



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES “ECAA”

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

**“FITORREMEDIACIÓN CON *Lemna minor* Y *Zantedeschia aethiopica* EN PISCINAS BIODIGESTORAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO JATUN YAKU DEL CANTÓN OTAVALO.”**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:**

Línea 4. Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

Sublínea. Desarrollo y sostenibilidad

**AUTOR/A:** HENRY PATRICIO PAREDES PINTO

**ASESOR/A:** Ph.D. RUBÉN DEL TORO DÉNIZ

IBARRA, NOVIEMBRE – 2019



Ibarra, 07 de Noviembre de 2019

Ph.D RUBÉN DEL TORO DÉNIZ  
ASESOR

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:) .....  



Ph.D RUBÉN DEL TORO DÉNIZ

C.C.: 1757544471

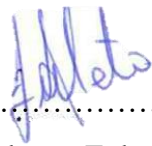


## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL


El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f):  .....

Ph.D Rubén Del Toro Déniz  
C.C.: 1757544471

(f):  .....

Ph.D César Alonso Zuleta Padilla  
C.C.: 1001037546

(f):  .....

Mgs. Paola Alexandra Chávez Guerrero  
C.C.: 1002744090



## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Henry Patricio Paredes Pinto, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 07 de Noviembre de 2019

f): ..... 

Henry Patricio Paredes Pinto

C.C.: 1004104210



## AUTORÍA

Yo, Henry Patricio Paredes Pinto, portador de la cédula de ciudadanía N° 1004104210, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del (los) autor (es), y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f): ..... 

Henry Patricio Paredes Pinto

C.C.: 1004104210



## DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, Henry Patricio Paredes Pinto, con CC: 1004104210, autor del trabajo de grado intitulado: “FITORREMEDIACIÓN CON *Lemna minor* Y *Zantedeschia aethiopica* EN PISCINAS BIODIGESTORAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO JATUN YAKU DEL CANTÓN OTAVALO”, previo a la obtención del título profesional de “Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo”, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA).

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 07 de Noviembre de 2019

(f.).....

Henry Patricio Paredes Pinto

C.C.: 1004104210



## **DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: **“FITORREMEDIACIÓN CON *Lemna minor* Y *Zantedeschia aethiopica* EN PISCINAS BIODIGESTORAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO JATUN YAKU DEL CANTÓN OTAVALO”**, lo propuesto en el Código de Ética de la Investigación y el Aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 07 de Noviembre del 2019.

Para constancia firma:

.....  
Henry Patricio Paredes Pinto

Estudiante que ejecuta el Trabajo de Titulación

C.C.: 1004104210

Carrera: Ingeniería en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Ibarra, 07 de Noviembre de 2019

## **DEDICATORIA**

Con mucho amor de parte de mi persona, quiero dedicar el siguiente trabajo de grado a Dios, por haberme bendecido, guiado y otorgado la sabiduría para poder llegar hasta donde estoy actualmente y por darme la fuerza para enfrentar todos los momentos difíciles.

A mis padres Henry Paredes y Cumandá Pinto; por haberme enseñado a lo largo de estos años el camino del bien, inculcándome una buena educación, valores, conocimientos, experiencias y metas; por haberme enseñado lo importante que es el estudio en la vida y a no rendirme ante ninguna circunstancia que se presente; este logro va para ustedes.

A mis hermanos, Erick Paredes y Nathaly Paredes, por ser su ejemplo a seguir y por todo el cariño y apoyo que me han brindado en estos años.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios, quien desde pequeño me ha otorgado la sabiduría y los conocimientos para hacerme un hombre responsable, por haberme brindado la salud, la vida, y la fuerza necesaria para tomar las mejores decisiones en mi vida.

A mis Padres y a mis hermanos, quienes, con mucho amor, me han encaminado por el camino del bien, brindándome todo su cariño, su respeto, su apoyo; ayudando a salir de cualquier tipo de problema personal; impartíendome sus sabias palabras de lo importante que es el estudio para la formación personal; quiero dedicarles todos mis logros a ustedes y decirles que los amo mucho; gracias por todo familia.

A mi amigo y asesor el señor Ph.D. Rubén del Toro, por haberme apoyado en el desarrollo de esta investigación, brindándome siempre sus consejos, enseñanzas, paciencia y experiencias; por haberme inculcado sus sabias palabras desde cuarto semestre, en las cuales menciona que toda persona que es responsable en cualquier asunto, es la que alcanzará el éxito; gracias por ser el mejor profesor que he tenido en toda la carrera.

