

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL COMPARATIVA DE REMOCIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA DEL SISTEMA ACUAPÓNICO A ESCALA PILOTO Y VERTIMIENTOS DE
SISTEMAS ACUÍCOLAS TRADICIONALES (META)



WENDY VANESSA RUIZ PALACIOS
JUAN FELIPE GUAYARA ACHURY



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL COMPARATIVA DE REMOCIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA DEL SISTEMA ACUAPÓNICO A ESCALA PILOTO Y VERTIMIENTOS DE
SISTEMAS ACUÍCOLAS TRADICIONALES (META)

WENDY VANESSA RUIZ PALACIOS
JUAN FELIPE GUAYARA ACHURY

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director (a)
JUDITH TERESA MEJÍA LOZANO
Ingeniería Ambiental-Especialista en derecho del medio ambiente

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CESPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad de Ingeniería Ambiental

JUDITH TERESA MEJIA LOZANO

Director Trabajo de Grado

HENRY CONTRERAS LEÓN

Jurado

Villavicencio, enero 2020

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto:

Primordialmente a Dios por ser la base de nuestro
camino y el forjador de nuestras vidas como
fuerza para cumplir nuestras metas.

A nuestras madres Soraya Palacios y Melina Achury por el soporte
incondicional ofrecido durante la elaboración de la temática.

Agradecimientos

Gracias a nuestra directora de proyecto Judith Teresa Mejía, quien estuvo pendiente de guiarnos en la dirección correcta para que el tema se pudiera desarrollar de la manera adecuada, que dedicó tiempo para el acompañamiento y desarrollo de nuestras diferentes actividades avanzadas en el proyecto, demostrando su experiencia y buena voluntad.

A nuestra profesora María Alexandra Méndez, quién depositó confianza e interés por el desarrollo del proyecto a escala piloto en la universidad y que siempre estuvo realizando su acompañamiento y brindando opiniones positivas, aportando su conocimiento para que el trabajo fuera coherente, unificado y pertinente a nuestra vocación.

Finalmente, a cada uno de las personas que forman parte del cuerpo docente de la Universidad Santo Tomás, por creer en nosotros y dedicar tiempo, asesorías para llevar acabo el desarrollo del proyecto de manera óptima, siendo un factor agregado con su participación de forma activa para lograr obtener los resultados pertinentes en la investigación.

Contenido

1. Resumen	14
Abstract	15
2. Introducción.....	16
3. Planteamiento del problema.....	17
3.1 Descripción del problema	17
3.2 Formulación del problema.....	18
3.3 Hipótesis	18
4. Objetivos	19
4.1 Objetivo general.....	19
4.2 Objetivos específicos.....	19
5. Justificación	20
6. Alcance	21
6.1 Descripción del área de estudio.	22
7. Antecedentes	23
8. Marco referencial	26
8.1 Marco teórico	26
8.2 Marco Legal	27
8.3 Marco de referencia.....	29
8.3.1 Calidad de agua.	30
9. Metodología.....	31
9.1 Área de estudio.....	31
9.2 Temporalidad del estudio.	31
9.3 Fase 1: Diseño y montaje piloto del sistema acuapónico y adecuación del sitio.	32
9.4 Fase 2: Toma de parámetros físico químicos y microbiológicos.	35
9.4.1 Color aparente	36
9.4.2 Color real.....	36
9.4.3 Demanda biológica de oxígeno	37
9.4.4 Demanda química de oxígeno	37
9.4.5 Fósforo total	37

9.4.6	Nitratos	37
9.4.7	Nitritos.....	38
9.4.8	Nitrógeno Amoniacal.	38
9.5	Fase 3: Análisis estadístico.....	38
9.5.1	Carga contaminante	39
9.5.2	Porcentaje de remoción	39
9.5.3	Comparación de análisis prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional.....	39
9.5.4	Comparación de análisis microbiológico prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional.....	39
9.6.	Método divulgación	39
10	Resultados	40
10.4	Análisis estadístico de las variables.....	48
10.4.1	Correlación de datos.....	48
10.5	Comparación de resultados del sistema acuapónico con resultados de sistema piscícola tradicional.....	51
10.5.1	Carga Contaminante	52
10.5.2	Porcentaje de Remoción.....	53
10.6	Comparación de análisis prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional	55
10.7	Comparación de análisis microbiológico prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional.....	57
10.8	Resultados De Divulgación	58
11	Divulgación de los resultados	59
12	Recomendaciones	61
13	Limitantes	62
14	Conclusiones	63
15	Referencias bibliográficas.....	65
16	Anexos.	67

Índice de Anexos

Anexo 1. Reporte de resultados Laboratorio TecnoAmbiental s.a.s	67
Anexo 2. Certificados de orientadores en las jornadas de inmersión para la Institución Educativa Juan B. Caballero Molina para el primer periodo de 2019.	68
Anexo 3. Aceptación de participación en Congreso Internacional De Acuapónia, realizado en la Universidad Militar Nueva Granada	70
Anexo 4. Link de Congreso Internacional De Acuapónia, Universidad Militar Nueva Granada (https://www.youtube.com/watch?v=dtS33e4IERQ&feature=youtu.be) (hora 3)	70
Anexo 5. Figuras del prototipo a escala piloto en la Universidad Santo Tomas.....	70
Anexo 6. Figuras de participación en el Congreso Internacional de Acuapónia.....	71
Anexo 7. Carta por parte de SERVI-AQUA COLOMBIA.....	71
Anexo 8. Certificado de Ponencia, “CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPÓNIA”.	72

Índice de Graficas

Grafica 1 Comportamiento de la Temperatura en el sumidero	41
Grafica 2. Comportamiento del pH en el sumidero.....	41
Grafica 3. Comportamiento de la conductividad en el sumidero	42
Grafica 4. Comportamiento del O ₂ en el sumidero.....	43
Grafica 5. Comportamiento de Solidos disueltos totales en el sumidero	43
Grafica 6. Comportamiento de Solidos suspendidos en el sumidero	44
Grafica 7. Comportamiento de turbiedad en el sumidero.....	44
Grafica 8. Comportamiento del D.B.O. en el sumidero	45
Grafica 9. Comportamiento de D.Q.O. en el sumidero	45
Grafica 10. Comportamiento de Fosforo Total en el sumidero	46
Grafica 11. Comportamiento de Nitratos en el sumidero.....	46
Grafica 12. Comportamiento de Nitritos en el sumidero	47
Grafica 13. Comportamiento del Color Real en el sumidero	48
Grafica 14. Comparación de resultados.....	56
Grafica 15. Comparativo Microbiológico.	58

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Esquema del sistema Acuapónico	34
Ilustración 2. Degustaciones de resultados sistema acuapónico sabores sostenibles	59

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de prototipo sistema acuapónico a estala piloto, Universidad Santo Tomás campus Aguas Claras y vertimientos de la piscícola el Manantial, Restrepo Meta.....	21
---	----

Índice de Tablas

Tabla 1. Legislación ambiental vigente, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2018.....	28
Tabla 2 Metodología parámetros analizados en laboratorio, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.....	36
Tabla 3 Resultados de datos en el prototipo Acuapónico Por Wendy Ruiz & Juan Guayara – TecnoAmbiental S.A, 2019.....	40
Tabla 5. Resultados obtenidos en el sistema y en el punto de vertimiento en la piscícola el Manantial, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.....	52
Tabla 6. Carga Contaminante (kg/día), Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.	53
Tabla 7. Porcentaje de Remoción, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.....	54
Tabla 8. Resultados Microbiológicos – Comparativo, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.	57

1. Resumen

La acuaponía como técnica innovadora pretende el ahorro del recurso hídrico y cuidado del medio ambiente junto a elevar el porcentaje de seguridad alimentaria por medio del reusó del agua y la obtención de alimento de manera orgánica, mucho más saludable.

En la actualidad y por medio de experiencias propias se observa la falta de compromiso ambiental por parte de algunas empresas piscícolas, afectando negativamente y yendo en detrimento de la sostenibilidad del recurso, aún más, teniendo en cuenta que, a nivel nacional, el departamento del Meta ocupa una posición relevante en este campo productivo.

Por tal motivo, se acude a la búsqueda de técnicas innovadoras que permitan el desarrollo del sistema productivo piscícola y acuícola. Por lo anterior, a través del proyecto se diseñó y evaluó, el sistema acuapónico como opción sustentable de crianza, producción de peces y alimentos con desarrollo orgánico, el cual consta de tres fases, denominadas, como fase I constó del diseño y montaje piloto del sistema acuapónico junto a la adecuación del sitio, fase II constó en la toma de parámetros físico-químicos y microbiológicos y fase III se planteó el análisis estadístico de los resultados. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de Nitritos, Nitratos, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) de un prototipo a escala piloto del sistema cerrado acuapónico, ubicado en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, frente a los vertimientos de un proceso acuícola tradicional, sembrados con Tilapia Roja (*Oreochromis* sp.) De la piscícola El Manantial, Restrepo-Meta, durante un periodo de seis meses. Demostrando así que es una técnica opcional que reduce notablemente la contaminación al medio ambiente y además apunta al cumplimiento de cuatro (4) objetivos del desarrollo sostenible que permita la obtención de datos de estudio y análisis estadísticos comparativos de estos dos sistemas en uno de los departamentos líder en la actividad piscícola, esperando así generar un material que sirva como herramienta de divulgación para que los productores pesqueros se enteren y vean la factibilidad de este sistema productivo frente a las actividades que vienen realizando comúnmente.

Palabras Claves: Materia orgánica, remoción, acuaponía, piscícola, vertimientos, desarrollo sostenible.

Abstract

Aquaponics as an innovative technique aims to save water resources and care for the environment along with raising the percentage of food security through the reuse of water and obtaining food in an organic way, much healthier.

At present, and through our own experiences, there is a lack of environmental commitment by some fish companies, negatively affecting and detrimental to the sustainability of the resource, even more, taking into account that, at the national level, the department of Meta occupies a relevant position in this productive field.

For this reason, the search for innovative techniques that allow the development of the fish and aquaculture production system is sought. Therefore, through the project, the aquaponic system was designed and evaluated as a sustainable option of breeding, production of fish and food with organic development, which consists of three phases, called, as phase I consisted of the design and pilot assembly of the Aquaponic system together with the adequacy of the site, phase II consisted in the taking of physical-chemical and microbiological parameters and phase III the statistical analysis of the results was proposed. The purpose of this work is to evaluate the removal efficiency of Nitrites, Nitrates, BOD, COD and OSH of a pilot scale prototype of the aquaponic closed system, located on the Aguas Claras campus of the Santo Tomás University, against the spills of a Traditional aquaculture process, planted with red Tilapia (*Oreochromis* sp.) from the El Manantial fish farm, Restrepo-Meta, for a period of six months. Thus demonstrating that it is an optional technique that significantly reduces pollution to the environment and also aims to meet four (4) objectives of sustainable development that allows obtaining study data and comparative statistical analysis of these two systems in one of the departments leader in the fish farming activity, expecting in general a material that serves as a dissemination tool for fishery producers to find out and see the feasibility of this productive system against the activities that they have been carrying out.

Keywords: Organic matter, removal, aquaponics, fish farming, dumping, sustainable development.

2. Introducción

Las técnicas productivas que innovan y son sustentables para el medio ambiente en relación al desarrollo, toman fuerza día a día siendo uno de los intereses relevantes de la presente propuesta, ser divulgador técnico de las misma, buscando que el gremio piscícola promueva el mantenimiento de técnicas convencionales para la acuicultura o piscicultura de la población Metense con respecto a la apertura a nuevas formas de manejar los recursos teniendo una producción que iguala a técnicas convencionales de la acuicultura o piscicultura.

Es por eso que se organizan esfuerzos en investigación y desarrollo para la comprobación real y estadística de estas dos técnicas, junto a la divulgación de resultados para visualizar una panorámica diferente en el futuro de la región y quizás de un país rico en zonas pesqueras y que es motor de dinamización económica del país.

La comprobación científica y estadística da el peso suficiente para la validación de los resultados de la comparación de la acuicultura como técnica tradicional y la acuaponía como técnica sustentable o biotécnica que de manera directa ~~nos~~ ayuda a la conservación de los recursos naturales y promueve el crecimiento económico de un hogar, una región y un país.

Desafortunadamente el desconocimiento de las temáticas relacionadas al daño que se genera por parte de las piscícolas a los recursos naturales y la falta de conciencia y apropiación de la parte ambiental es percibido como innecesarias o poco útiles, que además requieren de un gasto exagerando, ignorando el beneficio a largo plazo y la sostenibilidad del mismo.

3. Planteamiento del problema

3.1 Descripción del problema

El aumento exponencial de la población y el uso indiscriminado de los recursos en Colombia ha ocasionado impactos socio-ambientales y económicos como la modificación del comportamiento climatológico, afectación en la disponibilidad del recurso hídrico, pérdida de hábitats, sistemas naturales y la provisión de servicios eco sistémicos como el abastecimiento de alimentos y la producción agrícola (Rumiz, Canedo, Alarcón, Anivarro, & Vides, 2015); acrecentando la vulnerabilidad de la seguridad alimentaria en las poblaciones, especialmente las rurales; motivo por el cual las actividades piscícolas han tomado un rol importante en la economía del país, satisfaciendo la falta de alimentos y la obtención de recursos económicos, mejorando la calidad de vida (Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], S.f).

Este sistema productivo destaca por la elevada rentabilidad, a pesar de que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) afirmó que el desarrollo de la piscicultura; trae como consecuencia la polución acuática dada las altas cargas orgánicas generadas y aseveró que son escasos los estudios realizados en ese contexto (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018). Respecto a lo anterior, los impactos ambientales relacionados a este prácticas se vinculan directamente con las actividades más comunes realizadas: el uso de alimento natural y formulado, el número de recambios periódicos de agua, la desinfección y lavado de estanques de producción y la cosecha; actividades en las que se emplean compuestos químicos que generan impacto negativo directo en el agua, suelo y vegetación del área del cultivo (Espinosa & Bermúdez, 2012). En relación a lo anterior los efectos asociados son el aumento de la cantidad de nitrógeno (N) y fósforo (P) de los sistemas acuáticos, disminución del oxígeno disponible, generando eutrofización, estimulando la aparición de algunos organismos y la ausencia de otros, y alterando los ecosistemas acuáticos, en los procesos de acuicultura (Rabassó, 2006). Así, otros estudios realizados en piscifactorías a gran escala, evidencian que el incremento de la demanda de oxígeno y en la producción de sedimentos anóxicos, alteraciones en la biodiversidad y desarrollo de especies resistentes a la contaminación, son impactos significativos que se pueden

detectar alrededor de las jaulas de cultivo; presentándose mayormente en el fondo (Bald, Solaun, & Borja, 2009).

En un ámbito regional, Villavicencio cuenta con un número aproximado de 452.472 según la alcaldía de Villavicencio y sus registros en el DANE (DANE, 2018) presenta muy poca producción acuícola, ya que ésta se encuentra situada mayormente en municipios aledaños; pues, según el estudio realizado por Montoya en el 2018, existen 550 hectáreas destinadas a producción piscícola (Montoya, 2018), destacando entre las especies más cultivadas con un 58,5%, la Tilapia Roja o Mojarra Roja (*Oreochromis sp*) (Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], S.f), motivo por el cual se quiere desarrollar un prototipo a escala piloto de un sistema cerrado acuapónico en la Universidad Santo Tomás campus Aguas claras, con base a los resultados obtenidos del estudio “Determinación de la calidad fisicoquímica del caño Pilatos en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la descarga de las aguas de recambio de la piscícola el manantial, Restrepo-Meta”; el cual tiene como fin evaluar la efectividad de remoción de las cargas contaminantes presentes en el efluente.

3.2 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de remoción de Nitritos, Nitratos, DBO, DQO y SST de un prototipo a escala piloto del sistema cerrado acuapónico, ubicado en el campus Aguas Claras de La Universidad Santo Tomás para tratar los vertimientos de un proceso acuícola tradicional, sembrados con Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*) en contraste de un estudio realizado en la piscícola El Manantial, Restrepo-Meta, durante un periodo de seis meses?

3.3 Hipótesis

La acuaponía como nueva técnica de cultivo y sistema de producción acuícola, ahorra el consumo de agua y disminuye la cantidad de agua cargada de materia orgánica vertida como efluente.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia de remoción de carga contaminante de un prototipo de sistema acuapónico, implementado en el campus Aguas claras de la Universidad Santo Tomás, frente a los resultados de análisis de aguas de recambio vertidas de un proceso acuícola tradicional la piscícola El Manantial en Restrepo-Meta, sembrado con Tilapia Roja (*Oreochromis sp*)

4.2 Objetivos específicos.

Implementar un sistema de producción acuapónico a escala piloto en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio campus Aguas Clara, alimentado con agua de recambio de la piscícola El Manantial en Restrepo-Meta.

Analizar los parámetros físico-químicos (nitritos, nitratos, DBO y DQO, SST) y microbiológicos del sistema acuapónico, mediante correlación de datos obtenidos y compararlos con resultados de análisis de aguas de recambio vertidas la piscícola El Manantial, Restrepo-Meta.

Proponer un método de divulgación de la información obtenida, para los piscicultores como una opción para el manejo de carga contaminante en la producción de peces y disminución del uso del recurso hídrico.

