

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**



ESCUELA DE POSGRADO

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN GESTIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

**EMPLEO FOTOCATÁLISIS COMO MEJORA DE LA
CALIDAD DEL AGUA PARA UNA ACTIVIDAD
GANADERA SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO
CALO, AMAZONAS, PERÚ**

Autor: Lic. Jesús Rascón Barrios

Asesor: Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 6-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS DE MAESTRÍA ()/DOCTORADO () EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): RAJCON BARRIO JESÚS
DNI N°: (CE) 00483863
Correo electrónico: jesus.rajcon@untrm.edu.pe
Nombre de la Maestría (X) / Doctorado (): GESTIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Nombre de la Maestría () / Doctorado (): _____

2. Título de la tesis para obtener el grado académico de Maestro (X) / Doctor ()

EMPEÑO DE FOTOCATÁLISIS COMO MEDIDA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA UNA ACTIVIDAD GANADERA SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO UTA, AMAZONAS, PERÚ

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: GAMARRA TORRES OSCAR ANDRÉS
DNI, Pasaporte, C.E N°: 19259319
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-5867-0754>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>)

4. Campo del conocimiento según Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Immunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
100.00 CIENCIA NATURAL // 103.00 CIENCIA DE LA TIERRA, CIENCIA ALTERNATIVAS

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el/ la autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la Licencia creative commons de tipo BY-NC; Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación -RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 13 / MAYO / 2023

Firma del autor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

*A Lilibeth y Freya por aguantarme durante la elaboración,
a Fer y Oscar por sus consejos y experiencias,
a mis dos familias, la de aquí y la que esta tras cruzar el charco*

AGRADECIMIENTOS

A Oscar Andrés Gamarra Torres y Miguel Ángel Barrena Gurbillón por sus sabios consejos, a Lily del Pilar Juárez Contreras, Damaris Leiva Tafur, Jhesibel Chavez Ortiz, Carlos Guerrero Santa Cruz, y Elder Chichipe Vela por su apoyo en todo el proceso de este proyecto, a Jaime y Freddy por esos momentos de campo inolvidables, a Segundo Manuel Oliva Cruz por todo el apoyo logístico.

A Don Walter, Don Dionisio y Doña Anilu por facilitar las fincas para la instalación de los tratamientos en sus fundos ganaderos.

A los jurados, la Ph. D. Ilse Silvia Cayo Colca, el Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz y la Dra. Hilda Pandura Bazán de Lázaro, por sus observaciones para mejorar la presente tesis.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto “Determinación del impacto de la actividad ganadera sobre la calidad del agua y establecimiento de medidas de prevención y mitigación ante la contaminación en las principales microcuencas de la Región Amazonas” – PREMIGA, financiado por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) y ejecutado por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM. También se contó con apoyo del proyecto “Creación de los servicios del centro de investigación en climatología y energías alternativas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza – Región Amazonas” – PROCICEA, financiado por el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) del Ministerio de Economía y Finanzas del Perú (MEF) y ejecutado por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Dr. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

Dra. MARÍA NELLY LUJAN ESPINOZA

Vicerrectora de investigación

Dr. EFRAÍN MANUELITO CASTRO ALAYO

Director de la EPG-UNTRM

VISTO BUENO DEL ASESOR



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 6-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X)/ DOCTOR ()

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EMPLEO DE FOTOCATÁLISIS COMO MEJORA DEL AGUA PARA UNA ACTIVIDAD GANADERA SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO CALO, AMAZONAS, PERÚ; cuyo autor JESÚS RASCOÑ BARRIOS es estudiante del ciclo/egresado (X) de la Escuela de Posgrado, Maestría (X)/ Doctorado () en GESTIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE, con correo electrónico institucional JESUS.RASCOÑ@UNTRM.EDU.PE.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 30 de DICIEMBRE de 2022


Firma y nombre completo del Asesor

JURADO EVALUADOR



Ph. D. Ilse Silvia Cayo Colca
Presidenta



Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz
Secretario



Dra. Hilda Panduro Bazán de Lázaro
Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 6-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X) / DOCTOR ()

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

EMPLEO DE FOTOCATÁLISIS COMO MEDIDA DE LA CALIDAD DEL AGUA
PARA UNA ACTIVIDAD GANADERA SOSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO CAJAL, ANAYANAS PERÚ.

presentada por el estudiante ()/egresado (X) JESÚS RASCO BARRIOS

de la Escuela de Posgrado, Maestría (X) / Doctorado () en GESTIÓN PARA EL
DESARROLLO SOSTENTABLE

con correo electrónico institucional jevus.rasco@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 15 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 05 de ABRIL del 2023



SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN



ANEXO 6-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X) / DOCTOR ()

En la ciudad de Chachapoyas, el día 03 de Mayo del año 2023 siendo las 17:30 horas, el aspirante Jesús Razon Bonios, Asesorado por Dr. Oscar Andres Gamara Ferrer, defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia () la Tesis titulada: Empiezo de Fotocatálisis como mejora de la calidad de agua para una actividad ganadera sustentable en la Cuenca del río Cato, para obtener el Grado Académico de Maestro (X)/Doctor () en _____ a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, conformado por:



Presidente: Ph.D. Ilse Silvia Cayo Coto
Secretario: Dr. Segundo Manuel Oliver Cruz
Vocal: Dra. Hilda Panduro Bozán de Lazaró

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis de Maestría (X)/Doctorado (), en términos de:
A probado (X) por Unanimidad (X)/Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 18:33 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro (X)/Doctor ().


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR	vi
JURADO EVALUADOR	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	15
II. MATERIAL Y MÉTODOS	19
III. RESULTADOS	25
VI. DISCUSIÓN	31
V. CONCLUSIONES	36
VI. RECOMENDACIONES	37
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos establecidos para el experimento	22
Tabla 2. Resultados del análisis de componentes principales de todos los parámetros evaluados para el estudio	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio en la cuenca del río Calo	20
Figura 2. Sistemas SODIS diseñados y fabricados.....	21
Figura 3. Datos de la actividad ganadera del río Calo. (A) Área de pastoreo; (B) Fuentes de agua; (C) Forma de hacer llegar el agua	25
Figura 4. Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Varianza Multivariado No Paramétrico (PERMANOVA) de la variación por cada sistema SODIS (A) y la variación temporal (B) de los parámetros evaluados	28
Figura 5. Comparación de los valores medios de los parámetros más importantes del estudio presentes en las normativas nacionales e internacionales durante la época húmeda	29
Figura 6. Comparación de los valores medios de los parámetros más importantes del estudio presentes en las normativas nacionales e internacionales durante la época seca	30

RESUMEN

La cuenca del río Calo es una cuenca ganadera de la región Amazonas localizada en los bosques montanos de los Andes del Nor Oriente peruano. La principal actividad económica es la ganadería extensiva, donde el ganado accede de forma directa a las fuentes de agua para su consumo. Sin embargo, esta forma de acceso genera problemas ambientales, viéndose afectada la calidad ecológica del agua. El objetivo principal de esta investigación fue determinar si el empleo de SODIS con aluminio comercial es útil para mejorar la calidad del agua para una ganadería sustentable en la cuenca de río Calo. Para ello, se realizó una caracterización de la actividad ganadera de la cuenca. Se establecieron los parámetros más importantes para la calidad del agua, y las variaciones de estos según el tipo de SODIS y según la época. Por último, se compararon los parámetros con normativas nacionales e internacionales para agua de consumo animal. Se estableció que la fuente de agua más común en las fincas es directamente el río Calo. Al mismo tiempo se determinó, que 20 de los 34 parámetros evaluados son de gran importancia para el estudio. Se pudo comprobar, que cualquiera de los sistemas SODIS con fotocátalisis es bueno para el tratamiento de las aguas para consumo animal, en especial durante la época seca (junio – noviembre). Por último, se pudo afirmar que los sistemas aplicados, son buenos para obtener agua para consumo animal tras un mes aplicando el tratamiento.

Palabras claves: Ganadería, SODIS, aluminio, calidad agua

ABSTRACT

The Calo River basin is a cattle ranching basin in the Amazon region located in the montane forests of the Andes of Northeastern Peru. The main economic activity is extensive cattle ranching, where the cattle have direct access to water sources for consumption. However, this form of access generates environmental problems, affecting the ecological quality of the water. The main objective of this research was to determine if the use of photocatalysis helps improve water quality for sustainable livestock farming in the Calo River basin. For this purpose, a characterization of the livestock activity in the basin was carried out. The most important parameters for water quality were established, as well as their variations according to the type of distiller and the season. Finally, the parameters were compared with national and international standards for water for animal consumption. It was established that livestock farms' most common water source is directly from the Calo River. At the same time, it was determined that 20 of the 34 parameters evaluated are essential for the study. It was found that any SODIS system with photocatalysis is suitable for water treatment for animal consumption, especially during the dry season (june – november). Finally, the systems applied are suitable for obtaining water for animal consumption after one month of treatment.

Keywords: Livestock, SODIS, aluminum, water quality, water quality

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento líquido, de gran importancia para la vida de los seres vivos, al ser necesario para el desarrollo de procesos bioquímicos, y actividades antrópicas como la ganadería, la agricultura o la minería, entre otras (Westall & Brack, 2018). En este sentido, hay dos grandes objetivos a conseguir. El primero es cuidar la calidad ecológica del agua desde la fuente hasta su uso final, mientras que el segundo, es asegurar un suministro de agua según el tipo de uso que se le vaya a dar (consumo humano, riego, bebida animales) (Carpenter et al., 2011). No obstante, en la actualidad conseguir estos objetivos es uno de los grandes desafíos para los países en desarrollo, incluso con las pautas marcadas por la Agenda 2030 (Niva et al., 2020). A esto hay que sumarle, que esta situación está empeorando por la contaminación de los recursos hídricos por actividades como la ganadería, industria o agricultura (Gamarra-Torres et al., 2018a; Gamarra-Torres et al., 2018b; Neill et al., 2018). Dichas aguas contaminadas son usadas sin un tratamiento adecuado, para el riego, el consumo humano o el consumo animal. Esto genera un aumento en el riesgo de enfermedades infecciosas relacionadas con el agua, o la translocación de contaminantes emergentes como son los metales pesados (Javanmard et al., 2018; Miclean et al., 2019; Sichewo et al., 2020).

Ante este problema, el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de las aguas y mejorar su calidad según el tipo de uso, en especial para la ganadería, es una de las grandes soluciones. Estas tecnologías, se pueden dividir en dos grandes grupos, tecnologías tradicionales y tecnologías alternativas. Entre las tecnologías tradicionales podemos destacar algunas como filtración, floculación, sedimentación, decantación o cloración (Bratby, 2016; Kim et al., 2003; Lapointe et al., 2020; Long et al., 2020; Qian et al., 2020). Sin embargo, aunque estas tecnologías se siguen mejorando en la actualidad para ser más eficaces, presentan varios problemas o inconvenientes (Kato et al., 2018; Medeiros et al., 2020). Uno de los grandes problemas es el uso de productos con potencial tóxico, como el cloro o el sulfato de aluminio (Gar Alalm et al., 2018). Otro problema, sería, que el contaminante no se destruya, sino que sea transferido a otra fase o estado, requiriendo la aplicación de una técnica más para su tratamiento completo (Alcaraz et al., 2019; Gil Pavas, 2002). Por último, otro de los grandes inconvenientes que presentan estas tecnologías tradicionales, son los elevados costos de producción y mantenimiento, así como de los insumos necesarios para su buen funcionamiento (Mansor & Tay, 2020).

Dados estos inconvenientes dentro de las tecnologías tradicionales, es donde surge el otro grupo de tecnologías, las tecnologías alternativas (Pérez et al., 2002; Ubomba-Jaswa et al., 2010). Este tipo de tecnologías se basan principalmente en aprovechar las energías renovables para tratar y mejorar la calidad del agua, destacando en especial, la energía solar (Pichel et al., 2019). Las grandes ventajas que han demostrado estas tecnologías es que pueden ser eficientes y al mismo tiempo de bajo costo (Keogh et al., 2015; Y. Zhang et al., 2018). De estas tecnologías alternativas, podemos destacar el uso de destiladores solares, fotofenton, desinfección solar (SODIS, en sus siglas en inglés) o SODIS mejorado mediante fotocatalisis (Borde et al., 2016; Elbar & Hassan, 2020; Fisher et al., 2011; McGuigan et al., 2012; Pérez et al., 2002; Vorontsov, 2019; Yuan et al., 2011; C. Zhang et al., 2019).

La desinfección solar o SODIS del agua, es una técnica económica y sencilla de usar. Es una de las tecnologías más prometedoras e incentivadas, dado que, desde inicios del siglo XXI, se viene aplicando en países en desarrollo, siendo usada por millones de personas en más de 33 países (K'oreje et al., 2020; Meierhofer & Landolt, 2009; Porley et al., 2020). La tecnología SODIS, la podemos dividir en tres subgrupos, según el material a utilizar, siendo SODIS con polietileno tereftalato (PET), SODIS con colectores parabólicos compuestos (CPC) y SODIS mejorado con fotocatalizadores (Byrne et al., 2011; Cioccolanti et al., 2019; Cowie et al., 2020; Gutiérrez-Alfaro et al., 2017; Lawrie et al., 2015; McLoughlin et al., 2004; Roshith et al., 2021). El SODIS con PET, se realiza generalmente con botellas o bolsas de este tipo de material, la cuales se llenan con el agua a tratar y se exponen directamente a la luz solar. La eficacia de este tratamiento depende mayormente, de lo sensible que es el contaminante a tratar y de la intensidad de la radiación solar (Inmaculada Polo-López et al., 2019; Martínez et al., 2020). Esta tecnología destaca por su bajo costo, siendo ideal para su uso en comunidades con bajos ingresos (Castro-Alfárez et al., 2018; McGuigan et al., 2012). Sin embargo, es necesario grandes tiempos de exposición a la radiación solar para que la desinfección sea eficiente, dificultando su implementación en zonas donde la intensidad de la radiación es variable (Asiimwe et al., 2013; McGuigan et al., 2012; Schmid et al., 2008). Por otro lado, está el SODIS con CPC, con el que se aprovecha mejor la radiación solar, al concentrar, mediante espejos parabólicos, tanto la radiación directa como la difusa (Fernández et al., 2005; D. Xu & Qu, 2013). De esta manera, los tratamientos de agua con este tipo de SODIS son más homogéneos que los SODIS con PET, además de necesitar de menor tiempo de exposición y menor intensidad (Gómez-Couso et al., 2012; Mortazavi &

Maleki, 2020; Strauss et al., 2018; Tanveer & Tezcanli Guyer, 2013; Ubomba-Jaswa et al., 2010). No obstante, presenta una gran desventaja, y es la fuerte inversión inicial necesaria para implantar este tipo de sistemas, algo muy difícil para poblaciones, donde su economía se basa en actividades como la agricultura o la ganadería (Baccioli et al., 2017; Su et al., 2017; Tian et al., 2018).

