
T4=100	15.7906	50	8 1.0588 A B
T5=125	13.0587	75	7 1.0357 A B
T6=150	15.6423	80	8 0.8876 A B
T7=80	7.7197	0	8 0.8575 B

Figura 28. Intervalos de confianza (IC al 95%) para la diferencia entre medias del log del peso fresco de *C. sativum* (superior), información de agrupación de las combinaciones de parejas (inferior derecha) por prueba de Tukey (las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes) y medias originales de peso fresco para cada tratamiento (inferior izquierda).

c) Peso seco total en gramos

Los valores de F y de p observados a partir de los resultados del análisis de varianza para los datos transformados del peso seco total (g) de *C. sativum* (Tabla 15) se compararon con los valores de $F\alpha$ y α respectivamente, se determinó que el valor de $F=3.13$ (observado) es mayor al valor de la distribución $F\alpha=2.299$ (6/47 GL) ($F > F\alpha$), mientras que el valor p calculado es menor al valor de α ($p < 0.05$), en consecuencia también se rechazó la H_0 , por lo tanto, se concluyó que existen diferencias significativas en el log del peso seco en gramos de las plantas de *C. sativum* al menos entre un par de tratamientos (Figura 29).

Tabla 15.

Análisis de Varianza para los datos transformados de peso seco total (g).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	6	0.8028	0.13380	3.13	0.012
Error	47	2.0110	0.04279		
Total	53	2.8138			

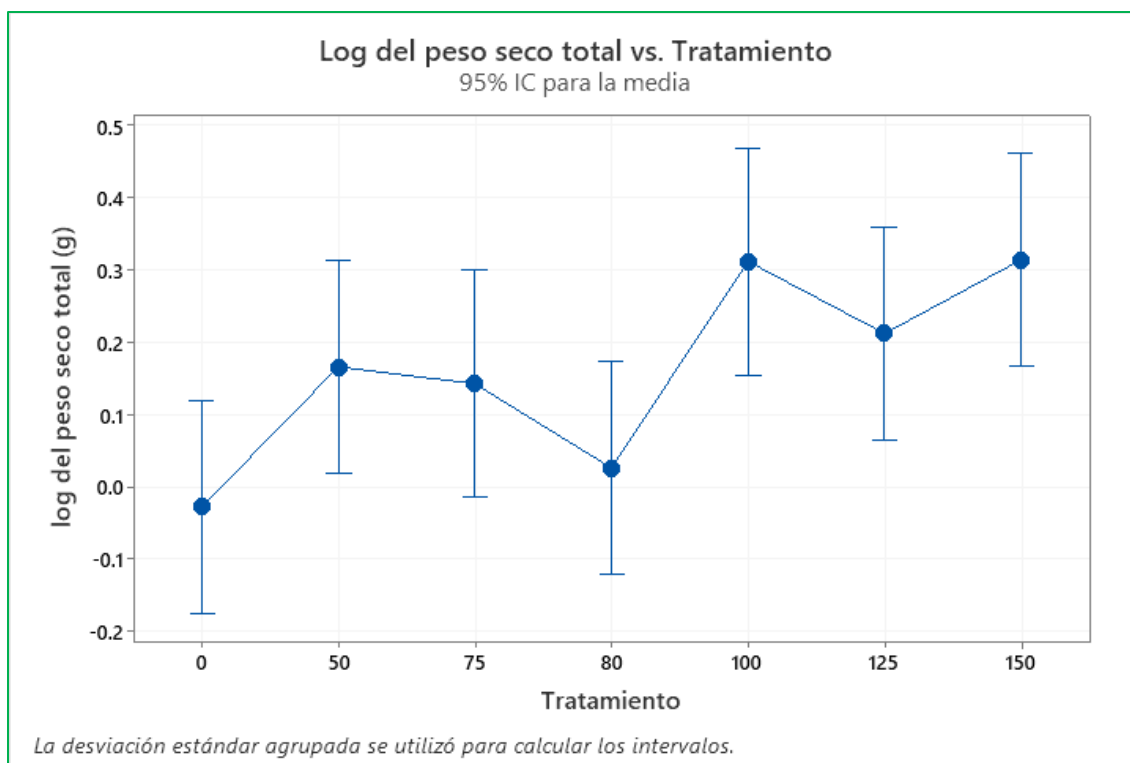
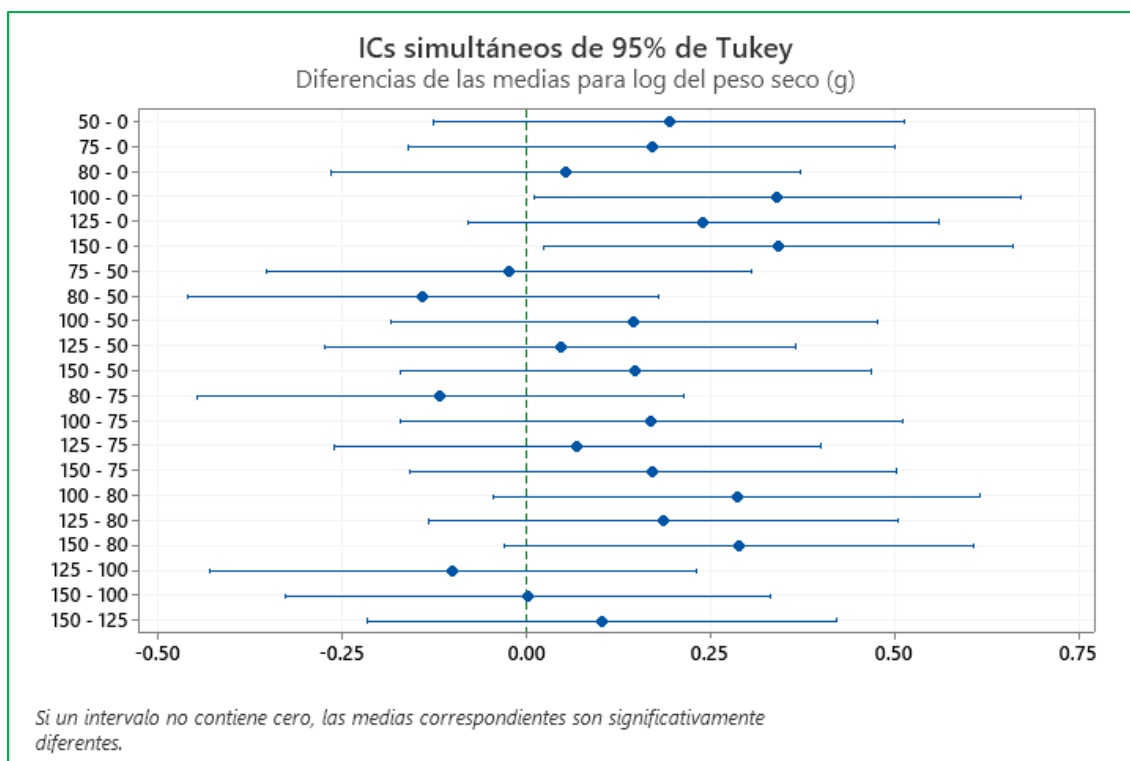