5. Justificación

La implementación del sistema acuapónico dentro del proceso acuícola no sólo disminuye la tasa de vertimientos de aguas residuales o aguas de recambio a las fuentes hídricas, también cuenta con el desarrollo de producción agrícola de manera orgánica por medio de huertos dentro del mismo sistema, aportando a la disminución del hambre y una alternativa para disminuir el uso de suelo, ya que el suelo a usar es mínimo o inexistente para el cultivo y desarrollo de las plántulas.

El sistema acuapónico apunta al cumplimiento de cuatro (4) de los 12 objetivos del desarrollo sostenible de manera directa como lo son: (a) Hambre cero, al desarrollar sistemas acuapónicos, se obtiene en primer lugar el crecimiento normal de peces de consumo u ornamentales y una producción agrícola gratuita o de muy poca inversión; (b) Agua limpia y saneamiento, la escasez de agua afecta a la población mundial es por eso que la implementación de sistemas y tecnologías que preserven el recurso son fundamentales; (c) fin de la pobreza, ya que es uno de los más grandes desafíos mundiales y la acuaponía como sistema productivo en términos de consumo resulta viable para el sostenimiento de familias de escasos recursos; por último, (d) Producción y consumo responsable, al reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos teniendo en cuenta que la agricultura es el principal consumidor de agua en el mundo y el riego representa hoy casi el 70% de toda el agua dulce disponible para el consumo humano (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2016).

Finalmente, la ejecución de este proyecto beneficiará a la comunidad de acuicultores del departamento del Meta; al darles a conocer las posibles acciones que mitiguen los impactos generados por esta actividad y a su vez, contribuya con el cuidado y conservación del medio ambiente, impulsando hacia el desarrollo sostenible; por otro lado, ampliará los conocimientos y estudios relacionados a esta temática, ya que son muy escasos, beneficiando así a la comunidad científica dado que en este trabajo se muestra que se pueden lograr iniciativas de inversión en empresas y proyectos que tengan como objetivo la reducción del recurso natural no renovable con ayuda de tecnologías de producción de energías limpias que aporten al mejoramiento ambiental en el planeta. (Gomelsky, 2003).

6. Alcance

[El presente proyecto se diseñó e implementó un sistema acuapónico en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio campus Aguas Claras (véase la *figura 1*) la cual tiene las condiciones para la implementación de este proyecto, contó con laboratorios especializado en aguas residuales el cual da la veracidad de los resultados, posteriormente se analizaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua en el sistema acuapónico para luego ser comparados con resultados obtenidos En el trabajo de grado de la Ingeniera Ambiental Carol Viviana Montoya “Determinación de la calidad fisicoquímica del caño Pilatos en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la descarga de las aguas de recambio de la piscícola el manantial, Restrepo-Meta” (Véase la *figura 1*), por el método de correlación estadística y fórmula de Pearson, con la finalidad de verificar el sistema acuapónico como opción viable y sustentable para el tratamiento de agua residual producto de la acuicultura. La cobertura temporal de la investigación fue 6 meses para el adecuado montaje y aceptación del proyecto “Evaluación experimental comparativa de remoción de materia orgánica del sistema acuapónico a escala piloto y vertimientos de sistemas acuícolas tradicionales (Meta)”.

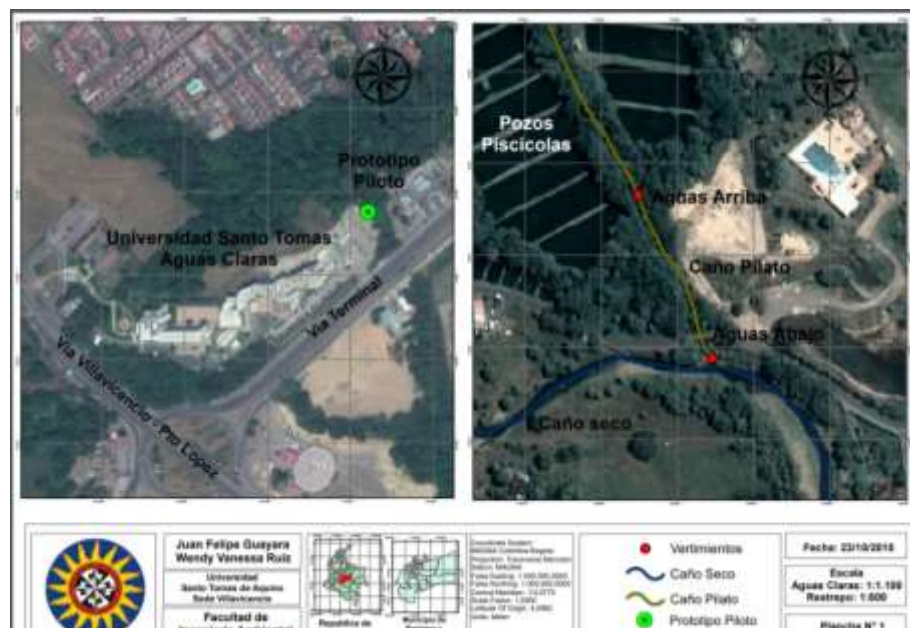


Figura 1 Ubicación de prototipo sistema acuapónico a estala piloto, Universidad Santo Tomás campus Aguas Claras y vertimientos de la piscícola el Manantial, Restrepo Meta. Adaptado de: Programa ArcGis-Arcmap 10.2 por Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2018.

6.1 Descripción del área de estudio.

El proyecto se realizó en un área de 3 m² cedido temporalmente por la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio campus Aguas Claras, cerca al humedal este nos proveyó de temperaturas y condiciones óptimas para el correcto desarrollo del sistema acuapónico (cría de peces y cultivo agrícola – hidropónico).

7. Antecedentes

El Banco Mundial en el 2013 publicó un informe en el cual mencionaba el crecimiento de las prácticas acuícolas a nivel global y su acogida en los sectores más vulnerables, donde el abastecimiento de alimentos era escaso, incrementando a su vez los ingresos económicos de quienes allí habitan; sin embargo, resaltó la necesidad de acrecentar la industria enfocada hacia una acuicultura ambientalmente sostenible, que controle la contaminación hídrica, el agotamiento de los recursos naturales productivos y la proliferación de enfermedades infecciosas (UNESCO. Director-General, 2016).

La acuaponía tiene sus inicios en la antigua China y parte del desarrollo de este sistema fue ejecutado en muchas áreas del mundo donde la concentración de personas es alta y aprovechaban las interacciones del entorno, desde ese entonces los agricultores observaron que los residuos generados de manera orgánica podían ser utilizados para el crecimiento de hortalizas y verduras. Estos agricultores perfeccionaron técnicas de recolección de materia orgánica, almacenamiento, tratamiento y riego sacando provecho a este residuo y evitando contaminaciones.

Con base a lo anterior, desde el 2007 se identificó la necesidad de implementar sistemas de recirculación y tratamiento de aguas acuícolas mediante la técnica de acuaponía, la cual presenta ventajas en cuanto al control y monitoreo de las propiedades físico-químicas y sanitarias del agua, además de proveer el crecimiento de especies mediante la técnica de hidroponía.

Candarle afirma que estos sistemas no son totalmente cerrados, ya que diariamente recambian cerca al 10% del agua durante el mantenimiento de los parámetros físicos y químicos del agua, con el objetivo de que se mantengan estables para la permanencia de los peces; por otro lado, hace énfasis en que esta técnica es apta para contextos urbanos y periurbanos donde la disponibilidad de suelo es limitado, ofertando la posibilidad de cultivar desde grandes terrenos hasta pequeñas parcelas; sin antes mencionar que es una técnica bastante costosa.

Estados Unidos, Japón, Noruega, España, Alemania y Francia al 2007, ya contaban con este tratamiento de eliminación de sustancias inertes y destrucción de bacterias en los recursos acuícolas; no obstante, en países emergentes como México, Brasil y Argentina ésta práctica se limitaba a ciertas etapas de cultivo, como filtración, aireación y oxigenación. En contraste, para el 2015 se publicó un informe que estableció que Australia, Canadá, Estados Unidos, Holanda, Korea

y México ha mejorado y adaptado esta técnica dadas sus condiciones geográficas y la disponibilidad de sus recursos naturales, expidiendo normativas, costos de producción y lineamientos base para el desarrollo de éstos.

En México, a través de un cultivo hidropónico piloto se evaluó la capacidad de remoción de nutrientes en un sistema cerrado acuícola en el 2008; registraron como variables respuesta las concentraciones de nitrógeno inorgánico y ortofosfatos con un diseño experimental con y sin plántulas de manglar, además del control. El estudio constó de tres tanques de 600 litros (L) para el filtro biológico con plántulas y dos de 450 L donde se introdujeron peces omnívoros. A modo de conclusión, el autor explicó que las plántulas de manglar tienen la capacidad de reducir los nutrientes del agua y mantener a los peces en sistemas acuícolas de recirculación, además mencionó la posibilidad de establecer un sistema silvopesquero, con base a los resultados obtenidos.

Un estudio en el 2015 evaluó la capacidad de remoción de compuestos nitrogenados y fosfatos en un sistema acuapónico, utilizando diferentes sustratos durante un periodo de 77 días. El estudio desarrolló 6 sistemas iguales e individuales y se codificaron las condiciones de amonio, amoniaco, nitrito, nitrato y fosfato en el agua utilizando 450 Tilapias, 45 por estanque y 20 por plántulas de albahaca. Como variables respuesta se tuvo en cuenta la tasa de crecimiento mediante 3 muestreos realizados a partir del día 40 cada 10 días, la ganancia de biomasa, consumo de alimento por estanque, producción de material orgánico resultante, tasa de supervivencia y producción en m^2 para el caso de las plántulas. Los resultados obtenidos permitieron concluir que el tipo y combinación de sustratos utilizados en los sistemas afectan la eficiencia de la eliminación de nutrientes, particularmente del amoníaco, el amonio y el fosfato, incidiendo a su vez en el crecimiento de peces y plantas, pues se identificaron afectaciones por los sustratos. De otro modo, la producción de biomasa animal y vegetal fue mayor o similar a la reportada en otros sistemas agrícolas tradicionales.

En el 2017 la granja “Indies Greens Organic Aquaponics Farm” obtuvo recursos provenientes de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) está apoyando el desarrollo de la acuaponía en toda la región del Caribe, con el objetivo de desarrollar talleres técnicos sobre cultivos acuapónicos con Tilapia Roja.

En Colombia, Muñoz publicó un artículo orientado a la acuicultura de recirculación y la producción de plantas mediante la producción hidropónica, destacando el uso de nutrientes

inorgánicos y el aprovechamiento del material orgánico generado por los peces en la actividad acuícola, teniendo en cuenta que éstos son una de las mayores problemáticas en dicha práctica. El autor explicaba el uso de un tanque de fácil acceso y mantenimiento para la cría de los organismos acuáticos y resaltó la importancia de cuatro elementos: (a) un clarificador, para la remoción del material orgánico, (b) un biofiltro, para transformar el amonio en nitrato, (c) un componente hidropónico (o cultivo de plantas, donde estas flotan en agua, en una espuma de poliestireno) y (d) un sumidero, donde el agua es recirculada y re direccionada hacia un nuevo proceso de acuicultura. Finalmente, Muñoz afirmó que Colombia es un país con todos los recursos necesarios para hacer de este sistema un éxito de impacto socio-económico y ambiental positivo, dada la ubicación geográfica y su diversidad de fauna y flora, sin antes mencionar la disponibilidad del recurso hídrico y el clima.

Un estudio en el municipio de Cauca, Popayán desarrolló un modelo piloto donde evaluó el desempeño de un sistema de lagunas con plantas acuáticas *Azolla pinnata*, para el tratamiento de aguas proveniente de la piscícola La Yunga, dedicada a la cría y producción de Tilapia Roja. Implementaron dos líneas (a y b) de cinco lagunas en serie en época seca, con un tiempo de retención de un día: (a) con plantas, (b) sin plantas. El estudio concluyó que la presencia de *Azolla* en las lagunas fue superior a la línea donde no se contaba con ésta, con una eficiencia de remoción del 56% DBO₅; 49% DQO; 64% fósforo (P).

Varios investigadores estudiaron con plántulas de perejil, orégano y menta en un sistema acuapónico de cultivo de Tilapia Roja; los resultados obtenidos arrojaron que el perejil no soporto las condiciones de cultivo mediante esta técnica, sin embargo el orégano presento un comportamiento similar al convencional, al igual que la menta; no obstante los investigadores encontraron elevadas concentraciones de bicarbonatos repercutiendo en la disponibilidad de calcio, magnesio, hierro y magnesio para las plantas.

Aunque la producción acuapónica es escasa a casi nula, a partir del 2018, según estudiantes de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomás, se viene promoviendo como un sistema adecuado para producción de alimentos de alto valor nutricional y protección del medio ambiente.

8. Marco referencial

8.1 Marco teórico

La necesidad humana de cubrir la alimentación básica ha llevado a las sociedades a la explotación de diversos nichos ecológicos del planeta de manera sistemática. La agricultura se ha mantenido como una de las principales actividades económicas durante décadas, con el objetivo de garantizar el abasto de productos de diferentes orígenes. Antes de la llegada de la industrialización esta actividad, se realizaba a través de la medición de estaciones y el aprovechamiento de recursos naturales disponibles. Sin embargo, con la llegada de los químicos fertilizantes y los plaguicidas dicha actividad empezó a presentar contaminación y deterioro de los nichos o ambientes en los que se realizaba. Hoy en día el impacto de esta evolución ha dado como resultado el deterioro parcial o total de grandes áreas de cultivo, junto a la búsqueda de zonas que substituyan las pérdidas por la erosión o la devastación del suelo.

A la par, como actividad económica sumada, la pesca ha permitido al hombre suministrarse de recursos provenientes de los cuerpos de agua tanto intercontinentales como oceánicos, que a su vez proveen de los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo del hombre.

Desafortunadamente el agotamiento del recurso, así como la contaminación excesiva de los mantos acuáticos ha ocasionado que la obtención de los alimentos sea una actividad cada vez más complicada.

La acuaponía en su descripción simple se compone de una integración entre un cultivo de peces (piscicultura o acuicultura) y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un sistema de recirculación, en el cual, el componente acuícola y el componente hidropónico se unen para formar un sistema cíclico único cerrado. En dicho sistema, los desechos metabólicos (materia orgánica) generados por los peces y los restos de alimento de los mismos son aprovechados por las semillas o plántulas que forman la segunda parte del proceso seguido por la transformación de desechos en materia orgánica vegetal. De esta manera, se genera un producto de inmenso valor a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que el agua, libre ya de esos residuos, queda disponible para ser reutilizada.

Terminología

- **Color, olor y sabor:** Son lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos (Aznar, S.f). No tienen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es una señal de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas con fines de ser potabilizada, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura” (Aznar, S.f).
- **Amonio:** Es el producto final de la reducción de las sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas su origen se puede dar por las proteínas animales o vegetales, por putrefacción mediante acción bacteriana y la reducción de nitritos (Covarrubias, 2011).
- **Demanda bioquímica de oxígeno DBO:** este parámetro mide la cantidad de oxígeno consumido cuando se degrada la materia orgánica de una muestra líquida, en otras palabras, es la materia susceptible de ser consumida u oxidada de manera biológica en una muestra líquida, disuelta o en suspensión (Ábrego, y otros, 2018).
- **Color:** Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella (Covarrubias, 2011).
- **Demanda química de oxígeno DQO:** determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo; es decir, permite medir la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que se encuentran disueltas o en suspensión en una muestra líquida (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

8.2 Marco Legal

A continuación, se presentan la normativa vigente relacionado con la protección integral del medio ambiente y reducción del recurso hídrico.

Tabla 1. *Legislación ambiental vigente, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2018.*

Norma	Descripción
Constitución política de Colombia Art. 49,79 89 de 1991	El estado debe garantizar un ambiente sano a todas las personas del territorio nacional, proteger la integridad del ambiente y fomentar educación ambiental (Constitución Política de Colombia, 1991).
Ley 23 de 1973	Se debe prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional (Ley 23, 1973).
Ley 811 de 2003	Se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, Forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación y se dictan otras disposiciones (Ley 811, 2003).
Ley 13 de 1990	Regular el manejo integral y la explotación racional de los recursos pesqueros con el fin de asegurar su aprovechamiento sostenido (Ley 13 , 1990).
Decreto 2811 de 1974	Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad (Decreto 2811, 1974)(«Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1974) - Estatal - Códigos - Legislación - VLEX 42846062», s. f.).
Decreto 2256 de 1991	Con el fin de asegurar el manejo integral de la actividad pesquera, así como el fomento de la explotación nacional del recurso pesquero (Decreto 2256, 1991).

Tabla 1 Continuación

Ley 9/ de 1979 Titulo 1 y 2	Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones para preservar, restaurar u mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana, los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente (Ley 9, 1979).
Convenio 122 de 2013	Aunar esfuerzos para la realización conjunta de acciones orientadas a mejorar la productividad y competitividad del sector pesquero y de la acuicultura en Colombia (Convenio 122, 2013)
Objetivo del desarrollo 1 de 2016	Poner fin a la pobreza en todas sus formas (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2016).
Objetivo del desarrollo 4 de 2016	Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2016)(Caribe, 2017).
Objetivo del desarrollo 6 de 2016	Garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2016).
Objetivo del desarrollo 12 de 2016	Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2016).
Decreto 1594 De 1984	Por el cual reglamenta la ley 9 del 79 y diferentes títulos del decreto 2811 de 1974 en cuanto al uso eficiente del agua y residuos líquidos y se establecen parámetros de control y regulación de la contaminación hídrica según su uso. (<i>Decreto 1594 de 1984.</i> , s. f.)