A mi abuelita Clemencia Morán, por haberme apoyado económicamente durante varios años, y por haberme cuidado cuando era un infante; gracias por todo tu apoyo abuelita. A mi familia Morán, conformada por mis tíos, primos y especialmente a mis tías queridas, Martha Morán, Patricia Morán y Verito Gonzales, quienes me han brindado un gran cariño y apoyo incondicional desde mi niñez, inculcándome valores y una excelente educación para mi formación como persona.

A Denise Pacheco, por apoyarme en todo momento durante el desarrollo de esta investigación, por ser una persona muy especial para mí, la cual amo muchísimo, gracias por siempre animarme en esos momentos tan difíciles en los cuales pensaba que no se acabaría jamás, siempre tendrás mi respeto y amor, gracias por todo.

Al Ing. Marco Cabascango y al Mg. Jorgue Rueda, quienes me apoyaron en la construcción del proyecto, impartíendome sabios consejos y recomendaciones para que todo salga de la mejor manera posible, muchísimas gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN .....	1
2. ABSTRACT .....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. Objetivo general.....	7
3.2. Objetivos Específicos .....	7
3.3. Hipótesis .....	7
4. ESTADO DEL ARTE .....	8
4.1. Aguas residuales .....	8
4.1.1. Componentes de las aguas servidas y/o residuales.....	8
4.1.2. Tipos de aguas residuales. ....	8
4.2. Muestreo de aguas residuales .....	9
4.2.1. Tipos de muestreo de aguas residuales.....	9
4.3. Fitorremediación de aguas residuales .....	10
4.3.1. Particularidades de la fitorremediación. ....	11
4.3.2. Ventajas y Desventajas del proceso de fitorremediación. ....	11
4.3.3. Tipos de fitorremediación.....	12
4.3.4. Principios para seleccionar plantas fitorremediadoras. ....	13
4.4. Clases de tratamientos para las aguas servidas o residuales.....	14
4.4.1. Tratamiento preliminar. ....	14
4.4.1.1. Rejillas. ....	14
4.4.1.2. Desarenador. ....	15
4.4.2. Tratamiento primario.....	15
4.4.2.1. Piscina séptica.....	15
4.4.2.2. Piscina sedimentadora.....	16
4.4.3. Tratamiento secundario .....	16
4.4.3.1. Filtros de desbaste.....	16
4.4.3.2. Filtro de goteo.....	16
4.4.3.3. Tanque de ventilación.....	17
4.4.4. Tratamiento terciario .....	17
4.4.4.1. Tratamiento de lodos. ....	17

4.5.	Plantas acuáticas usadas para el tratamiento de aguas residuales.....	18
4.5.1.	Tipos de plantas acuáticas. ....	18
4.5.2.	Propiedades de las plantas acuáticas. ....	20
4.6.	Humedales .....	21
4.6.1.	Particularidades para la identificación de humedales.....	21
4.6.2.	Ventajas y Desventajas que presentan los humedales.....	21
4.6.3.	Funciones de los humedales. ....	22
4.6.4.	Tiempo de vida que presentan los humedales. ....	23
4.6.5.	Clasificación de los Humedales.....	23
4.6.6.	Humedales artificiales. ....	24
4.6.6.1.	Tipos de humedales artificiales.....	26
4.7.	Plantas acuáticas utilizadas en la piscina biodigestora .....	27
4.7.1.	Cartucho ( <i>Zantedeschia aethiopica</i> ).....	28
4.7.1.1.	Taxonomía. ....	28
4.7.1.2.	Descripción de la especie.....	28
4.7.1.3.	Hábitat y Distribución.....	29
4.7.1.4.	Toxicidad. ....	30
4.7.1.5.	Reproducción. ....	30
4.7.1.6.	Uso y Cultivo. ....	31
4.7.1.7.	Usos medicinales. ....	31
4.7.1.8.	Cuidados. ....	31
4.7.2.	Lenteja de Agua ( <i>Lemna minor</i> ).....	32
4.7.2.1.	Taxonomía. ....	32
4.7.2.2.	Descripción de la especie.....	32
4.7.2.3.	Reproducción. ....	33
4.7.2.4.	Distribución. ....	34
4.7.2.5.	Hábitat.....	34
4.7.2.6.	Usos. ....	34
4.7.2.7.	Control. ....	35
4.7.2.8.	Cuidados. ....	35
4.7.2.9.	Propiedades.....	36
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
5.1.	Materiales de Campo .....	37
5.2.	Materiales de Oficina.....	39
5.3.	Materiales, Reactivos y Equipos de Laboratorio .....	40
5.3.1.	Materiales de laboratorio.....	40
5.3.2.	Reactivos de laboratorio. ....	41

