

Sostenibilidad social, económica y ambiental del tratamiento de aguas residuales con bacterias del rumen



*Social, economic and environmental sustainability of wastewater treatment
with rumen bacteria*

Sofía Carolina Godoy Ponce.¹, Juan Carlos González García.², José Gerardo León Chimbolema.³, & Andrés Agustín Beltrán Dávalos.⁴

Recibido: 11-04-2019 / Revisado: 19-05-2019 / Aceptado: 23-06-2019 / Publicado: 05-07-2019

Abstract

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.625>

The social, economic and environmental sustainability of the exploitation of the waste potential of an animal slaughterhouse (rumen) for the treatment of wastewater was focused on the social analysis around the development area of wastewater discharges of the cheese production industry San Jose and ruminal fluid as waste little used of the animal slaughtering center of the city of Riobamba. The study was conducted in the direction of two axes: the first axis, corresponding to the study of socio-environmental conflicts arising from the final disposal of wastewater from a cheese production industry with analysis of social benefit -cost, the second axis was related to the growth and adaptability tests of lipolytic bacteria of cow rumen for the treatment of oils and fats in wastewater. The study of socio-environmental conflicts was carried out through a diagnosis baseline environment of the cheese production industry using the tools of conflict analysis from different perspectives forming a platform for the design of transformation strategies. The efficiency of the lipolytic bacteria of cow ruminal fluid was analyzed by isolating them on tributyrin agar. The concentration of oils and fats in the wastewater of the cheese production industry decreased by 52% complying with the current environmental regulations for water discharges, a result that determined that the treatment used at low cost took advantage of the potential of a municipal waste

¹ Docente Investigador, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – ESPOCH. Riobamba, sofia.godoy@esPOCH.edu.ec

² Docente Investigador, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – ESPOCH. Riobamba, juan.gonzalez@esPOCH.edu.ec

³ Docente Investigador, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – ESPOCH. Riobamba, gerardo.leon@esPOCH.edu.ec

⁴ Docente Investigador, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – ESPOCH. Riobamba, andres.beltran@esPOCH.edu.ec

generated in large volumes and promoted the practices of clean production within the microenterprise.

Keywords: Social sustainability/ waste management of municipal animal slaughter centers/ lipolytic bacteria of ruminal fluid/ oils and fats from wastewater

Resumen.

La sostenibilidad social, económica y ambiental del aprovechamiento del potencial de los residuos de camal (rumen) para el tratamiento de aguas residuales se centró en el análisis social en torno al área de desarrollo de las descargas de agua residual de la industria quesera San José y el líquido ruminal como residuo poco aprovechado proveniente del camal municipal de la ciudad de Riobamba. El estudio se realizó en dirección de dos ejes: el primero, correspondiente al estudio de los conflictos socio ambientales derivados de la disposición final de las aguas residuales de una quesera con análisis del costo- beneficio social, el segundo eje relacionado con las pruebas de crecimiento y adaptabilidad de bacterias lipolíticas del rumen de vaca para tratamiento de aceites y grasas en aguas residuales. El estudio de los conflictos socio ambientales se realizó a través de un diagnóstico línea base entorno de la quesera empleando las herramientas de análisis de conflictos desde diferentes perspectivas formando una plataforma para el diseño de estrategias de transformación. Se analizó la eficiencia de las bacterias lipolíticas del líquido ruminal de vaca aislándolas en agar tributirina. La concentración de aceites y grasas de las aguas residuales de la quesera disminuyó en un 52% cumpliendo con la normativa ambiental vigente para descargas de agua, resultado que determinó que el tratamiento empleado de bajo costo aprovechó la potencialidad de un residuo municipal generado en grandes volúmenes e impulsó las prácticas de producción limpia dentro de la microempresa.

Palabras claves: Sostenibilidad social / gestión de residuos de camal municipal / bacterias lipolíticas del líquido ruminal / aceites y grasas de aguas residuales

Introducción.

Una vía adecuada para el manejo de los recursos naturales es desde el ámbito local, entendido éste como el espacio territorial donde los actores locales son quienes se encuentran en contacto directo con los recursos, pues en la mayoría de las veces ellos mismos son los usuarios, y a su vez, pueden ser obstáculo o promotores de ejecutar los programas que desde el órgano central se establecen, en este sentido se adopta el concepto de Desarrollo Local Sostenible que permite acercarnos a un caso de estudio (Díaz Cuenca, Alvarado Granados, & Camacho Calzada, 2012)

El camal de la ciudad de Riobamba ubicado en la Parroquia Maldonado, en las calles avenida Leopoldo Freire y circunvalación, es un sector densamente poblado por la ciudadela Unión

nacional de Educadores, Colegio Fernando Daquilema, centro de Rehabilitación Social de Riobamba, guardería infantil, y sectores comerciales. Diariamente se faenan alrededor de cien vacas. En el estómago de estos animales existe un promedio de 4 litros de líquido ruminal, produciendo 400 litros/día de este componente. (Toapanta Yachimba, 2014).

Las industrias lácteas debido a los procesos que realizan para la obtención de sus productos por lo general son generadoras de grasas y aceites, y en la provincia de Chimborazo gran parte de estos componentes son evacuados como aguas residuales. Para el efecto, se consideró a la Quesera San José ubicada en Chambo vía Catequilla, con una concentración de grasas y aceites en sus aguas residuales de 46 mg/L, valor que sobrepasa el límite establecido por el texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) para descargas en fuentes naturales (Registro oficial N° 387 , 2015). El vertido de las aguas residuales producidas por la industria quesera San José con frecuencia diaria y de caudal elevado es directa en el río Chambo, utilizado para riego de cultivos y para uso del ganado característico de la actividad de la Población económicamente activa de la zona, generado de esta manera un conflicto comunitario. Adicionalmente, este tipo de aguas posee materia orgánica, sólidos suspendidos, pH elevados, por lo que necesitan un tratamiento previo para poder ser vertidas a fuentes naturales (Arango & Sanches E Sousa, 2009).