NOTA: Marco legal relacionado con la protección del medio ambiente

8.3 Marco de referencia

En este se encuentra expresada información del planteamiento del problema y temas relacionados a través de marcos tales como, referencial, teórico y legal la cual es de gran importancia para la investigación presente.

8.3.1 Calidad de agua.

La calidad del agua es una situación general que permite la destinación adecuada de la misma para diversos usos. Esta calidad se determina por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa del agua de la cual se desea conocer su estado y calidad. (Organización Mundial de la Salud., 2006)

Las fuentes hídricas superficiales normalmente reciben descargas de aguas residuales generadas de diversas actividades antrópicas, muchas veces sin previo tratamiento, dando como resultado una degradación en la calidad de sus aguas y de la biota presente, acentuado en las épocas de estiaje, donde el recurso disminuye y la concentración de las cargas contaminantes aumentan, debido a la disminución de la capacidad de aceptación o asimilación que presenta la fuente hídrica (Buschmann, s. f.), Existen diversos criterios para la determinación de calidad de agua, las concentraciones en las que estos se deben presentar para no afectar la flora y fauna, se derivan de investigaciones y hechos científicos obtenidos en la experimentación o mediciones in situ (Organización Mundial de la Salud., 2006).

9. Metodología.

9.1 Área de estudio

El prototipo del sistema acuapónico, se realizó dentro de las instalaciones de la Universidad Santo Tomas, sede Villavicencio, Meta- campus Aguas Claras, ubicación correspondiente a una altura de 467 msnm, con una temperatura promedio de 27°C (Alcaldia Municipal de Villavicencio, S,f).

9.2 Temporalidad del estudio

En cuanto a la temporalidad de la ejecución de la investigación, esta se desarrolló en un periodo de seis meses – Enero de 2019 a Julio de 2019– , realizando una serie de análisis y monitoreo en los meses de abril de 2019, mayo de 2019 y junio de 2019, en intervalos de 15 días aproximadamente sustentado en la distribución de lluvias que se presenta en la región Orinoquia – mayor precipitación entre los meses de marzo a noviembre y menor entre los meses de diciembre a febrero– (IDEAM, 2017).

A continuación, se relacionan las coordenadas del área objeto de estudio.

Tabla 2. Geolocalización del predio piscícola El Manantial y el área del montaje Acuaponico

Municipio	Vereda	Área objeto de estudio	Coordenadas planas de georreferencia	
			X	Y
Restrepo	Caney medio	Predio El Manantial	1058741	962835
Villavicencio	Campus Aguas Claras	Zona trasera de la universidad Santo Tomás espacio 3m ²	4.122.917	-73.613.503

Nota: Geolocalización del predio por Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2018.

9.3 Fase 1: Diseño y montaje piloto del sistema acuapónico y adecuación del sitio

Para el montaje del sistema acuapónico a escala piloto se utilizó los siguientes elementos:

- Depósitos: se empleó 1 tanques de polietileno, uno con capacidad de 1000 litros y tres con capacidad de 110 litros.
El depósito de 1000 litros se utilizó en el estudio para alojar la población de peces y los tres tanques se utilizaron como sedimentador, reservorio y filtro biológico.
- Tuberías de cloruro de polivinilo (PVC): se tomó en cuenta diferentes diámetros junto a sus accesorios.
- Camas hidropónicas: se utilizaron 4 camas hidropónicas las cuales contenían sustrato útil para la estabilidad de las plantas.
- semillas: cilantro, albahaca, tomate cherry y ají.
- Equipos: motor de oxigenación con un flujo de aire de 540 L/H - 140 GPH, bomba de agua sumergible de 330 L/H, mangueras de diferentes diámetros, piedras difusoras las cuales sirvieron para distribuir uniformemente el oxígeno en el agua.
- Alimento para peces (3 Kg/mes)
- Alevinos (Tilapia Roja, *Oreochromis* sp)

Para la realización del montaje del sistema acuapónico se tuvo en cuenta como base en la metodología de Small-scale aquaponic food production (Somerville & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015).

- Montaje del sistema acuapónico en la universidad Santo Tomás sede Villavicencio, campus aguas claras
- Se realizaron pruebas de funcionamiento, donde se verifican la conducción eléctrica, el estado de los acoples y el flujo correcto del agua
- Dentro de la metodología de base no se tuvo en cuenta el proceso de maduración del sistema ya que se trabajó con agua de recambio de las piscícolas el Manantial, Restrepo, Meta.

Fase 1.1 Adecuación del Sitio: Las unidades acuapónicas con un tamaño de tanque de peces de aproximadamente 1000 litros y espacio de cultivo de unos 3 m² se consideraron de pequeña escala,

y son apropiados para la producción doméstica de una familia. Se realizó mediciones del espacio correspondiente junto a previa información del clima, altitud e inclinación de la zona, la determinación de las condiciones de trabajo es importante para el cumplimiento metodológico.

Fase 1.2 Montaje: Teniendo en cuenta la metodología Small-scale aquaponic food production, una vez se realizó el montaje, se hizo pruebas experimentales con el fin de verificar el debido funcionamiento del sistema (uniones de los accesorios, flujo adecuado del agua, equipos con buen trabajo en marcha).

- Descripción de la instalación: Para la construcción del montaje basado en el manual de la FAO “Small-Scale Aquaponic Food Production”(Somerville & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015) con algunos retoques para resolver algunos problemas que surgieron a la hora del montaje (ver ilustración 1),se contó con un amplio espacio otorgado por la universidad en la cual se ocupó 3m².

A continuación, se presenta un esquema para la descripción de los elementos y materiales que integraron el prototipo acuapónico.

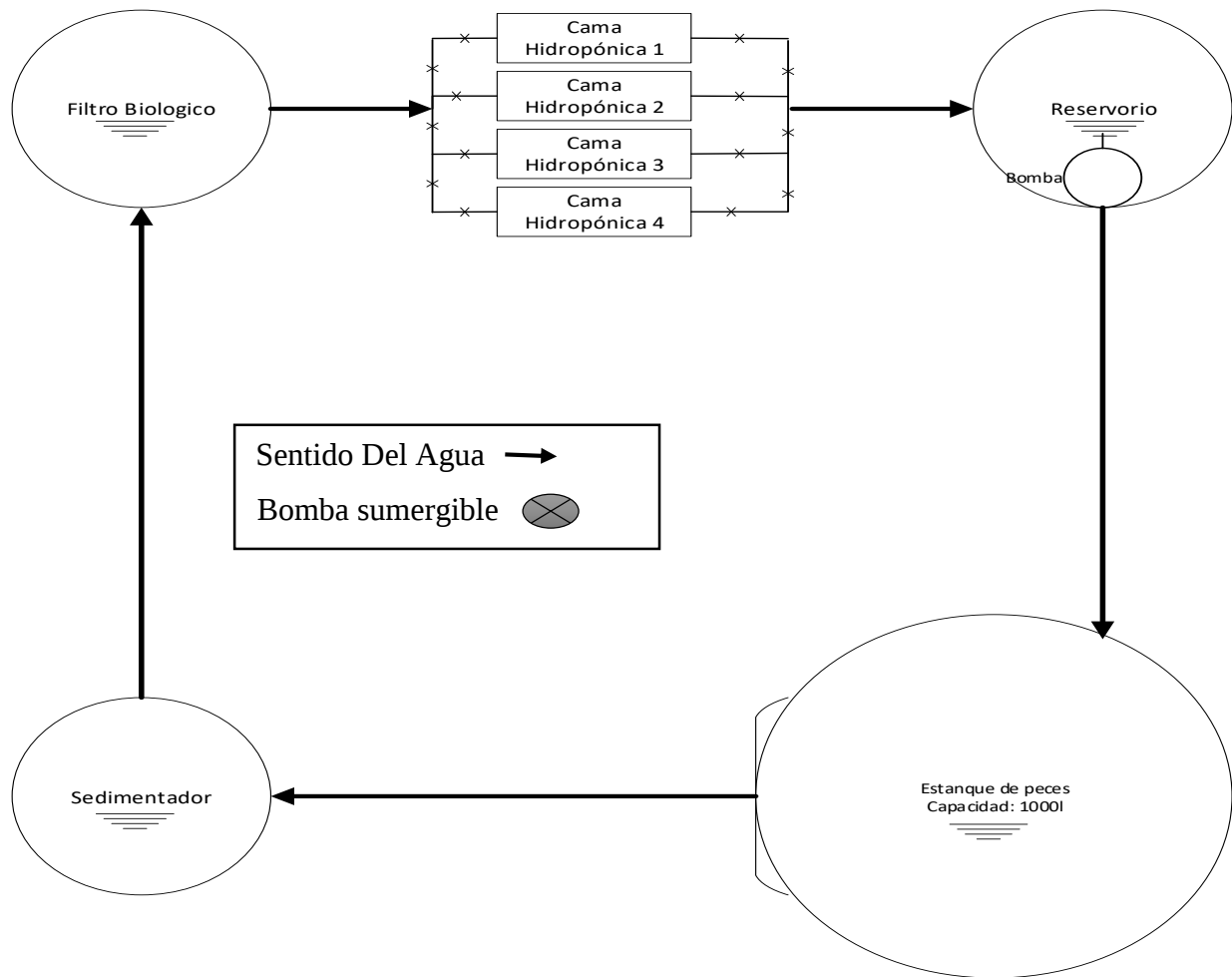


Ilustración 1 Esquema del sistema Acuapónico por Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

A continuación, se mencionan los elementos de los que consta el sistema acuapónico:

- Depósito, estanques (sedimentador de flujo ascendente, filtro biológico y reservorio), tuberías en PVC y accesorios en PVC, material eléctrico, bomba sumergible, filtro sumergible (ayuda a la oxigenación y movimiento del agua en el estanque de peces), piedras difusoras, manguera otros accesorios (biobolas y tapas plásticas que fueron introducidas en el filtro biológico).
- En las camas hidropónicas se tuvo como sustrato gravilla y cascara de coco para que las plantas se fijaran y aportara un soporte resistente para su crecimiento. En la implantación se decidió comprar plantas con aproximadamente 3 meses de germinación con el propósito de avanzar
 - Se plantaron un total de 44 plantas en la cual se distribuyeron así; 4 plantas de Cilantro Cimarrón por cada cama hidropónica, 3 plantas de Albahaca en cada una

de las camas hidropónicas, 3 plantas de Ají también en cada cama hidropónica y 1 planta de Tomate Cherry sucesivamente.

- Una vez se realizó el montaje se dio inicio al funcionamiento del sistema sin ingresar los peces la cual se hizo para rectificar que el flujo del agua se estaba llevando a cabo de acuerdo a lo propuesto en el diseño y no se presentaba fuga de agua en el ciclo del prototipo, se tuvo control del caudal, control de los niveles de agua, pasados los 8 días se ingresaron los peces al sistema.

Fase 1.3 Operación del sistema Acuapónico.

En una unidad acuapónica, el agua del tanque de peces pasó por los filtros, camas de cultivo y luego volvía a los peces. En los filtros, los residuos de los peces son retirados del agua, primero usando un filtro mecánico que eliminó los residuos sólidos y luego a través de un biofiltro que procesó los residuos disueltos. El biofiltro proporcionó un lugar para que las bacterias conviertan el amoníaco, que es tóxico para los peces, en nitrato, un nutriente accesible para las plantas. Este proceso se llama nitrificación. Como el agua (que contiene nitrato y otros nutrientes) viaja a través de las camas de cultivo de plantas, las plantas absorbieron estos nutrientes, y finalmente el agua regresó a la pecera purificada. Este proceso permitió a los peces, plantas y bacterias prosperar simbióticamente y trabajar juntos para crear un entorno saludable de crecimiento el uno para el otro, siempre que el sistema estuviera adecuadamente equilibrado

9.4 Fase 2: Toma de parámetros físico químicos y microbiológicos

El muestreo se realizó teniendo en cuenta lo establecido en la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, aguas superficiales y subterráneas expedidas por el IDEAM, 2004 y como lo establece el Decreto 3930 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial También se contemplaron los procedimientos internos de laboratorio (TecnoAmbiental), como: Guía para el muestreo de agua cruda; Medición de sólidos sedimentables; Instructivo para el alistamiento de neveras; Instructivo de medición de pH in situ; Cadena de custodia; Caracterización in situ y Acta de muestreos. Las muestras fueron recolectadas y preservadas de acuerdo a la metodología expuesta por el Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater de la AWWA.

Tabla 2 Metodología parámetros analizados en laboratorio, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

PARÁMETRO	UNIDAD	METODO
COLOR APARENTE	UPC	SM 2120 B
COLOR REAL	UPC	SM 2120 C
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B SM 4500 O G
D.Q.O.	mg O ₂ /L	SM 5220 C
FOSFORO TOTAL **	mg P/L	SM 4500 P B, E
NITRATOS	mg NO ₃ /L	Salicilato de Sodio Rodier J
NITRITOS	mg NO ₂ /L	SM 4500 NO ₂ B
NITROGENO AMONIACAL	mg N-NH ₃ /L	SM 4500 NH ₃ B C
OXIGENO DISUELTO*	mg O ₂ /L	SM 4500 O C
PH*	UN	SM 4500 H+ B
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	SM 2540 C
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	SM 2540 D
TEMPERATURA *	°C	SM 2550 B
TURBIEDAD	NTU	SM 2130 B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS		
Coliformes fecales	NMP/100ml	SM 9223 B
Coliformes totales	NMP/100ml	SM 9223 B

Nota: Parámetros analizados en laboratorio, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

9.4.1 Color aparente

Según la NTC 5844 el término “color aparente” incluye diversos colores presentes por los aspectos de la sustancia en solución junto a la materia suspendida en ella. El color aparente (UPC) se determina en la muestra original sin filtración. En algunas aguas y aguas residuales, el color aparente es aportado principalmente por material coloidal o suspendido. (Rengifo, s. f.)

9.4.2 Color real

Bajo las mismas definiciones de la NTC 5844. El término color se asocia aquí al concepto de color verdadero (UPC), esto es, el color del agua a partir de la cual se ha removido la turbidez. Las partículas coloidales y las suspendidas más grandes dispersan la luz interfiriendo con la determinación de otros métodos asociados para la obtención y veracidad de esta definición en la norma. (Rengifo, s. f.)

9.4.3 Demanda biológica de oxígeno

La demanda Biológica de Oxígeno DBO se determinó según guías dispuestas por el IDEAM se tuvo en cuenta observaciones, limitaciones e interferencias posibles en el proyecto y que la guía aconseja se deben tener en cuenta, junto a la toma y preservación de la muestra para un correcto resultado y buen análisis, el apoyo del Laboratorio TECNOAMBIENTAL logro validar de manera general los datos tomados a lo largo de la etapa de muestreo y análisis. (Gaitan, s. f.)

9.4.4 Demanda química de oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo”. (*DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRIA*, s. f.) La oxidación de la materia se hace mediante la adición de sustancias realmente acidas para la determinación y obtención de este parámetro. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente.

9.4.5 Fósforo total

El IDEAM puso a disposición la guía para la correcta toma de muestra y análisis del Fosforo total; El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Se considera como uno de los nutrientes que regulan el crecimiento de algas, el fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales en su mayoría o común mente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros poli fosfatos) y fosfatos orgánicos.(Solano, s. f.)

9.4.6 Nitratos

La NTC 4798 establece la guía por la cual se procedió para la toma de muestra y los difíciles procedimientos para la obtención de valores resultantes del análisis, no obstante, se contó con la ayuda del laboratorio TECNOAMBIENTAL, para la verificación general de los datos obtenidos en la toma de muestras y análisis

9.4.7 Nitritos

La determinación de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, Su presencia indica, por lo regular (Orjuela, s. f.), procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato, al análisis de hizo majo la guía del IDEAM, y verificando valores con análisis general por parte del laboratorio TecnoAmbiental S.A.S.

9.4.8 Nitrógeno Amoniacal.

La Norma técnica colombiana NTC 4783 de 2014 estipula la correcta manera de medición y tratamiento de parámetros referentes al nitrógeno amoniacal (*NTC4783.pdf*, s. f.), los análisis se realizaron de manera consecuente al cronograma de muestreo y análisis y validado por el análisis general del Laboratorio de Aguas TecnoAmbiental S.A.S en el análisis general realizado para el Prototipo a escala piloto del Sistema acuapónico base de este proyecto.

9.5 Fase 3: Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó por medio del Coeficiente de relación de Pearson con el cual se realizó tomando los datos obtenidos en el sistema acuapónico a escala piloto, en los que se permitió determinar la mejor relación funcional por medio de la siguiente formula

$$R = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

R: Coeficiente (No tiene Unidades)

S_{xy}: Varianza de las variables X y Y.

S_x: desviación estándar en el eje X.

S_y: desviación estándar en el eje Y.

Teniendo los datos de los parámetros a analizar, se aplica la fórmula de Pearson, donde la correlación de las variables es medible bajo el rango de cero (0) a uno (1).