Otra forma de mejorar los SODIS vistos, es mediante la fotocatalisis usando lo que se llaman fotocatalizadores (Cowie et al., 2020; Porley et al., 2020). Los fotocatalizadores, cuentan con una serie de estructuras semiconductoras, lo que permite aprovechar mejor la radiación solar recibida, optimizando y reduciendo los tiempos de exposición (Levchuk et al., 2019; Sreeja & Shetty, 2017). Los fotocatalizadores, tienen una cantidad mínima de energía para absorber luz y desencadenar las reacciones químicas a través de la fotocatalisis, que depende del tipo de fotocatalizador. Es por ello que, cuando la radiación solar recibida es mayor a la brecha energética, se da una excitación de los electrones, generando una serie de reacciones redox, entre la superficie del fotocatalizador y las moléculas de agua, formándose radicales hidroxilos (-OH), capaces de degradar ciertos contaminantes como los orgánicos (Fagan et al., 2016; Gligorovski et al., 2015; Keane et al., 2014; Laxma Reddy et al., 2017). Los compuestos más comunes para usarse como fotocatalizadores son sulfuros y óxidos metálicos como el sulfuro de zinc (ZnS), el óxido de zinc (ZnO), el óxido de hierro (Fe₂O₃) o el dióxido de titanio (TiO₂) (Czech et al., 2020; Gar Alalm et al., 2018; Hitam & Jalil, 2020; K. M. Lee et al., 2016; S. Y. Lee & Park, 2013). Todos estos compuestos, aunque son baratos, no son fáciles de conseguir, es por ello que se deben usar otro tipo de materiales de más fácil acceso para toda la población.

Uno de los materiales con más fácil acceso, es el aluminio comercial. Hay varias investigaciones sobre el uso de este compuesto en la fotocatalisis, ya sea como nanocristales puros, como óxido o combinado con otros óxidos metálicos (Riaz et al., 2019; Robotjazi et al., 2019; J. Xu et al., 2018). El inconveniente de estos materiales, es que solo están estudiados a nivel de laboratorio y son muy caros para implementarlos en una fase experimental de campo. Por otro lado, el aluminio comercial, que es un metal y no un semiconductor, no tiene unas buenas propiedades fotocatalizadoras, aunque es muy usado como sustrato para los fotocatalizadores como el dióxido de titanio (TiO₂) (Zhang et al., 2021). Sin embargo, el aluminio comercial, suele aliarse con elementos como el silicio y el magnesio, mejorado algo sus propiedades fotocatalizadoras (Santana et al., 2019). Con ello se podría tener, un insumo, que, aunque no es un fotocatalizador al uso,

es asequible y barato, y ayudaría a que funcionaria mejor en un sistema SODIS en zonas rurales y ganaderas, dado que el aluminio es uno de los mejores conductores del calor (Pannucharoenwong et al., 2020). Por otro lado, cuando el aluminio comercial está en el agua, se oxida, creando óxido de aluminio o alúmina (Al_2O_3), lo que le protege contra la corrosión, aunque, en ciertas circunstancias, este puede desprenderse y quedar suspendido en el agua (Zhang et al., 2019). La alúmina, además de su propiedad para proteger frente a la corrosión, tiene otra propiedad muy útil para el tratamiento de las aguas, su gran capacidad de adsorber o retener iones, metales o metaloides, aunque su uso es más común en filtros (Postila et al., 2019). Esta capacidad de adsorción de la alúmina, depende de varios factores, como el pH del agua, la concentración de los compuestos, el tiempo de contacto y las características específicas de la alúmina (Mohapatra et al., 2009; Rahmani et al., 2010). Asimismo, las cuencas ganaderas de la región Amazonas, tienen problemas con la calidad del agua con el abastecen a sus reses (Rascón et al., 2022). En base a esta problemática, se hace indispensable la idea de realizar la presente investigación para conocer como el empleo de SOIDS con aluminio comercial, sirve para mejorar la calidad del agua para su uso en la actividad ganadera, y que, al mismo tiempo sea sustentable en la cuenca ganadera del río Calo. Con ello, los ganaderos pueden usar materiales de fácil acceso y reducirían la contaminación de los recursos hídricos.

El objetivo de esta investigación fue determinar si el empleo de sistemas SODIS con aluminio comercial es útil para mejorar la calidad del agua para una ganadería sustentable en la cuenca de río Calo. Para ello, primero se realizó una caracterización de la actividad ganadera de la cuenca. Posteriormente, se estableció cuáles fueron los parámetros más importantes para el estudio y las variaciones según el tipo de tratamiento y según la época. Por último, se compararon los parámetros más importantes con normativa nacional e internacional para la calidad de agua para consumo animal para cada mes del monitoreo de los tratamientos.

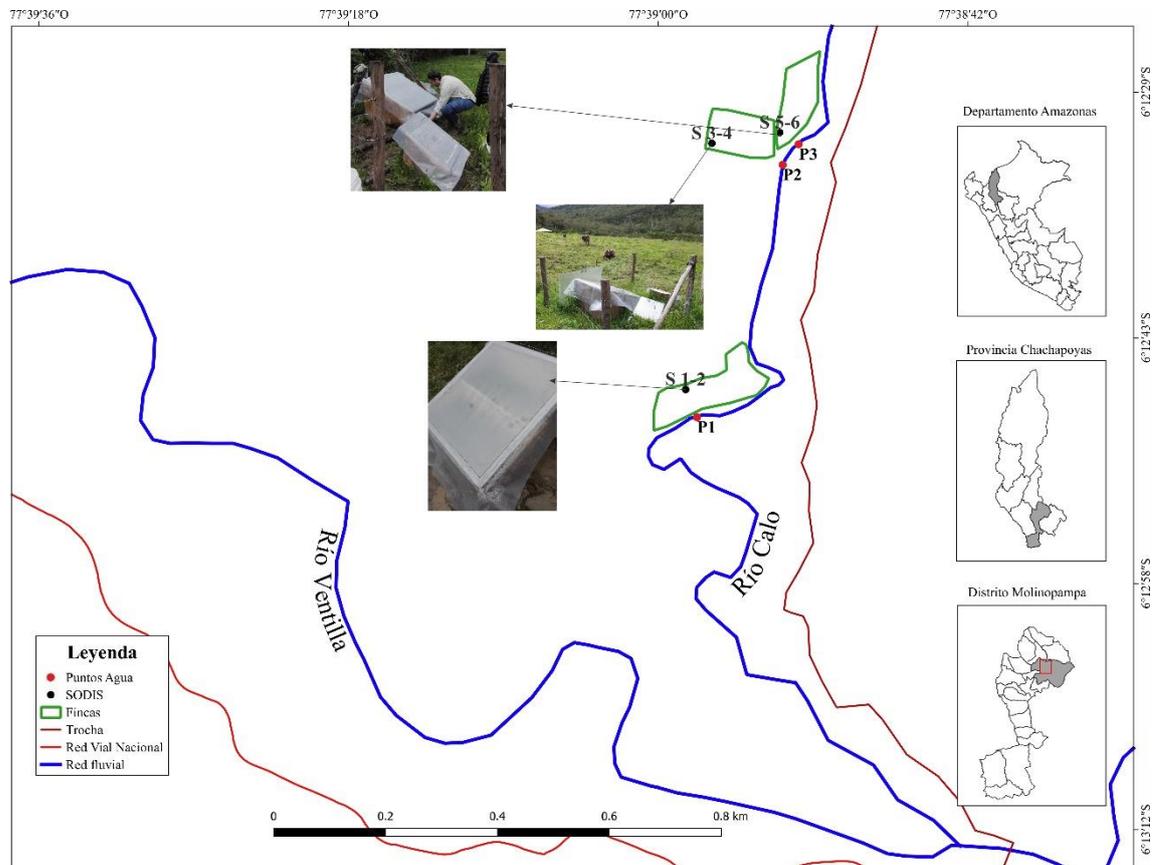
II. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca del río Calo se localiza en la región de los bosques montanos del Nor Oriente peruano, en el departamento Amazonas, Perú. La población cercana más importante, es la localidad de Molinopampa, con una población aproximada de unas 3 000 personas (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2022). El río Calo, también denominado quebrada Achupa, es un afluente del río Ventilla, que a su vez es afluente del río Sonche, uno de los principales afluentes del río Utcubamba (Figura 1). La zona de estudio tiene una temperatura media aproximada de 15 °C y una precipitación media anual de 600 mm (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2022). Como sucede en otras regiones de los Andes Tropicales, la estacionalidad está caracterizada por el régimen de precipitaciones, por lo que hay dos estaciones, una húmeda y otra seca (Rascón et al., 2020; Rascón et al., 2021a). La actividad ganadera de la zona es de tipo extensiva, con fundo de prados nativos para el pastoreo libre, donde el ganado accede libremente al agua de los ríos (Oliva et al., 2015). La cuenca del río Calo, cuenta con aproximadamente 1500 cabezas de ganado (INEI, 2012; INEI, 2022). La agricultura de la zona consiste en campos de cultivo pequeños, produciendo una gran diversidad de cultivos de tipo seco (Ramírez Barco, 2010).

Figura 1.

Ubicación del área de estudio en la cuenca del río Calo



Caracterización ganadera de la cuenca del río Calo

Antes de establecer el estudio, se realizó una entrevista a todos los productores ganaderos de la cuenca del río Calo, mediante encuestas simples, siendo un total de 45 ganaderos. Las dimensiones de la encuesta fueron dos, información social, económica y ambiental; y el tipo de producción y ganadería de cada ganadero. Las preguntas de esta última dimensión se centraron mayormente en el área total de su finca, la cantidad y tipo de área de pastoreo, las fuentes de agua para abastecer a sus animales y la forma de hacer llegar su agua al ganado, el número total de cabezas que poseen en total, el número total de nacimientos y la producción de leche al día (Anexo 1).

Diseño y fabricación de los sistemas tipos SODIS

Estos sistemas fueron de tipo cajón con una vertiente, donde la parte superior esta inclinada 30°, para favorecer la entrada de rayos solares en el sistema SODIS; y fraccionando en dos el interior, uno para llenarlo con el agua a tratar junto con el aluminio

comercial y otro sin agua para un mejor manejo (Alkhalidi et al., 2021). Para la fabricación de los cajones, se usó madera contrachapada de 18 mm de espesor, y se forro el interior con geomembrana, para favorecer la captación de la radiación solar. Para la tapa de los cajones, se fabricó un marco de madera contrachapada, donde se tensó una mica de plástico transparente resistente al calor. Dicha tapa se fijó al cajón mediante el uso de bisagras para tener fácil acceso (Anexo 2). Por último, se colocó una cierta cantidad de perfiles de aluminio comercial de 60 cm, para ayudar al SODIS (Figura 2).

Figura 2.

Sistemas SODIS diseñados y fabricados



Establecimiento de los sistemas SODIS

Una vez fabricados los sistemas tipos SODIS, se establecieron seis tratamientos, uno para cada tipo de sistema SODIS (Tabla 1). Los sistemas SODIS, se colocaron en tres fincas ganaderas distintas dentro de la cuenca del río Calo, con una orientación Este – Oeste, para aprovechar al máximo la radiación solar. Para establecer los sistemas, las fincas debían ser de fácil acceso; contar con el río Calo como fuente abastecimiento de agua para el ganado, siendo de fácil acceso también; y una superficie plana, sin inclinación, para la instalación de los sistemas (Figura 1).

Tabla 1.*Tratamientos establecidos para el experimento*

Tratamiento	Capacidad del Sistema	Cantidad Aluminio
S-1	20 Litros	2 Perfiles
S-2	80 Litros	2 Perfiles
S-3	20 Litros	3 Perfiles
S-4	80 Litros	3 Perfiles
S-5	20 Litros	4 Perfiles
S-6	80 Litros	4 Perfiles

Después de que se instalaron los sistemas, se llevó a cabo el llenado, con agua de río Calo para fracción del cajón con el aluminio comercial, con el volumen establecido para cada tratamiento. El agua se recolectó del río Calo, de los puntos más cercanos a los sistemas, estableciendo un total de tres puntos de abastecimiento de agua (Figura 1).

Monitoreo y determinación de parámetros de calidad del agua

Tras el llenado de los sistemas, se realizó el monitoreo del agua con una periodicidad mensual durante tres meses, y así evaluar los cambios en la calidad del agua. El experimento se realizó dos veces, uno en época húmeda (febrero – mayo de 2019) y otro en época seca (julio – octubre de 2019), para ver en que época funcionan mejor los sistemas SODIS con aluminio comercial.

Se llevaron a cabo un total de ocho muestreos en total, teniendo en cuenta los dos periodos de monitoreo. La recolección, almacenamiento y traslado de muestras, se realizaron de acuerdo a lo establecido por APHA et al. (2017). Los parámetros analizados *in situ* fueron temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (C.E.), Sólidos disueltos totales (SDT) y oxígeno disuelto (O.D.) mediante un equipo multiparamétrico marca WTW, modelo HandyLab 680. El resto de parámetros, se analizaron en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, trasladando las muestras a una temperatura de 4°C (APHA et al., 2017).