Figura 29. Comparación de log del peso seco en gramos de *C. sativum* entre tratamientos (IC al 95%).

La prueba de Tukey determinó que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T4 (OHD [100 kg de N/ha⁻¹]) con T1 (agua [0 Kg de N/ha⁻¹]) y T6 (OHD [150 kg de N/ha⁻¹]) con T1 (agua [0 Kg de N/ha⁻¹]) con rangos aproximados a los valores del peso fresco, dentro del rango del IC de 100-0 no se incluye cero, de igual forma para el IC de 150-0 (Figura 30 superior), por lo que se estableció que existen dos pares de tratamientos T4-T1 y T6-T1 que difieren en el log del peso seco total en gramos. No se observaron combinaciones de parejas con valores diferentes a cero entre tratamientos de OHD y fertilizante químico (Figura 30).



Tratamiento	Media peso seco (g)	Tratamiento N	Media Agrupación
T1=0	0.93670	150	8 0.3140 A
T2=50	1.46420	100	7 0.3117 A
T3=75	1.38771	125	8 0.2118 A B
T4=100	2.04975	50	8 0.1656 A B
T5=125	1.62855	75	7 0.1423 A B
T6=150	2.06063	80	8 0.0257 A B
T7=80	1.06096	0	8 -0.0284 B

Figura 30. Intervalos de confianza (IC al 95%) para la diferencia entre medias del log del peso seco de *C. sativum* (superior), información de agrupación de las combinaciones de parejas (inferior derecha) por prueba de Tukey (las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes) y medias originales de peso seco para cada tratamiento (inferior izquierda).

A partir de los resultados anteriores para las variables de altura y peso los valores estadísticamente diferentes observados en las combinaciones de parejas no son de interés ya que muestran la diferencia prevista entre el tratamiento sin fertilizante (agua) y aquel con la máxima dosis (150 kg de N/ha⁻¹) (Figuras 26, 28 y 30), por otro lado, los resultados señalan que el efecto de las dosis de nitrógeno sobre la altura de la planta

fue menor, por lo tanto, la altura fue la variable menos afectada por la fertilización (Figura 26), a diferencia del peso (Figuras 28 y 30), en otras palabras, es más fácil encontrar diferencias en el peso, que en la altura con dosis crecientes de N. En el presente estudio en condiciones de invernadero se determinó que no existen diferencias en las variables evaluadas (altura, peso fresco y peso seco) entre las dosis de fertilizante experimental y el fertilizante comercial coincidiendo con lo reportado en la literatura.