El sacrificio de ganado bovino, genera gran cantidad de contenido ruminal, que no tiene un destino final adecuado; contribuyendo a la contaminación de los ecosistemas aledaños y de influencia. El líquido ruminal del camal municipal de Riobamba es considerado un residuo de poco interés, no es aprovechado, ni empleado en sistemas de tratamiento alguno. Sin embargo, es conocido que en este tipo de residuos interactúan diversas bacterias *hemicelulolíticas*, *proteolíticas*, *metanogénicas* y *lipolíticas* (Itzhak , 2012). Las bacterias *lipolíticas* metabolizan los lípidos, hidrolizan triglicéridos y fosfolípidos para liberar glicerina y tres ácidos grasos, poseen diversas actividades catalíticas, se pueden obtener en gran cantidad, son económicas, se producen de forma regular, son estables y su proceso de producción es más factible y seguro debido a que los microorganismos son fáciles de cultivar por sus simples exigencias nutritivas y su tiempo de generación reducido (Abner, 2011)

Las funciones que realizan las bacterias del rumen del ganado vacuno son muy interesantes, pues ayudan al animal a degradar fibras y carbohidratos, sintetizar vitaminas, degradar ácidos grasos y componentes tóxicos de su dieta. Con esta investigación se pretendió aprovechar este desecho, para de él aislar bacterias *lipolíticas* que tienen la capacidad de degradar aceites y grasas aplicándolas en el proceso de tratamiento de aguas residuales de la quesera San Jorge, alternativa de alto impacto socioeconómico, en la reducción significativa de los conflictos de contaminación ambiental (Ríos & Ramírez, 2012)

El análisis de la sostenibilidad social comprende la relación del cumplimiento con la normativa ambiental de las aguas residuales de la quesera San José con el costo-beneficio de su actividad para el área de su influencia directa e indirecta. Encierra en sí dos conceptos

fundamentales: el concepto de necesidades, en particular las necesidades esenciales de los actores involucrados, a las que se debería otorgar prioridad preponderante; y la idea de limitaciones impuestas por el estado de la tecnología y la organización social a la capacidad de medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras (Aragón, Raposo, & Izurieta, 2001).

El estudio del tratamiento del agua residual bajo los principios del enfoque teórico del Desarrollo Local Sostenible, permite conocer la características del caso de estudio con un acercamiento mejor a la realidad, pues considera los diversos elementos sociales, culturales, tecnológicos, políticos-administrativos y económicos que le compone, además, comprende dos aspectos esenciales para un desarrollo equitativo, la visión territorial y la sostenibilidad (Díaz Cuenca, Alvarado Granados, & Camacho Calzada, 2012).

Demostrar que este tipo de bacterias pueden ser un mecanismo eficiente para la reducción de aceites y grasas de aguas que actualmente contribuyen a la contaminación de los ríos y a su vez, la incidencia de éstas en el aprovechamiento del rumen como residuo de origen animal, contribuyen a la gestión y aceptación social de estos mecanismos de tratamiento dentro del área de estudio.

Desarrollo.

Marco teórico Referencial:

Algunos autores han definido al Desarrollo Local Sostenible como el proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, que lo coloca como centro y sujeto primordial del desarrollo, por medio del crecimiento económico con equidad social, la transformación de los métodos de producción y de los patrones de consumo que se sustentan en el equilibrio ecológico y el soporte vital de la región (Muñoz Arce, 2004).

(Ríos & Ramírez, 2012) probaron con el desarrollo de su investigación que el empleo de contenido ruminal, es una forma para aprovechar de manera productiva lo que hasta hoy se constituye en un factor con alta incidencia contaminante, que tiene su origen en el sacrificio de ganado bovino, afirman que si bien es cierto este desecho no es el único factor que genera contaminación, emanada de una planta de sacrificio municipal, si tiene una incidencia relevante en ella, aportando alrededor del 48% del material contaminante.

En un estudio realizado en la Plantación Palmar del Oriente (Villanueva, Casanare), se aislaron cepas nativas con actividad lipolítica de cada una de las lagunas de estabilización, de éstas cepas se seleccionaron seis, las cuales presentaron mayor actividad, tres pertenecientes al género *Pseudomonas*, una al género *Enterobacter*, otra al género *Bacillus* y otra al género *Staphylococcus*. Con las cepas aisladas se preparó un inóculo y se realizaron pruebas en campo evaluando la remoción de grasas y aceite a partir de 8 tratamientos

diferentes. A todos estos ensayos se les realizaron mediciones de pH, temperatura y porcentaje de aceite y grasas. El inóculo mixto de bacterias lograron remover, como máximo, el 40% del aceite en el ensayo con canecas de 60 litros en un tiempo de 15 días a una temperatura de 33°C y pH de $7,0 \pm 0,2$ (Otálora, Peña, Martínez, & Varela, 2000).

Dentro de los estudios relacionados con la sostenibilidad social de aprovechamiento de residuos animales, se encuentra el propuesto por Boffil, donde se resalta que este tipo de tecnologías contribuyen con el desarrollo local sostenible como un proceso endógeno de transformación de las localidades, fundamentadas en una estrategia de desarrollo local con políticas diseñadas para lograr una efectiva participación de su población en la solución de los problemas y aprovechamiento de las oportunidades, para abordar de forma equilibrada e integrada, los aspectos sociales, económicos y ambientales, en el contexto donde se realizan las actividades cotidianas (Boffil, Reyes, Torres, & Sánchez, 2009).