La Turbidez (TURBI) se determinó por nefelometría mediante un turbidímetro Marca HACH, modelo 2100Q; los sólidos suspendidos totales (SST) se determinaron con la técnica de secado a 105°C, usando una estufa marca MMM Group, modelo ECOCELL 222; y la alcalinidad (ALCA) se determinó por valoración con ácido clorhídrico (HCl), la dureza (DUR) por valoración con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) y los cloruros (CLO) por valoración con nitrato de plata (AgNO₃), todos según la metodología establecida por APHA et al. (2017). Parámetros como, nitratos (NO₃⁻), nitritos (NO₂⁻) y

fosforo (PO_4^+) se determinaron utilizando la metodología establecida por HACH (2000). El amonio (NH_4^+), los sulfatos (SO_4^{2-}), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determinaron utilizando la metodología establecida por APHA et al. (2017). Los parámetros microbiológicos como Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y *Escherichia coli* (EC), se determinaron mediante la técnica del Numero Más Probable (APHA et al., 2017; Ferguson & Ihrie, 2019). Por último, se analizaron un total de 15 metales y metaloides, como Aluminio (Al), Arsénico (As), Bario (Ba), Calcio (Ca), Cobre (Cu), Estroncio (Sr), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Palta (Ag), Plomo (Pb), Potasio (K), Selenio (Se), Silicio (Si), Sodio (Na) y Zinc (Zn), a partir del filtrado, acidificación y digestión de muestras de agua en espectroscopia de emisión atómica para MP-AES, adaptando de metodología para ICP (APHA et al., 2017). La espectroscopia de emisión atómica por plasma de microondas se realizó con un espectrofotómetro de plasma de microondas, marca Agilent Technologies, modelo 4100 MP-AES, equipado con una antorcha estándar, un nebulizador Inert OneNeb y una cámara ciclónica de pulverización de vidrio de doble paso, marca Agilent Technologies, para todos los experimentos. El nitrógeno se obtuvo del aire utilizando un generador de nitrógeno, marca Agilent Technologies, modelo Agilent 4107. La velocidad de la bomba se fijó en 15 rpm. Antes de leer las muestras, se fijaron 12 s para el tiempo de consumo, 12 s para el tiempo de estabilización de la antorcha y 30 s para el tiempo de enjuague. El tiempo de lectura fue de 5 s. La intensidad espectral fue la media de tres lecturas repetidas por muestra. Se seleccionó la longitud de onda de detección de 396.152, 193.695, 455.403, 422.673, 324.754, 421.552, 371.993, 280.271, 328.068, 405.781, 769.897, 196.026, 251.611, 589.592, 213.857 nm para la cuantificación de Al, As, Ba, Ca, Cu, Sr, Fe, Mg, Ag, Pb, K, Se, Si, Na y Zn, respectivamente. Antes de las lecturas, se calibró el equipo utilizando soluciones patrón de cada elemento en diferentes concentraciones, preparadas a partir de una solución patrón de 1.000 ppm. Las soluciones patrón utilizadas fueron de la marca Agilent, localizadas en el área de espectrometría del LABISAG. Después de cada lectura, el equipo recuperaba tanto la concentración como la intensidad sin necesidad de enriquecer las muestras.

Análisis de datos

Se realizó estadística descriptiva, para la caracterización de la actividad ganadera de la zona, con el uso de gráficos de barras. Al mismo tiempo, se utilizó un análisis Kruskal-Wallis para determinar si había diferencias en ciertos parámetros de la producción según el tipo de fuente de agua usada para abastecer al ganado. Posteriormente, se usó análisis

de componentes principales (ACP) para determinar los parámetros más importantes del estudio y al mismo tiempo determinar si existen variaciones en cuanto a los tratamientos establecidos y variaciones temporales, considerando todos los parámetros evaluados. En este estudio, el ACP se determinó usando una matriz de correlaciones, al ser lo parámetros adimensionales. Una vez obtenida la ACP, se estableció el número de componentes a utilizar, mediante el criterio de considerar un número de componentes capaces de explicar entre el 70% y el 90% de la variación total de los parámetros originales (Rencher, 2012). Finalmente, se utilizó un biplot para interpretar mejor las dos primeras componentes principales (Jolliffe, 2002). Posteriormente, se complementó con un Análisis de Varianza Multivariado No Paramétrico (PERMANOVA) basado en permutaciones, para confirmar si existe disimilitud en los grupos formados para el ACP (Anderson & Walsh, 2013). Por último, se contrastó los valores medios de los parámetros más importantes del estudio por cada época, con el Estándar de Calidad Ambiental del Agua de Perú (ECAs), en concreto para la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría D2: Bebida de animales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017); y con el Estándar de Calidad de Agua para Ganadería de EEUU (Bagley et al., 1997; Pfoest et al., 2020). Solo se compararon los parámetros incluidos en al menos uno de los dos estándares. Todos los análisis estadísticos se realizaron a un nivel de significación de $p < 0.05$, utilizando el software R versión 4.1.3 (R Development Core Team, 2021).

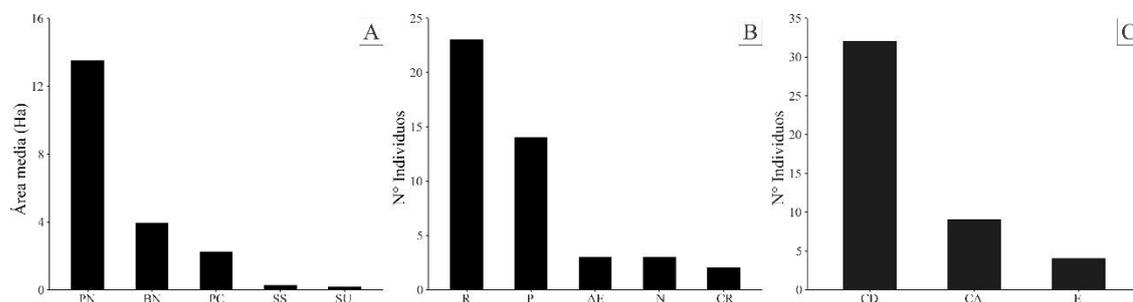
III. RESULTADOS

Caracterización ganadera

El área media de las fincas en la cuenca del río Calo fue de 20.05 hectáreas, mientras que el área media para pastoreo fue de 16.04 hectáreas. Dentro de esta área de pastoreo, la gran parte fue con pasto natural, con cerca de 13.49 hectáreas de media, y en menor parte fue con sistemas silvopastoriles, con cerca de 0.25 hectáreas de media (Figura 3A). En cuanto a las fuentes de agua, un total de 23 ganaderos abastecieron a sus animales con agua del río Calo, seguido por 14 ganaderos que los abastecieron mediante pozos, mientras que solo 2 ganaderos lo hicieron con canales de riego (Figura 3B). Por otro lado, la gran mayoría hicieron llegar el agua al ganado de forma directa, y en menor media, mediante canales o entubando el agua (Figura 3C).

Figura 3.

Datos de la actividad ganadera del río Calo. (A) Área de pastoreo; (B) Fuentes de agua; (C) Forma de hacer llegar el agua



Nota: PN = Pasto natural; BN = Bosque natural; PC = Pasto cultivado; SS = Sistema silvopastoril; SU = Sin uso. R = Río; P = Pozo; AE = Agua entubada; N = Naciente; CR = Canal riego. CD = Contacto directo; CA = Canales y acequias; E = Entubada.

En relación a sí el tipo de fuente agua usada para abastecer al ganado puede afectar a la producción ganadera, se vio que no hubo diferencias para ninguno de los parámetros de producción encuestados (Cabezas totales por ganadero, $\chi^2=2.66$, $p=0.616$; Nacimientos al año, $\chi^2=2.73$, $p=0.603$; Producción de leche al día, $\chi^2=1.49$, $p=0.828$).

Variación de los tratamientos y temporal para los parámetros evaluados

De los parámetros evaluados durante el monitorio del agua para cada sistema SODIS establecido y para ambos periodos estacionales, se seleccionaron un total de siete

componentes principales (CP) que explican el 74.13% de la varianza total. Para establecer los parámetros con mayor importancia en el estudio, se determinó el peso de cada parámetro por cada componente, considerando una correlación alta ($p \geq \pm 0.60$), a partir de lo cual, TURBI, CE, SST, ALCA, CLO, NO_2^- , CT, CF, EC, Ca, Fe y Mg son los que más peso tuvieron para la CP1; Na y Ag para la CP2; K para la CP3; NH_4^+ , Sr y Pb para la CP4; Cu para la CP5; y As para la CP6. En la CP7, no hay parámetros con pesos suficientes como para determinar que son importantes para el estudio (Tabla 2). Por tanto, hay un total de 20 parámetros que son de gran importancia en el estudio

Tabla 2.

Resultados del análisis de componentes principales de todos los parámetros evaluados para el estudio

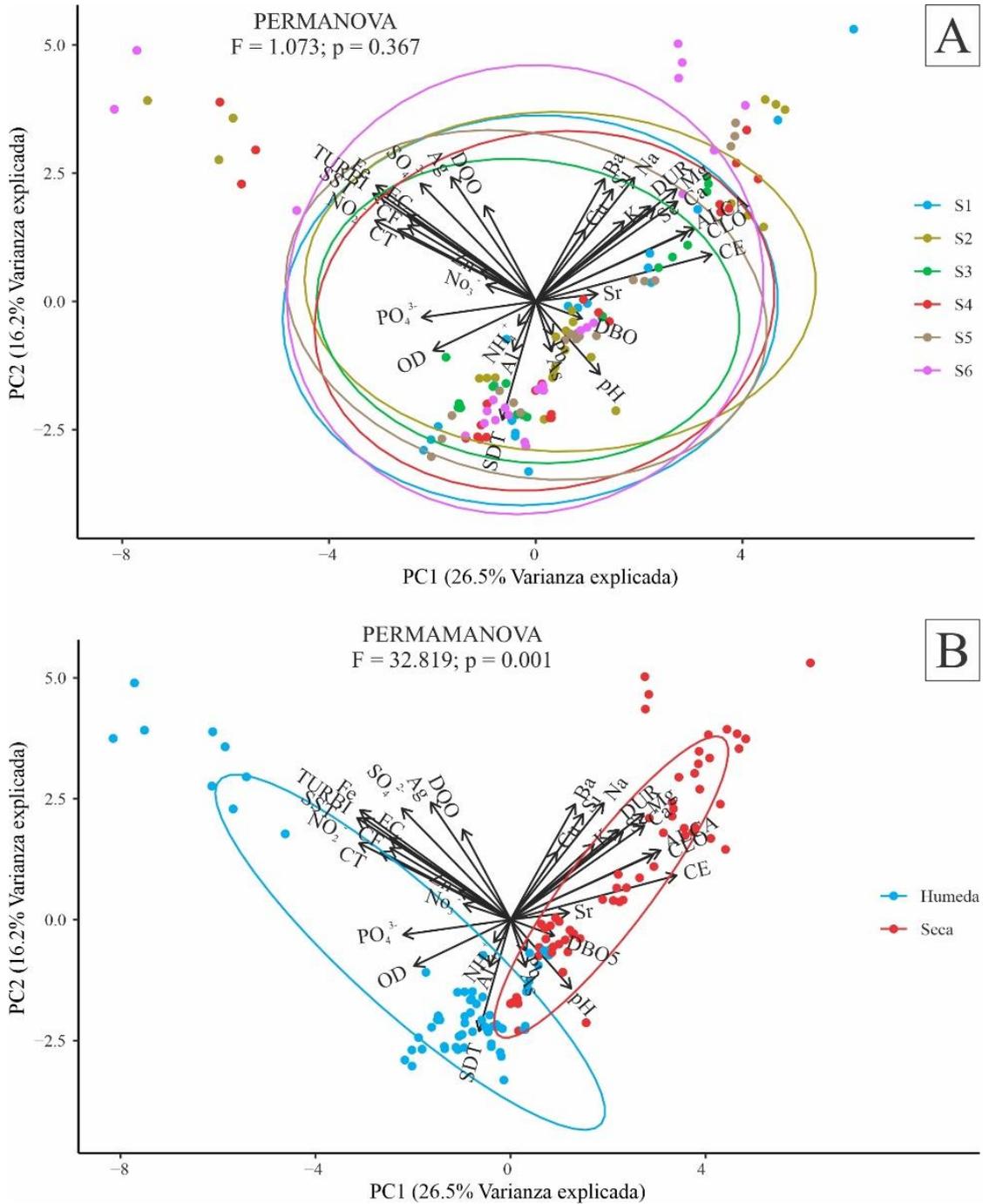
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
Desviación estándar	3.00	2.35	1.75	1.64	1.35	1.29	1.21
Varianza (%)	26.52	16.22	8.97	7.92	5.34	4.88	4.29
V. acumulada (%)	26.52	42.74	51.71	59.63	64.97	69.85	74.14
Cargas							
pH	0.31	-0.35	0.35	-0.45	0.21	-0.13	0.05
OD	-0.49	-0.24	0.18	-0.06	0.24	-0.21	-0.44
TURBI	-0.75	0.52	0.01	0.09	-0.15	0.05	-0.22
CE	0.84	0.23	0.27	0.12	-0.10	-0.10	0.09
SDT	-0.16	-0.57	-0.39	0.22	0.38	-0.04	-0.31
SST	-0.78	0.52	-0.10	0.08	-0.06	0.02	-0.04
ALCA	0.72	0.33	0.05	0.37	-0.12	-0.05	-0.02
CLO	0.76	0.35	0.09	0.16	-0.23	-0.14	0.04
DUR	0.55	0.46	-0.48	-0.20	0.10	0.08	-0.09
NO_3^-	-0.24	0.08	0.31	-0.40	0.38	0.36	-0.03
NO_2^-	-0.77	0.39	-0.05	0.09	-0.15	0.00	-0.21
SO_4^{2-}	-0.55	0.57	0.40	0.14	-0.04	-0.13	-0.24
PO_4^{3-}	-0.54	-0.08	-0.13	-0.05	-0.38	0.22	-0.14
NH_4^+	-0.08	-0.12	-0.01	0.68	0.41	0.24	-0.04
DBO	0.22	-0.08	0.03	-0.32	0.13	-0.20	-0.25
DQO	-0.24	0.46	0.48	0.02	0.16	-0.13	-0.15
CT	-0.66	0.35	-0.03	0.00	0.32	-0.18	0.33
CF	-0.61	0.37	-0.03	0.09	0.30	-0.19	0.42
EC	-0.61	0.42	-0.02	0.12	0.24	-0.15	0.39
Al	-0.11	-0.24	-0.02	-0.43	0.08	0.49	0.07
As	0.08	-0.24	0.49	-0.25	0.07	0.62	0.13
Ca	0.68	0.48	0.24	0.10	-0.14	0.07	0.00
Cu	0.23	0.35	-0.03	-0.16	0.61	-0.02	-0.38
Sr	0.30	0.04	0.19	0.68	-0.01	0.30	0.03
Fe	-0.76	0.56	-0.06	0.01	-0.03	0.09	0.02
Mg	0.67	0.54	-0.15	0.04	0.07	0.08	0.00
Pb	0.08	-0.16	-0.06	0.70	0.34	0.40	-0.04
K	0.42	0.39	0.70	-0.08	0.18	-0.08	-0.22
Se	0.57	0.45	-0.51	-0.11	0.10	0.03	-0.03

