

Macroproyecto

COMECyT-UTVT-UAEMéx:

Estudio del impacto de las aguas residuales provenientes de la matanza de ovinos en el municipio de Capulhuac



Molina Jacinto, Mariela. Realiza una estancia de investigación en la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca y en el Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-

Velázquez Garduño, Gisela. Directora de las Carreras de Procesos Alimentarios y Química, Área Biotecnología. SNI I. Universidad Tecnológica del Valle de Toluca.

Gómez Espinosa, Rosa María. Profesor-Investigador de tiempo completo en el Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM, SNI II. Responsable del Laboratorio de Química Aplicada.



Resumen:

El presente artículo expone la problemática ambiental que origina la matanza de ovinos para la producción de barbacoa. Las aguas residuales provenientes del sacrificio pueden contener contaminantes perjudiciales para la salud. Además, la falta de infraestructura para abastecer la demanda ha originado la contaminación de los cuerpos de agua. Se propone el uso de tecnologías como las membranas, que permiten aprovechar y mejorar la calidad del agua. La identificación de los riesgos y la propuesta de las alternativas de tratamiento ofrecen estrategias que permiten recuperar las masas de agua y concientizar a la comunidad sobre el impacto ambiental de la producción de barbacoa.

Fig. 1. Recepción e inspección de animales antes del sacrificio. Velázquez Garduño, Gisela. Capulhuac, Estado de México. 4 de marzo de 2025.

Introducción

Este proyecto de investigación surgió a partir del macroproyecto de evaluación de la calidad e inocuidad de la carne en la cadena productiva de la barbacoa elaborada en el municipio de Capulhuac de Mirafuentes; encabezado por la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y con el H. Ayuntamiento de Capulhuac. El origen se ubica cuando la Dra. Gisela Velázquez Garduño y colaboradores, en el análisis de la elaboración de la barbacoa, identificaron los impactos ambientales que esta actividad productiva genera en los cuerpos de agua al verter las aguas residuales directamente; es decir, sin tratamiento alguno.

En este sentido, la maestra en Ciencias Ambientales Mariela Molina Jacinto observó un área de oportunidad para la aplicación de materiales funcionales para el tratamiento de efluentes provenientes de las casas de matanzas de ovinos. Su interés por dicha aplicación se produjo después de trabajar bajo la dirección de la profesora Rosa María Gómez Espinosa, que desde hace más de 15 años impulsa el desarrollo de materiales funcionales (polímeros soportados en membrana de polipropileno) con aplicaciones medioambientales. Es así que la Mtra. Molina Jacinto, a través del programa "Investigadoras e Investigadores COMECyT 2024", realiza investigación en el desarrollo y aplicación de los materiales funcionales para tratar agua contaminada proveniente del rastro municipal de Capulhuac. De esta manera, se ha impulsado la colaboración de dichas instituciones (COMECyT-UTVT-UAEMéx), sumando esfuerzos para recuperar los cuerpos de agua.

De entrada, la preparación de la barbacoa se creó en los tiempos de los taínos (entre los años 1200 y 1500), con el método de cocción de carne que empleaba leños verdes colocados sobre fuego hecho en una fosa. Posteriormente, en México los tlaxcaltecas implementaron el uso del maguey como envoltorio para cocinar y preparar la carne; y después cocerla en hoyos debajo de la tierra. Así es como surgió la barbacoa que hoy disfrutamos.

La elaboración de este platillo comienza desde la elección del animal hasta las prácticas de matanza para asegurar un producto de buena calidad y con seguridad alimentaria; es decir, que la carne esté tierna, jugosa, con un buen balance de grasa y que no ocasione enfermedades en los consumidores. Así comienza la travesía para la elaboración de la barbacoa y el impacto ambiental que comprenden las operaciones de sacrificio, las cuales se dividen en tres etapas de forma general: manipulación previa al sacrificio, aturdimiento y sacrificio como tal.

El manejo previo al sacrificio es una etapa importante, ya que el estrés aplicado al ovino antes puede provocar efectos indeseables en la calidad e inocuidad de la carne producida a partir de estos animales; es por ello que se les da un tiempo de descanso de entre 12 y 24 horas (Fig.1), se les permite tomar agua y se impide que coman. Estas prácticas, además, permiten un desangrado completo y facilitan la evisceración. Posteriormente, las etapas de sacrificio son las siguientes:

- **Inspección *ante - mortem*:** se inspeccionan los animales vivos antes de ser sacrificados, con el fin de buscar signos de enfermedades como fiebre o comportamiento anormal.
- **Aturdimiento:** antes de comenzar el sacrificio, los ovinos se inmovilizan y se les aturde para garantizar un final humanitario y sin dolor. El aturdimiento es una etapa primordial, pues reduce el estrés del animal y mejora la calidad de la carne. Los métodos más comunes para dejar inconsciente al animal son: mecánico (disparo con perno) y electro-aturdimiento.
- **Matanza:** mientras el animal está inconsciente comienza la tercera etapa, que es el desangrado mediante la inserción de un cuchillo en la cavidad torácica; así como el corte de la arteria carótida y la vena yugular, en un tiempo no mayor a 20 segundos posterior al electro-aturdimiento y 30 segundos al aturdimiento con pistola (Fig. 2). Este método permite la máxima extracción de sangre del cuerpo.
- **Desollado:** en esta etapa se retira la piel del animal. En el caso de los ovinos, las pieles a menudo se retiran a mano y los cueros se quitan con un cuchillo. Además, las pieles se conservan mediante salazón para que se puedan curtir a productos.
- **Evisceración:** consiste en extraer las vísceras de la cavidad abdominal y torácica (ubres, pene, intestino grueso y delgado, hígado, diafragma, pulmones, corazón etc.). Se debe tener especial cuidado con el ano y recto para evitar la contaminación fecal de la canal.
- **Inspección *post mortem*:** radica en la búsqueda de signos de enfermedad en las vísceras extraídas de la canal. Ayuda a identificar partes individuales u órganos que no son saludables o seguros para el consumo humano (Fig. 3).
- **Preparación final de la canal:** aquí se retiran los tejidos inadecuados (con moretones y marcas), se lava la canal y se pesa (Fig. 4).
- **Enfriamiento:** se necesita todo el día para enfriar una gran masa de carne con el fin de evitar el deterioro de la misma, y así impedir que los músculos se acorten y la carne se ponga dura.



Fig. 2. Ilustración del proceso de matanza. Velázquez Garduño, Gisela. Capulhuac, Estado de México. 4 de marzo de 2025.



Fig. 3. Inspección post mortem. Velázquez Garduño, Gisela. Capulhuac, Estado de México. 4 de marzo de 2025.



Fig. 4. Preparación final de la canal. Velázquez Garduño, Gisela. Capulhuac, Estado de México. 4 de marzo de 2025.

De la matanza de ovinos al agua sucia

El procesamiento de la carne para producir un platillo de barbacoa requiere del uso de grandes volúmenes de agua. Se estima que para la producción de carne de ovino se necesita un promedio de 6100 m³ de agua (Hoekstra and Chapagain, 2007). Se usa para la limpieza de los ovinos, para las áreas de trabajo e instalaciones, con el fin de mantener la higiene (Fig. 5); por lo tanto, estas aguas pueden contener heces, orina, sangre, grasas, pelos, despojos, alimentos no digeridos en los intestinos de los animales sacrificados, restos de detergentes o desinfectantes, medicamentos veterinarios, entre otros. En conjunto, todos estos desechos hacen que la composición del agua residual sea compleja, pues contiene un elevado nivel de materia orgánica, materia en suspensión, grasas, proteínas, nitrógeno (amoniaco y orgánico) y fosfatos.



Fig. 5. Agua residual proveniente del proceso de matanza. Velázquez Garduño, Gisela. Capulhuac, Estado de México, 4 de marzo de 2025.

Contaminantes del agua proveniente del sacrificio dañan el ecosistema

Uno de los componentes más problemáticos del agua de la matanza es el nitrógeno, debido al impacto ambiental que tiene cuando estas aguas residuales se vierten sobre los cuerpos de agua. Un alto contenido de nitrógeno en el agua ocasiona el crecimiento excesivo de algas nocivas, turbidez, mal olor, agotamiento del oxígeno y mortalidad de peces, lo cual origina zonas muertas. La presencia del elemento químico en el agua residual de sacrificio está relacionada a la etapa de desollado y eviscerado, donde la concentración de proteínas es mayor. Esto se debe a la degradación de los residuos de tejidos y proteínas que liberan contenido de nitrógeno en el agua.

Las aguas residuales de la matanza amenazan la salud humana

Una de las consecuencias más preocupantes de las aguas residuales con alto contenido de nitrógeno es que pueden filtrarse a las aguas subterráneas, y gran parte de la población es abastecida con agua de pozo. Esto representa una amenaza para la salud, pues beber agua contaminada con nitratos está asociada al desarrollo de afecciones como el cáncer (Eze and Phil-Eze 2020).