9.5.1 Carga contaminante

Se determinó la calidad de la fuente hídrica en el sistema acuapónico y en el tramo objeto de estudio, se realizó la carga contaminante por medio de la siguiente ecuación.

$$Cc = Q \times C \times 0.0864 \times (t/24)$$

Donde:

Cc = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q = Caudal promedio, en litros por segundo (l/s)

C = Concentración de la sustancia contaminante, (mg/l)

9.5.2 Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción, indica cantidades porcentuales que son eliminadas o son removidas por medio de un proceso puntual, se utilizó la siguiente ecuación

$$\%R = (C_e - C_s) / C_e \times 100$$

9.5.3 Comparación de análisis prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional.

9.5.4 Comparación de análisis microbiológico prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional.

9.6. Método divulgación

La propuesta de generar un método de divulgación se facilita debido a las participaciones como ponentes y miembros staff del “CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPÓNIA” realizado en la ciudad de Bogotá, en la Universidad Militar de Nueva Granada. La ponencia lleva consigo el orden del presente proyecto, haciendo partícipes a diferentes personas involucradas en el gremio piscícola y acuícola en acompañamiento a docentes y estudiantes de la universidad, donde se pretende la comprensión total del proyecto como método alternativo para la disminución de uso del recurso y no contaminación por vertimientos a fuentes hídricas.

10 Resultados

La determinación de los resultados de análisis previos de parámetros fisicoquímicos al sistema acuapónico a escala piloto fue confrontada con los estudios realizados por la ingeniera ambiental Carol Montoya en la piscícola “El Manantial” en el municipio de Restrepo, Meta. Se incluye el hecho de que el agua usada para la maduración y funcionamiento del prototipo fue tomada del punto 1 de vertimientos analizado por la ingeniera lo que nos facilita el contraste del comportamiento y estado del agua en estos dos casos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras realizar la fase de toma de datos en campo con sus correspondientes verificaciones en el punto de sumidero el cual es la entrada del prototipo sistema acuapónico ubicado en la Universidad Santo Tomas.

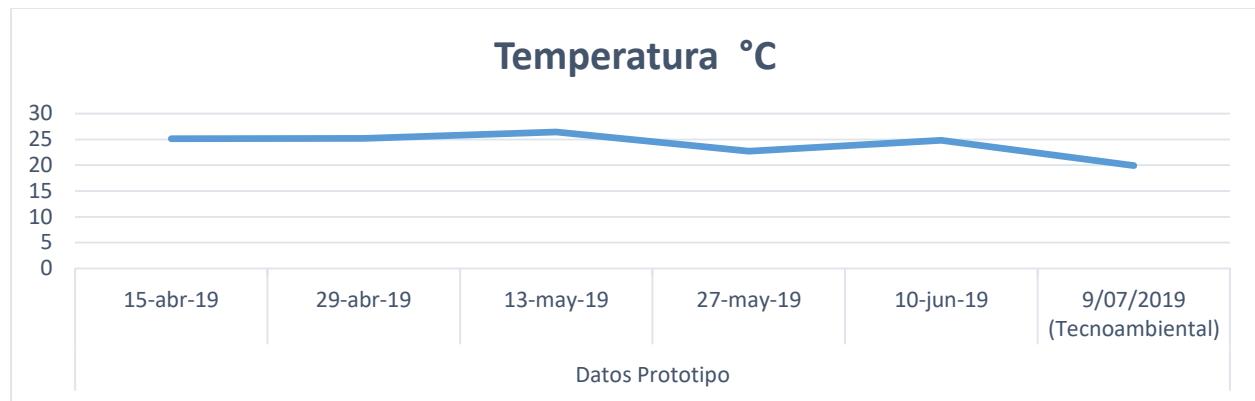
Tabla 3 Resultados de datos en el prototipo Acuapónico Por Wendy Ruiz & Juan Guayara – TecnoAmbiental S.A, 2019

Parametros/dia	Unidades	Datos Prototipo					
		15-abr-19	29-abr-19	13-may-19	27-may-19	10-jun-19	9/07/2019 (Tecnoam biental)
Temperatura	°C	25,1	25,2	26,4	22,7	24,8	19,9
ph	UN	7,61	7,1	7,72	7,4	7,7	6,28
conductividad	US/cm	404	428	395	421	471	482
Oxigeno Disuelto	Mg O2 /L	7,67	4,56	8,4	5,55	7,65	3,8
Solidos Disueltos Totales	Mg/ L	470	403	202	201	157	131
Solidos suspendidos totales	Mg/ L	39.40	39,05	30	29	28	25
Turbiedad	NTU	38,8	20,9	16,5	7,3	9,8	6,9
DBO	Mg O2 /L	35	30	28	16	16	11
DQO	Mg O2 /L	49	42	36	23	32	Menor a 15
Fosforo total	Mg P/L	3,4	2,63	2,52	2,48	2,3	2,49
Nitratos	Mg No3/L	38,5	35,6	28,1	28,8	30,2	32,6
Nitritos	Mg No2/L	14,9	11,9	8,5	5,2	4,5	2,1
Nitrogeno Amoniacal	Mg N-NH3/L	Mayor a 1	Mayor a 1	Menor a 1	Menor a 1	Menor a 1	Menor a 1
Color Real	UPC	28	29	32	28	31	34
color Aparente	UPC	23	24	23	23	27	30

Nota: Resultados por Wendy Ruiz & Juan Guayara – TecnoAmbiental S.A, 2019

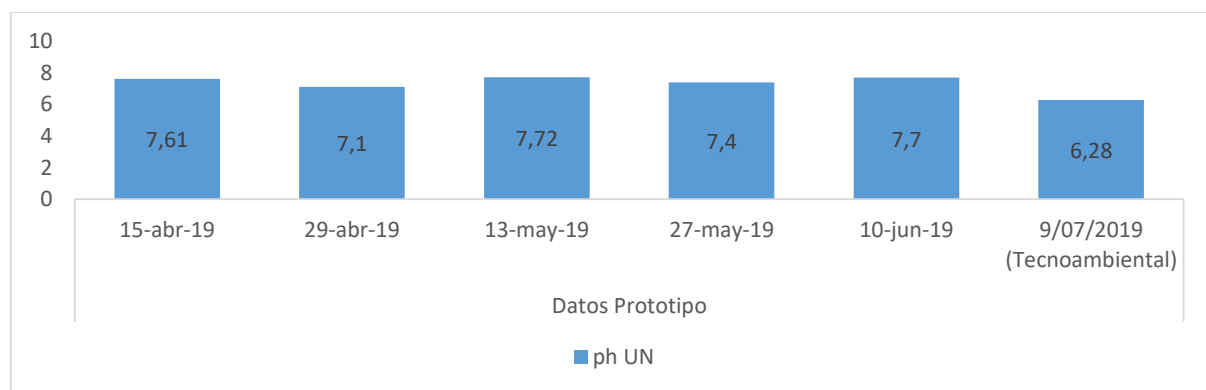
Por otro lado, se evidencia el comportamiento de cada parámetro de acuerdo a las fechas en las cuales se realizó muestreo con el fin de monitorear el sistema acuapónico.

El comportamiento de las variables de la temperatura medida en grados centígrados (°C) en relación con la temporalidad del proyecto presento variaciones debido a épocas de lluvias presentadas en la región, no obstante, las variaciones de temperaturas no registraron valores significativos dentro el sistema, y se evidenció comportamientos óptimos para la sobrevivencia adecuada de los peces y plántulas incluidas en el sistema. (Grafica 1).



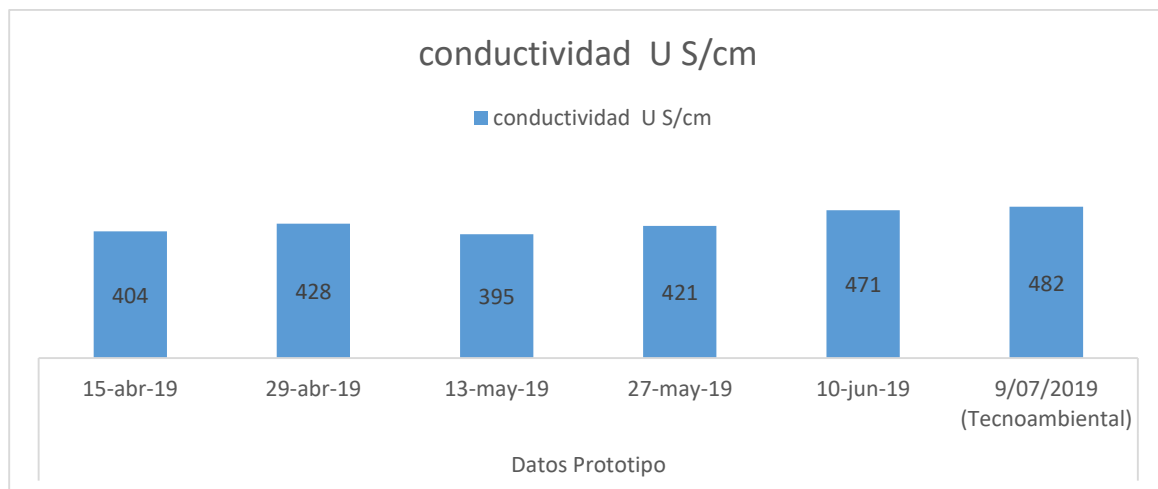
Grafica 1. Comportamiento de la Temperatura en el sumidero. Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Las variaciones de los datos del pH tomadas directamente desde el punto de sumidero el cual era la reserva de agua tratada por el sistema y que sirvió para que de manera continua el prototipo funcionara, no presento cambios a lo largo del tiempo o temporalidad del proyecto en función, pero se observa una disminución en su análisis general por parte del laboratorio de aguas TecnoAmbiental S.A.S. debido a que dicho análisis corresponde a etapas finales del proyecto donde el número de peces dentro del sistema había disminuido y parámetros como la temperatura debido a factores climáticos de manera paralela disminuyó. (Grafica 2).



Grafica 2. Comportamiento del pH en el sumidero. Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019

La conductividad como parámetro imperante dentro del sistema no generó variaciones significativas dentro de las mediciones realizadas, pero si una alza en el valor de sus datos en el análisis de agua general realizado por el laboratorio externo, esto debido a que siendo el sistema acuapónico un sistema cíclico cerrado y no teniendo recambio de agua constante, fuera del sistema de purga de sólidos, la conductividad se elevó en fechas donde dicho proceso de purga no se realizaba lo que indica que la cantidad de amonio, nitritos y materia orgánica presente afecta al sistema la alteración de esta variable. (Grafica 3)



Grafica 3. Comportamiento de la conductividad en el sumidero. Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019

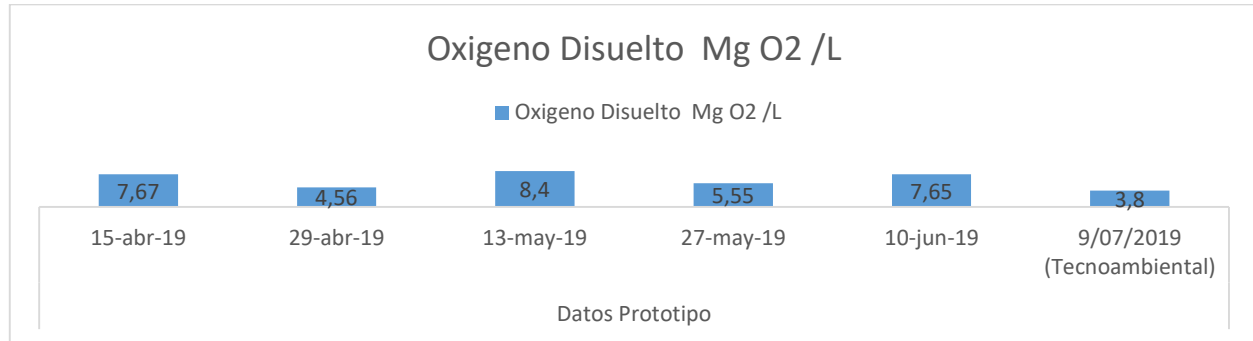
El comportamiento y presencia de oxígeno disuelto (O_2) tuvo fluctuaciones importantes, en las fechas registradas, (1) 13 de mayo de 2019, (2) 10 de junio de 2019 y el análisis general realizado por el laboratorio TecnoAmbiental S.A.S. el día (3) 9 de Julio de 2019.

(1) El alza de los valores de O_2 a esta etapa del sistema, se debió a:

- Inyección de oxígeno por bombeo (Bombas tipo ratón) y la difusión del mismo en el estanque principal de peces (Piedras difusoras).
- Ambiente apto para la inmersión de los peces.
- Incremento en la calidad del agua, indicación de calidad óptima de la misma.

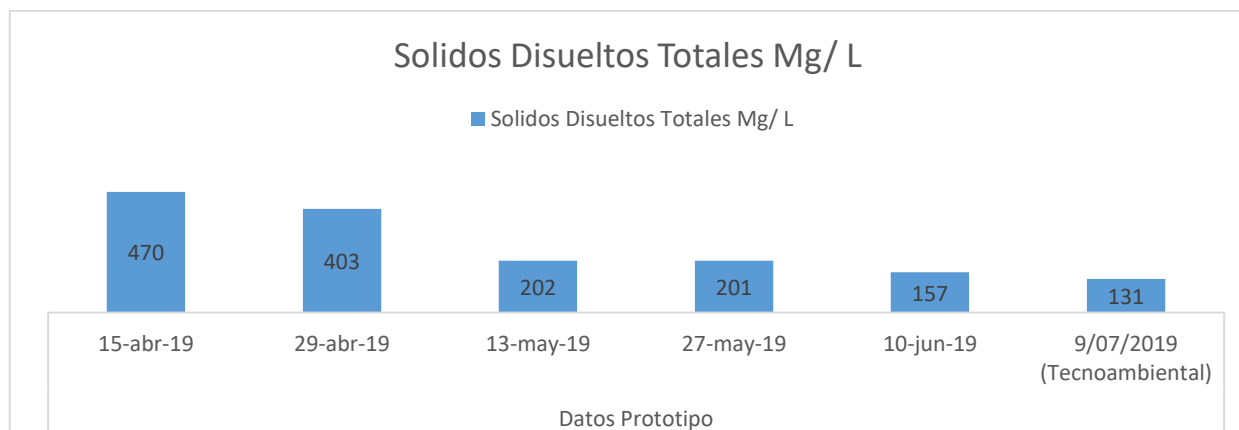
(2) Después de una disminución del mismo O_2 , debido al mismo consumo de este por parte de los peces (alteración de hábitat) y plantas, en el sistema, los valores de O_2 se estabilizaron dando valores en mediciones aceptables para el buen funcionamiento del prototipo acuapónico.

- (3) La disminución de valores de medición de O_2 registradas por TecnoAmbiental S.A.S., se evidencia claramente al determinar, disminución de numero de peces en el sistema, disminución de inyección de oxígeno y re circulación alternada debido a factores externos como la energía eléctrica y tiempos climáticos. (Grafica 4)



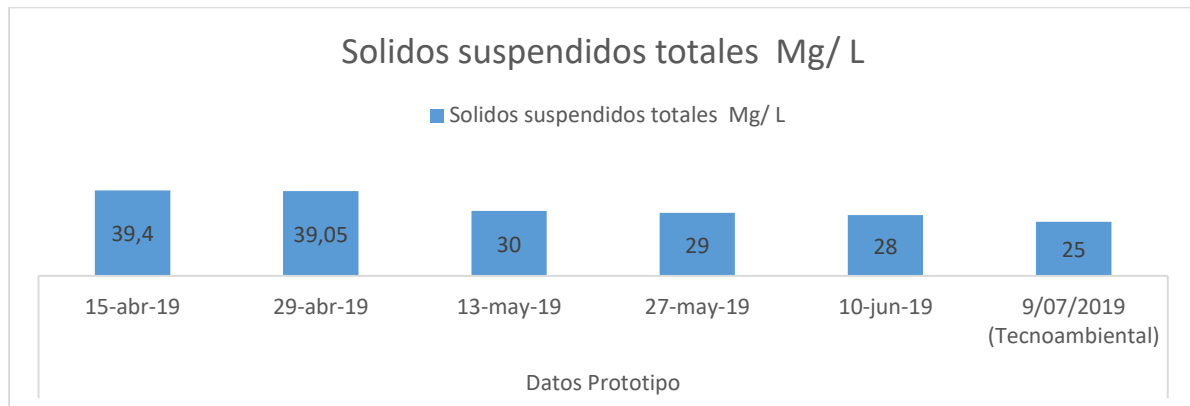
Grafica 4. Comportamiento del O_2 en el sumidero. Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

La relación de valores obtenidos en las mediciones con respecto a la temporalidad del estudio resultó de manera exitosa, los datos iniciales presentan valores elevados en la gráfica en la primera etapa del proceso, donde el sistema era “inmaduro”, alimentado con aguas de recambio de la piscícola El Manantial Restrepo-Meta y no correspondía con los tecnicismos adecuados para el funcionamiento debido de un sistema acuapónico. Cuando el sistema obtuvo la maduración necesaria y cada una de las etapas del sistema se encontraba con funcionalidad optima, estos valores medidos de solidos disueltos, disminuyo grandemente, haciendo constar que el prototipo funcionaba de manera correcta. (Grafica 5)