Diversos trabajos han puesto de manifiesto la importancia de la síntesis microbiana de lípidos y la ocurrencia de una pérdida ruminal de ácidos grasos. Sauvart y Bas (2001) destacaron que los lípidos microbianos permiten al animal rumiante disponer de ácidos grasos de cadena larga aunque la dieta sea pobre en lípidos (Sauvart, Meschy, & Mertens, 1999).

La Organización de las Naciones Unidas con el objetivo de ocuparse más a fondo de las cuestiones relativas al agua, promueve la ejecución de programas y proyectos con el fin de ayudar a alcanzar los objetivos relativos al agua acordados a nivel internacional y contenidos en los Objetivos de Desarrollo de la ONU para el Milenio (ODM). Los ODM, aunque muy modestos en sus aspiraciones, se convierten en elementos de referencia para medir los avances en este campo. Entre los objetivos marcados por la comunidad mundial (objetivo 8 de los ODMs) se incluye el abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene, reconociendo su importancia en promover intervenciones que favorezcan el desarrollo. (Morató, Gris, Carneiro, & Pastor, 2006)

La Organización de los Estados Iberoamericanos reafirma la importancia de la participación social comunitaria en los problemas del agua desde el punto de vista de la gestión. Indica que en los procesos de desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua, se consideró durante muchos años que la tecnología era la solución principal a los problemas, y por consiguiente era necesario transferirla de manera masiva, de los países industrializados hacia los países en vía de desarrollo. Estas tecnologías implantadas, sin tener en cuenta las condiciones locales, fracasaron y tuvieron consecuencias funestas para la población y el ambiente. No funcionaron porque, al parecer, olvidaron que el fin último de la tecnología era que la gente la usara, que funcionara a través del tiempo y que el uso dado por las comunidades, estaba determinado por su contexto sociocultural, económico y ambiental (Osorio & Espinosa, s.f)

Gustavo Ballesteros en su investigación titulada “*sostenibilidad social, económica y ambiental en la depuración de agua para uso agrícola y conservación de la naturaleza: las lagunas de Campotéjar (Murcia)*” afirma que el modelo de sostenibilidad, consistente en la depuración del agua-conservación de la naturaleza-explotación del recurso hídrico, que se ha generado por la mano del hombre puede ser considerado como modelo para impulsar iniciativas similares por una parte, social y económica al actuar como reservorios de agua depurada cuya utilización presenta un estimable potencial para el desarrollo de actividades con una función ecológica (Ballesteros Pelegrín, 2012).

Marco Metodológico:

Investigación descriptiva y correlacional, con un diseño experimental donde las unidades de análisis consideradas fueron el rumen de vaca proveniente del camal municipal de Riobamba, aguas residuales con aceites y grasas de la quesera San Jorge y la dimensión territorial de influencia de la de la quesera San José.

Las muestras de líquido ruminal fueron tomadas del estómago de 4 vacas previamente faenadas en el camal de la ciudad de Riobamba, mientras que las muestras de agua residual fueron tomadas del punto de descarga de la industria láctea San José, cantón Chambo.

Empleando técnicas de recolección de datos sustentados principalmente en fichas de campo, análisis de laboratorio, encuestas, entrevistas semi estructuradas, grupos focales con los actores representativos de la sociedad, se consideraron dos componentes metodológicos:

Análisis de sostenibilidad socioeconómica de la gestión, y manejo de las aguas residuales de la quesera San José: La sostenibilidad social se constituyó como el elemento central de la sostenibilidad integral, al vincular principalmente el análisis costo beneficio de la aplicabilidad del estudio.

Para ello se definieron dos niveles de priorización:

- Primer nivel: evaluación de indicadores de sostenibilidad: social, económico y ambiental de las aguas residuales de quesera

Tabla 1: Evaluación de indicadores de sostenibilidad

<i>Indicadores sostenibilidad</i>	
<i>Socio económico</i>	<i>Ambiental</i>
Características socioeconómicas del área de influencia directa e indirecta de la quesera San José	Diagnóstico ambiental del área de influencia directa e indirecta de la quesera y el mercado municipal

<p>Impactos positivos y negativos de la exposición a agua residual con aceites y grasas.</p> <p>Participación de la comunidad local en los procedimientos de toma de decisiones en los temas relacionados con la gestión ambiental en el territorio y específicamente con la calidad de sus aguas.</p>	<p>Impactos positivos y negativos de la exposición a agua residual con aceites y grasas.</p> <p>Parámetros físico químicos y microbiológicos del agua residual</p>
--	--

La evaluación de impactos ambientales implicó la identificación, predicción e interpretación de los impactos que la microempresa produce en su operación. La metodología utilizada, consideró las características ambientales circundantes a la quesera; es decir, la importancia que tienen los factores ambientales analizados, y las actividades que demandan la ejecución de ésta propuesta.

Para la identificación de los impactos ambientales, se empleó el método de evaluación causa-efecto, basada en una matriz que interrelaciona los factores ambientales y las acciones, buscando la posibilidad y probabilidad de ocurrencia de los impactos en cada interacción completándose con un análisis descriptivo de los impactos sobre cada componente ambiental. La experiencia de evaluación de impactos usando la metodología propuesta, permite asegurar una buena confiabilidad en los resultados. Éste se divide en dos secciones:

Análisis de los impactos que han afectado o afectan actualmente el área de estudio, y, análisis y valoración de los potenciales impactos que pueden generar las actividades en estado de operación de la quesera.

- Segundo nivel: evaluación del costo beneficio social de las alternativas de tratamiento del agua residual de la quesera San José

Tabla 2: Análisis costo –beneficio evaluación privada y social

Análisis que considera			
Costos y beneficios directos	Costos y beneficios indirectos	Efectos a terceros	Ajustes sociales
Evaluación privada	Evaluación social	Evaluación social	Evaluación social
Evaluación social			

Desde el punto de vista económico el nivel óptimo de contaminación se encuentra donde se maximiza la diferencia entre los beneficios totales menos los costos totales de “descontaminar” el agua residual.