Si	0.37	0.54	-0.56	-0.20	0.13	0.12	-0.05
Na	0.47	0.60	0.47	-0.02	0.13	0.04	0.06
Zn	-0.26	0.15	-0.01	0.09	-0.34	0.21	-0.45
Ba	0.33	0.59	-0.49	-0.21	0.19	0.13	-0.10
Ag	-0.40	0.60	0.06	-0.28	-0.20	0.42	0.14

El análisis de componentes principales muestra que el efecto de los sistemas SODIS en los parámetros evaluados fue homogéneo. Dicho de otra forma, se pudo ver que todos los sistemas SODIS establecidos, afectaron por igual a todos los parámetros evaluados (Figura 4A). Por otro lado, si observo que si existió una variación temporal para los parámetros evaluados. Los parámetros como SDT, Al, NH_4^+ , OD, PO_4^{3-} , NO_3^+ , NO_2^+ , CT, CF y SST, se vieron más influidos si el tratamiento se aplicó en época húmeda. Mientras que parámetros, como DUR, K, Se, Mg, Ca, ALCA, CLO, CE, Sr, DBO, pH, Pb y As, se vieron más influidos cuando el tratamiento se aplicó en época seca. El resto de variables no variaron o no fueron influidas por la época en la que se aplicó el tratamiento (Figura 4B). El análisis PERMANOVA, termino de confirmar que los grupos formados por los sistemas SODIS no son disimilares, todo lo contrario, a los grupos por las épocas, que si presentaron disimilitud estadística (Figura 4).

Figura 4.

Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Varianza Multivariado No Paramétrico (PERMANOVA) de la variación por cada sistema SODIS (A) y la variación temporal (B) de los parámetros evaluados



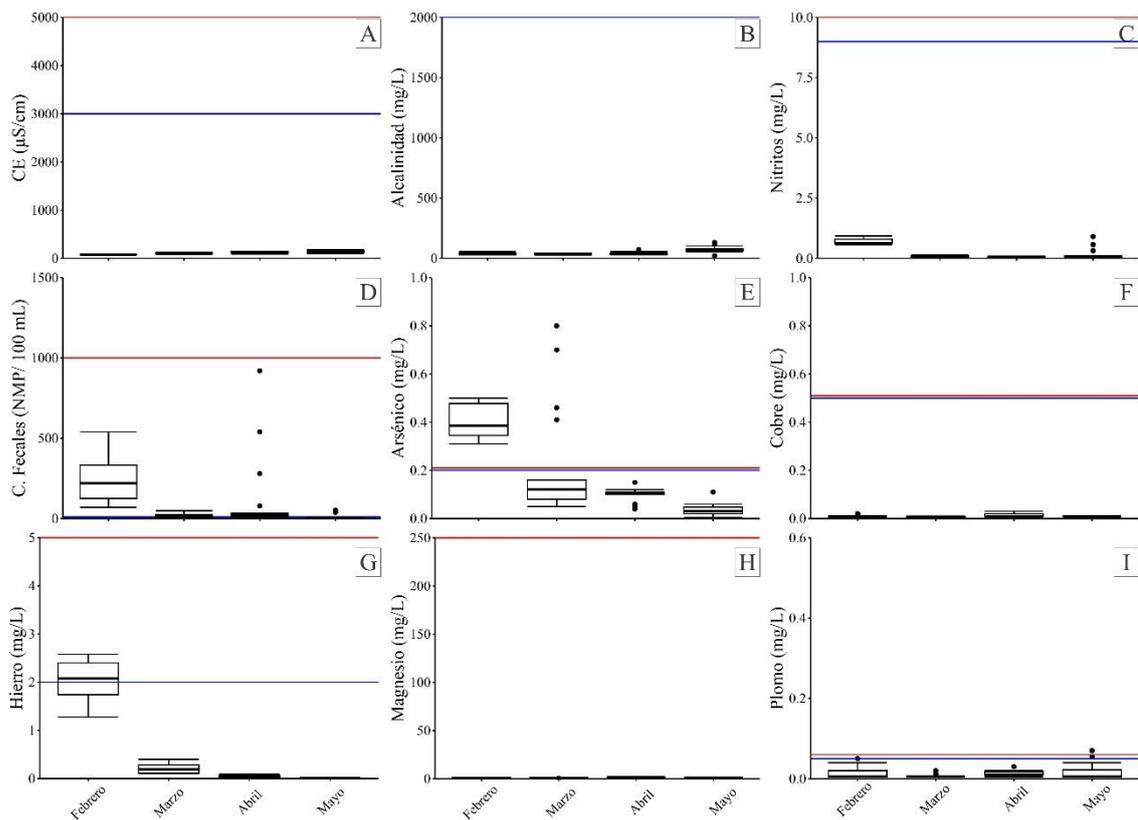
Comparativa de la calidad del agua con normativas nacionales e internacionales

La mitad de los parámetros más importantes del estudio que están dentro de las normativas usadas, no superan los límites establecidos, como son los parámetros de CE, ALCA, NO_2^- , Cu y Mg (Figura 5 y 6). Sin embargo, el resto superan los límites en algún

momento de la evaluación. El parámetro microbiológico de CF, supera en líneas generales la normativa de EEUU, pero no la normativa peruana en el agua sin tratar de la época húmeda (febrero), con un descenso de su concentración en los siguientes meses (Figura 5D). El As supera ambas normativas, para el agua sin tratar, tanto para la época húmeda (febrero) como para la seca (julio), descendiendo su concentración en los posteriores meses de ambas épocas (Figura 5E y 6E). El Fe, solo supera el límite de EEUU en el agua sin tratar de la época húmeda (febrero), con un descenso en los siguientes meses (Figura 5G). Por último, el Pb tiene un comportamiento muy parecido, solo que en el agua sin tratar de la época seca (julio) (Figura 6I).

Figura 5.

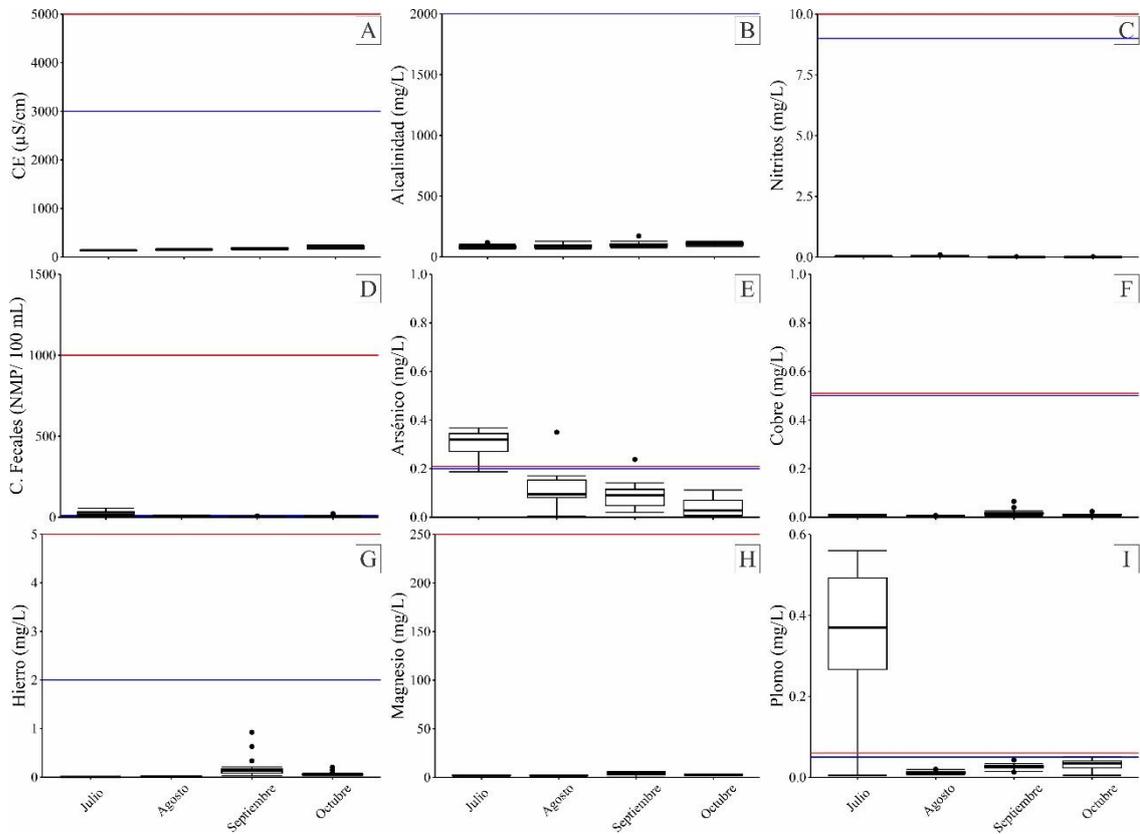
Comparación de los valores medios de los parámetros más importantes del estudio presentes en las normativas nacionales e internacionales durante la época húmeda



Nota. La línea de color rojo hace referencia el límite establecido por la normativa peruana y la línea de color azul a la normativa estadounidense.

Figura 6.

Comparación de los valores medios de los parámetros más importantes del estudio presentes en las normativas nacionales e internacionales durante la época seca



Nota: La línea de color rojo hace referencia el límite establecido por la normativa peruana y la línea de color azul a la normativa estadounidense.

VI. DISCUSIÓN

Caracterización de la actividad ganadera

Conocer la magnitud de la actividad ganadera de una cuenca, mediante una caracterización, es de gran importancia para establecer cualquier tipo de medida preventiva o de mitigación contra la contaminación de las aguas de las que hace uso (O'Callaghan et al., 2019). Los resultados obtenidos de la caracterización ganadera, permiten ver que, las distintas fuentes de agua no afectan a la producción ganadera (número de cabezas, nacimientos al año y producción de leche al día). Aunque en la zona de estudio, la mayor parte de los ganaderos abastecen de agua a sus cabezas de ganado, permitiendo el acceso ilimitado al río, la calidad del agua de todas las fuentes es más o menos parecida. Esto no quiere decir que la actividad ganadera no afecte al recurso hídrico, y por tanto a los consumidores de esa agua, ya sean humanos o animales. Una de las formas en las que el ganado afecta en gran medida a la calidad del agua de las aguas superficiales, como los ríos, es mediante el acceso directo al recurso (Muenz et al., 2006; Vidon et al., 2008; Wilson & Everard, 2018). Cabe destacar, que los países de América del Norte y Europa, tienen políticas y normativas, que promueven medidas de mitigación y prevención, para reducir la cría de ganado cerca de los ríos, y así disminuir su impacto ambiental (Bragina et al., 2017; Bremner et al., 2016). Algunas de estas medidas, son la provisión de un suministro alternativo de agua, gestionar mejor el pastoreo o restringir el acceso del ganado mediante barreras naturales (O'Callaghan et al., 2019).

El acceso del ganado, no solo afecta a la calidad del agua, en especial la calidad microbiológica, al hacer sus excretas dentro del agua (Rascón et al., 2022), si no también a la morfología de los ríos, dado su poderoso esfuerzo locomotor (Braccia & Voshell, 2007). Las principales repercusiones, son la reducción de la estabilidad de la orilla (Zaimes & Schultz, 2011), el aumento de la sedimentación, que puede ayudar a liberar metales y metaloides como el arsénico (Bundschuh et al., 2020; Kauffman et al., 1983; Sovell et al., 2000), la compactación del suelo y un descenso en la infiltración (Trimble & Mendel, 1995), modificando la morfología.

Por otro lado, el acceso ilimitado también afecta a la temperatura media del agua, provocando cambios en la biología de los cuerpos de agua (Cuffney et al., 2000; Sarriquet et al., 2006; Scrimgeour & Kendall, 2003). Estos cambios se pueden ver agravados, si el ganado excreta y orina en los ríos, al modificar el ciclo de nutrientes del agua, lo que afecta a organismos del ecosistema como macroinvertebrados o peces (Løvendahl &

Sehested, 2016; Miller et al., 2010; Terry et al., 2014). Por último, y no más importante, al afectar a la calidad microbiológica de agua, esta puede aumentar su concentración de organismo patógenos como virus, protozoos (*Giardia ssp.*) o bacterias (*Salmonella*, *Klabsiella*, *Escherichia coli*) (Gray, 2008; Jenkins et al., 2015). Por tanto, en la cuenca del río Calo, aunque todavía no se vea muy afectada, a medio y largo plazo si se puede verse afectada.