Existen pocos estudios donde se han obtenido resultados mayores al fertilizante comercial (Heinonen-Tanski *et al.*, 2007), no obstante, por lo general son equivalentes al control de fertilizante químico (Pradhan *et al.*, 2009; Concha-Santos, 2012; Esparza-Rivera *et al.*, 2015). La no diferencia puede ser atribuida a la simple variación en el contenido de elementos como factores limitantes (niveles bajos de P y K respecto al N), así como a la excedente presencia de elementos antagónicos como el Na que pueden tener un efecto directo sobre las variables evaluadas debido al desequilibrio de estos en la orina humana (Heinonen-Tanski *et al.*, 2007; Neffati y Marzouk, 2008; Pradhan *et al.*, 2010; Karak y Bhattacharyya, 2011), por otro lado a la volatilización de elementos importantes como el N (Kirchmann y Pettersson, 1995) y a factores no controlables (en campo), aunque los aspectos cualitativos no se ven gravemente alterados (Heinonen-Tanski *et al.*, 2007), la no diferencia también se puede atribuir a una dosificación del fertilizante experimental muy próxima a la dosis recomendada, por lo tanto, es muy probable que se observara solo una ligera correlación N/variable en la fase de crecimiento lineal de la planta (Jönsson *et al.*, 2004), de acuerdo con el mismo autor se recomienda multiplicar por 4 la dosis recomendada para encontrar diferencias altamente significativas, sin embargo, el alto incremento en las dosis de fertilizante experimental conlleva a la toxicidad y estrés metabólico para la planta, emisiones mayores de NH₃ y mayor variación en las propiedades del sustrato (Sene *et al.*, 2019).

En la máxima dosis de OHD (150 kg de N/ha⁻¹) la planta no presentó inhibición aparente en el crecimiento ni síntomas evidentes de deficiencia de algún elemento y es posible que por medio de dosis más altas el crecimiento sea más lento o se vea inhibido como en cualquier otro tipo de nutriente en exceso.

En el caso del peso fresco el resultado de los promedios originales se vio parcialmente afectado por la falta de dos plantas que correspondían a los tratamientos T3 y T4 (a pesar del uso de un almacigo propio), las plantas murieron debido a la ruptura de la raíz, en la literatura se reporta que las plántulas de coriandro son de difícil trasplante y aclimatación (Hernández, 2003), en consecuencia en el peso fresco se notó una diferencia en T4 (100 kg de N/ha⁻¹) ligeramente mayor a T6 (150 kg de N/ha⁻¹) debido a la ausencia de una medición (Figura 28), sin embargo, en la variable de peso seco no se observó la misma diferencia y como era de esperar un promedio más bajo en T4 respecto a T6 (Figura 30), la diferencia se puede atribuir a la cantidad de agua que la planta posee en el momento del muestreo. Este efecto no se observó entre los tratamientos T3 y T6.

Los resultados obtenidos indican que, dosis bajas de OHD (desde 50 hasta 150 kg de N/ha⁻¹) tienen mejores parámetros en comparación al tratamiento sin fertilizante (0 kg de N/ha⁻¹) y mantienen promedios equivalentes al del fertilizante químico (80 kg de N/ha⁻¹) y no inferiores, debido a que la orina no solo contiene nitrógeno, esto demuestra que la OHD es tan efectiva como la urea comercial en el cultivo de *C. sativum*, también se indica que el cilantro es tolerante al fertilizante experimental hasta una dosis próxima al doble del fertilizante comercial, finalmente se determinó que en la dosis máxima utilizada (150 kg de N/ha⁻¹) se encontraron en general las mejores observaciones cuantitativas (altura y peso) y cualitativas importantes en hortalizas de hoja; color y calidad (Figura 31) que pueden ser de interés sostenible en la obtención de follaje fresco (González *et al.*, 2017).