Se identificaron y valoraron los costos - beneficios de descontaminar. Los costos sociales de descontaminar el agua residual, estuvieron representados por el valor social de las diversas alternativas técnicas que permiten pasar de un nivel de contaminación a otro. Los beneficios estuvieron representados por el valor de aprovechamiento del agua residual que se pudo obtener a diferentes niveles de contaminación.

Para el desarrollo de este punto se respondieron las inquietudes de:

Si el costo de la solución sobrepasa el del problema.

Si la solución es más cara pero trae mejorías que no se cuantifican en términos monetarios e influyen en el aspecto social.

¿Se debe considerar aquella información que afecta los posibles cursos de acción?

Pruebas de crecimiento y adaptabilidad de bacterias lipolíticas del rumen de vaca para tratamiento de aceites y grasas en aguas residuales:

Para ello se definieron tres niveles de priorización:

- Primer nivel: Aislamiento de las bacterias lipolíticas del líquido ruminal de vaca en medios selectivos

Se prepararon tres medios de cultivo: Tributirina, tributirina + lectinasa al 5%, y una combinación de tributirina+lectinasa al 10%. En cada uno de los medios se agregó líquido ruminal para la identificación de la curva de crecimiento microbiano en el medio más adecuado. Para las siembras se realizaron diluciones hasta 10^{-8} , con el fin de observar de mejor manera las bacterias, las muestras de líquido ruminal presentaron una gran carga microbiana. Se colocó 13 mL de cada uno de los medios de cultivo preparados, en ocho cajas petri y se dejó solidificar el medio que fueron finalmente incubadas en aerobiosis y anaerobiosis a 37 o C por 48h.

Tabla 3: Medios de cultivo

MEDIOS DE CULTIVO (M)		
M1	M2	M3
Tributirina	Tributirina+ lectinasa al 5%	Tributirina+ lectinasa al 10%

- Segundo nivel: acondicionamiento de las unidades experimentales para la interacción de las bacterias lipolíticas con grasas y aceites.

El agua residual de la Industria Láctea San José, inicialmente presentó un pH ácido de 3,8. Tomando en consideración antecedentes bibliográficos, las bacterias lipolíticas crecen en un pH de 6-7, razón por la cual previo a la inoculación de las bacterias en las aguas residuales, se acondicionó el medio a través de tres pruebas que consistieron en la adición de carbonato de sodio, bicarbonato y bicarbonato de sodio con el fin de que el pH se encuentre en los valores requeridos. Para la verificación de las condiciones del medio, se hizo un análisis minucioso de la curva de crecimiento microbiano para con ello descartar el compuesto más agresivo para su desarrollo.

Para las soluciones de Carbonato de sodio, Bicarbonato de sodio y Bicarbonato, se prepararon soluciones al 10% en aerobiosis y anaerobiosis, y de cada una de ellas se tomaron alícuotas de 5mL o según lo requerido hasta alcanzar el pH adecuado. Después de dos y cuatro días se hizo una siembra directa en el medio de cultivo seleccionado para la diferenciación del mejor proceso.

Se consideraron cuatro unidades experimentales, cada una con 12 litros de agua residual de la industria láctea, dos fueron unidades de control, una en condiciones anaerobias y la otra en aerobias. Las restantes unidades fueron inoculadas con bacterias lipolíticas en las condiciones aerobias y anaerobias respectivamente, sometidas temperaturas de 35 °C y pH de 6,5.

Se inocularon $162 \cdot 10^8$ UFC/ mL de bacterias, valor considerado con base en referencias investigativas. Por un período de 13 y 28 días fue posible tomar muestras de cada una de las unidades experimentales para realizar el análisis de curva de crecimiento microbiano bajo los parámetros pH, temperatura, DBO₅, oxígeno disuelto y contenido de grasas y aceites.

- Tercer nivel: determinación de la capacidad degradativa de aceites y grasas de las Bacterias aisladas:

Se realizaron análisis físico químicos como: DBO₅, pH, temperatura, oxígeno disuelto, contenido de grasas y aceites y un análisis microbiológico inicial en agar tributirina de las aguas residuales previo a su tratamiento para identificar organismos de naturaleza lipídica. Para determinar la capacidad degradativa de aceites y grasas de las bacterias lipolíticas se acompañó el proceso experimental de un diseño de componentes principales para conocer los grupos de datos que intervenían directamente con la concentración de grasas y aceites existentes en el agua residual. Fue realizada la prueba de Chi-Cuadrado para contrastar los valores observados con los esperados.

Análisis de los resultados:

Análisis de sostenibilidad socioeconómica y ambiental de la gestión, y manejo de las aguas residuales de la quesera San José

Indicadores de sostenibilidad socio económicos de la quesera San José

Para establecer el área de influencia indirecta de la industria quesera se consideraron los posibles cambios que pudieren surgir en la zona territorial de la microempresa. El estudio consideró aspectos como la presencia de viviendas, ríos, canales de riego, parcelas agrícolas principales que se encuentren cercanos al sitio de producción, optando como parámetro de medida la distancia vertical estimada a partir de la zona de la microempresa hasta o sobre un determinado elemento que puede tener características de sensible.

El proyecto de Queserías Rurales en Chambo, inició gracias a un convenio bilateral entre los gobiernos del Ecuador y Suiza. Desde sus comienzos tuvo la gran virtud de presentar a los campesinos una técnica sencilla adaptada a su medio. El 4 de diciembre del 2014, inicia sus operaciones Lácteos “San José” como empresa artesanal dedicada a la producción y elaboración de quesos y otros lácteos, en el cantón Chambo provincia de Chimborazo, en sus inicios.