Variación de los tratamientos y temporal para los parámetros evaluados

De los 34 parámetros evaluados, 20 son los que más influyen en el estudio realizado. Aunque no hay variación según el tratamiento, parámetros como TURB, CE, SST, ALCA, CLO, se ven más influenciados por los tratamientos tipo SODIS con aluminio comercial. La TURB, CE, SST, ALCA y CLO, son parámetros de gran importancia a la hora de aplicar SODIS, ya sea con aluminio comercial o sin él (Chaúque et al., 2021; Wong et al., 2010). Principalmente porque son parámetros, en especial TURBI y SST, que afectan a la permeabilidad de la luz solar en el agua, algo a tener en cuenta con las tecnologías basadas en luz solar (Keogh et al., 2017). Al no penetrar adecuadamente la luz, esta no calienta el agua, y no puede llegar a las temperaturas ideales para el buen funcionamiento del SODIS (Amirsoleimani & Brion, 2021). Al mismo tiempo, si la radiación solar no índice adecuadamente en el aluminio comercial, este no puede calentar su superficie para ayudar a la desinfección del agua (Azamzam et al., 2021). Incluso hay autores que recomiendan un pretratamiento previo con floculantes para bajar el parámetro de TURB a menos de 30 NTU (Lamore et al., 2018). Por el contrario, un aumento en la CE, ALCA y CLOR, genera que la superficie del aluminio comercial, que al estar en contacto con el agua genera óxido de aluminio encima de esta, se desprenda (Manjie Li et al., 2020; Skrovan et al., 2010). Esto genera que el aluminio comercial entre en un proceso de corrosión, generando iones de aluminio, aumentando la concentración de este elemento en el agua (Algahtani & Mahmoud, 2019; Barulin et al., 2019).

Otros parámetros como NO_2^- , NH_4^+ , CT, CF y EC, al ser de origen orgánico, son contra los que mejor actúa los tratamientos instalados. Cabe recordar, que aunque el aluminio comercial no es un fotocatalizador al uso, este es gran conductor del calor, y al estar en contacto con el agua, genera alúmina (Barulin et al., 2019; Minghua Li et al., 2011; Ouyang et al., 2022). La reducción en la concentración de los compuestos orgánicos como NO_2^- y NH_4^+ , se debe principalmente por la capacidad de adsorción de la alúmina, el cual está en la superficie de los perfiles y disuelto en el agua (Mohapatra et al., 2009; Rahmani et al., 2010). Este proceso ocurre cuando los NO_2^- y NH_4^+ se adhieren a la superficie del

óxido de aluminio debido a las fuerzas electrostáticas o químicas que hay entre ellos (Pham et al., 2017; Ramalingam & Subramania, 2021). No obstante, la reducción en la carga microbiana (CT, CF y EC), se debe principalmente al SODIS que destruye las bacterias gracias al daño que provoca la radiación UV de la radiación solar, además del aumento de la temperatura del agua dentro del sistema SODIS (Castro-Alfárez et al., 2018; Lamore et al., 2018). Cabe mencionar, que, para el tratamiento de todos estos parámetros se deben tener en cuenta la época en que se establezca el tratamiento. Las aguas superficiales en época húmeda, tienen valores más altos de todos los parámetros físicos, químicos y microbiológicos vistos (TURB, CE, SST, NO_2^- , NH_4^+ , CT, CF y EC), debido al arrastre generado por las lluvias, exceptuando los parámetros de ALCA y CLO, que suelen aumentar en la época seca (Gamarra-Torres et al., 2018a; Leiva-Tafur et al., 2022; Rascón et al., 2021b).

En los tratamientos aplicados, uno de los grandes inconvenientes es que no se está usando un fotocatalizador al uso en un sistema SODIS, lo que genera una baja incidencia en elementos como los metales o los metaloides (Nalwanga et al., 2018; Roshith et al., 2021). Los sistemas SODIS con fotocatalizadores, han demostrada una buena efectividad con ciertos metales como el Cu, Pb, As, entre otros (Spuhler et al., 2010). En este caso, la alúmina, gracias a su capacidad de adsorción, puede reducir las concentraciones de metales y metaloides en el agua (Santos Yabe & de Oliveira, 2003; Spark et al., 1995). Los metales y metaloides se unen a la superficie de la alúmina, al tener sitios activos que los atraen y retienen (Genç-Fuhrman et al., 2007). Esto hace que sean menos móviles y peligrosos; o que se pueden juntar formando un complejo que puede precipitar, facilitando su eliminación, con una floculación o una filtración por ejemplo (K'oreje et al., 2022). Sin embargo, cuando la concentración en agua de los metales y metaloides sea muy alta, sería necesario un proceso más complejo, que la mayoría de las veces requiere de reacciones redox complicadas, que son más fáciles de obtener en sistemas fotocatalisis o de foto-Fenton, donde hay una ayuda eléctrica (Kohantorabi et al., 2022).

Al mismo tiempo, todos estos parámetros se ven enormemente condicionados por la variabilidad climática, dado que en época seca al llover menos hay más incidencia de la radiación solar, aumentando su eficacia respecto a la húmeda (Nalwanga et al., 2018). Todo lo contrario, se ve cuando se quiso determinar, cuál es el sistema SODIS con aluminio comercial que mejor funciona, por lo que, es indiferente el tipo de sistema a usar, al funcionar todos de forma muy parecida.

Comparativa de la calidad del agua con normativas nacionales e internacionales

Tras contrastar los parámetros evaluados más importantes del estudio, con las normativas, se puede indicar que las aguas directas del río Calo no son aptas para el consumo animal. En especial, por las CF, el As, el Fe en la época húmeda y el As y el Pb en la época seca. No obstante, todos los parámetros descienden tras el primer mes tratamiento.

Las concentraciones de iniciales de CF, As y Fe en el agua, durante la época húmeda, se deben principalmente al arrastre generado por las lluvias (Gamarra-Torres et al., 2018a; Leiva-Tafur et al., 2022; Rascón et al., 2021b). Por otro lado, las concentraciones de As y Pb en el agua, durante la época húmeda, se debe principalmente a los procesos geológicos naturales, dado que no hay actividad minera en la zona de estudio, liberándose estos metales de la roca madre, acumulándose en los suelos y siendo desplazados por las aguas superficiales y subterráneas al río Calo (De Loma et al., 2022).

El problema con las CF, es que generan daños gastrointestinales en los animales. Esto provoca un estrés en ellos, reducción su productividad (Mir et al., 2019). Por otro lado, que los animales consuman metales como Fe, Pb y As, trae grandes problemas de salud, tanto para los animales, como para los humanos (Rehman et al., 2021). El hierro, aunque es un oligoelemento básico para cualquier organismo, al ser de gran importancia en el transporte del oxígeno dentro del sistema circulatorio, grandes cantidades de este elemento genera problemas de bazo, hígado y médula ósea (Eid et al., 2017). Por otro lado, el plomo, ya en pequeñas cantidades, provoca daños en el sistema renal, cardiovascular, sanguíneo y gastrointestinal (Eid & Zawia, 2016; Vasconcelos Neto et al., 2019). Por último, el arsénico es un metaloide muy peligroso, que se bioacumula y biomagnifica con facilidad y es cancerígeno, afectando principalmente al sistema endocrino (Ghosh et al., 2022; Mandal & Suzuki, 2002; Mohammed Abdul et al., 2015).

Propuesta de uso de la tecnología

Con la investigación desarrollada, se comprueba que la tecnología aplicada funciona para el tratamiento del agua para consumo animal. Por tanto, para que los productores de la zona adopten dicha tecnología, sería bueno, hacer reuniones con las cooperativas y asociaciones ganaderas, así como las autoridades correspondientes, para que comprueben sus beneficios (Paternina-Pedroza et al., 2019). Estas reuniones, primero se tendrían que hacer a nivel local, después a nivel regional y nacional (Mapiye et al., 2021). Los grandes beneficios de usar esta tecnología son:

- El bajo costo de los materiales para la construcción, dado que se usa madera, geomembrana, mica y aluminio en forma de perfiles.
- La construcción es sencilla, al ser en forma de cajones.
- Puede tratar aguas en cualquier época del año, aunque es más eficaz en época seca.

El uso de esta tecnología, sería idóneo para los pequeños y medianos productores, que son los que más dificultades tienen para tratar las aguas, dado sus ingresos (Dhehibi et al., 2020). Por otra parte, esta tecnología puede seguir mejorándose con el feedback de los usuarios, o usando materiales más eficientes como la alúmina activada, aunque eso supondría una mayor inversión para su implementación, o combinar esta tecnología con otras (Cárdenas-Bejarano et al., 2016). Por último, sería bueno realizar nuevas investigaciones en zonas con condiciones distintas a las del presente estudio, para tener un mejor conocimiento del comportamiento de la tecnología.

V. CONCLUSIONES

Tener agua de buena calidad para la ganadería, es primordial, para un correcto desarrollo de las reses y proporcionar una seguridad a los consumidores de los productos derivados de esta actividad. Se pudo comprobar, que la tecnología aplicada es buena para el tratamiento de las aguas para consumo animal, y al mismo tiempo ayudan a un desarrollo sustentable de dicha actividad, al no afectar al medio ambiente. Al mismo tiempo, las producciones que usen esta tecnología tendrán un valor añadido, favoreciendo el desarrollo socioeconómico de la región.

La ganadería vacuna, es una actividad de gran importancia en la cuenca del río Olia. Sin embargo, la gran mayoría de los ganaderos abastecen de agua a sus ganados, permitiendo el acceso libre. Ahora mismo, puede que no sea un problema, pero a largo plazo la zona puede ser un foco de contaminación, a no ser que se apliquen medidas, como la tecnología desarrollada en la presente investigación. Esta debe ir acompañada de una transferencia y capacitación.

En cuanto, a la variación de la calidad del agua según los tratamientos y según la época, se puede llegar a una conclusión muy clara. Daría igual que tipo de sistema SODIS con aluminio comercial se usen, ya que todos funcionaron por igual. Sin embargo, esto no quiere decir que sea algo definitivo. La tecnología, tiene que seguir mejorándose, desarrollándose y de poder ser, combinarse con otras tecnologías para que sea más eficiente. Por otro lado, lo idóneo, sería aplicar este tipo de tecnologías, que dependen de la radiación solar, durante la época seca. Principalmente, porque es cuando más eficaz es el funcionamiento de los sistemas SODIS.

Por último, tras evaluar las aguas con las normativas, se puede decir, incluso recomendar, que las aguas tratadas tras el primer mes pueden ser consumidas por los animales, como mucho tras el segundo mes. Sin embargo, nunca se debería superar ese tiempo de dos meses, ya que la calidad del agua vuelve a empeorar. Cabe destacar, la gran diferencia de límites máximos permitidos para algunos parámetros, entre ambas normativas, siendo más exigente la normativa de EEUU

VI. RECOMENDACIONES

- En el área de estudio había más fuentes de agua, pero solo nos hemos centrado en una, la del río Calo. Sería bueno para futuras investigaciones tener en cuenta las otras fuentes.
- La tecnología desarrollada no es definitiva, por lo que se debe seguir investigando para mejorar. De poder ser, combinarla con otras tecnologías, como filtros de carbón activado o alúmina activada elaborados mediante economía circular. Con ello se mejoraría la eficacia de una manera sustentable.
- Al ver las grandes diferencias entre normativas para algunos parámetros, sería de especial interés, pedir una revisión de los ECAs.
- Presentar la tecnología a instituciones relacionadas con la ganadería, el medio ambiente y el desarrollo sustentable, tanto públicas como privadas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaraz, L., García-Díaz, I., González, L., Rabanal, M. E., Urbieto, A., Fernández, P., & López, F. A. (2019). New photocatalytic materials obtained from the recycling of alkaline and Zn/C spent batteries. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 2809–2818. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.04.020>
- Algahtani, A., & Mahmoud, E. R. I. (2019). Erosion and corrosion resistance of plasma electrolytic oxidized 6082 aluminum alloy surface at low and high temperatures. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 2699–2709. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.02.017>
- Alkhalidi, A., Arabasi, S., Othman, A. A., Sabanikh, T., Mahmood, L., & Abdelal, Q. (2021). Using Wood's glass to enhance the efficiency of a water solar disinfection (SODIS) apparatus with a Fresnel lens. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16(2), 628–634. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa096>
- Amirsoleimani, A., & Brion, G. M. (2021). Solar disinfection of turbid hygiene waters in Lexington, KY, USA. *Journal of Water and Health*, 19(4), 642–656. <https://doi.org/10.2166/WH.2021.003>
- Anderson, M. J., & Walsh, D. C. I. (2013). PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: What null hypothesis are you testing? *Ecological Monographs*, 83(4), 557–574. <https://doi.org/10.1890/12-2010.1>
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.
- Asimwe, J. K., Quilty, B., Muyanja, C. K., & McGuigan, K. G. (2013). Field comparison of solar water disinfection (SODIS) efficacy between glass and polyethylene terephthalate (PET) plastic bottles under sub-Saharan weather conditions. *Journal of Water and Health*, 11(4), 729–737. <https://doi.org/10.2166/wh.2013.197>
- Azamzam, A. A., Rafatullah, M., Yahya, E. B., Ahmad, M. I., Lalung, J., Alharthi, S., Alosaimi, A. M., & Hussein, M. A. (2021). Insights into solar disinfection enhancements for drinking water treatment applications. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su131910570>
- Baccioli, A., Antonelli, M., & Desideri, U. (2017). Dynamic modeling of a solar ORC with compound parabolic collectors : Annual production and comparison with steady-state simulation. *Energy Conversion and Management*, 148, 708–723.