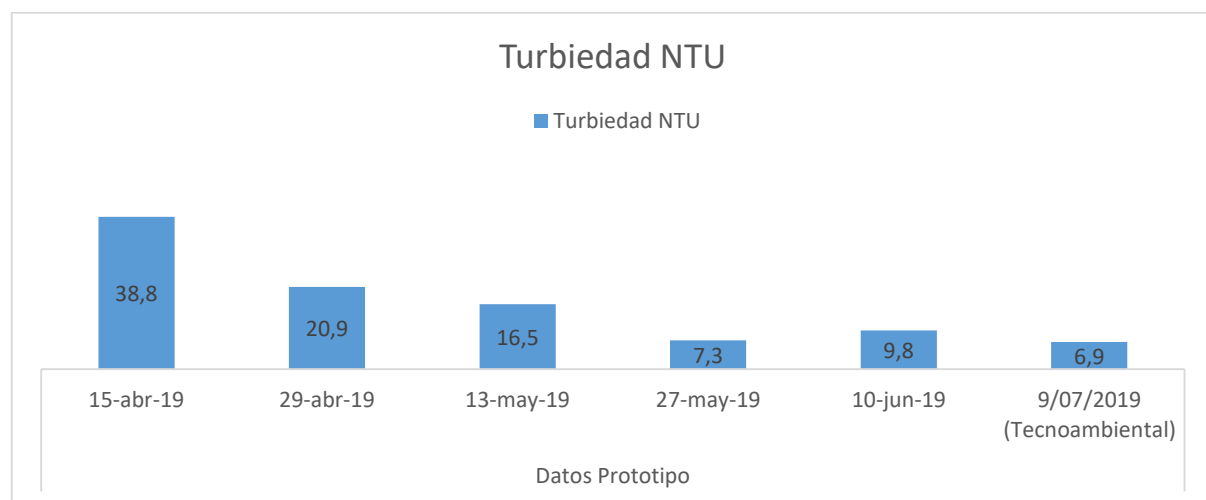
Grafica 5. Comportamiento de Solidos disueltos totales en el sumidero. Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

La disminución evidenciada en los datos de solidos suspendidos se debió nuevamente, a el avance del proyecto y adecuación para el funcionamiento correcto del prototipo acuapónico, teniendo en cuenta la temporalidad del mismo, el avance de la remoción y equilibrio del sistema fue paralelo al tiempo de desarrollo del proyecto. (Grafica 6)



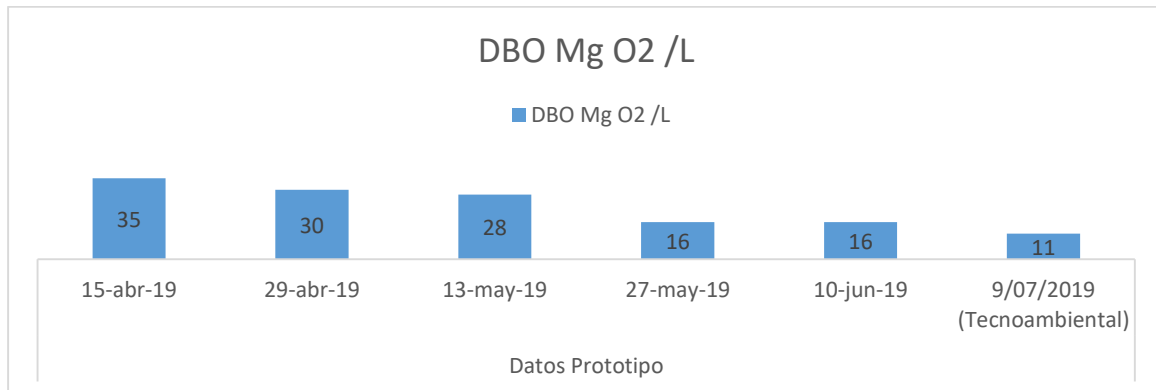
Grafica 6. Comportamiento de Solidos suspendidos en el sumidero. Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Los datos analizados con respecto a la turbiedad, generó variaciones paralelas a la temporalidad y desarrollo del proyecto en ración con adecuación y maduración del sistema, los datos iniciales corresponden a la primera etapa del prototipo, seguido de su disminución progresiva unido a l funcionalidad correcta del sistema. (Grafica 7)



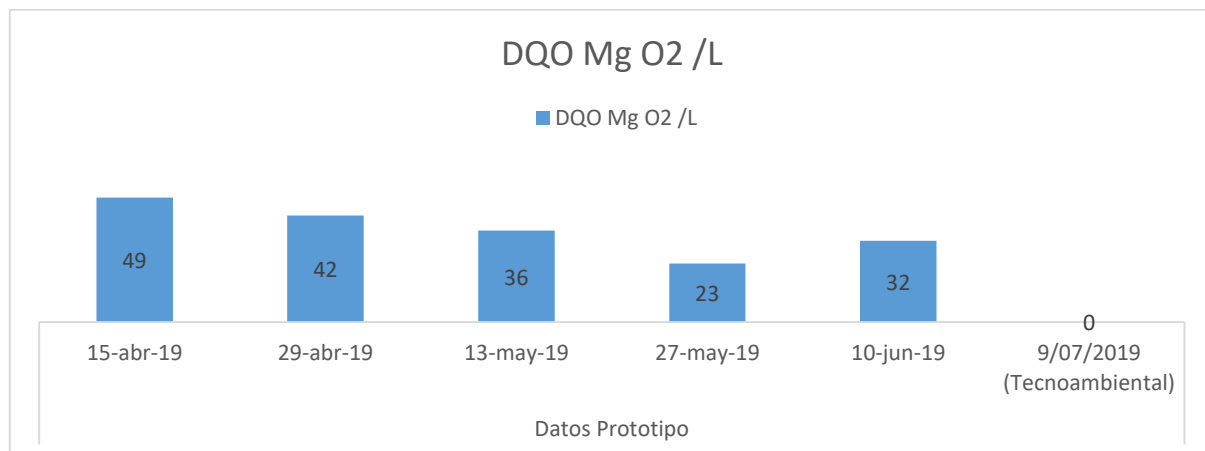
Grafica 7. Comportamiento de turbiedad en el sumidero, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Los valores correspondientes a la D.B.O indicaron la disminución de materia orgánica que se encontraba en proceso de descomposición, validando la funcionalidad de cada etapa del proceso, funcionalidad de filtros, aprovechamiento de materia por parte de las plantas en el lecho hidropónico y confirmación del proceso de purga periódico de lodos dispuesto para el sistema. (Grafica 8)



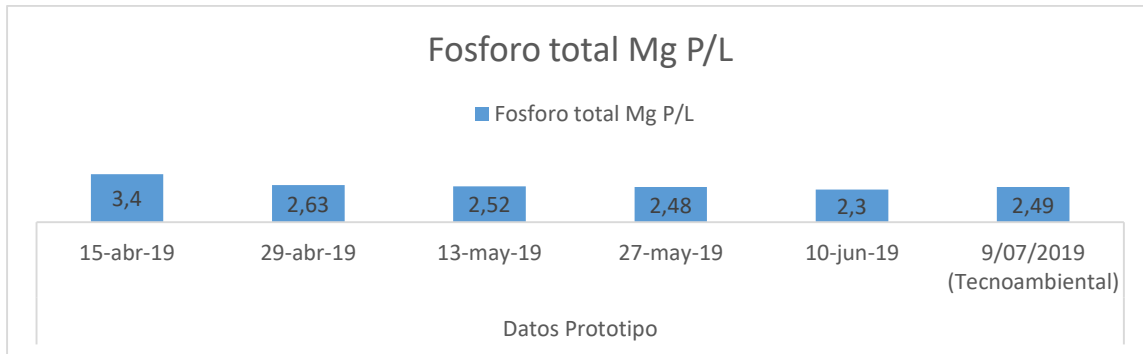
Grafica 8. Comportamiento del D.B.O. en el sumidero, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

La grafica que corresponde a D.Q.O. muestra los datos que se obtuvieron de los valores de cada una de las fechas de muestreo, por un lado, las variaciones de este parámetro no fueron significativas ya que no se encontró con presencia de grandes cantidades de sustancias químicas para la posible oxidación de las mismas en el proceso, seguido a esto, los datos presentados por el laboratorio TecnoAmbiental S.A.S. , no fueron tenidos en cuenta para la representación gráfica, ya que no contaban con la exactitud numérica correspondiente para el proceso de observación, evaluación ya análisis gráfico. (Grafica 9)



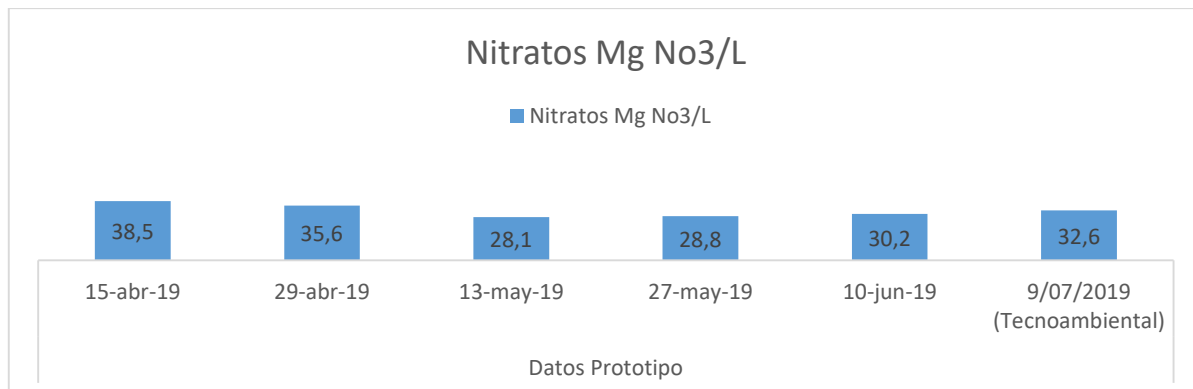
Grafica 9. Comportamiento de D.Q.O. en el sumidero, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Los valores analizados de fosforo encontrado en el agua, no fueron motivo de alarma para el sistema, teniendo en cuenta la presencia de ortofosfatos en el mismo, se asume que hace parte del ciclo natural del agua como elemento esencial para el crecimiento de plantas y peces en el prototipo, de manera concordante los análisis periódicos y el análisis realizado por el laboratorio TecnoAmbiental S.A.S. arrojaron resultados similares dentro del rango correspondiente a la misma gráfica, no obstante el cuidado de este elemento en el agua es esencial para descartar contaminación excesiva del agua y garantizar el bienestar de los seres vivos en el sistema. (Grafica 10)



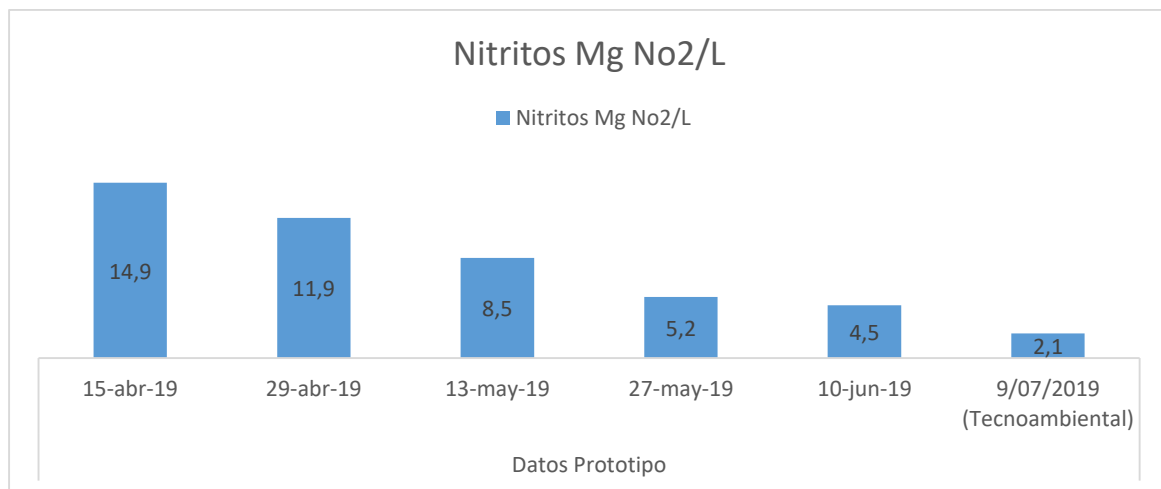
Grafica 10. Comportamiento de Fosforo Total en el sumidero, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Las muestras analizadas para obtener datos de cantidades de nitratos presentes en el prototipo revela cantidades no alarmantes para el desarrollo de las plantas, animales y no es un potencial significativo de contaminación, debido a que dicha sal o mineral, se encuentra naturalmente en los alimentos y nichos ecológicos, la relevancia de este análisis periódico constó de la supervisión de los niveles del mismo, teniendo en cuenta el cuidado que se le debe tener a los seres vivos y por qué el objetivo final de este sistema productivo fuera de la calidad y tratamiento del agua era la obtención de productos alimenticios para el ser humano. (Grafica 11)



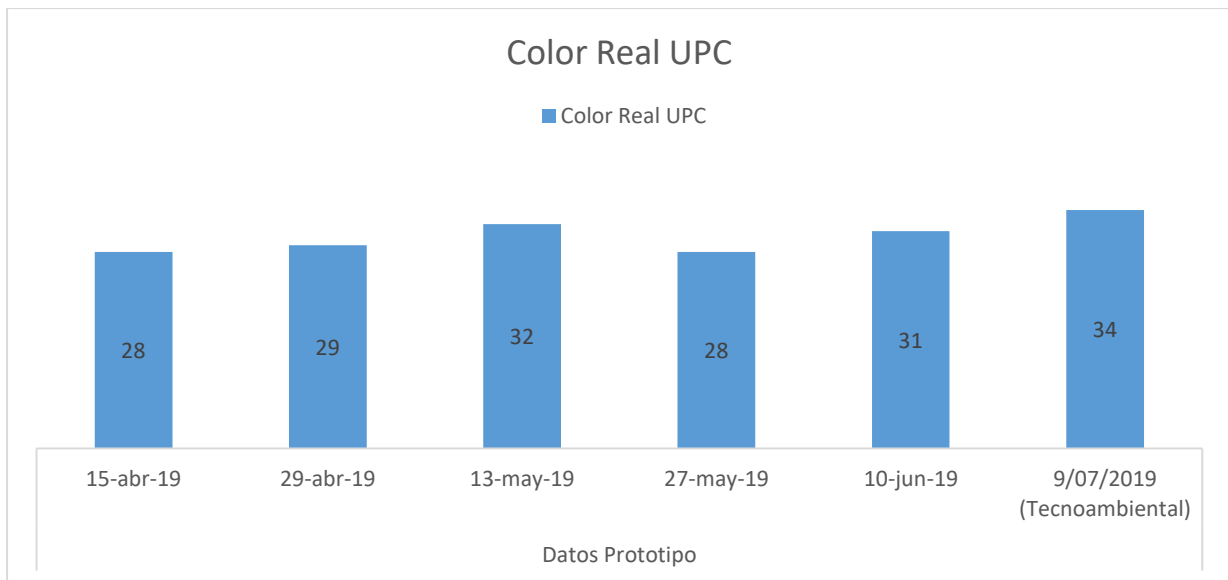
Grafica 11. Comportamiento de Nitratos en el sumidero, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Uno de los enfoques principales de los análisis periódicos fue, evidenciar y controlar los niveles de nitritos en el prototipo, puesto que niveles de nitrito superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos para ellos mismos y para el ser humano (Barrera & Verónica, 2012), La nitrificación de estos nitritos para pasarlos a nitratos, se hizo mediante bacterias y los resultados de análisis mostró como las bacterias se fijan y actúan oxidando este compuesto derivando en el éxito del sistema, garantizando el bienestar conjunto de los seres vivos allí presentes. (Grafica 12)



Grafica 12. Comportamiento de Nitritos en el sumidero, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Los análisis realizados correspondientes al color real, permiten observar el aumento o disminución de éste en el prototipo, en este caso el aumento de valores en dicho parámetro, fue debido a que el sistema acuapónico dentro de su estructura y manejo se denomina como un sistema cíclico cerrado, que a diferencia de las técnicas tradicionales (acuícola y piscícola) las cuales pueden llegar a manejar caudales más altos y que generan vertimientos y recambios, el sistema acaponado, no genera recambio ni vertimientos, por tal motivo el valor creciente de este parámetro dentro de los análisis era de esperarse y no afecta la producción, aun así es válido su evaluación. (Grafica 13)



Grafica 13. Comportamiento del Color Real en el sumidero, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

En cada uno de los parámetros analizados se evidencia el comportamiento a través del tiempo y duración del prototipo en funcionamiento, las condiciones óptimas permiten analizar una a una todas las variables de cada parámetro (*Figura 1 a la Figura 13*) donde se deja en claro que el prototipo acuapónico a escala piloto no solo no genera vertimientos a fuentes hídricas sino también dentro de cada etapa del proceso se adecua el agua para garantizar la vida de los peces y nutrientes a las plantas, la conductividad resalta en su escala creciente por la cantidad de iones presentes en descomposición de nitritos en nitratos y debido a que el montaje fue diseñado en sistema cíclico cerrado sin descarga alguna de liberación de componentes exceptuando material pesado (lodos), estas figuras dan una vista más detallada del comportamiento de las variables en cada parámetro y tiempos de medición. No se presenta gráfico de Nitrógeno Amoniacal ya que los resultados arrojados no pueden ser graficados, grafico de parámetro inexistente.