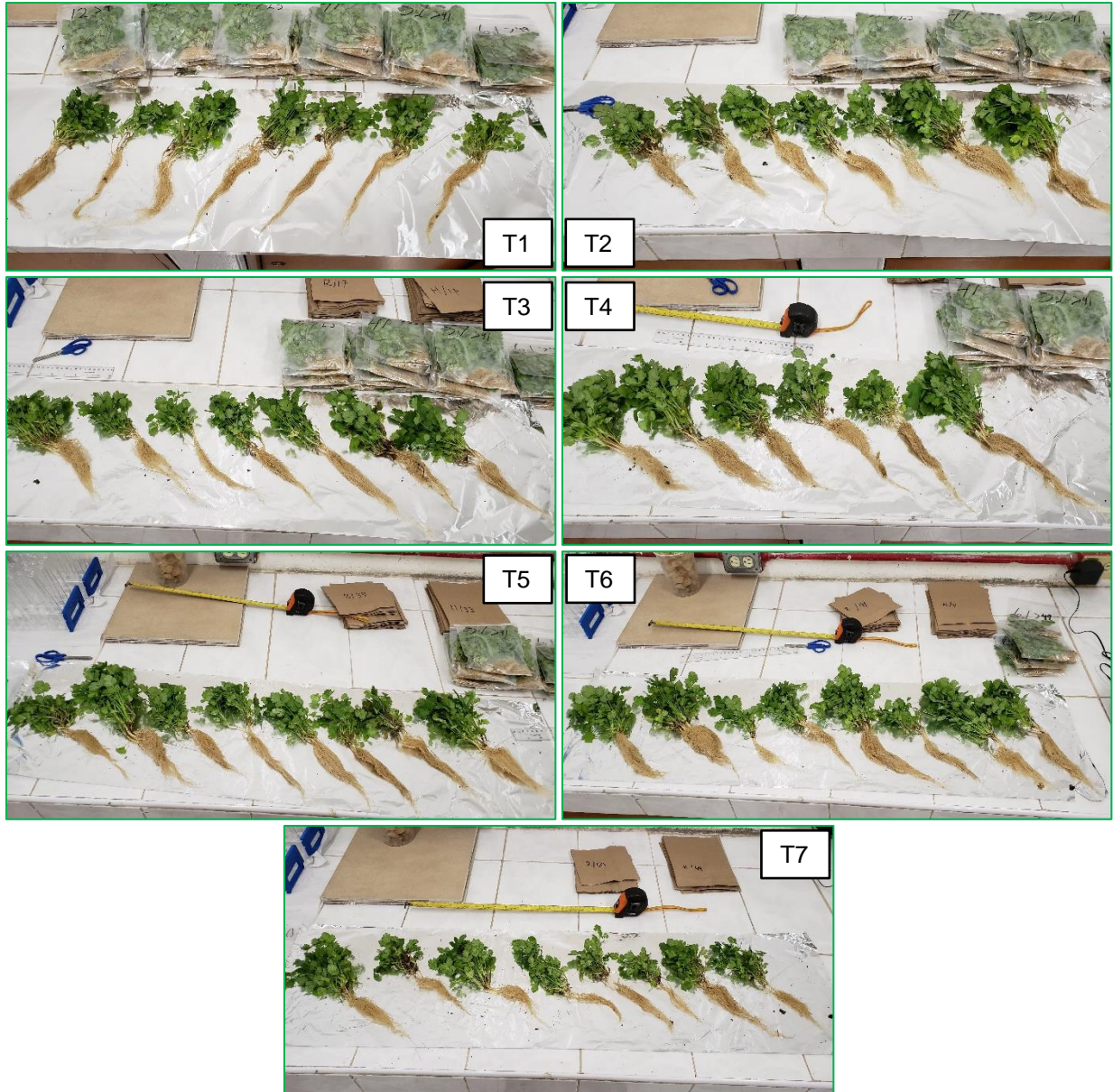


Figura 31. *C. sativum* en cada tratamiento (T1 [agua], T2, T3, T4, T5, T6 [OHD] y T7 [urea]).

9.7 Dosis óptima de N con OHD, aspectos generales y recomendaciones

Se determinó que, al no existir diferencias significativas en los promedios, se decidió tomar el tratamiento con OHD que obtuvo el promedio más alto sobre las variables de respuesta (Tabla 16), así mismo, donde se encontró un efecto aceptable en las condiciones finales del suelo (Tabla 9).

Tabla 16.

Tratamiento con el mayor promedio sobre las variables de altura, peso fresco y peso seco de *C. sativum* en comparación de la fuente química.

Variable de respuesta	Tratamiento de OHD con mayor promedio	Valor promedio	Tratamiento químico	Valor promedio
Altura	150 kg de N/ha ⁻¹	16.23 cm	80 kg de N/ha ⁻¹	14.52 cm
Peso fresco total	150 kg de N/ha ⁻¹	15.642 g	80 kg de N/ha ⁻¹	7.719 g
Peso seco total	150 kg de N/ha ⁻¹	2.060 g	80 kg de N/ha ⁻¹	1.060 g

Las recomendaciones sobre la utilización del fertilizante experimental en herbáceas son equivalentes a las propuestas en otros cultivos, se recomienda la dilución 1:3 o mayor, así como la división de la dosis original con el menor número de aplicaciones para evitar daños a la planta y al mismo tiempo pérdidas de nitrógeno por aplicación (en el presente estudio la dosis original se dividió en 3 aplicaciones y fue adecuado), al mismo tiempo que la última fertilización se debe realizar un mes antes de la cosecha, por otro lado, en sentido estricto el fertilizante experimental no se debe administrar de forma foliar por quemaduras potenciales en hojas (las partes aéreas son la principales estructuras utilizadas del coriandro), otras causas que llevan al no empleo de esta vía de fertilización son promover la atracción de insectos, la contaminación por patógenos, la pérdida significativa de N por volatilización y la liberación de gas amoníaco tóxico (Pradhan *et al.*, 2009; Esparza-Rivera *et al.*, 2015).