- <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.025>
- Bagley, C. V., Kutuby-Amacher, J., & Farrell-Poe, K. (1997). *Analysis of water quality for livestock*. Utah State University.
- Barulin, A., Claude, J. B., Patra, S., Moreau, A., Lumeau, J., & Wenger, J. (2019). Preventing Aluminum Photocorrosion for Ultraviolet Plasmonics. *Journal of Physical Chemistry Letters*, *10*(19), 5700–5707.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.9b02137>
- Borde, P., Elmusharaf, K., Mcguigan, K. G., & Keogh, M. B. (2016). Community challenges when using large plastic bottles for Solar Energy Disinfection of Water (SODIS). *BMC Public Health*, 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3535-6>
- Braccia, A., & Voshell, J. R. (2007). Benthic macroinvertebrate responses to increasing levels of cattle grazing in blue ridge mountain streams, Virginia, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, *131*(1–3), 185–200.
<https://doi.org/10.1007/s10661-006-9467-3>
- Bragina, L., Sherlock, O., van Rossum, A. J., & Jennings, E. (2017). Cattle exclusion using fencing reduces *Escherichia coli* (E. coli) level in stream sediment reservoirs in northeast Ireland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *239*, 349–358.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.021>
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. Londres (Reino Unido): IWA Publishing.
- Bremner, K., Gordon, R. J., Powers, J., Rooney, N., & Madani, A. (2016). Partial or fully restricted cattle watering access: Water quality considerations. *Applied Engineering in Agriculture*, *32*(6), 811–821. <https://doi.org/10.13031/aea.32.11491>
- Bundschuh, J., Armienta, M. A., Morales-Simfors, N., Alam, M. A., López, D. L., Delgado Quezada, V., Dietrich, S., Schneider, J., Tapia, J., Sracek, O., Castillo, E., Marco Parra, L. M., Altamirano Espinoza, M., Guimarães Guilherme, L. R., Sosa, N. N., Niazi, N. K., Tomaszewska, B., Lizama Allende, K., Bieger, K., ... Ahmad, A. (2020). Arsenic in Latin America: New findings on source, mobilization and mobility in human environments in 20 countries based on decadal research 2010–2020. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *51*(16), 1–139.
<https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1770527>
- Byrne, J. A., Fernandez-Ibañez, P. A., Dunlop, P. S. M., Alrousan, D. M. A., & Hamilton, J. W. J. (2011). Photocatalytic enhancement for solar disinfection of water: A review. *International Journal of Photoenergy*, 2011.

<https://doi.org/10.1155/2011/798051>

- Cárdenas-Bejarano, E., Gallardo-López, F., Núñez-Espinoza, J. F., Asiain-Hoyos, A., & Rodríguez-Chessani, M. A. (2016). Redes de innovación en los grupos ganaderos de validación y transferencia de tecnología en México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, *13*(2), 237. <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i2.328>
- Carpenter, S. R., Stanley, E. H., & Vander Zanden, M. J. (2011). State of the world's freshwater ecosystems: Physical, chemical, and biological changes. *Annual Review of Environment and Resources*, *36*, 75–99. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021810-094524>
- Castro-Alfárez, M., Inmaculada Polo-López, M., Marugán, J., & Fernández-Ibáñez, P. (2018). Validation of a solar-thermal water disinfection model for *Escherichia coli* inactivation in pilot scale solar reactors and real conditions. *Chemical Engineering Journal*, *331*, 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.015>
- Chaúque, B. J. M., Benetti, A. D., Corção, G., Silva, C. E., Gonçalves, R. F., & Rott, M. B. (2021). A new continuous-flow solar water disinfection system inactivating cysts of *Acanthamoeba castellanii*, and bacteria. *Photochemical and Photobiological Sciences*, *20*(1), 123–137. <https://doi.org/10.1007/s43630-020-00008-4>
- Ciocolanti, L., Rajabi Hamedani, S., & Villarini, M. (2019). Environmental and energy assessment of a small-scale solar Organic Rankine Cycle trigeneration system based on Compound Parabolic Collectors. *Energy Conversion and Management*, *198*(May), 111829. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111829>
- Cowie, B. E., Porley, V., & Robertson, N. (2020). Solar Disinfection (SODIS) Provides a Much Underexploited Opportunity for Researchers in Photocatalytic Water Treatment (PWT). *ACS Catalysis*, *10*(20), 11779–11782. <https://doi.org/10.1021/acscatal.0c03325>
- Cuffney, T. F., Meador, M. R., Porter, S. D., & Gurtz, M. E. (2000). Responses of physical, chemical, and biological indicators of water quality to a gradient of agricultural land use in the Yakima river basin, Washington. *Environmental Monitoring and Assessment*, *64*, 259–270.
- Czech, B., Zygmunt, P., Kadirova, Z. C., Yubuta, K., & Hojamberdiev, M. (2020). Effective photocatalytic removal of selected pharmaceuticals and personal care products by elsmoreite/tungsten oxide@ZnS photocatalyst. *Journal of Environmental Management*, *270*(May).

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110870>
- De Loma, J., Vicente, M., Tirado, N., Ascui, F., Vahter, M., Gardon, J., Schlebusch, C. M., & Broberg, K. (2022). Human adaptation to arsenic in Bolivians living in the Andes. *Chemosphere*, *301*, 134764.
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134764>
- Dhehibi, B., Rudiger, U., Moyo, H. P., & Dhraief, M. Z. (2020). Agricultural technology transfer preferences of smallholder farmers in Tunisia's arid regions. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(1). <https://doi.org/10.3390/SU12010421>
- Eid, A., & Zawia, N. (2016). Consequences of lead exposure, and its emerging role as an epigenetic modifier in the aging brain. *NeuroToxicology*, *56*(2015), 254–261.
<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.04.006>
- Eid, R., Arab, N. T. T., & Greenwood, M. T. (2017). Iron mediated toxicity and programmed cell death: A review and a re-examination of existing paradigms. In *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research* (Vol. 1864, Issue 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2016.12.002>
- Elbar, A. R. A., & Hassan, H. (2020). Enhancement of hybrid solar desalination system composed of solar panel and solar still by using porous material and saline water preheating. *Solar Energy*, *204*(February), 382–394.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.058>
- Fagan, R., McCormack, D. E., Dionysiou, D. D., & Pillai, S. C. (2016). A review of solar and visible light active TiO₂ photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *42*, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.07.052>
- Ferguson, M., & Ihrie, J. (2019). *MPN: Most Probable Number and Other Microbial Enumeration Techniques*. <https://cran.r-project.org/package=MPN>
- Fernández, P., Blanco, J., Sichel, C., & Malato, S. (2005). Water disinfection by solar photocatalysis using compound parabolic collectors. *Catalysis Today*, *101*(3-4 SPEC. ISS.), 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.03.062>
- Fisher, M. B., Iriarte, M., & Nelson, K. L. (2011). Solar water disinfection (SODIS) of *Escherichia coli* , *Enterococcus* spp ., and MS2 coliphage : Effects of additives and alternative container materials. *Water Research*, *46*(6), 1745–1754.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.048>
- Gamarra-Torres, O. A., Barrera-Gurbillón, M. A., Barboza-Castillo, E., Rascon, J., Corroto, F., & Taramona-Ruiz, L. A. (2018a). Fuentes de contaminación

- estacionales en la cuenca del río Utcubamba , región Amazonas , Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179–194. <https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25111>
- Gamarra-Torres, O. A., Corroto, F., Barrera-Gurbillón, M. A., Rascón, J., & Chávez-Ortiz, J. (2018b). *Calidad ecológica del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú*. Fondo Editorial de la Univerisdad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. <https://doi.org/http://doi.org/10.5281/zenodo.3965157>
- Gar Alalm, M., Samy, M., Ookawara, S., & Ohno, T. (2018). Immobilization of S-TiO₂ on reusable aluminum plates by polysiloxane for photocatalytic degradation of 2,4-dichlorophenol in water. *Journal of Water Process Engineering*, 26(November), 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.001>
- Genç-Fuhrman, H., Mikkelsen, P. S., & Ledin, A. (2007). Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents. *Water Research*, 41(3), 591–602. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.10.024>
- Ghosh, D., Ghosh, A., & Bhadury, P. (2022). Arsenic through aquatic trophic levels: effects, transformations and biomagnification—a concise review. *Geoscience Letters*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-022-00225-y>
- Gil Pavas, E. (2002). Fotocatálisis: una alternativa viable para la eliminación de compuestos orgánicos. *Revista Universidad EAFIT*, 38(127), 59–64.
- Gligorovski, S., Strekowski, R., Barbati, S., & Vione, D. (2015). Environmental Implications of Hydroxyl Radicals (\bullet OH). *Chemical Reviews*, 115(24), 13051–13092. <https://doi.org/10.1021/cr500310b>
- Gómez-Couso, H., Fontán-Sainz, M., Fernández-Ibáñez, P., & Ares-Mazás, E. (2012). Speeding up the solar water disinfection process (SODIS) against *Cryptosporidium parvum* by using 2.5l static solar reactors fitted with compound parabolic concentrators (CPCs). *Acta Tropica*, 124(3), 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2012.08.018>
- Gray, N. F. (2008). *Drinking Water Quality: Problems and Solutions*. Cambridge University Press.
- Gutiérrez-Alfaro, S., Acevedo, A., Figueredo, M., Saladin, M., & Manzano, M. A. (2017). Accelerating the process of solar disinfection (SODIS) by using polymer bags. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 92(2), 298–304. <https://doi.org/10.1002/jctb.5005>
- HACH. (2000). *Manual de análisis de agua*. HACH COMPANY.

- Hitam, C. N. C., & Jalil, A. A. (2020). A review on exploration of Fe₂O₃ photocatalyst towards degradation of dyes and organic contaminants. *Journal of Environmental Management*, 258(January), 110050.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110050>
- INEI, (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*. <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- INEI, (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2022). *PERÚ: Proyecciones de Población Total según Departamento, Provincia y Distrito, 2018 – 2022*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1860/libro.pdf
- Inmaculada Polo-López, M., Martínez-García, A., Abeledo-Lameiro, M. J., Gómez-Couso, H. H., Ares-Mazás, E. E., Reboredo-Fernández, A., Morse, T. D., Buck, L., Lungu, K., McGuigan, K. G., & Fernández-Ibáñez, P. (2019). Microbiological evaluation of 5 L- And 20 L-transparent polypropylene buckets for solar water disinfection (SODIS). *Molecules*, 24(11).
<https://doi.org/10.3390/molecules24112193>
- Javanmard, E., Mirjalali, H., Niyiyati, M., Jalilzadeh, E., Seyed Tabaei, S. J., Asadzadeh Aghdaei, H., Nazemalhosseini-Mojarad, E., & Zali, M. R. (2018). Molecular and phylogenetic evidences of dispersion of human-infecting microsporidia to vegetable farms via irrigation with treated wastewater: One-year follow up. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(4), 642–651.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.03.007>
- Jenkins, M. B., Adams, M. P., Endale, D. M., Fisher, D. S., Lowrance, R., Newton, G. L., & Vellidis, G. (2015). Storm flow dynamics and loads of fecal bacteria associated with ponds in southern piedmont and coastal plain watersheds with animal agriculture. *Agricultural Water Management*, 148, 97–105.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.022>
- Jolliffe, I. T. (2002). Principal components analysis. In *International Encyclopedia of Education*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.01358-0>
- K'oreje, K. O., Okoth, M., Van Langenhove, H., & Demeestere, K. (2020). Occurrence and treatment of contaminants of emerging concern in the African aquatic environment: Literature review and a look ahead. *Journal of Environmental Management*, 254(October 2019), 109752.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109752>
- K'oreje, K., Okoth, M., Van Langenhove, H., & Demeestere, K. (2022). Occurrence and point-of-use treatment of contaminants of emerging concern in groundwater of the Nzoia River basin, Kenya. *Environmental Pollution*, 297, 118725. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.118725>
- Kato, R., Asami, T., Utagawa, E., Furumai, H., & Katayama, H. (2018). Pepper mild mottle virus as a process indicator at drinking water treatment plants employing coagulation-sedimentation, rapid sand filtration, ozonation, and biological activated carbon treatments in Japan. *Water Research*, 132, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.068>
- Kauffman, J. B., Krueger, W. C., & Vavra, M. (1983). Impacts of Cattle on Streambanks in Northeastern Oregon. *Journal of Range Management*, 36(6), 683. <https://doi.org/10.2307/3898184>
- Keane, D. A., McGuigan, K. G., Ibáñez, P. F., Polo-López, M. I., Byrne, J. A., Dunlop, P. S. M., O'Shea, K., Dionysiou, D. D., & Pillai, S. C. (2014). Solar photocatalysis for water disinfection: Materials and reactor design. *Catalysis Science and Technology*, 4(5), 1211–1226. <https://doi.org/10.1039/c4cy00006d>
- Keogh, M. B., Castro-Alfárez, M., Polo-López, M. I., Fernández Calderero, I., Al-Eryani, Y. A., Joseph-Titus, C., Sawant, B., Dhodapkar, R., Mathur, C., McGuigan, K. G., & Fernández-Ibáñez, P. (2015). Capability of 19-L polycarbonate plastic water cooler containers for efficient solar water disinfection (SODIS): Field case studies in India, Bahrain and Spain. *Solar Energy*, 116, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.035>
- Keogh, M. B., Elmusharaf, K., Borde, P., & Mc Guigan, K. G. (2017). Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. *Solar Energy*, 158, 448–454. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2017.10.010>
- Kim, J., Chung, Y., Shin, D., Kim, M., Lee, Y., Lim, Y., & Lee, D. (2003). Chlorination by-products in surface water treatment process. *Desalination*, 151(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00967-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00967-0)
- Kohantorabi, M., Moussavi, G., Oulego, P., & Giannakis, S. (2022). Deriving an α -Fe₂O₃/g-C₃N₄ nanocomposite from a naturally hematite-rich soil, for dual photocatalytic and photo-Fenton degradation of Acetaminophen under visible light. *Separation and Purification Technology*, 299, 121723.