10.4 Análisis estadístico de las variables

10.4.1 Correlación de datos.

Para realizar el coeficiente de correlación de Pearson, el cual es un índice que mide el grado de correlación y variación entre distintas variables que son relacionadas linealmente. Esto significa

que puede haber variables fuertemente relacionadas se utilizaron los Resultados de datos en el prototipo Acuapónico (tabla 3)

Tabla 4. Correlación bilateral de Pearson, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Correlaciones																
		Temperat ura (°C)	pH (UN)	Conductiv idad	Sólidos Disueltos	Sólidos Suspendi	Turbiedad (NTU)	Demanda Biologica	Demanda Quimica	Fosforo Total (Mg)	Nitrato (Mg)	Nitró (Mg No2/L)	Nitrogeno Amoniaca	Color Real	Color Aparente	Oxígeno Disuelto
Temperat ura (°C)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	1	,846 [*]	-,682	,477	,475	,531	,767	,835 [*]	,238	,049	,676	^b	-,409	-,720	,754
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,034	,136	,339	,341	,278	,075	,039	,649	,927	,140		,420	,106	,083
pH (UN)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,846 [*]	1	-,612	,249	,178	,365	,498	,624	,175	-,177	,441	^b	-,518	-,720	,893 [*]
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,034	,197	,634	,735	,477	,315	,185	,740	,737	,381		,292	,106	,016
Conductiv idad	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	-,682	-,612	1	-,567	-,476	-,596	-,789	-,646	-,519	-,082	-,727	^b	,568	,941 ^{**}	-,514
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,136	,197	,241	,340	,212	,062	,166	,292	,877	,101		,240	,005	,296
Sólidos Disueltos Totales (Mg/L)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,477	,249	-,567	1	,985 ^{**}	,912 [*]	,879 [*]	,859 [*]	,839 [*]	,836 [*]	,958 ^{**}	^b	-,694	-,580	,109
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,634	,241		,000	,011	,021	,028	,037	,038	,003		,126	,228	,837
Sólidos Suspendi dos Totales (Mg/L)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,475	,178	-,476	,985 ^{**}	1	,872 [*]	,859 [*]	,852 [*]	,764	,856 [*]	,933 ^{**}	^b	-,616	-,491	,039
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,735	,340	,000		,024	,028	,031	,077	,030	,007		,193	,323	,942
Sólidos Suspendi dos Totales (Mg/L)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,475	,178	-,476	,985 ^{**}	1	,872 [*]	,859 [*]	,852 [*]	,764	,856 [*]	,933 ^{**}	^b	-,616	-,491	,039
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,735	,340	,000		,024	,028	,031	,077	,030	,007		,193	,323	,942
Turbiedad (NTU)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,531	,365	-,596	,912 [*]	,872 [*]	1	,902 [*]	,886 [*]	,936 ^{**}	,789	,939 ^{**}	^b	-,517	-,523	,389
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,477	,212	,011	,024		,014	,019	,006	,062	,005		,293	,288	,446
Demanda Biologica de Oxígeno (Mg O2/L)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,767	,498	-,789	,879 [*]	,859 [*]	,902 [*]	1	,946 ^{**}	,738	,572	,977 ^{**}	^b	-,528	-,727	,446
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,315	,062	,021	,028	,014		,004	,094	,236	,001		,281	,102	,375
Demanda Quimica de Oxígeno (Mg O2/L)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,835 [*]	,624	-,646	,859 [*]	,852 [*]	,886 [*]	,946 ^{**}	1	,677	,583	,944 ^{**}	^b	-,583	-,661	,541
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,185	,166	,028	,031	,019	,004		,139	,225	,005		,225	,153	,267
Fosforo Total (Mg P/L)	Correlaci ón de Sig. (bilateral)	,238	,175	-,519	,839 [*]	,764	,936 ^{**}	,738	,677	1	,806	,812 [*]	^b	-,502	-,422	,229
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
			,740	,292	,037	,077	,006	,094	,139		,053	,050		,310	,404	,663

Continuación de tabla 4.

Nitrato (Mg No3/L)	Correlación de Sig. (bilateral)	,049	-,177	-,082	,836*	,856*	,789	,572	,583	,806	1	,694	^b	-,363	-,051	-,181
	N	,927	,737	,877	,038	,030	,062	,236	,225	,053		,126		,479	,924	,731
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
Nitrito (Mg No2/L)	Correlación de Sig. (bilateral)	,676	,441	-,727	,958*	,933**	,939**	,977**	,944**	,812*	,694	1	^b	-,645	-,705	,344
	N	,140	,381	,101	,003	,007	,005	,001	,005	,050	,126			,167	,118	,504
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
Nitrogeno Amoniacal (Mg N-NH3/L)	Correlación de Sig. (bilateral)	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b	^b
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Color Real (UPC)	Correlación de Sig. (bilateral)	-,409	-,518	,568	-,694	-,616	-,517	-,528	-,583	-,502	-,363	-,645	^b	1	,769	-,170
	N	,420	,292	,240	,126	,193	,293	,281	,225	,310	,479	,167			,074	,748
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
Color Aparente (UPC)	Correlación de Sig. (bilateral)	-,720	-,720	,941**	-,580	-,491	-,523	-,727	-,661	-,422	-,051	-,705	^b	,769	1	-,492
	N	,106	,106	,005	,228	,323	,288	,102	,153	,404	,924	,118		,074		,322
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6
Oxígeno Disuelto (Mg O2/L)	Correlación de Sig. (bilateral)	,754	,893*	-,514	,109	,039	,389	,446	,541	,229	-,181	,344	^b	-,170	-,492	1
	N	,083	,016	,296	,837	,942	,446	,375	,267	,663	,731	,504		,748	,322	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6

Nota: Correlación bilateral de Pearson, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

b. No se puede calcular porque al menos una variable es constante.

De acuerdo con las correlaciones dadas se antepone la premisa de que este no es un análisis completo de variables ya que algunos de estos no se analizaron debido a que se encontraron datos inconsistentes para efectuar dicho análisis mediante el programa IBM SPSS Statistics 21. Teniendo en cuenta la correlación dada y observando detalladamente, existen parámetros que su resultado en correlación es significativo, afirmando la fuerte relación entre sí.

-Temperatura: se considera como un elemento significativo para el desarrollo de la vida en medios hídricos, teniendo en cuenta que esta interviene en la disponibilidad de recursos, la biodiversidad, el intercambio iónico y el cambio de gases. Se obtuvo una correlación fuerte con los parámetros de D.Q.O. (0,835), D.B.O. (0,738), Oxígeno disuelto (0,754) ya que la temperatura incide con la solubilidad del oxígeno en el agua y (0,846) la cual en este caso es indirectamente proporcional, quiere decir que cuando hay un aumento en la temperatura el pH tiende a disminuir.

-Conductividad, no tuvo relación con otro parámetro sin embargo se obtuvo datos elevados en este parámetro que permiten la aparición efectos de fitotoxicidad (J. Rakocy, 2006). Asimismo, proponen que en un sistema acuapónico, se deben obtener mínimos de conductividad entre

200-400 ppm para que se produzcan buenos resultados lo cual indica que en el sistema acuapónico se debía reducir la cantidad de peces o aumentar el flujo de agua.

-Sólidos disueltos totales, Sólidos suspendidos totales y Turbiedad se evidencio una mayor correlación en los datos, la cual se debe a que son parámetros relacionados

-D.B.O. y D.Q.O. de un agua nos permiten conocer la cantidad de materia orgánica que hay en ésta. La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar totalmente la materia orgánica biodegradable que se encuentre y por su parte la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente toda la materia orgánica que se pueda encontrar presente en las muestras, según la correlación de Pearson estos dos parámetros se encuentran fuertemente relacionados (,946) Se deduce que la exactitud y coherencia ya que la D.Q.O. siempre es mayor, o al menos igual, que la D.B.O (Lennard, W.A., 2004).

-Fosforo Total según la correlación de datos no se obtuvo relación con los otros parámetros del estudio.

-Nitrato, Nitrito y Nitrógeno Amoniacal se reflejaron fuertemente correlacionados ya que son parámetros que dependen uno del otro, el nitrito fue producido por las heces de los peces, que a su vez cuando llega al filtro biológico por medio de las bacterias nitrificantes presentes se convierte en nitrato el cual sirvió de alimento a las plantas sembradas, cabe decir que algunas veces las bacterias nitrificantes no alcanzan a transformar todo el nitrito en nitrato y este se convierte en nitrógeno amoniacal, siendo este último negativo para el desarrollo y crecimiento de los peces en el estanque.

-Color real, color aparente fue uno de los resultados en la que más se observó mayor relación (.99) de datos según la correlación de Pearson ya que estos parámetros dependen para ambos de las sustancias que se encuentren disueltas, como de las partículas que se encuentren en suspensión para la determinación y validación en las muestras (*Transparencia*, s. f.)

10.5 Comparación de resultados del sistema acuapónico con resultados de sistema piscícola tradicional.

En la tabla cinco (5) se presentan los resultados obtenidos en los monitoreos realizados en el sistema acuapónico a escala piloto y los realizados por la Ingeniera Carol Montoya en época de seca. Cabe aclarar que datos de conductividad se tomaron en el prototipo con el fin de tener monitoreo del sistema.

Tabla 5. Resultados obtenidos en el sistema y en el punto de vertimiento en la piscícola el Manantial, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Parametros	Unidades	Datos Prototipo						Datos Carol Montoya/Temporada seca		
Temperatura	°C	25,1	25,2	26,4	22,7	24,8	19,9	23,4	22,6	23,3
ph	UN	7,61	7,1	7,72	7,4	7,7	6,28	7,03	7,03	6,87
Conductividad	U S/cm	404	428	395	421	471	482			
Oxígeno Disuelto	Mg O ₂ /L	7,67	4,56	8,4	5,55	7,65	3,8	5,2	5,9	5,9
Solidos Disueltos Totales	Mg/ L	470	403	202	201	157	131	64,75	121,64	186,38
Solidos suspendidos totales	Mg/ L	39,40	39,05	30	29	28	25	21,71	71,94	93,65
Turbiedad	NTU	38,8	20,9	16,5	7,3	9,8	6,9	9,5	11	14,58
DBO	Mg O ₂ /L	35	30	28	16	16	11	27,95	24,71	52,66
DQO	Mg O ₂ /L	49	42	36	23	32	Menor a 15	27,67	87,87	115,53
Fosforo total	Mg P/L	3,4	2,63	2,52	2,48	2,3	2,49	0,13	0,27	0,08
Nitratos	Mg No ₃ /L	38,5	35,6	28,1	28,8	30,2	32,6	0,55	0,82	1,38
Nitritos	Mg No ₂ /L	14,9	11,9	8,5	5,2	4,5	2,1	0,04	0,05	0,09
Nitrogeno Amoniacal	Mg N-NH ₃ /L	Mayor a 1	Mayor a 1	Menor a 1	Menor a 1	Menor a 1	Menor a 1	0,92	1,37	2,3
Color Real	UPC	28	29	32	28	31	34	40	50	40
color Aparente	UPC	23	24	23	23	27	30	25	70	9
Caudal	L/h	120	120	120	120	120	120	72,25	31,78	50,9

Nota: Resultados obtenidos en el sistema y en la piscícola el Manantial, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

10.5.1 Carga Contaminante

Para la determinación de la calidad de la fuente hídrica en el sistema acuapónico y en el tramo objeto de estudio, se determinó la carga contaminante (ver tabla 6) de acuerdo a los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos (Solidos disueltos totales, Solidos suspendidos totales, DBO, DQO, Fosforo total, Nitratos, Nitritos). En la cual se utilizó la siguiente formula:

Carga contaminante diaria (Cc).

$$Cc = Q \times C \times 0.0864 \times (t/24)$$

Donde:

Cc = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q = Caudal promedio, en litros por segundo (l/s)

C = Concentración de la sustancia contaminante, (mg/l)

0.0864 = Factor de conversión de unidades

t = Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h).

Tabla 6. Carga Contaminante (kg/día), Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Parametros	Unidades	Sistema Prototipo Acuaponico		Datos Ing Carol Montoya/ Temporada Seca	
		Promedio de Datos	Carga Contaminante (kg/día)	Promedio de Datos	Carga Contaminante (kg/día)
Solidos Disueltos	Mg/ L	260,67	0,75072	124,2566667	554,4312586
Solidos	Mg/ L	30,21	0,0870048	62,43333333	278,5765344
DBO	Mg O2 /L	22,67	0,06528	35,10666667	156,645385
DQO	Mg O2 /L	36,40	0,104832	77,02333333	343,676881
Fosforo total	Mg P/L	2,64	0,0075936	0,16	0,71391744
Nitratos	Mg No3/L	32,30	0,093024	0,916666667	4,090152
Nitritos	Mg No2/L	7,85	0,022608	0,06	0,26771904
Caudal	L/h	0,033333333	--	51,64333333	--

Nota: Carga Contaminante vertida en (kg/día), Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Los resultados de carga contaminante expresado en kilogramo vertido por día de cada uno de los parámetros, tanto para el sistema acuapónico como en el punto de vertimiento en temporada seca según la Ingeniera ambiental Carol Montoya se evidencio que efectivamente la carga contaminante en un sistema acuapónico es menor que los generados en el vertimiento, por esta razón el agua en el prototipo puede ser recirculada sin tener afectación en los peces y en las plantas, no obstante cabe resaltar que los caudales manejados fueron diferentes puesto que el sistema se realizó a escala piloto.

La carga contaminante en el punto de vertimiento de la piscícola el Manantial en temporada seca en el Caño Pilatos en Restrepo- Meta también se pudo ver afectada ya que hay vertimientos de aguas residuales generados en el área urbana aguas arriba que al disolverse con el vertimiento de la piscícola aumenta la carga contaminante del caño.

10.5.2 Porcentaje de Remoción

El porcentaje de remoción, indica cantidades porcentuales que son eliminadas o son removidas por medio de un proceso puntual, en este caso el sistema acuapónico permitió la remoción de materiales o sustancias, que dependiendo de su concentración podrían ser contaminantes, generando impactos nocivos para el medio ambiente y la salud humana (ver tabla 7)

Para determinar el porcentaje de remoción se utilizó la siguiente formula:

$$\%R = (C_e - C_s) / C_e * 100$$

Donde:

%R = Porcentaje de Remoción

C_e = Concentración de entrada de la sustancia contaminante (mg/l)

C_s = Concentración de salida de la sustancia contaminante, (mg/l)

Tabla 7. Porcentaje de Remoción, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Parametros	Unidades	Datos Prototipo		
		Datos entrada	Datos Salida	%R
Solidos Disueltos Totales	Mg/ L	470	131	72,1
Solidos suspendidos totales	Mg/ L	39,4	25	36,5
DBO	Mg O ₂ /L	35	11	68,6
DQO	Mg O ₂ /L	49	15	69,4
Fosforo total	Mg P/L	3,4	2,49	26,8
Nitratos	Mg No ₃ /L	38,5	32,6	15,3
Nitritos	Mg No ₂ /L	14,9	2,1	85,9

Nota: Porcentaje de Remoción en el sistema acuaponico por Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

El análisis de remoción se presenta únicamente en los valores obtenidos en el desarrollo del prototipo acuapónico a escala piloto, ya que este, dentro de la comparación, era el único sistema con capacidad de remover y no se tuvo en cuenta para su análisis de remoción parámetros de las muestras de aguas vertidas por la piscícola El Manantial, debido a que este sistema no tenía ningún tratamiento previo o posterior al uso del recurso.

Dentro de los datos calculados de remoción mostrados en la anterior tabla (Tabla 7) se revelan los parámetros que tuvieron mayor porcentaje de remoción debido al sistema acuapónico:

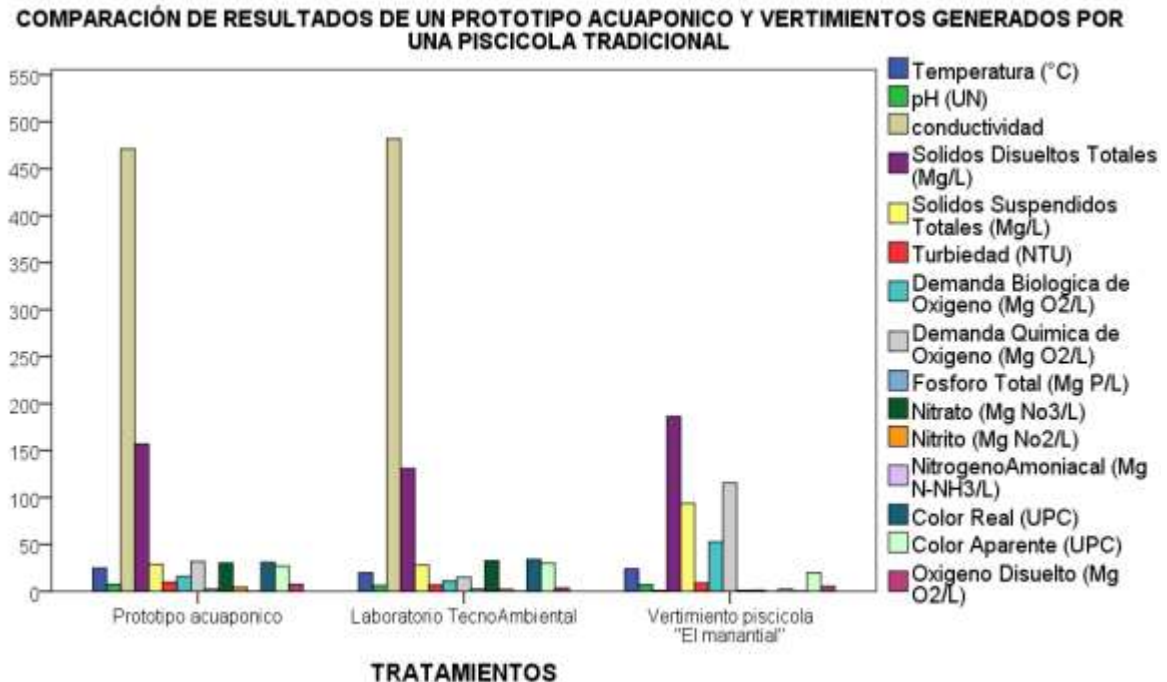
- ✓ Solidos Disueltos Totales = 72,1%, removido. Causado por la disposición de filtros y lechos filtrantes que hicieron parte del prototipo.
- ✓ D.B.O. = 68,6%, removido. Causado por la descomposición de materia orgánica en el sistema, al controlar el crecimiento y estadía de materia orgánica este parámetro disminuyó su valor y la calidad del agua aumentó.