Lácteos “San José” utiliza líneas de comunicación con sus trabajadores de la planta productiva sobre la higiene, puntualidad y dedicación. Cuenta con tecnología apropiada, su planta ha logrado mejorar los ingresos de los pequeños productores de leche, fortalecer las organizaciones campesinas, crear fuentes de trabajo y una nueva concepción emprendedora en los campesinos.

La población del área de influencia indirecta y directa se autodefine mestiza y campesina, en la mayoría de pobladores hay una aceptación sobrentendida de que actualmente constituyen una población con profundas raíces española, realidad que se explica por el idioma castellano, cultura que de poco se ha ido extendiendo en las nuevas generaciones por la influencia de las costumbres de centros poblados.

La gran mayoría de los pobladores cuentan con propiedades como terrenos dedicados a la crianza de ganado y a la actividad agrícola. De acuerdo al censo realizado en el año 2001 por el Ministerio de Ganadería se determinó que en la zona de estudio existe una producción diaria de leche de 25.200 L con un promedio de 7 L por cabeza de ganado (vaca); entregando a los mercados de Chambo, Riobamba, Latacunga y Cuenca. La producción lechera dentro del cantón es una de las principales fuentes de trabajo de la población con un 60% en la producción agropecuaria. Seguido el 40% en la producción agrícola y artesanal.

Diferentes formas de abordar la gestión del agua se pueden evidenciar en el área de estudio, al hacer referencia a los sistemas de captación de agua y sistemas de disposición de aguas

residuales, estas formas tradicionales de abastecerse del recurso y de disponerlos están relacionadas con los saberes y tradiciones culturales de las comunidades.

La gestión del agua persigue el modelo contractual, que es el modelo en el cual los actores sociales tienen como objetivo obtener el agua repartida de manera equitativa, por medio de la gestión colectiva del recurso, teniendo como base la propiedad comunal sobre las infraestructuras; este modelo permite generar alianzas sociales y estructuras organizativas, que permiten el reconocimiento social y político de quienes se encuentran excluidos del acceso a un servicio público de vital importancia como el agua.

Este tipo de gestión comunitaria del recurso que se presenta en la zona de estudio tiene una tradición histórica en comunidades indígenas y campesinas en diferentes países (Delgado García, Trujillo González, & Torres Mora, 2017); en este sentido, la gestión eficaz del recurso hídrico debe basarse en mecanismos que integren los usuarios y los intereses colectivos.

En consecuencia, la definición de sensibilidad socioeconómica y cultural se determinó:

- Por un lado, en torno a las áreas sensibles con localización espacial relacionadas con los procesos de producción económica y asentamiento humanos.
- Por otro, en torno a los factores de sensibilidad que se vinculan a la dinámica de las relaciones sociales en distintos aspectos del sistema social general.

Tabla 4: Factores de sensibilidad socioeconómica en el área de influencia

Factores	Sensibilidad	Explicación
Economía	Media	La dinámica económica favorece los negocios de la zona debido a la presencia de la microempresa y a la contratación de la misma gente de la comunidad
Organización y conflictividad social	Baja	la microempresa está ubicada en un sector comunal y no hay graves conflictos alrededor de la misma

Indicadores de sostenibilidad ambiental de la quesera San José

Directamente proporcional al consumo de agua está la generación de vertimientos: entre más agua se consume, más agua se vierte como agua residual. El origen de los vertimientos son las aguas residuales del proceso y de las operaciones de lavado de materiales y la planta de operación.

La principal fuente de contaminación proporcionada por la quesera está dada por los derrames de leche, suero y el producto en sí; en los trasiegos de tina a tina, en el desuerado y

en las operaciones de lavado de tinajas, equipos e instalaciones. Se estima que las pérdidas de leche en las empresas queseras pueden estar entre el 0,5 y el 4,0%, siendo aceptable como valor máximo el 2,5%.

Un litro de leche equivale a un aporte de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) de 110000 mg/L y de DQO (Demanda Química de Oxígeno) de 220000 mg/L. De manera similar, el aporte de un litro de suero a la DQO es de aproximadamente 60000 mg/L. Por esta razón es muy importante evitar su presencia en los vertimientos.

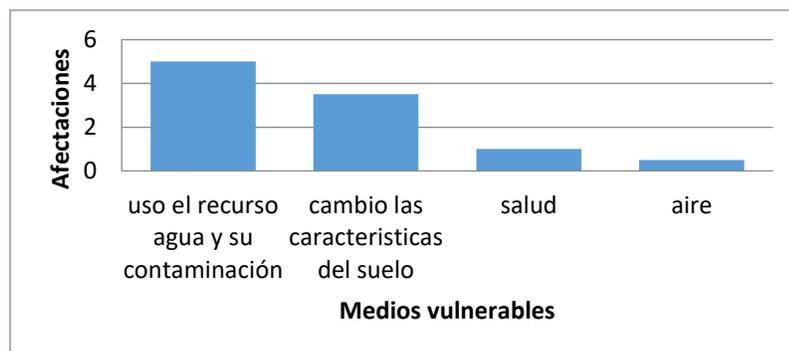
Los vertidos de salmueras en la fabricación de quesos incrementan los sólidos disueltos (conductividad) y los cloruros de las aguas residuales. La industria quesera genera varios tipos de residuos, tales como residuos de empaque y embalaje, restos de producto y producto fuera de especificación. Pero, el principal residuo es el suero. La generación de suero es aproximadamente 9 veces la cantidad de leche tratada. En la mayoría de los casos es aprovechado en la alimentación animal, principalmente de cerdos.

En sí, la descarga general del agua residual de todo el proceso de elaboración del producto impacta negativamente y de manera altamente significativa al recurso agua del entorno natural afectando sus características biológicas, fisicoquímicas, salinidad, temperatura, afecta la salinidad de los suelos, así como también de cierta manera incide en la salud de la población que utiliza el agua del río Chambo donde son descargadas las aguas residuales para riego y otros usos.