<https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2022.121723>

- Lamore, Y., Beyene, A., Fekadu, S., & Megersa, M. (2018). Solar disinfection potentials of aqua lens, photovoltaic and glass bottle subsequent to plant-based coagulant: for low-cost household water treatment systems. *Applied Water Science*, 8(4), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0739-1>
- Lapointe, M., Farner, J. M., Hernandez, L. M., & Tufenkji, N. (2020). Understanding and Improving Microplastic Removal during Water Treatment: Impact of Coagulation and Flocculation. *Environmental Science and Technology*, 54(14), 8719–8727. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00712>
- Lawrie, K., Mills, A., Figueredo-Fernández, M., Gutiérrez-Alfaro, S., Manzano, M., & Saladin, M. (2015). UV dosimetry for solar water disinfection (SODIS) carried out in different plastic bottles and bags. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 208, 608–615. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.11.031>
- Laxma Reddy, P. V., Kavitha, B., Kumar Reddy, P. A., & Kim, K. H. (2017). TiO₂-based photocatalytic disinfection of microbes in aqueous media: A review. *Environmental Research*, 154(January), 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.018>
- Lee, K. M., Lai, C. W., Ngai, K. S., & Juan, J. C. (2016). Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: A review. *Water Research*, 88, 428–448. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.045>
- Lee, S. Y., & Park, S. J. (2013). TiO₂ photocatalyst for water treatment applications. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(6), 1761–1769. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.07.012>
- Leiva-Tafur, D., Goñas, M., Culqui, L., Santa Cruz, C., Rascón, J., & Oliva-Cruz, M. (2022). Spatiotemporal distribution of physicochemical parameters and toxic elements in Lake Pomacochas, Amazonas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 10(September). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.885591>
- Levchuk, I., Moreno-andrés, J., Rueda-márquez, J. J., Dzik, P., Ángel, M., Sillanpää, M., Manzano, M. A., & Vahala, R. (2019). Solar photocatalytic disinfection using ink-jet printed composite TiO₂ / SiO₂ thin films on flexible substrate: Applicability to drinking and marine water. *Solar Energy*, 191, 518–529. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.038>
- Li, Manjie, Wang, Y., Liu, Z., Sha, Y., Korshin, G. V., & Chen, Y. (2020). Metal-release potential from iron corrosion scales under stagnant and active flow, and

- varying water quality conditions. *Water Research*, 175, 115675.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115675>
- Li, Minghua, Czymmek, K. J., & Huang, C. P. (2011). Responses of *Ceriodaphnia dubia* to TiO₂ and Al₂O₃ nanoparticles: A dynamic nano-toxicity assessment of energy budget distribution. *Journal of Hazardous Materials*, 187(1–3), 502–508.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.061>
- Long, Y., You, X., Chen, Y., Hong, H., Liao, B. Q., & Lin, H. (2020). Filtration behaviors and fouling mechanisms of ultrafiltration process with polyacrylamide flocculation for water treatment. *Science of the Total Environment*, 703, 135540.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135540>
- Løvendahl, P., & Sehested, J. (2016). Short communication: Individual cow variation in urinary excretion of phosphorus. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4580–4585.
<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10338>
- Mandal, B. K., & Suzuki, K. T. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta*, 58, 201–235. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)70013-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)70013-0)
- Mansor, N. A., & Tay, K. S. (2020). Potential toxic effects of chlorination and UV/chlorination in the treatment of hydrochlorothiazide in the water. *Science of the Total Environment*, 714, 136745.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136745>
- Mapiye, O., Makombe, G., Molotsi, A., Dzama, K., & Mapiye, C. (2021). Towards a revolutionized agricultural extension system for the sustainability of smallholder livestock production in developing countries: The potential role of icts. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/su13115868>
- Martínez, N. N., Ribera, J. M., Hausmann-Muela, S., Cevallos, M., Hartinger, S. M., Christen, A., & Mäusezahl, D. (2020). The meanings of water: Socio-Cultural perceptions of solar disinfected (SODIS) drinking water in Bolivia and implications for its uptake. *Water (Switzerland)*, 12(2).
<https://doi.org/10.3390/w12020442>
- McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Mosler, H. J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E., & Fernandez-Ibañez, P. (2012). Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. *Journal of Hazardous Materials*, 235–236, 29–46.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.053>
- McLoughlin, O. A., Fernández Ibañez, P., Gernjak, W., Malato Rodríguez, S., & Gill, L. W. (2004). Photocatalytic disinfection of water using low cost compound

- parabolic collectors. *Solar Energy*, 77(5), 625–633.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.05.017>
- Medeiros, R. C., de, N., Freitas, B. L. S., Sabogal-Paz, L. P., Hoffmann, M. T., Davis, J., Fernandez-Ibañez, P., & Byrne, J. A. (2020). Drinking water treatment by multistage filtration on a household scale: Efficiency and challenges. *Water Research*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115816>
- Meierhofer, R., & Landolt, G. (2009). Factors supporting the sustained use of solar water disinfection - Experiences from a global promotion and dissemination programme. *Desalination*, 248(1–3), 144–151.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.050>
- Miclean, M., Cadar, O., Levei, E. A., Roman, R., Ozunu, A., & Levei, L. (2019). Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) transfer along food chain and health risk assessment through raw milk consumption from free-range cows. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 5–7.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16214064>
- Miller, J., Chanasyk, D., Curtis, T., Entz, T., & Willms, W. (2010). Influence of streambank fencing with a cattle crossing on riparian health and water quality of the Lower Little Bow River in Southern Alberta, Canada. *Agricultural Water Management*, 97(2), 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.09.016>
- MINAM, (Ministerio del Ambiente). (2017). *D.S. N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen disposiciones complementarias*. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Mir, R. A., Schaut, R. G., Allen, H. K., Looft, T., Loving, C. L., Kudva, I. T., & Sharma, V. K. (2019). Cattle intestinal microbiota shifts following *Escherichia coli* O157:H7 vaccination and colonization. *PLOS ONE*, 14(12), e0226099.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226099>
- Mohammed Abdul, K. S., Jayasinghe, S. S., Chandana, E. P. S., Jayasumana, C., & De Silva, P. M. C. S. (2015). Arsenic and human health effects: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(3), 828–846.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.016>
- Mohapatra, M., Anand, S., Mishra, B. K., Giles, D. E., & Singh, P. (2009). Review of fluoride removal from drinking water. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.015>

- Mortazavi, S. M., & Maleki, A. (2020). A review of solar compound parabolic collectors in water desalination systems. *International Journal of Modelling and Simulation*, 40(5), 339–354. <https://doi.org/10.1080/02286203.2019.1626539>
- Muenz, T. K., Golladay, S. W., Vellidis, G., & Smith, L. L. (2006). Stream Buffer Effectiveness in an Agriculturally Influenced Area, Southwestern Georgia. *Journal of Environmental Quality*, 35(5), 1924–1938. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0456>
- Nalwanga, R., Muyanja, C. K., McGuigan, K. G., & Quilty, B. (2018). A study of the bacteriological quality of roof-harvested rainwater and an evaluation of SODIS as a suitable treatment technology in rural Sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3648–3655. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2016.12.008>
- Neill, A. J., Tetzlaff, D., Strachan, N. J. C., Hough, R. L., Avery, L. M., Watson, H., & Soulsby, C. (2018). Using spatial-stream-network models and long-term data to understand and predict dynamics of faecal contamination in a mixed land-use catchment. *Science of the Total Environment*, 612, 840–852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.151>
- Niva, V., Cai, J., Taka, M., Kummu, M., & Varis, O. (2020). China’s sustainable water-energy-food nexus by 2030: Impacts of urbanization on sectoral water demand. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119755. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119755>
- O’Callaghan, P., Kelly-Quinn, M., Jennings, E., Antunes, P., O’Sullivan, M., Fenton, O., & hUallacháin, D. Ó. (2019). The Environmental Impact of Cattle Access to Watercourses: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 48(2), 340–351. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.04.0167>
- Oliva, M., Oliva, C., Rojas, D., Oliva, M., & Morales, A. (2015). Identificación botánica de especies nativas de pastos más importantes de las cuencas lecheras de Molinopampa , Pomacochas y Leymebamba , Amazonas , Perú. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 125–129. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.05>
- Ouyang, Y., Bai, L., Tian, H., Li, X., & Yuan, F. (2022). Recent progress of thermal conductive ploymer composites: Al₂O₃ fillers, properties and applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 152(July 2021), 106685. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106685>
- Pannucharoenwong, N., Rattanadecho, P., Echaroj, S., Hemathulin, S., & Nabudda, K. (2020). The investigation of heat absorber on the efficiency of slanted double-slope

- solar distillation unit. *International Journal of Heat and Technology*, 38(1), 171–179. <https://doi.org/10.18280/ijht.380119>
- Paternina-Pedroza, H., Linares-Morales, J., & Hernandez-Ayala, K. (2019). Transferencia de tecnología y conocimiento en el sector exportador de bovinos. In *IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria* (Vol. 4, Issue 1, pp. 10–20). <https://doi.org/10.25214/27114406.936>
- Pérez, M., Torrades, F., Domènech, X., & Peral, J. (2002). Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents. *Water Research*, 36(11), 2703–2710. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00506-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00506-1)
- Pfost, D. L., Fulhage, C. D., & Casteel, S. (2020). *Water quality for livestock drinking*. University of Missouri.
- Pham, T. D., Do, T. T., Ha, V. L., Doan, T. H. Y., Nguyen, T. A. H., Mai, T. D., Kobayashi, M., & Adachi, Y. (2017). Adsorptive removal of ammonium ion from aqueous solution using surfactant-modified alumina. *Environmental Chemistry*, 14(5), 327–337. <https://doi.org/10.1071/EN17102>
- Pichel, N., Vivar, M., & Fuentes, M. (2019). The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. In *Chemosphere* (Vol. 218, pp. 1014–1030). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.205>
- Porley, V., Chatzisyneon, E., Meikap, B. C., Ghosal, S., & Robertson, N. (2020). Field testing of low-cost titania-based photocatalysts for enhanced solar disinfection (SODIS) in rural India. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 6(3), 809–816. <https://doi.org/10.1039/c9ew01023h>
- Postila, H., Heiderscheidt, E., & Leiviskä, T. (2019). Removal of metals from mine drainage waters by in situ mineral sorbent-based pilot filter systems. *Journal of Environmental Management*, 236(January), 631–638. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.115>
- Qian, Y., Hu, Y., Chen, Y., An, D., Westerhoff, P., Hanigan, D., & Chu, W. (2020). Haloacetonitriles and haloacetamides precursors in filter backwash and sedimentation sludge water during drinking water treatment. *Water Research*, 186, 116346. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116346>
- R Development Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <http://www.r-project.org>
- Rahmani, A., Mousavi, H. Z., & Fazli, M. (2010). Effect of nanostructure alumina on

- adsorption of heavy metals. *Desalination*, 253(1–3), 94–100.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.11.027>
- Ramalingam, S., & Subramania, A. (2021). Effective removal of nitrates from the drinking water by chemical and electrochemical methods. *Engineered Science*, 15(3), 80–88. <https://doi.org/10.30919/es8d456>
- Ramírez Barco, J. M. (2010). *Uso actual de la tierra*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Rascón, J., Angeles, W. G., Oliva, M., Quiñones, L., & Barrena Gurbillón, M. Á. (2020). Determinación de las épocas lluviosas y secas en la ciudad de Chachapoyas para el periodo de 2014-2018. *Revista de Climatología*, 20, 15–28.
- Rascón, J., Corroto, F., Leiva-Tafur, D., & Gamarra Torres, O. A. (2021b). Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical al norte de Perú. *Ecología Austral*, 31(2), 343–356. <https://doi.org/10.25260/ea.21.31.2.0.1200>
- Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrena Gurbillón, M. Á. (2021a). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 9(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>
- Rascón, J., Leiva-Tafur, D., Rojas Castañeda, M. E., & López Lapa, R. M. (2022). Variabilidad espaciotemporal de la calidad microbiológica en dos cuencas ganaderas del Nor Oriente peruano. *XLVI Congreso Nacional de Infectología y Microbiología Clínica*.
- Rehman, A. U., Nazir, S., Irshad, R., Tahir, K., ur Rehman, K., Islam, R. U., & Wahab, Z. (2021). Toxicity of heavy metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 321, 114455. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2020.114455>
- Rencher, A. C. (2012). Methods of Multivariate Analysis. In *Methods of Multivariate Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471271357>
- Riaz, A., Ashraf, A., Taimoor, H., Javed, S., Akram, M. A., Islam, M., Mujahid, M., Ahmad, I., & Saeed, K. (2019). Photocatalytic and photostability behavior of agand/ or Al-doped ZnO films in methylene blue and rhodamine B under UV-C irradiation. *Coatings*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/COATINGS9030202>
- Robotjazi, H., Weinberg, D., Swearer, D. F., Jacobson, C., Zhang, M., Tian, S., Zhou, L., Nordlander, P., & Halas, N. J. (2019). Metal-organic frameworks tailor the properties of aluminum nanocrystals. *Science Advances*, 5(2), 1–11.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.aav5340>

- Roshith, M., Pathak, A., Nanda Kumar, A. K., Anantharaj, G., Saranyan, V., Ramasubramanian, S., Satheesh Babu, T. G., & Ravi Kumar, D. V. (2021). Continuous flow solar photocatalytic disinfection of *E. coli* using red phosphorus immobilized capillaries as optofluidic reactors. *Applied Surface Science*, 540(P2), 148398. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.148398>
- Santana, I. L. da S., Barbosa, A. A., Silva, M. G., Aquino, R. V. S. de, Neves, N. S. da C. S., Silva, J. P. da, Ferreira, I. H. dos R., & Rocha, O. R. S. da. (2019). Titanium dioxide immobilization in recycled aluminum net for degradation of textile dye by Heterogeneous Photocatalysis through neural networks. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 23, 27. <https://doi.org/10.5902/2236117037718>
- Santos Yabe, M. J., & de Oliveira, E. (2003). Heavy metals removal in industrial effluents by sequential adsorbent treatment. *Advances in Environmental Research*, 7(2), 263–272. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(01\)00128-9](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(01)00128-9)
- Sarriquet, P. E., Delettre, Y. R., & Marmonier, P. (2006). Effects of catchment disturbance on stream invertebrates: Comparison of different habitats (vegetation, benthic and interstitial) using bio-ecological groups. *Annales de Limnologie*, 42(4), 205–219. <https://doi.org/10.1051/limn/2006022>
- Schmid, P., Kohler, M., Meierhofer, R., Luzi, S., & Wegelin, M. (2008). Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water? *Water Research*, 42(20), 5054–5060. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.09.025>
- Scrimgeour, G. J., & Kendall, S. (2003). Effects of livestock grazing on benthic invertebrates from a native grassland ecosystem. *Freshwater Biology*, 48(2), 347–362. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.00978.x>
- SENAMHI, (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). (2022). *Datos Hidrometeorológicos en Amazonas*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=amazonas&p=estaciones>
- Sichewo, P. R., Vander Kelen, C., Thys, S., & Michel, A. L. (2020). Risk practices for bovine tuberculosis transmission to cattle and livestock farming communities living at wildlife-livestock-human interface in northern kwazulu natal, south africa. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 14(3), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007618>