- ✓ D.Q.O. = 69,4%, removido. La cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio químicos disminuyo, aunque muchas sustancias pueden oxidarse químicamente este valor de remoción presente garantiza la estabilidad del sistema y el bienestar de los seres vivos.
- ✓ Nitritos = 85,9%, removido (Transformación – Nitrificación).

De la calidad de agua depende el buen funcionamiento de cualquier sistema productivo, es por eso que impera la evaluación periódica de la misma y el estado óptimo para obtener resultados favorables que faciliten o mejoren el desarrollo de los seres vivos, el prototipo acuapónico a escala piloto, fue evaluado con periodicidad y constancia junto a la estimación de remoción general de materiales con potencial contaminante.

10.6 Comparación de análisis prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional

Los datos comparados fueron, los resultados de muestras analizadas en el laboratorio de aguas de La Universidad Santo Tomas campus Aguas Claras sede en Villavicencio, Meta, análisis generar de muestras de agua para la validación de resultados por parte del Laboratorio Tecno Ambiental S.A.S y los resultados de análisis de agua punto 1 de vertimiento en estado seco de la ingeniera ambiental Carol Montoya. Análisis estadístico comparativo generado con IBM SPSS Statistics 21. (Grafica 14)



Grafica 14. Comparación de resultados, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019. (IBM SPSS Statistics 21).

Los resultados de los análisis fueron favorables y similares; en los casos de los análisis generados en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Santo Tomás y el análisis general de verificación por parte de TecnoAmbiental S.A.S. Los datos elevados en conductividad demuestran un flujo constante del agua en un ciclo cerrado con purgas de lodos decantados por el proceso en el sedimentador, debido al mismo proceso tenemos altas en datos resultantes en la comparación del color aparente puesto que, las muestras de la ingeniera Carol Montoya fueron tomadas en una vertiente de la piscícola hacia un caño afluente aledaño, lo cual indica que su corriente es mayor debido a mayor caudal y área, por lo tanto el color no se fija o está presente en las muestras de agua tomadas. En los demás resultados el sistema acuapónico resalta en los bajos datos obtenidos a comparación del resultado de los análisis en la Piscícola “El Manantial”, no presentan cargas elevadas en solidos suspendidos $25 < \text{vs } 93$ ó $= 100$ en el caso de la piscícola, solidos disueltos totales $150 < \text{ó } = 196$ ó $= 200$, nitrógeno amoniacal $< \text{ó } = 50$, $120 > \text{ó } = 100$, DBO $< \text{ó } = 25$, $75 > \text{ó } = 100$, DQO $< \text{ó } = 30$, $125 < \text{ó } = 150$ y fosforo lo que indica que el ingreso de materiales y estados contaminantes a aguas superficiales es inexistente por parte del sistema acuapónico, es altamente rentable, sustentable ya que no genera contaminación de ningún tipo y los subproductos generados

como los lodos de purgas pueden ser tratados como materia prima para la obtención de abono orgánico rico en nutrientes.

Las estadísticas presentadas anteriormente dan cumplimiento a los objetivos de la investigación y cumplen con la evaluación comparativa del sistema acuapónico junto a los procesos piscícolas tradicionales teniendo en cuenta que las cargas contaminantes en el prototipo acuapónico son tratadas dentro del mismo sistema ya que este es un sistema cíclico cerrado, y se reconoce la carga masiva de contaminantes vertidos por el recambio de aguas de la piscícola en sistemas tradicionales.

10.7 Comparación de análisis microbiológico prototipo acuapónico a escala piloto y vertimientos generados en piscícola tradicional.

La agrupación de los resultados de análisis microbiológicos realizado por la ingeniera ambiental Carol Montoya y los resultados de análisis hechos al prototipo acuapónico a escala piloto, dieron pie a su evaluación y sentido gráfico, para evidenciar diferencias en la disminución de carga microbiana en el agua, esto con el fin del cumplimiento a la evaluación comparativa de ambos métodos. (Tabla 8)

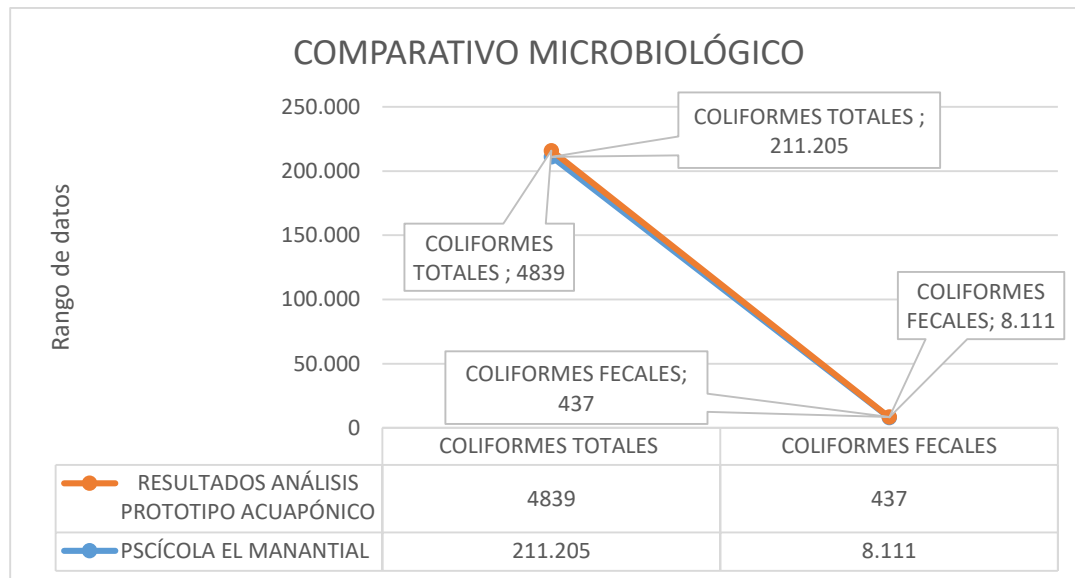
Tabla 8. Resultados Microbiológicos – Comparativo, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

PARÁMETRO	DATO	UNIDAD
PSCÍCOLA EL MANANTIAL		
NITRATOS	-2,35	KG/DÍA-
NITRÓGENO AMONIAICAL	-6,56	KG/DÍA-
COLIFORMES TOTALES	211.205	NMP/100ML
COLIFORMES FECALES	8.111	NMP/100ML
RESULTADOS ANÁLISIS PROTOTIPO ACUAPÓNICO		
NITRATOS	32,6	Mg NO ₃ /L
NITRÓGENO AMONIAICAL	< 1,0	Mg N-NH ₃ /L
COLIFORMES TOTALES	4839	NMP/100ML
COLIFORMES FECALES	437	NMP/100ML

Nota: Comparación de resultados Microbiológicos por Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

La disminución de factores o agentes microbiológicos dentro del sistema acuapónico, garantiza el bienestar de los seres vivos y las condiciones del agua, por otra parte, la presencia de estos mismos en el caso de una piscícola tradicional acarrea innumerables efectos negativos al medio ambiente y a la salud humana, ya que bajo esta técnica tradicional de producción el agua no

es tratada y es vertida directamente a una fuente hídrica aledaña. El grafico comparativo muestra dos líneas descendientes ilustrando las diferencias de carga microbiológica en los resultados obtenidos en ambos casos. (Grafica 15)



Grafica 15. Comparativo Microbiológico, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

Es valida la aclaración frente a las alzas de valores microbiológicos, siendo este un sistema de ciclo cerrado sin fugas más que las periódicas de purgas las concentraciones de materia orgánica se incrementan y estabilizan constantemente.

Los análisis de resultados y las comparaciones realizadas reflejan que la acuaponía como técnica de producción genera grandes expectativas para el desarrollo, ahorro y uso eficiente del agua, medio ambiente y economía, que en su comparación precisa con técnicas convencionales de cultivo resalta como una opción viable.

10.8 Resultados De Divulgación

La participación dentro de la Jornada de fortalecimiento de las competencias en la media técnica ambiental desarrollada por parte de la Universidad Santo Tomás junto a la institución educativa municipal COLEGIO JUAN B CABALLERO MEDINA abrieron el paso para brindar información sobre la técnica acuapónica implementada en este proyecto, adicionalmente se dio respuesta a preguntas de interés y se pudo mostrar la acuaponía como una técnica innovadora, no contaminante y alternativa para el desarrollo en los campos productivos acuícolas, piscícolas y

agrícolas, los estudiantes de bachillerato se mostraron abiertos a las nuevas tecnologías cumpliendo el propósito de la divulgación del proyecto y los resultados hasta el momento obtenidos.

La divulgación hecha mediante la participación del “CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPONIA” abrió puertas para la socialización de las problemáticas y propuestas de solución a temáticas ambientales, en el caso particular del ahorro y uso eficiente del agua, sin afectar la productividad o desempeño económico con la técnica de la acuaponía, sirviendo como staff en stand se pudo comunicar y contactar con personas de diversas partes del mundo sobre la problemática y solución a esta que la acuaponía ofrece, y dentro de nuestra ponencia se evidencio con imágenes, gráficas y respuesta a preguntas de interés, el manejo del tema, posibles dudas e inquietudes y se socializó el tema a piscicultores, acuicultores, estudiantes que deseaban conocer más y encaminar ideas de proyectos hacia la misma dirección, también a docentes que hicieron de este tema un interés evidente.

Se realizó una degustación tipo almuerzo a los docentes de la Universidad Santo Tomás, facultad de ingeniería ambiental, del producto final del sistema acuapónico, donde se evidencia el gusto particular del sistema, resaltando que no existen diferencias ni alteraciones en sabor, color o tiempos de producción del sistema frente a un sistema piscícola tradicional o cultivo agrícola; pero se exhibe la producción conjunta de estos dos campos productivos en uno solo con la implementación del sistema cíclico acuapónico (Ilustración 2)



Ilustración 2. Degustaciones de resultados sistema acuapónico sabores sostenibles, Wendy Ruiz & Juan Guayara, 2019.

10. Divulgación de los resultados

La propuesta de divulgación de los resultados de la investigación se realizó a manera de ponencia denominada “Evaluación experimental comparativa de remoción de materia orgánica del sistema acuapónico a escala piloto y vertimientos de sistemas acuícolas tradicionales (Meta)” en el CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPONIA en la UNIVERSIDAD MILITAR DE NUEVA GRANADA en la ciudad de Bogotá D.C. el día 25 de octubre de 2019, donde se contó con la presencia de jóvenes estudiantes de diferentes universidades del país, acuicultores y piscicultores invitados de Colombia y otros siete (7) diferentes países como España, Ecuador, Chile, Brasil, México, Argentina, Estados Unidos. Adicional a esto se hizo presencia como ponentes colaboradores en stand del día 23 al 25 de octubre de 2019 para la empresa SERVIAQUA a cargo del Biólogo Marino Ramón Nieto.

La Jornada de fortalecimiento de las competencias en la media técnica ambiental desarrollada por parte de la Universidad Santo Tomás junto a la institución educativa municipal COLEGIO JUAN B CABALLERO MEDINA a estudiantes de bachillerato tuvo como objetivo evidenciar tipos de mediciones y técnicas para la reducción de la contaminación de los recursos, es por eso que la participación de este proyecto dentro de la jornada sirvió de apoyo para mostrar y fortalecer conocimientos del tema tratado.

Se planeó como parte de la divulgación de resultados una degustación tipo almuerzo, el día en la sede Loma linda de la Universidad Santo Tomás donde se invitó a los docentes de la facultad de ingeniería ambiental a que participaran y probaran los peces y productos agrícolas obtenidos del sistema acuapónico, se dejó en claro que no existen diferencias en crianza, sabor y tiempo de producción pero si el beneficio de producción conjunta de estos de los sistemas agrícola y piscícola obteniendo beneficios económicos mayores y contribuyendo con el ahorro y uso eficiente del agua.

11 Recomendaciones

Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo fue éste, el deseo es que siempre haya una mejora continua del mismo; por lo tanto, se recomienda a futuros estudiantes o ingenieros, que tengan interés en el proyecto, la complementación del sistema con transformación de lodos y medidas de peso del mismo y comparación a diferentes temperaturas, y aún más recomendable sería la identificación y control de bacterias nitrificantes fijadas en el filtro biológico para la determinación de la eficiencia del mismo.

Un aspecto importante para que el sistema sea funcional es el tiempo en el que se organizan cada una de las etapas en la metodología, teniendo en cuenta, tiempos de maduración y desarrollo del sistema, la evaluación constante de cada una de las etapas del sistema para no incurrir en novedades adversas, formas de obtención de los recursos y diseño del prototipo.

Otra recomendación sería incluir más modelos de sistemas acuapónicos, donde se haga posible la comparación de resultados en el tratamiento de agua y quizás poder tener en cuenta el crecimiento de plantas y peces en periodos de tiempo establecidos. Por ultimo sería recomendable adaptar el sistema o prototipo para la no utilización directa de la energía eléctrica y se usara una forma de obtención de energía alternativa.

12 Limitantes

Durante el desarrollo del proyecto surgieron inconvenientes y limitantes como:

- Encontrar insumos y equipos adecuados para el montaje
- Inversión inicial elevada, relación costo beneficio con resultados remuneradores a largo plazo
- Obtención de energía eléctrica, posible opción de uso de energías alternativas o renovables recomendadas
- Adecuación del terreno y espacios acordes debido a falta de superficies planas o con las inclinaciones correspondientes para el sistema

13 Conclusiones

El objetivo de esta tesis o trabajo de grado era crear un prototipo de sistema acuaponico a escala piloto, desarrollar éste como sistema productivo y de tratamiento de agua, asemejando valores y calidad del agua con sistemas piscícolas tradicionales para así poderlos analizar, evaluar o cotejar de forma comparativa estas dos formas de producción y poder concluir cual sería mejor en términos ambientales, pero debido al desconocimiento o falta de conciencia del sistema acuapónico se debió generar una socialización y divulgación de resultados a jóvenes, al gremio acuicultor y piscícola dando importancia al mismo para la apropiación del sistema e información adquirida.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de analizaron de la manera correspondiente y su tratamiento estadístico se realizó con método de correlación de datos y formula de Pearson junto a la aplicación del programa IBM SPSS Statistics 21, para la valoración comparativa de los dos sistemas productivos.

El tiempo de espera para los resultados de muestreo depende de la organización de fecha de toma de muestras o contratos previos con laboratorio de aguas, la comparación y análisis estadísticos fueron favorables en cuanto a la correlación de parámetros o variables presentes en cada análisis y la comparación de resultados del prototipo con los resultados obtenidos previamente por la ingeniera Carol Montoya de la piscícola el “Manantial” en el municipio de Restrepo en el departamento del Meta. Los datos fueron favorables y el prototipo de manera esperada funciono correctamente evidenciando así que existen formas diferentes y ecológicas de producción.

De acuerdo a los porcentajes de remoción se evidencio que un sistema acuapónico ayuda a disminuir cargas contaminantes en afluentes hídricos y al reúso del recurso agua. Esto debido al filtrado, trasformación y a aprovechamiento de material con potencial contaminante que no es vertido sino aprovechado. A diferencia de las técnicas de producciones tradicionales como la acuícola o piscícolas, que en su mayoría generan un impacto negativo al medio ambiente al contaminar fuentes hídricas aledañas y pocas invierten recursos para disminuir esta afectación.

Por lo expuesto anteriormente, los sistemas acuapónicos se están posicionando como una alternativa sólida, ya que permite hacer un uso más racional del agua, aprovechar los nutrientes contenidos en el agua y reducir en gran medida el porcentaje de agua que necesita reponer una instalación de recirculación de agua.

La participación como ponentes en el CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPONIA en la UNIVERSIDAD MILITAR DE NUEVA GRANADA, Bogotá, se desarrolló con éxito, logrando así divulgar información de la investigación obtenida a jóvenes estudiantes de diferentes universidades del país, a diferentes piscicultores y acuicultores internacionales.

14 Referencias bibliográficas.

- Ábrego, R., Ballesteros, C., Cerezo, V., Chung, Y., Farrugia, C., & Vallester, E. (2018). *Evaluación de un filtro biológico con material de soporte orgánico-rocas- a una escala de laboratorio*. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Alcaldia Municipal de Villavicencio. (S,f). *Unidad Operativa de Catastro*. Villavicencio .
- Aznar, A. (S.f). *Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas*. España: Instituto tecnológico de Química y Materiales "Alvaro Alonso Barba".
- Bald, J., Solaun, O., & Borja, A. (2009). Los impactos de la acuicultura: minimización y certificación. En *La nutrición y alimentación en piscicultura* (págs. 755-803). España: Publicaciones Científicas y Tecnológicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura.
- Constitución Política de Colombia. (1991). Art. 49,79,89. Bogotá: República de Colombia.
- Convenio 122. (2013). *Productividad y competitividad en el sector pesquero y acuícola*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Corporación Colombiana Internacional.
- Covarrubias, J. (2011). Calidad del agua para el cultivo de Tilapa en tanques de geomembrana. *Fuente*(8).
- Decreto 2256. (1991). *Manejo integral de la actividad acuícola*. Bogotá: República de Colombia.
- Decreto 2811. (1974). *Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Proección al medio Ambiente*. Bogotá: República de Colombia.
- Espinosa, A., & Bermúdez, M. d. (2012). *La acuicultura y su impacto al medio ambiente*. Ciudad de México: Coordinación de Ciencia de los Alimentos.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible*. S.1 .
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría*. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ley 13 . (1990). *Estatuto general de pesca*. Bogotá: República de Colombia.
- Ley 23. (1973). *Instituto Distrital de Protección y Bienestar Animal*. Bogotá: República de Colombia.