De acuerdo a la metodología presentada, el impacto de la quesera “San José” en su actual etapa de producción sobre los factores ambientales expresa la probabilidad de ocurrencia de uno o más impactos de carácter negativo y se presenta como alto por la aparición de uno o más impactos como se describió en la matriz de cuantificación de Impactos.

Por lo tanto, el proyecto en las actuales condiciones contribuye desfavorablemente por acción de agua residual al medio (agua, suelo, socio cultural).

Gráfico 1: Medios vulnerables de Afectación.



Evaluación del costo beneficio social de las alternativas de tratamiento del agua residual de la quesera San José

En las poblaciones donde prevalece este modelo de gestión de tipo contractual, algunas organizadas y otras por sus propios medios, buscan el recurso hídrico de tal forma que les represente el menor gasto económico, sin tener en cuenta el gasto energético para la construcción de los sistemas de abastecimiento y de disposición, a los cuales no se les realiza tratamiento para que el agua sea potable o para que las aguas residuales sean vertidas de la mejor forma a una fuente hídrica, lo que puede traer riesgo a la salud de los habitantes, y efectos sobre los sistemas naturales (Nieto, 2011)

De acuerdo con la normatividad ecuatoriana, estas situaciones no deberían presentarse, teniendo en cuenta que la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua 2014, garantiza el derecho humano al agua como el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura, entre otros aspectos. También prohíbe toda clase de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente, por tanto, no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral, o empresa privada nacional o extranjera. Se gestión será exclusivamente pública o comunitaria (Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Las comunidades que se encuentran en la zona de influencia indirecta presentan asentamientos dispersos, a pesar de que en estas zonas abunda el recurso hídrico, las comunidades manifiestan el olvido por parte de las instituciones, y es así que por sus propios medios deben allegar el agua a sus hogares sin tener conocimiento de si es apta para el consumo humano o no; cabe resaltar que en estas zonas se pueden presentar procesos de descomposición de material orgánico de origen animal y vegetal.

Esta investigación no existe para la zona de estudio, por lo que el presente análisis parte de la premisa de que en Ecuador, todos los cultivos requieren para su producción cuando menos una calidad de agua de riego como la especificada por el Registro oficial N° 387 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, en el punto 5.1.3, Tabla 3. Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego: “establece los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos requeridos para el riego de cultivos”: para el efecto se ha considerado el parámetro aceites y grasas expresado como, película visible, criterio de calidad: Ausencia (Registro oficial N° 387 , 2015).

Para obtener la alternativa técnica que permitiera simular el costo de pasar, en forma discreta, del agua residual cruda al agua con los requerimientos de los límites máximos permisibles en la normativa ecuatoriana se obtuvo el detalle de un sistema de tratamiento biológico y que es la opción de mínimo costo. El sistema de desinfección escogido opera mediante la

aplicación de bacterias lipolíticas obtenidas de un residuo municipal de camal de la ciudad de Riobamba, debido a que su costo es menor que la desinfección con cloración, y que es un proceso que tiene un valor agregado al aprovechar un residuo poco aplicado en estos sistemas, se convirtió en la opción apropiada.

Con relación a otras tecnologías, los tratamientos biológicos, suelen tener costos más bajos, provoca una menor intrusión en el sitio contaminado y en consecuencia, un daño ecológico menos significativo en el proceso de destrucción de los productos contaminantes. El tratamiento se puede hacer en el lugar, eliminando así los costos de transporte y pasivos, lo que permite que el uso y fabricación industrial del sitio pueda continuar mientras el proceso de remediación se está aplicando. Adicionalmente, puede ser integrada con otras tecnologías en cadena, favoreciendo el tratamiento de los residuos mezclados y complejos y tiene la capacidad de reducir o descomponer de forma segura los contaminantes resultantes del proceso de recuperación. Otra ventaja que se evidencia en el uso de materiales renovables (residuos y subproductos) que ha impulsado los tratamientos biológicos de diferentes ambientes contaminados, está relacionada en este caso con el uso de agentes biológicos provenientes de un residuo animal.

Está también en el centro del debate sobre las posibilidades que ofrece como tecnología en relación con los países en desarrollo. Las tecnologías de lo vivo son más apropiadas para resolver cuestiones críticas que afectan al mundo en desarrollo, dado que prospectivamente la modernización en la aplicación de estas biotecnologías, puede llevar consigo la corrección de las condiciones de pobreza, mejor sanidad, la consecución de mayores cotas de bienestar material y en general, una mejoría en la calidad de vida de los ciudadanos de los países en desarrollo (Garzón , Rodríguez Miranda, & Hernández Gómez, 2017)

2) Pruebas de crecimiento y adaptabilidad de bacterias lipolíticas del rumen de vaca para tratamiento de aceites y grasas en aguas residuales:

- *Aislamiento de las bacterias lipolíticas del líquido ruminal de vaca en medios selectivos*

Tabla 5: Eficiencia de los medios selectivos

MEDIOS DE CULTIVO (M)		
M1	M2	M3
Tributirina	Tributirina+ lectinasa al 5%	Tributirina+ lectinasa al 10%
Medio más eficiente 4,653 log - UFC/mL en disolución 10 ⁻⁸	0 log - UFC/mL en disolución 10 ⁻⁸	0 log - UFC/mL en disolución 10 ⁻⁸

De la Tabla 5, se puede deducir que el medio selectivo más apropiado para el desarrollo de las bacterias lipolíticas es la tributirina. Se ha tomado el valor de la disolución más alta 10^{-8} y se ha cuantificado en ella el número de Unidades formadoras de colonias (UFC) por cada mililitro de agua residual. El agar tributirina es un medio de cultivo utilizado para aislar bacterias degradadoras de grasas, este medio se lo preparó con la siguiente composición: 3g de extracto de levadura, 5g de peptona, 25g de mantequilla, 15g de agar agar, en 1000mL de agua destilada.