Es importante mencionar que para obtener aproximaciones más precisas en el peso la cosecha se realizó cumpliendo con los días determinados, debido a que durante el período de maduración (muy cercano a la formación de la inflorescencia) las hojas inferiores del cilantro se vuelven rojizas o moradas y mueren (Diederichsen, 1996).

Por otra parte, un fertilizante tan simple tiene cierta ventaja sobre tratamientos de compostaje, fertilizantes químicos, biodigestores fermentativos e incluso biofertilizantes (bacterias y hongos) por el hecho de poder acceder a él en un ambiente con pocos recursos (económicos, materiales y tecnológicos), no obstante, también existen múltiples aspectos negativos (Tabla 17) que repercuten en su implementación.

Tabla 17.

Aspectos positivos y negativos que influyen en la utilización de la OH como fertilizante. Elaboración propia.

Aspectos positivos	Aspectos negativos
✓ Es un fertilizante nitrogenado gratuito (económico) para las personas que no pueden permitirse obtener fertilizantes químicos.	✗ Tiempo mínimo de 3 meses para la reducción microbiológica (recomendable >6 meses para desinfección de patógenos comunes) e hidrólisis de urea.
✓ Fertilizante fácil de desinfectar (método sencillo y sin instrumental costoso).	✗ El manejo inadecuado puede volver a contaminar el fertilizante (fácil de contaminar).
✓ Es rico en elementos y minerales disponibles directamente para las plantas.	✗ No todas las plantas resisten las condiciones proporcionadas por el fertilizante experimental (grado de salinidad, sodicidad y pH).
✓ Fácil de manejar y producir (se produce prácticamente solo) y no necesita supervisión constante.	✗ Puede contener elementos no deseados como metales pesados, genes de resistencia a antibióticos, hormonas, medicamentos y otras drogas que pueden llegar al ser humano y otros animales por las plantas de consumo (vectores biológicos) a través de la cadena alimenticia o contaminar el medio (suelo y cuerpos de agua cercanos).
	✗ Los medicamentos pueden causar presión de selección y causar resistencia en bacterias.
✓ Generalmente proporciona un crecimiento igual o ligeramente mejor en los cultivos.	✗ Su uso excesivo puede causar acidez, salinidad y sodicidad (reversibles) en el suelo y el potencial exceso de ureasa.
✓ Con las medidas estrictas (Figura 24) se puede elaborar un fertilizante biodegradable y seguro.	✗ Su manejo y aplicación requieren de cierto grado de protección respiratoria al gas amoníaco.
✓ Enriquece la actividad simbiótica y nitrificante del suelo.	✗ El gas amoníaco se puede volatilizar rápidamente (perdida de nitrógeno) y causar efecto invernadero.

- ✓ No requiere condiciones exigentes para su almacenamiento ni grandes cuidados.
- ✓ Con mayor tiempo de almacenamiento hay una mayor seguridad en la desinfección y mayor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas (principalmente nitrógeno).
- ✓ Se puede utilizar para contrarrestar levemente la alcalinidad del suelo (remediador experimental).
- ✓ No requiere el uso de energías para su producción.
- ✓ Con un adecuado tratamiento y uso evita que la orina se transforme en un contaminante del agua, suelo y medio ambiente.
- ✓ Contribuye al ahorro del agua (evita su uso para transportar orina en sistemas de saneamiento convencionales).
- ✓ Promueve el uso de espacios ya en proceso de cultivo y evita la preparación de nuevos sitios de siembra desplazando flora y fauna nativa.
- ✓ Propuesta económica familiar sostenible.
- ✓ Permite dar seguimiento de una red sustentable.
- ✓ Es posible la reducción de volumen y la esterilización total y rápida por métodos como la ozonización,
- ✗ El fertilizante a base de orina tiene mala reputación.
- ✗ Necesario el análisis de contenido para la determinación de los valores de nutrientes y el cálculo de dosis (la cantidad de N varía durante el almacenamiento) por lo que no es posible estandarizar cantidades de fertilizante.
- ✗ El exceso de fertilizante nitrogenado puede aumentar el lixiviado en el suelo y contaminar aguas subterráneas (como cualquier fertilizante).
- ✗ Se dificulta el manejo de grandes volúmenes de fertilizante para su mezcla, almacenamiento y aplicación.
- ✗ La OH necesita ser diluida en agua para su aplicación (al menos 1:3) por lo que se dificulta su uso en lugares donde escasea el líquido vital.
- ✗ Menor cantidad de nitrógeno por litro de orina puede influir en un menor efecto desinfectante.
- ✗ Sin el tratamiento, manipulación y uso adecuado puede convertirse en una fuente de patógenos.
- ✗ El exceso de fertilizante puede aumentar el contenido de formas nitrogenadas en las plantas.

deshidratación, radiación, etc.