- Ley 811. (2003). *Legislación Colombiana Lexbase*. Bogotá: República de Colombia.
- Ley 9. (1979). *Medidas sanitarias*. Bogotá: República de Colombia.
- Montoya, C. (2018). *Determinación de la calidad fisicoquímica del caño Pilatos en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la descarga de las aguas de recambio de la piscícola el Manantial*. Restrepo-Meta: Universidad Santo Tomás. Trabajo de Pregrado.
- Organización para las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (S.f). *Departamento de Pesca y Acuicultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/colombia/es/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2016). *Objetivos del desarrollo sostenible*. PNUD.
- Rabassó, M. (2006). *Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos*. España.
- Rumiz, D., Canedo, P., Alarcón, M., Anivarro, R., & Vides, R. (2015). Valoración de los Servicios Ecosistémicos de las reservas forestales. En *Problemática de las Reservas forestales en el Departamento de Santa Cruz* (págs. 77-114). Santa Cruz: FCBC-Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz.

15 Anexos.

Anexo 1. Reporte de resultados Laboratorio TecnoAmbiental s.a.s

 **TECNO Ambiental S.a.s.**
Asesoría y Laboratorio

Página 1 de 1 **REPORTE DE RESULTADOS** T.A. 36054

Solicitante:	WENDY VANESSA RUIZ PALACIOS	Dirección:	Carrera 51 # 42 - 118
Contacto:	Wendy Ruiz @uasentomas.edu.co	Teléfonos:	3143389163

MUESTRA No.	No Reporta	Plan de monitoreo:	N.A.
Fecha de toma:	2019/07/09	Hora de Toma:	12:10
Departamento:	Meta	Municipio:	Villavicencio
Vereda/Barrio:	U.Santo Tomás - Aguas Claras	Fuente:	No Reporta
Punto:	No Reporta	Lugar de muestreo:	Prototipo Acuaponico Universidad Santo Tomás
Coordenadas:	No Reporta	Altitud:	No Reporta
Clase de muestra:	Cruda	Tipo de muestra:	Agua Cruda
Fecha Recepción:	2019/07/09	Fecha de emisión del reporte:	2019/07/31

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO				
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO
COLOR APARENTE	UPC	SM 2120 B	2019/07/09	30
COLOR REAL	UPC	SM 2120 C	2019/07/10	34
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B - SM 4500 O G	2019/07/10	11
D.Q.O.	mg O ₂ /L	SM 5220 C	2019/07/28	< 15
FÓSFORO TOTAL**	mg P/L	SM 4500 P B, E	2019/07/23	2.49
NITRATOS	mg NO ₃ /L	Salicilato de Sodio Redox J	2019/07/18	32.6
NITRITOS	mg NO ₂ /L	SM 4500 NO ₂ B	2019/07/09	2.1
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg N-NH ₃ /L	SM 4500 NH ₃ B C	2019/07/11	< 1.0
OXÍGENO DISUELTO*	mg O ₂ /L	SM 4500 O C	2019/07/09	3.8
pH*	UN	SM 4500 H ⁺ B	2019/07/09	6.28
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	SM 2540 C	2019/07/15	131
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	SM 2540 D	2019/07/15	25
TEMPERATURA*	°C	SM 2550 B	2019/07/09	19.9
TURBEDAD	NTU	SM 2130 B	2019/07/10	6.9

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO				
Coliformes fecales	NMP/100ml	SM 9223 B	2019/07/09	437
Coliformes totales	NMP/100ml	SM 9223 B	2019/07/09	4838

* Parámetro medido en el Laboratorio ** Reporte Laboratorio Externo

 **NOÉ FRANCISCO JIMENEZ**
Jefe de Laboratorio
P.Q. 0396

 **LORENA MARTÍNEZ G.**
Microbióloga

Los resultados indicados como + (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de análisis.
Muestra realizada por EL SOLICITANTE.
Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas.
Prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización de TECNO Ambiental S.A.S.
TF0055REV/III

PÁG. DEL RESULTADO

Anexo 2. Certificados de orientadores en las jornadas de inmersión para la Institución Educativa Juan B. Caballero Molina para el primer periodo de 2019.

	ALCALDÍA DE VILLAVICENCIO – META (REPÚBLICA DE COLOMBIA) SECRETARÍA DE EDUCACIÓN MUNICIPAL INSTITUCIÓN EDUCATIVA MUNICIPAL COLEGIO JUAN B. CABALLERO MEDINA PLANTEL OFICIAL CREADO SEGUN ORDENANZA N° 008 DE NOVIEMBRE 03 DE 1.992. RECONOCIMIENTO OFICIAL RES. N°1505 DE 2001. RES DE FUSIÓN N°1952 DE 2002 DE LA SED. EDUCACIÓN MEDIA TÉCNICA SEGUN RES. N° 0074 DE 2003 DE LA S.E.M. NIT. 900 193 975-5 REGISTRO EDUCATIVO POE: 003007 CODIGO DANE: 15000-1004711 CODIGO ICFES 677354	
---	--	---

**EL RECTOR DE LA INSTITUCION EDUCATIVA MUNICIPAL
COLEGIO JUAN B CABALLERO MEDINA**

CERTIFICA:

Los docentes abajo referenciados, pertenecientes al Grupo de Investigación Gestión Ambiental GAUV, de la Facultad de Ingeniería Ambiental, adscrita a la Universidad Santo Tomas Sede Villavicencio, participaron como capacitadores den la "Jornada de Fortalecimiento de las Competencias en la Media Técnica Ambiental", cuyo propósito es potencializar las aptitudes de la Media Técnica de los estudiantes de bachillerato en los colegios del municipio de Villavicencio, a través de trabajo teórico-práctico para la identificación y medición de variables ambientales y de contaminación ambiental. La jornada orientó a 23 estudiantes el pasado lunes 06 de mayo de 2019 durante 3 horas (9:00 am. – 12:00 m.), en el Centro de Convenciones y Laboratorios del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomas Sede Villavicencio.

Durante las actividades los docentes orientaron a través de la metodología práctica el uso de herramientas tecnológicas en la medición de variables de campo y de laboratorio para cuantificar alteraciones ambientales y comprender los fenómenos de contaminación ambiental.

Lista de docentes participantes en la actividad:

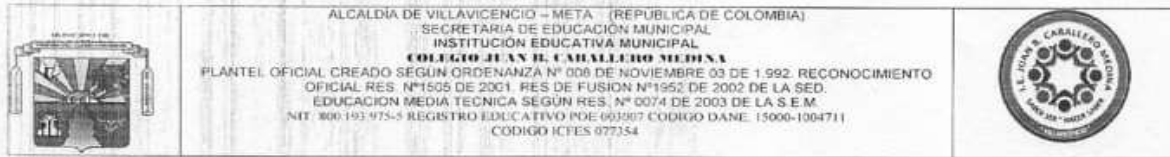
NOMBRE Y APELLIDOS	DOCUMENTO IDENTIFICACION
Jair Burgos Contento	1024540918
Estudiante: Juan Felipe Guayara Achury	1121929304
Estudiante: Wendy Vanessa Ruiz Palacios	1121924977

Expedida en Villavicencio - Meta, a los 07 días del mes de junio de 2019


LIC. ALVARO HERNANDEZ MORA.
C.C. 19.370.242 de Bogotá D.C.
Rector

Almeida P.

KR 53 CON CL 2 S BARRIO LLANO LINDO – AUTOP. NUEVA VIA BOGOTÁ
 Correo electrónico secretaria@juanbcaballero.edu.co – TEL. 6707358 – Celular 310 8143990 Villavicencio (Meta)



**EL RECTOR DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MUNICIPAL
COLEGIO JUAN B CABALLERO MEDINA**

CERTIFICA:

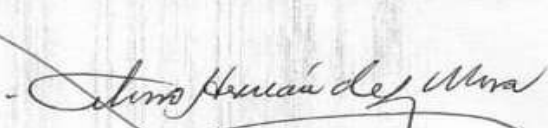
Los docentes abajo referenciados, pertenecientes al Grupo de Investigación Gestión Ambiental GAUV, de la Facultad de Ingeniería Ambiental, adscrita a la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio, participaron como capacitadores de la "Jornada de Fortalecimiento de las Competencias en la Media Técnica Ambiental", cuyo propósito es potencializar las aptitudes de la Media Técnica de los estudiantes de bachillerato en los colegios del municipio de Villavicencio, a través de trabajo teórico-práctico para la identificación y medición de variables ambientales y de contaminación ambiental. La jornada orientó a 19 estudiantes el pasado lunes 13 de mayo de 2019 durante 3 horas (9:00 am. – 12:00 m.), en el Centro de Convenciones y Laboratorios del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio.

Durante las actividades los docentes orientaron a través de la metodología práctica el uso de herramientas tecnológicas en la medición de variables de campo y de laboratorio para cuantificar alteraciones ambientales y comprender los fenómenos de contaminación ambiental.

Lista de docentes participantes en la actividad:

NOMBRE Y APELLIDOS	DOCUMENTO IDENTIFICACION
Verónica Duque Pardo	1016023600
Estudiante: Juan Felipe Guayara Achury	1121929304
Estudiante: Wendy Vanessa Ruiz Palacios	1121924977

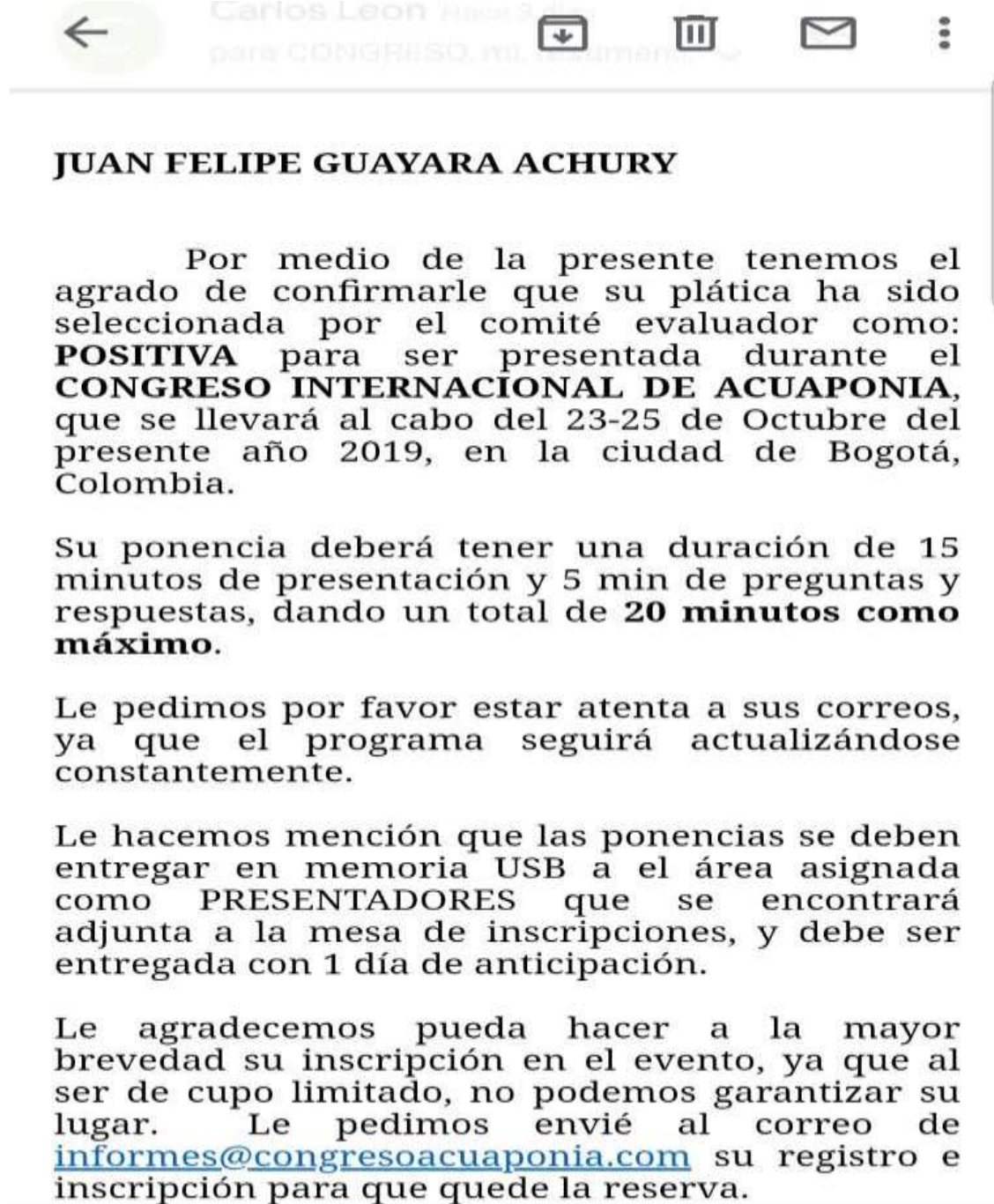
Expedida en Villavicencio - Meta, a los 07 días del mes de junio de 2019.


LIC. ALVARO HERNANDEZ MORA.
 C.C. 19.370.242 de Bogotá D.C.
 Rector

Almeida P.

KR 53 CON CL 2 S BARRIO LLANO LINDO – AUTOP. NUEVA VIA BOGOTÁ
 Correo electrónico secretaria@juanbcaballero.edu.co – TEL. 6707358 – Celular 310 8143990 Villavicencio (Meta)

Anexo 3. Aceptación de participación en Congreso Internacional De Acuaponía, realizado en la Universidad Militar Nueva Granada



Anexo 4. Link de Congreso Internacional De Acuaponía, Universidad Militar Nueva Granada (<https://www.youtube.com/watch?v=dtS33e4IERQ&feature=youtu.be>) (hora 3)

Anexo 5. Figuras del prototipo a escala piloto en la Universidad Santo Tomas.

trasporte del agua en el vertimiento de la
nitrógeno al Manantial



Incorporacion de peces al sistema



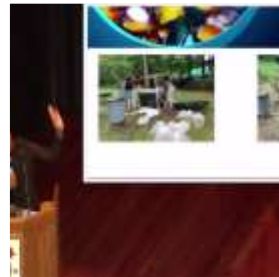
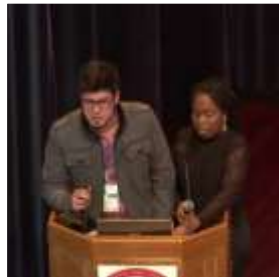
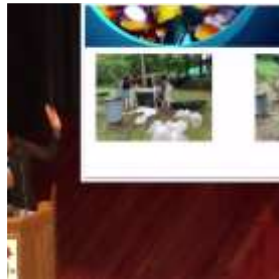
Compra de peces (Tilapia Roja)



Incorporacion de peces al sistema
acuaponico



Anexo 6. Figuras de participación en el Congreso Internacional de Acuapónia



Anexo 7. Carta por parte de SERVI-AQUA COLOMBIA



SERVICIOS ACUÍCOLAS DE COLOMBIA
SERVI-AQUA
NIT. 86054366-5

Consultoría
Planeación de proyectos
Investigación
Venta de Equipos

Villavicencio, 28 de octubre de 2019

A QUIEN LE CORRESPONDA

La empresa **SERVI-AQUA COLOMBIA** (Servicios Acuícolas de Colombia), mediante su Representante Legal, el señor **Ramón Nieto Bernal**, registrado ante la Cámara de Comercio de Villavicencio con el NIT. 86.054.366-5, certifica que la señorita **WENDY VANESSA RUIZ** identificada con C.C. 1.121.924.977 y el señor **JUAN FELIPE GUAYARA ACHURY**, identificado con C.C. 1.121.929.304, colaboraron como **PERSONAL STAFF** dentro del Stand de la empresa durante el **CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPONÍA 2019**, realizado en la ciudad de Bogotá entre el 22 y 25 de octubre, en las instalaciones de la Universidad Militar Nueva Granada.

Cordialmente

Ramón Nieto Bernal

Representante Legal

Servi-Aqua Colombia – Servicios Acuícolas de Colombia

Av. Del Llano - Cra. 23 Nº 37 - 41 Santa Inés, Villavicencio, Meta (Tel: 316 3732795)
www.serviaquacolombia.com
Correo electrónico: serviaquacolombia@gmail.com



CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPONIA

LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

certifica a:

**JUAN FELIPE GUAYARA ACHURY Y WENDY
VANESSA RUIZ PALACIOS.**

Por haber participado como ponente en el

CONGRESO INTERNACIONAL DE ACUAPONIA 2019

Bogotá, Colombia 23 al 25 de Octubre de 2019

Agradecemos y recomendamos su valiosa participación

DRA. MARÍA ALEJANDRA JARAMILLO
DIRECTORA PROGRAMA DE BIOLOGÍA
APLICADA

IBAC. CARLOS LEÓN RAMOS
PRESIDENTE DEL COMITÉ ORGANIZADOR