- Acondicionamiento de las unidades experimentales para la interacción de las bacterias lipolíticas con grasas y aceites.

Tabla 6: acondicionamiento de unidades experimentales

Compuesto	Cantidad (mL)	pH	Resultado log-UFC/mL
Carbonato de Sodio	5mL	6,5	8,716
	5mL	5,3	
Bicarbonato de Sodio	10mL	6,2	9,017
	15mL	6,5	
	5mL	5,4	
Bicarbonato	10mL	6,2	9,000
	15mL	6,6	

Al adicionar a las muestras de agua residual Bicarbonato de Sodio el crecimiento microbiano (UFC/mL) fue mayor, con un valor de 9,017 log-UFC/mL que en las unidades experimentales con Carbonato de sodio y Bicarbonato.

- Determinación de la capacidad degradativa de aceites y grasas de las Bacterias aisladas

Una vez realizados los análisis físico- químicos del agua residual: DBO₅, pH, temperatura, oxígeno disuelto, contenido de grasas y aceites, se acompañó el proceso experimental de un diseño de componentes principales para conocer los grupos de datos que intervinieron directamente con la concentración de grasas y aceites existentes en el agua residual. Fue realizada la prueba de Chi-Cuadrado para contrastar los valores observados con los esperados.

Tabla 7: Crecimiento microbiano de las bacterias en las unidades de análisis

Unidades Experimentales	Días	T (°C)	pH	DBO ₅ (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)	Log-UFC/mL
Muestra de control aerobio	0	34	6,2	1700	0,60	46,4	2,54
	13	36	6,4	1665	0,62	46,0	3,69
	28	36	6,6	1665	0,62	46,0	0
Muestra de control anaerobio	0	34	6,2	1700	0,60	46,4	3,51
	13	36	6,3	1700	0,60	46,4	0
	28	36	6,1	1700	0,60	46,4	0
Aerobio	0	34	6,2	1700	0,60	46,4	10,20
	13	36	6,3	1655	0,90	45,0	11,25
	28	36	6,2	1649	1,60	44,5	9,5
Anaerobio	0	34	6,2	1700	0,60	46,4	10,20
	13	36	6,4	1245	0,67	37,0	12,00
	28	36	6,8	785	0,74	22,5	15,00

En la tabla 7 se encuentran representados los días en que se hicieron los análisis para conocer el desarrollo de la investigación. Se hicieron pruebas el día 0,13 y 28. Se pueden observar también los cambios de temperatura, pH, grasas y aceites en las diferentes etapas del proceso.

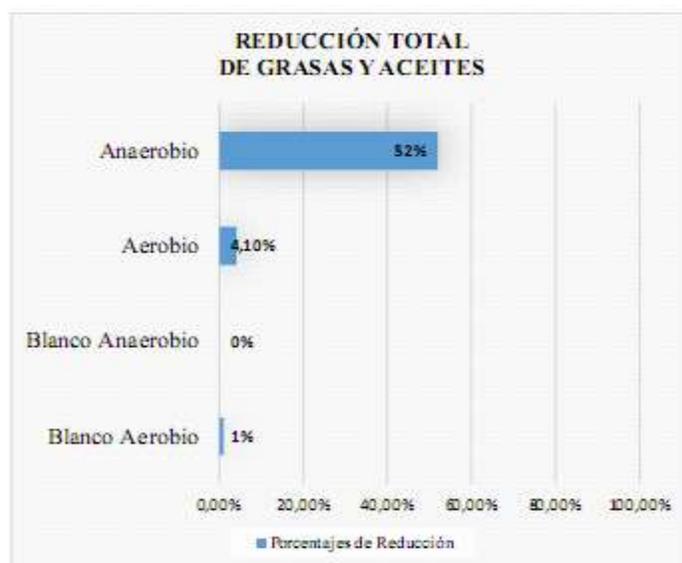


Gráfico 2: Porcentaje de reducción de aceites y grasas

El medio anaerobio fue el más adecuado para el desarrollo de las bacterias lipolíticas, a los 13 días la concentración de aceites y grasas del agua residual de la quesera San José disminuyó de 37 mg/L a 22,5mg/L en el día 28.

Análisis estadístico

Diseño de Componentes principales

Tabla 8: Matriz de correlaciones

	T (0C)	pH	DBO ₅ (mg/L)	Oxígeno Disuelto	Grasas aceites	y
Correlación	1,000	,460	-,339	,321	-,326	
n						
T (0C)	1,000	,460	-,339	,321	-,326	
pH	,460	1,000	-,770	-,095	-,765	
DBO (mg/L)	-,339	-,770	1,000	-,035	,995	
Oxígeno disuelto	,321	-,095	-,035	1,000	-,072	
Grasas aceites	-,326	-,765	,995	-,072	1,000	

a. Determinante = ,002

Como el determinante es cercano a cero, se interpreta que existen correlaciones entre los parámetros.