- ✓ Otros métodos permiten la obtención de nutrientes específicos (para fertilizantes clásicos) y evitar la extracción de nuevos minerales.
- ✓ Útil principalmente en plantas herbáceas (producción de biomasa para forraje o biocombustibles) y aquellas que requieren nitrógeno en cantidades considerables.
- ✓ El fertilizante a base de OHD no tiene caducidad aparente y no se descompone.

Para finalizar, es importante subrayar el alcance económico y social sostenible en aquellas comunidades más pobres con escasos recursos y servicios en la producción de forraje y obtención de productos de consumo directo (complemento en el ingreso económico familiar cuando el costo de los alimentos aumenta) a nivel local (en San Bernardino Tepehene) y universal, la adecuada gestión e implementación de recursos, investigación científica y responsabilidad brindaran las bases para contemplar y mitigar los grandes problemas que enfrentan.

Debido a que la población con bajos ingresos es la más susceptible a emplear el fertilizante es de vital importancia que este sea seguro en todo sentido, se propone realizar más investigación para esclarecer determinados aspectos (fundamentalmente sobre los riesgos en la resistencia de contaminantes biológicos y químicos), se reitera que, si proviene de individuos sanos, en conjunto al proceso de desinfección más simple (almacenamiento) se garantiza un fertilizante seguro con potencial uso a pequeña escala y se aprovecharía un producto prácticamente inagotable, de ser así los residuos orgánicos tendrían un mejor destino o serían de utilidad directamente en la extracción de sus componentes individuales purificados y se aseguraría la solución parcial de problemas tan significativos; desde la contaminación hídrica hasta aquellos económico-sustentables.

10. Conclusiones

- Se logró el aprovechamiento del ureotelismo de los mamíferos en la obtención de un fertilizante gratuito, renovable y rico en nutrientes a base de orina humana desinfectada (OHD).
- El almacenamiento >6 meses es el método más simple para desinfectar y aumentar el contenido de nutrientes disponibles para las plantas por hidrólisis de urea, cambios químicos del nitrógeno (formas amoniacales) y otros compuestos.
- La OHD tiene valores que no rebasan los límites microbiológicos (CT y CF) para uso agrícola.
- Los parámetros del suelo antes y después del cultivo se mantuvieron dentro del mismo intervalo en su respectiva categoría según la Norma Oficial Mexicana vigente sobre las especificaciones del suelo.
- Las plantas de cilantro cultivadas con OHD no sobrepasaron los límites máximos permisibles de contaminación microbiológica (BMA, CT, CF, mohos y levaduras) determinados por las Normas Oficiales Mexicanas vigentes en hortalizas de hoja verde.
- No se encontraron diferencias significativas en las variables de altura, peso fresco y peso seco entre los tratamientos de OHD y fertilizante químico (urea) en el cilantro.
- *C. sativum* es tolerante a dosis crecientes de N con OHD, la dosis que se recomienda es de 150 kg de N/ha⁻¹ (mayor cantidad de N aplicado) donde el crecimiento no es afectado ni inhibido por elementos potencialmente antagónicos como el Na.
- El cilantro puede ser producido de manera sostenible en la producción de forraje y obtención de productos de consumo directo (complemento en el ingreso económico familiar) a nivel local y universal siempre y cuando las condiciones de higiene y sanidad sean rigurosamente aplicadas.
- Se necesita más investigación para esclarecer aspectos de la desinfección y sobre los riesgos en la resistencia de contaminantes biológicos y químicos.

11. Bibliografía

- Acosta, S. J., Herrera, J. A. Q., & Solís, J. V. (2018). Captación de agua de lluvia: tipos, componentes y antecedentes en zonas áridas de México, como estrategia de uso sustentable del agua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (3), 63-86.
- Arias, M. A., Arnold, U., & Goldbach, H. (2019). Change in estrogenic activity in stored human urine before reuse as fertilizer. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.*, 8(1), 195-202.
- Brandt, W., Gürke, M., Pabst, G., Köhler, F., Schellenberg, G., & Vogtherr, M. (1883). *Köhler's Medizinal-Pflanzen in naturgetreuen Abbildungen mit kurz erläuterndem Texte: Atlas zur Pharmacopoea germanica, austriaca, belgica, danica, helvetica, hungarica, rossica, suecica, Neerlandica, British pharmacopoeia, zum Codex medicamentarius, sowie zur Pharmacopoeia of the United States of America / herausgegeben von G. Pabst.* (Vol. 2). Germany. Gera-Untermhaus: Fr. Eugen Köhler.
- Castillo-Castillo, L. (2002). *Sanitario ecológico seco. (Manual de diseño, construcción, uso y mantenimiento)*. Guadalajara, México.
- Chandran, A., Pradhan, S. K., & Heinonen-Tanski, H. (2009). Survival of enteric bacteria and coliphage MS2 in pure human urine. *J. Appl. Microbiol.*, 107(5), 1651-1657.
- Chávez, C. J. A. (2019). *Análisis y optimización en un sistema de fertilización de hortalizas*. [Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Puebla, México.
- Chipako, T. L., & Randall, D. G. (2020). Urine treatment technologies and the importance of pH. *J. Environ. Chem. Eng.*, 8(1), 103622.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Puebla (CESAVEP). (2020). Manejo fitosanitario del cilantro. San Pedro Cholula, Puebla, México. http://www.cesavep.org/campanias/MFCIL/mfcil_int.html
- Condori-Guarachi, D., Condori-Mamani, P., & Quispe-Condori, E. (2018). Efecto de aplicación de abono orgánico y fertilizante líquido orina humana fermentada