Los nitratos y nitritos están compuestos con unidades de nitrógeno y oxígeno; cuando estos entran al cuerpo a través de la ingesta de agua potable, pueden reaccionar con aminos y amidas presentes en el organismo para formar compuestos N-nitrosos (NOC), que se sabe que causan cáncer. La exposición prolongada a nitratos o nitritos aumenta el riesgo de padecer metahemoglobinemia, una anomalía sanguínea que hace que la sangre pierda su capacidad de transportar oxígeno a los tejidos. Esto es especialmente peligroso en bebés menores de 4 meses, ya que pueden desarrollar el síndrome del bebé azul.

Otro de los compuestos que genera graves daños al ecosistema, al igual que el nitrógeno, son los fosfatos (PO_4^{3-}). Los componentes de fósforo en las aguas residuales pueden provocar eutrofización; aunque el fósforo no es tóxico para los humanos, origina el crecimiento de algas nocivas (algas verdeazuladas). Este tipo de algas produce cianotoxinas, que son dañinas para la salud de los humanos, pues origina diversos efectos como problemas respiratorios. La principal fuente de fosfatos en el agua residual es del uso de desinfectantes y agentes de limpieza durante las operaciones de sacrificio.

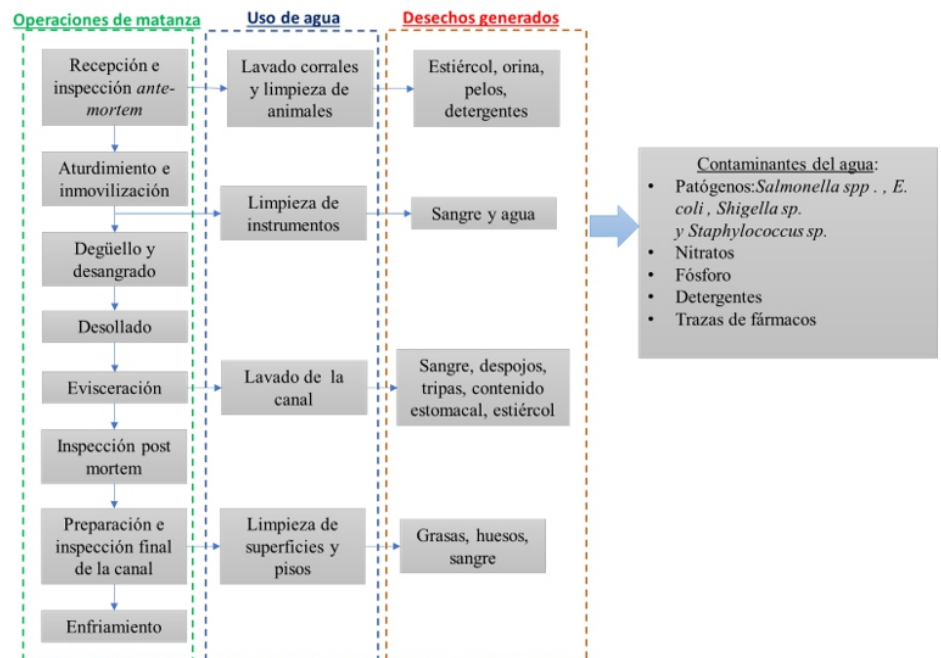


Fig. 6. Esquema de las operaciones en la matanza de ovinos, el uso del agua, desechos generados en las etapas y los principales contaminantes del agua.

Por otra parte, las aguas residuales también pueden contener sólidos suspendidos como grasas, sebo, estiércol y subproductos de animales. Estos sólidos, en conjunto con los desechos animales, agotan aún más el oxígeno e introducen patógenos que pueden ser *Salmonella spp.*, *E. coli*, *Shigella sp.* y *Staphylococcus sp.* (Arguello et al. 2013). Además, la actividad biológica puede afectarse por factores externos como el uso de fármacos veterinarios, que pueden originar resistencia de algunas cepas a los antibióticos.

La problemática ambiental por la producción de barbacoa

La problemática en torno a la producción de barbacoa radica en el impacto generado en el medio ambiente por los residuos ocasionados de la matanza de ovinos. Actualmente, Capulhuac es uno de los municipios en el Estado de México con mayor producción de barbacoa, donde se estima el procesamiento en alrededor de 8 mil canales de ovinos por semana, posicionándose como uno de los mayores productores a nivel nacional. Sin embargo, el municipio solo cuenta con un rastro municipal que alberga un 67% de la matanza de animales, siendo insuficiente para la demanda. Ante este escenario, los productores se han visto en la necesidad de establecer sus propias áreas de matanza, por lo que los residuos generados son vertidos directo a la red de alcantarillado o a los cuerpos de agua.