Prueba de chi-cuadrado

Tabla9: Prueba de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)
Chi-cuadrado de Pearson	14,000 ^a	12	,301
Razón de verosimilitud	13,183	12	,356
Asociación lineal por lineal	3,528	1	,060
N de casos válidos	12		

H₀ = Existe sostenibilidad social, económica y ambiental entre el tratamiento y la concentración de grasas y aceites, $p >= 0,05$

Como p es 0,301, existe sostenibilidad social, económica y ambiental entre el tratamiento y la concentración de grasas y aceites

Conclusiones:

- La sostenibilidad social y económica depende de los recursos naturales puesto que el punto de origen para su actuación es siempre un organismo vivo, es decir, la posición de los tratamientos biológicos es ambivalente y permite la adopción de posiciones favorables o desfavorables frente a sus usos en relación con la conservación de los recursos naturales, según las visiones optimistas o negativas de índole cultural en la que se posicionen los actores sociales.
- La complejidad de los conflictos ambientales en los que los procesos biotecnológicos intervienen, identifica con claridad, que son los diversos roles asumidos, los que determinan la necesidad de transferencia de tecnologías limpias a las industrias a escala local, regional y global, para el tratamiento de los medios que han sido contaminados por las actividades productivas sin ningún control.
- En la zona de estudio existe un sistema de conducción de las aguas residuales al río Chambo. Existe un organismo operador del agua residual que debe enfrentar un costo social por descargar ésta; costo social surgido de la necesidad de realizar un proyecto que permita mejorar las condiciones físico-químicas y bacteriológicas del agua residual. El beneficio social estimado de este estudio, permite recomendar la utilización de los resultados del análisis, para mejorar las condiciones tanto de la microempresa como para la población aledaña.
- La eficiencia de las bacterias lipolíticas para degradar aceites y grasas de las aguas residuales de la industria láctea fue comprobada en esta investigación, pero sobre todo se logró conseguir con ello el aprovechamiento de un residuo del camal municipal de Riobamba (rumen de vaca) que fue realmente el proveedor de las cepas de bacterias motivo de análisis. Con ello no solamente se promueve el tratamiento biotecnológico de las aguas residuales industriales, sino que también se promueve el aprovechamiento de residuos como fuente de organismos degradadores y la participación activa de los actores sociales del área de influencia.

Bibliografía:

- Abner, A. (2011). *Bacterias lipolíticas*. rumanía: uprm.
- Aragonés, J. I., Raposo, G., & Izurieta, C. (2001). Las dimensiones del desarrollo sostenible en el discurso social. *Estudios de Psicología*, 23-36.
- Arango, O., & Sanches E Sousa, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo uasb. *Rev.Bio.Agro* , 24-31.
- Ballesteros Pelegrín, G. A. (2012). Sostenibilidad social, económica y ambiental en la depuración de agua para uso agrícola y conservación de la naturaleza: LAs lagunas de Comoptéjar (Murcia). *Papeles de Geografía*, 11-24.
- Bhat, S., Tripathi, A., & Kumar, A. (2010). Supermacroprous chitosan-agarose-gelatin cryogels. in vitro characterization and in vivo assesment for cartilage tissue engineering. *Journal of the Royal Society Interface*, 1-15.

- Boffill, S., Reyes, R., Torres, F., & Sánchez, E. (2009). Desarrollo local Sostenible a partir del Manejo Integrado en el Parque Nacional Caguanes de Yaguajay. *Desarrollo Local Sostenible*, 1-17.
- Delgado García, S. M., Trujillo González, J. M., & Torres Mora, M. A. (2017). Gestión del agua en comunidades rurales; caso de estudio Cuenca del río Guayuriba, Meta-Colombia. *Luna Azul*, 59-70.
- Díaz Cuenca, E., Alvarado Granados, A. R., & Camacho Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 78-97.
- Fagerholm, N., Käyhkö, N., Ndumbaro, F., & Khamis M, M. (2012). Community stakeholders' knowledge in landscape assessments – Mapping indicators for landscape services. *Ecol Indic*, 421-33.
- Garzón, J. M., Rodríguez Miranda, J. P., & Hernández Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y salud*, 309-318.
- Grizzetti, B., Lanza, D., Liquete, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environ Sci Policy*, 194-203.
- Itzhak, M. (2012). The rumen plasmidome. *Mobile Genetic Elements*, 152-153.
- Jouany, J. P. (1994). Manipulation of microbial activity in the rumen. *Archiv für Tierernaehrung*, 133-153.
- Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). Ecuador.
- Morató, J., Gris, A., Carneiro, A., & Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 19-29.
- Muñoz Arce, G. (15 de Enero de 2004). *Ecoportal*. Obtenido de Desarrollo Humano Sostenible: https://www.ecoportal.net/temas-especiales/energias/el_desarrollo_humano_sostenible/
- Nieto, N. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *Política y cultura*, 157-176.

- Osorio, C., & Espinosa, S. (s.f). *Participación comunitaria en los problemas del agua*. Obtenido de Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura: <https://www.oei.es/historico/salactsi/osorio2.htm>
- Otálora, M. F., Peña, J. L., Martínez, M. M., & Varela, A. (2000). Evaluación de la capacidad degradadora de aceite por bacterias lipolítica en el lodo residual de la extracción de aceite de palma . *Palmas*, 283-292.
- Registro oficial N° 387 . (04 de Noviembre de 2015). Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio de Ambiente. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*. Ecuador.
- Ríos, M., & Ramírez, L. (2012). provechamiento del contenido ruminal bovino para ceba cunicola, como estrategia para diezmar la contaminación generada por el matadero en San Alberto. *Prospect*, 56-63.
- Sauvant , D., Meschy , F., & Mertens , D. (1999). Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *INRA Prod. Anim*, 49-60.
- Toapanta Yachimba, A. V. (2014). *Diagnóstico situacional del camal frigorífico municipal de Riobamba a través del estudio de tiempos y movimientos; e implementación de una propuesta alternativa*. Riobamba: ESPOCH.
- Valencia , J. (1996). *Gestión Local y Participación Comunitaria en el Mejoramiento de la prestación del servicio de agua potable*. Colombia: Universidad del Valle.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Godoy Ponce, S., González García, J., León Chimbolema, J. G., & Beltrán Dávalos, A. (2019). Sostenibilidad social, económica y ambiental del tratamiento de aguas residuales con bacterias del rumen. *Ciencia Digital*, 3(3), 204-224. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.625>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