- Skrovan, J., Alfantazi, A., & Troczynski, T. (2010). The Role of Alumina in Aluminum Corrosion and Passivation. *ECS Meeting Abstracts, MA2010-01(16)*, 892–892. <https://doi.org/10.1149/ma2010-01/16/892>
- Sovell, L. A., Vondracek, B., Frost, J. A., & Mumford, K. G. (2000). Impacts of rotational grazing and riparian buffers on physicochemical and biological characteristics of Southeastern Minnesota, USA, streams. *Environmental Management*, 26(6), 629–641. <https://doi.org/10.1007/s002670010121>
- Spark, K. M., Johnson, B. B., & Wells, J. D. (1995). Characterizing heavy-metal adsorption on oxides and oxyhydroxides. *European Journal of Soil Science*, 46(4), 621–631. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01358.x>
- Spuhler, D., Andrés Rengifo-Herrera, J., & Pulgarin, C. (2010). The effect of Fe²⁺, Fe³⁺, H₂O₂ and the photo-Fenton reagent at near neutral pH on the solar disinfection (SODIS) at low temperatures of water containing Escherichia coli K12. *Applied Catalysis B: Environmental*, 96(1–2), 126–141. <https://doi.org/10.1016/J.APCATB.2010.02.010>
- Sreeja, S., & Shetty, V. (2017). Photocatalytic water disinfection under solar irradiation by Ag@TiO₂ core-shell structured nanoparticles. *Solar Energy*, 157, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.057>
- Strauss, A., Reyneke, B., Waso, M., & Khan, W. (2018). Compound parabolic collector solar disinfection system for the treatment of harvested rainwater. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 4(7), 976–991. <https://doi.org/10.1039/c8ew00152a>
- Su, Z., Gu, S., & Vafai, K. (2017). Modeling and simulation of ray tracing for compound parabolic thermal solar collector. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 87, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.06.021>
- Tanveer, M., & Tezcanli Guyer, G. (2013). Solar assisted photo degradation of wastewater by compound parabolic collectors: Review of design and operational parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 534–543. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.053>
- Terry, J. A., McWh. Benskin, C., Eastoe, E. F., & Haygarth, P. M. (2014). Temporal dynamics between cattle in-stream presence and suspended solids in a headwater catchment. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 16(7), 1570–1577. <https://doi.org/10.1039/c3em00686g>

- Tian, M., Su, Y., Zheng, H., Pei, G., & Li, G. (2018). A review on the recent research progress in the compound parabolic concentrator (CPC) for solar energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1272–1296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.050>
- Trimble, S. W., & Mendel, A. C. (1995). The cow as a geomorphic agent — A critical review. *Biogeomorphology, Terrestrial and Freshwater Systems*, 13, 233–253. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81867-6.50019-8>
- Ubomba-Jaswa, E., Fernández-Ibáñez, P., Navntoft, C., Inmaculada Polo-López, M., & McGuigana, K. G. (2010). Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 L batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for household use. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85(8), 1028–1037. <https://doi.org/10.1002/jctb.2398>
- Vasconcelos Neto, M. C. de, Silva, T. B. C., Araújo, V. E. de, & Souza, S. V. C. de. (2019). Lead contamination in food consumed and produced in Brazil: Systematic review and meta-analysis. In *Food Research International* (Vol. 126). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108671>
- Vidon, P., Campbell, M. A., & Gray, M. (2008). Unrestricted cattle access to streams and water quality in till landscape of the Midwest. *Agricultural Water Management*, 95(3), 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.10.017>
- Vorontsov, A. V. (2019). Advancing Fenton and photo-Fenton water treatment through the catalyst design. *Journal of Hazardous Materials*, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.033>
- Westall, F., & Brack, A. (2018). The Importance of Water for Life. *Space Science Reviews*, 214(2), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0476-7>
- Wilson, J. L., & Everard, M. (2018). Real-time consequences of riparian cattle trampling for mobilization of sediment, nutrients and bacteria in a British lowland river. *International Journal of River Basin Management*, 16(2), 231–244. <https://doi.org/10.1080/15715124.2017.1402778>
- Wong, S. W. Y., Leung, P. T. Y., Djurišić, A. B., & Leung, K. M. Y. (2010). Toxicities of nano zinc oxide to five marine organisms: Influences of aggregate size and ion solubility. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 396(2), 609–618. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-3249-z>
- Xu, D., & Qu, M. (2013). Compound parabolic concentrators in solar thermal applications: A review. *ASME 2013 7th Int. Conf. on Energy Sustainability*

- Collocated with the ASME 2013 Heat Transfer Summer Conf. and the ASME 2013 11th Int. Conf. on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, ES 2013*, 1–10.
<https://doi.org/10.1115/ES2013-18409>
- Xu, J., Shan, Y., Sun, X., Xu, J., Yin, H., Wang, L., & Wang, W. (2018). Highly photocatalytic activity of porous skeleton structure AlON powder synthesized by CRN under ultraviolet-light irradiation. *Molecular Catalysis*, 457(July), 17–23.
<https://doi.org/10.1016/j.mcat.2018.07.012>
- Yuan, G., Wang, Z., Li, H., & Li, X. (2011). Experimental study of a solar desalination system based on humidification-dehumidification process. *Desalination*, 277(1–3), 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.002>
- Zaimes, G. N., & Schultz, R. C. (2011). Stream bed substrate composition adjacent to different riparian land-uses in Iowa, USA. *Ecological Engineering*, 37(11), 1692–1699. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.029>
- Zhang, C., Li, Y., Shuai, D., Shen, Y., & Wang, D. (2019). Progress and challenges in photocatalytic disinfection of waterborne Viruses: A review to fill current knowledge gaps. *Chemical Engineering Journal*, 355(August 2018), 399–415.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.158>
- Zhang, T., Xu, M., & Li, J. (2021). Enhanced photocatalysis of TiO₂ by aluminum plasmonic. *Catalysis Today*, 376(February 2020), 162–167.
<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.06.044>
- Zhang, Y., Sivakumar, M., Yang, S., Enever, K., & Ramezani-pour, M. (2018). Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Desalination*, 428(November 2017), 116–145. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.020>
- Zhang, Z., Liu, F., Han, E. H., Xu, L., & Uzoma, P. C. (2019). Effects of Al₂O₃ on the microstructures and corrosion behavior of low-pressure cold gas sprayed Al 2024-Al₂O₃ composite coatings on AA 2024-T3 substrate. *Surface and Coatings Technology*, 370(September 2018), 53–68.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.082>

Área total.....
Con pasto natural.....
Con pasto cultivado.....
Para uso agrícola.....
Bosque natural.....
Sistema silvopastoril.....

12. Tierras dedicadas al pastoreo (Extensión en Ha)

13. ¿Con cuántas cabezas de ganado cuenta? Y que otros animales cría conjuntamente

14. ¿Cuántos litros de leche produce al día?

15. ¿Cuántas cabezas mueren por año? Indicar las causas más frecuente

16. ¿Cuántas cabezas nacen al año?

17. ¿Lava la ubre antes del ordeño? Indicar que materiales usa

18. ¿Cuánto es el precio del animal en pie?

19. ¿Con que tipo de agua cuenta su predio?

Quebrada () Pozo () Río () Otro:

20. ¿Cómo llega el agua?

Canales y acequias () Entubado () Contacto directo () Otro:

21. ¿Con cuántos puntos de acceso a la fuente de agua cuenta?

22. ¿Cuántas veces suministra agua al día?

23. ¿Cómo mantiene a sus animales?

Libre pastoreo () Encierro parcial () Corral de manejo ()

24. ¿Práctica la ganadería asociada a la agricultura? Indicar los cultivos

Sí () No ()

25. ¿Qué sistema de pastoreo emplea?

Rotacional () Estaca () Extensivo () Cerco eléctrico ()

26. ¿Con que pastos alimenta al ganado?

Pastos naturales () Cultivados ()

27. ¿Qué tipo de fertilizantes utiliza para el cultivo de pastos? (Nombre/Cantidad/Frecuencia)

28. ¿Qué otro tipo de alimentos incluye en la dieta del ganado? (Nombre/Cantidad/Frecuencia)

- 29. ¿Es completado con concentrados elaborados?**
 Si () No ()
- 30. ¿Proporciona sales minerales y vitaminas al ganado? (Nombre/Cantidad/Frecuencia)**
- 31. ¿Cuáles son los síntomas más comunes que presenta su ganado? (Nombre/Medicamento/Modo de administración/Finalidad/Frecuencia/Época)**
- 32. ¿Cómo cree usted que se contagia los ganados las enfermedades?**
 Agua () Aire () Alimentos () Pasto () Otros:
- 33. ¿Por qué vía contrae enfermedades?**
 Piel () Olfato () Otros:
- 34. ¿Qué hace con los residuos de los medicamentos?**
 Quema () Entierra () Abandono en el predio () Boto al agua () Otros:
- 35. ¿Cuenta con calendario sanitario para desparasitación?**
 Frecuencia..... Nombre del medicamento.....
- 36. ¿Existe división de potreros?**
 Cercos vivos () Alambre () Cerco eléctrico () Otros:
- 37. ¿Qué especies vegetales utiliza como cercos?**
- 38. ¿Ha escuchado sobre temas de prevención y mitigación de la contaminación? ¿Cuáles?**
 Si () Defina.....
 No ()

Anexo 2. Planos de los sistemas SODIS instalados

Figura 1

Destilador pequeño

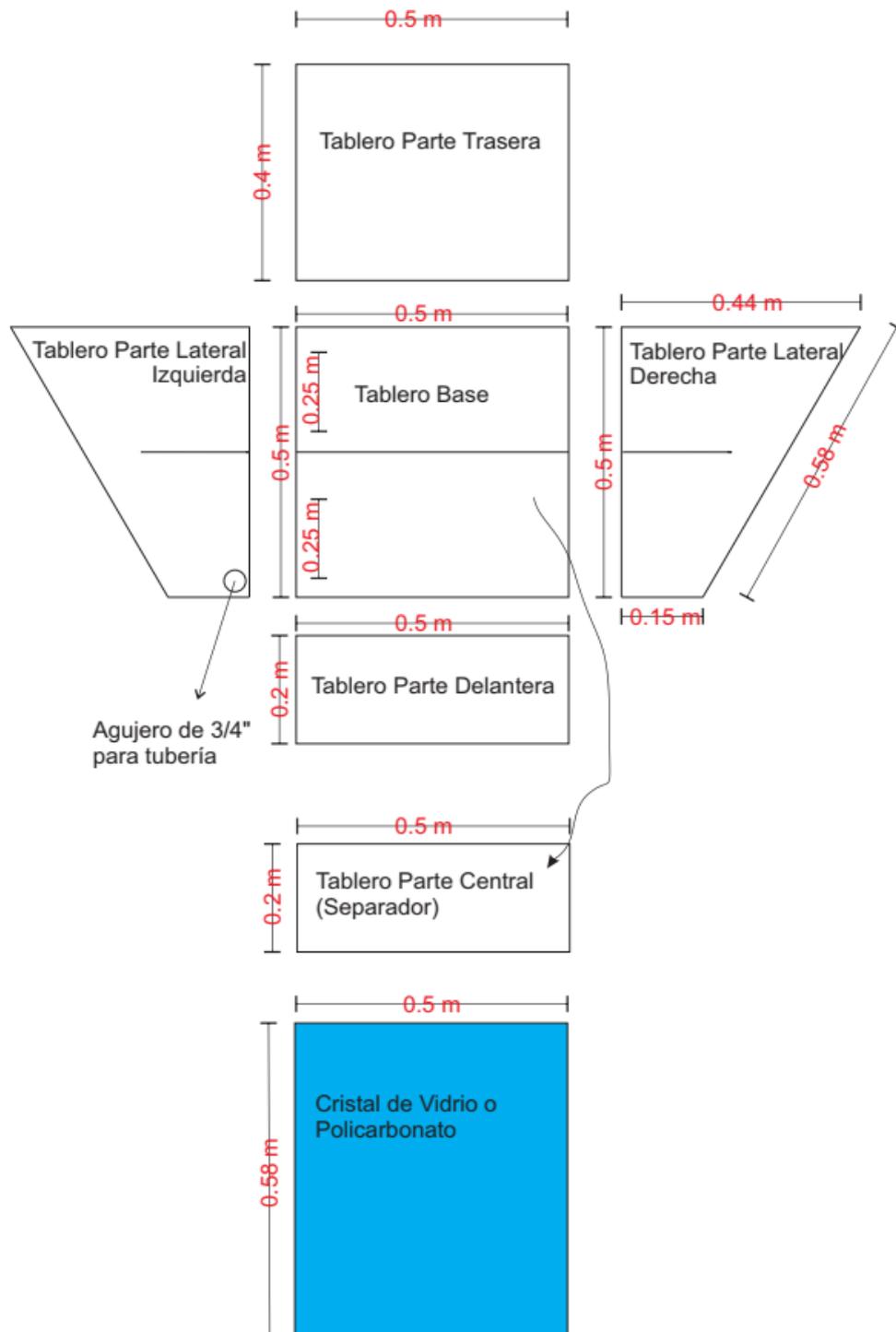


Figura 2

Destilador grande