Gran parte de estos residuos proviene de las operaciones de sacrificio, lavado, limpieza y desinfección del área, generando un aproximado de 5.5 a 8.3 m³ de aguas residuales por tonelada de carne. Entre las áreas más afectadas se encuentra el río Xatlalaco y el río San Juan, que ya presentan cierto grado de contaminación y son focos de infección para los pobladores que habitan cerca de la zona. Por tal motivo, para mantener la producción de la barbacoa como actividad económica y satisfacer la demanda, es crucial implementar métodos de tratamiento antes de su descarga.

Alternativas para disminuir la contaminación

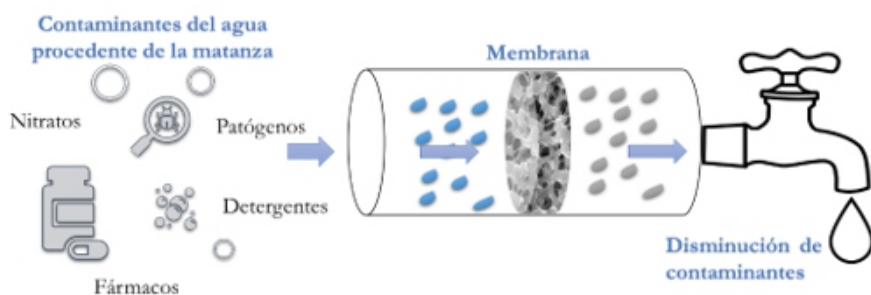


Fig. 7. Esquema de la representación de los procesos de filtración por membrana. Molina Jacinto, Mariela. Capulhuac, Estado de México. 4 de marzo de 2025.

Los métodos de tratamiento pueden ser procesos físicos, químicos y biológicos. Con estos se puede descargar el agua con un menor grado de contaminación; sin embargo, no permiten la recuperación y aprovechamiento de nutrientes de las aguas residuales. En este contexto, los procesos por membrana destacan, ya que la filtración por membrana es un tratamiento físico que permite la separación de especies del agua, logrando

mejorar su calidad. Además, en estos procesos se pueden recuperar nutrientes valiosos como proteínas, que podrían emplearse en la elaboración de alimento para animales; así como nitrógeno en forma de sales de amonio para utilizarse como fertilizantes (Yordanov 2010; Brennan et al. 2021).

En este sentido, es importante mencionar que para lograr un cambio significativo en el entorno afectado resulta necesaria la participación de las autoridades gubernamentales, así como la de pobladores y comunidad científica; para ofrecer alternativas y contribuir a la recuperación de los cuerpos de agua afectados, al igual que para evitar problemas de salud en los pobladores de las zonas afectadas.

Conclusiones

Cabe destacar que la vinculación de las instituciones COMECyT, UTVT y UAEMéx, ha permitido la identificación del impacto ambiental que conlleva la producción de la barbacoa; así como el desarrollo y aplicación de tecnología en sistemas reales para la recuperación del medio ambiente. En tal contexto, después de hacer un análisis de los posibles contaminantes en las aguas residuales provenientes de la matanza, se espera poder disminuir la contaminación, contrarrestando así los efectos secundarios en el medio ambiente. Esto es posible gracias a programas como "Investigadoras e Investigadores COMECyT 2024", que permiten poner en marcha estos proyectos y ha permitido la formación de capital humano especializado. Con este proyecto de investigación se espera poder escalar el tratamiento y mejorar los materiales funcionales desarrollados.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por el apoyo para realizar la estancia de investigación (EESP2024-0059) del programa "Investigadoras e investigadores COMECyT 2024", que permitió la ejecución de las diferentes actividades de investigación para la publicación de este artículo de divulgación.

Referencias:

- Arguello, H., Álvarez-Ordoñez, A., Carvajal, A., Rubio, P. and Prieto, M. 2013. Role of slaughtering in *Salmonella* spreading and control in pork production. *Journal of Food Protection* 76(5), pp. 899–911. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-12-404.
- Brennan, B., Lawler, J. and Regan, F. 2021. Recovery of viable ammonia-nitrogen products from agricultural slaughterhouse wastewater by membrane contactors: A review. *Environmental Science: Water Research and Technology* 7(2), pp. 259–273. doi: 10.1039/d0ew00960a.
- Eze, E.J. and Phil-Eze, P.O. 2020. Abattoir Effluents and Population Health Risks. *IOSR Journal of Environmental Science* 14, pp. 49–52. Available at: www.iosrjournals.org.
- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. In: *Water Resources Management*. pp. 35–48. doi: 10.1007/s11269-006-9039-x.
- Yordanov, D. 2010. *Agricultural Science*. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 16(6), pp. 700–704.