sobre la fertilidad del suelo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de el alto. *J. Selva Andina Biosph.*, 6(1), 3-10.

- CONAGUA. (2014). Programa Nacional Hídrico 2014-2018.
- CONAGUA. (2018). Atlas del Agua en México.
- CONAGUA. (2020a). Programa Nacional Hídrico 2020-2024.
- CONAGUA (2020b). Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales.
- Concha-Santos, Q. S. (2012). *Efecto de la aplicación de la orina humana como fertilizante en suelo ácido y neutro en el cultivo del jitomate*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. México, México.
- Diederichsen, A. (1996). Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. Roma (Italia). 83 p., ISBN: 9290432845.
- Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E., & Thurston, R. V. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *J. Fish. Board Res. Can.*, 32(12), 2379-2383.
- Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., de la Cruz-Lázaro, E. & Meza-Velázquez, J. A. (2015). Producción de plántulas de chile jalapeño fertilizadas con orina. *Rev. Mexicana Cienc. Agríc.*, 6(7), 1481-1489.
- FAOSTAT. (2020a). Fertilizantes por producto. Food and Agriculture Organization.
- FAOSTAT. (2020b). Cultivos. Food and Agriculture Organization.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2002). *Los fertilizantes y su uso; una guía de bolsillo para los oficiales de extensión*.
- Foundation for Agronomic Research (FARP), Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute de Canada (PPIC). (1988). Manual de fertilidad de los suelos. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4910>

- Goetsch, H. E., Zhao, L., Gnegy, M., Imperiale, M. J., Love, N. G., & Wigginton, K. R. (2018). Fate of the urinary tract virus BK human polyomavirus in source-separated urine. *Appl. Environ. Microbiol.*, 84(7).
- González, P. E., Villalobos, R. S., Rodríguez, G. A., & Avilés, B. W. I. (2017). Cilantro (*Coriandrum sativum* L.) un cultivo ancestral con potencial subutilizado. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Centro. Libro técnico*, (9), 76.
- Google Maps. (2020). Mapa de San Bernardino Tepenene, Puebla. Recuperado el 21 de octubre, 2020, de: <https://www.google.com/maps/place/Tepenene,+Pue./@18.8806918,-98.0955706,1069m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x85cf96508df04299:0xce401da83635d2ce!8m2!3d18.8795569!4d-98.0977149>
- Hanæus, J., Hellström, D., & Johansson, E. (1997). A study of a urine separation system in an ecological village in northern Sweden. *Water Sci. Technol.*, 35(9), 153-160.
- Heinonen-Tanski, H., Sjöblom, A., Fabritius, H., & Karinen, P. (2007). Pure human urine is a good fertilizer for cucumbers. *Bioresour. Technol.*, 98(1), 214-217.
- Hernández Dávila, J. (2003). *Crecimiento y desarrollo del cilantro Coriandrum sativum L. por efecto del fotoperíodo y la temperatura y su control con fitoreguladores*. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Nuevo León, México.
- Höglund, C., Ashbolt, N., Stenström, T. A., & Svensson, L. (2002). Viral persistence in source-separated human urine. *Adv. Environ. Res.*, 6(3), 265-275.
- Hu, M., Fan, B., Wang, H., Qu, B., & Zhu, S. (2016). Constructing the ecological sanitation: a review on technology and methods. *J. Clean. Prod.*, 125, 1-21.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (2010). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Estado de Puebla. Municipio de Tzicatlacoyan. Disponible en:

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21193a.html>

- Jönsson, H., Stintzing, A., Vinnerås, B., & Salomon, E. (2004). *Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos*. Estocolmo (Suecia): Stockholm Environment Institute. Programa EcoSanRes.
- Karak, T., & Bhattacharyya, P. (2011). Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. *Resour. Conserv. Recy.*, 55(4), 400-408.
- Kardong, K. V. (2007). El sistema urogenital. En *Vertebrados: Anatomía comparada, función y evolución* (538-584). 4^{ta} Ed. McGraw Hill.
- Kirchmann, H. & Pettersson, S. (1995). Human urine-chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer research*, 40(2), 149-154.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H. & Stahl D. A. (2015). *Brock. Biología de los microorganismos*. 14th ed. Madrid, España. Pearson Educación.
- Mamani-Mamani, V., Loza-Murguía, M., Coronel-Quispe, L., Sainz-Mendoza, H., Paye-Huaranca, V. & Coronel, F. (2015). Uso de la orina humana como fertilizante en la producción de lechuga Waldmann green (*Lactuca sativa* L.). *J. Selva Andina Biosph.*, 3(1), 24-38.
- Melián-Navarro, A., Fernández-Zamudio, M. A. (2016). Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente. *Agua y territorio*, (8), 80-92.
- Mundt, L. A., & Shanahan, K. (2011). *Graff: análisis de orina y de los líquidos corporales*. Editorial Medica Panamericana.
- Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la Botánica*. Madrid, España. Pearson educación.
- Naciones Unidas, Asamblea General “Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo”. ASAMBLEA/42/427, (04 de agosto de 1987), disponible en: <https://undocs.org/es/A/42/427>
- Naciones Unidas, Asamblea General “Transformando nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. ASAMBLEA/70/L.1, (18 de septiembre de

2015),

disponible

en:

http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/70/L.1&Lang=S

- Neffati, M., & Marzouk, B. (2008). Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. *Ind. Crop. Prod.*, 28(2), 137-142.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, México, D. F.
- Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua-enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli*-método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la nmx-aa-42-1987). *Diario Oficial de la Federación*, México, Ciudad de México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. *Diario Oficial de la Federación*, México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. *Diario Oficial de la Federación*, México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-109-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. *Diario Oficial de la Federación*, México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. *Diario Oficial de la Federación*, México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. *Diario Oficial de la Federación*, México, D. F.
- Pacheco, A. (2018). *Caracterización de la cobertura edáfica en la región sur de la presa Valsequillo, Puebla*. [Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Puebla, México.

- Park, G. W., & Diez-Gonzalez, F. (2003). Utilization of carbonate and ammonia-based treatments to eliminate *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella Typhimurium* DT104 from cattle manure. *J. Appl. Microbiol.*, 94(4), 675-685.
- Pérez, A. R., Huerta, L. M., Barreiro, S. M. y Silva, S. E. (2015). *Traspatio Campesino Sustentable. San Bernardino Tepenene, Tzicatlacoyan, Puebla.* BUAP, Puebla, México. ISBN: 978-607-487-928-5.
- Pradhan, S. K., Pitkänen, S., & Heinonen-Tanski, H. (2010). Fertilizer value of urine in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) cultivation. *J. Agric. Food Chem.*, 19(1), 57-68.
- Pradhan, S. K., Holopainen, J. K., Weisell, J., & Heinonen-Tanski, H. (2010a). Human urine and wood ash as plant nutrients for red beet (*Beta vulgaris*) cultivation: impacts on yield quality. *J. Agric. Food Chem.*, 58(3), 2034-2039.
- Pradhan, S. K., Holopainen, J. K., & Heinonen-Tanski, H. (2009). Stored human urine supplemented with wood ash as fertilizer in tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation and its impacts on fruit yield and quality. *J. Agric. Food Chem.* 57(16), 7612-7617.
- Recovered [10, 01, 2020], from the Integrated Taxonomic Information System on-line database. <http://www.itis.gov>.
- Richert, A., Gensch, R., Jönsson, H., Stenström, T. & Dagerskog, L. (2011). Guía Práctica de Uso de la Orina en la Producción Agrícola. Estocolmo (Suecia): Stockholm Environment Institute. Programa EcoSanRes.
- Sene, M., Hijikata, N., Ushijima, K., & Funamizu, N. (2019). Application of human urine in agriculture. In *Resource-oriented agro-sanitation systems* (pp. 213-242). Springer, Tokyo.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Boletín de exportaciones de cilantro. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306141/Marzo_cilantro_2018.pdf
- Tejerina, W. A., Farfán, R. D. C., & Cuevas, C. M. (2007). Efectos del Amoníaco, sulfuro y taninos sobre la actividad de un lodo anaeróbico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11.

- Udert, K. M., Larsen, T. A., & Gujer, W. (2006). Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Sci. Technol.*, 54(11-12), 413-420.
- Villavicencio, X. (2009). Sistematización de la experiencia de aplicación de orina humana como fertilizante en Caña de Azúcar. Área de saneamiento sostenible (ACEPESA).
- Winker, M., Clemens, J., Reich, M., Gulyas, H., & Otterpohl, R. (2010). Ryegrass uptake of carbamazepine and ibuprofen applied by urine fertilization. *Sci. Total Environ.*, 408(8), 1902-1908.
- Winker, M. (2009). *Pharmaceutical residues in urine and potential risks related to usage as fertilizer in agriculture*. [PhD thesis, Hamburg University of Technology]. Hamburg, Germany.