5.3.3.	Equipos de laboratorio.....	42
5.4.	Variable independiente .....	43
5.5.	Variable dependiente .....	43
5.6.	Metodología.....	44
5.6.1.	Descripción de la ubicación del proyecto.....	44
5.6.2.	Medición del caudal. ....	47
5.6.3.	Toma de muestras de las aguas residuales y tratadas. ....	47
5.6.3.1.	Aguas residuales. ....	47
5.6.3.2.	Aguas tratadas.....	50
5.6.4.	Caracterización de las aguas residuales y tratadas. ....	51
5.6.4.1.	Análisis de laboratorio. ....	51
5.6.4.1.1.	pH. ....	52
5.6.4.1.2.	Color. ....	52
5.6.4.1.3.	Conductividad Eléctrica. ....	52
5.6.4.1.4.	Turbidez.....	52
5.6.4.1.5.	Sólidos totales.....	52
5.6.4.1.6.	Nitritos. ....	53
5.6.4.1.7.	Nitratos. ....	53
5.6.4.1.8.	Nitrógeno Total. ....	53
5.6.4.1.9.	Fosfatos.....	54
5.6.4.1.10.	Sulfatos. ....	54
5.6.4.1.11.	Hierro. ....	54
5.6.4.1.12.	Amonio. ....	54
5.6.4.1.13.	DQO.....	55
5.6.4.1.14.	DBO.....	55
5.6.4.1.15.	Coliformes Totales y Ecoli. ....	55
5.6.4.2.	Análisis in situ. ....	56
5.6.4.2.1.	pH. ....	56
5.6.4.2.2.	Conductividad Eléctrica. ....	56
5.6.4.2.3.	Temperatura.....	56
5.6.4.2.4.	Oxígeno Disuelto.....	56
5.6.4.3.	Características organolépticas.....	57
5.6.4.3.1.	Olor.....	57
5.6.4.3.2.	Color.....	57
5.6.4.3.3.	Material Particulado. ....	57
5.6.4.4.	Análisis de Pesticidas.....	57
5.6.5.	Construcción de la piscina biodigestora. ....	58
5.6.5.1.	Delimitación del área. ....	58
5.6.5.2.	Canal de derivación. ....	59
5.6.5.3.	Compuerta de salida.....	60

5.6.5.4. Colocación de la geomembrana.....	61
5.6.5.5. Elaboración del desarenador.....	61
5.6.5.6. Colocación del cascajo en el canal de agua.....	62
5.6.5.7. Colocación de las mallas.....	63
5.6.5.8. Plantación del cartucho y lenteja de agua.....	63
5.6.5.8.1. Lenteja de agua.....	63
5.6.5.8.2. Cartucho.....	64
5.6.5.9. Mantenimiento de la piscina biodigestora.....	65
5.6.6. Prueba de velocidad de agua.....	66
5.6.7. Propuesta de plan de manejo.....	67
5.6.8. Prueba estadística.....	68
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
7. CONCLUSIONES.....	153
8. RECOMENDACIONES.....	154
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
10. ANEXOS.....	167

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales de campo .....	37
Tabla 2. Materiales de oficina.....	39
Tabla 3. Materiales de laboratorio .....	40
Tabla 4. Reactivos de laboratorio .....	41
Tabla 5. Equipos de laboratorio .....	42
Tabla 6. Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Entrada - Día). .....	69
Tabla 7. Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Salida - Día).....	70
Tabla 8. Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Entrada - Noche).....	71
Tabla 9. Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Salida - Noche). .....	72
Tabla 10. Caracterización día Miércoles .....	74
Tabla 11. Caracterización día Domingo .....	75
Tabla 12. Caracterización día Sábado.....	77
Tabla 13. Resultados de los análisis que sobrepasan los límites permisibles.....	79
Tabla 14. Información del estándar para la determinación de pesticidas. ....	81
Tabla 15. Información del resultado de la muestra 1 del Sábado .....	82
Tabla 16. Información del resultado de la muestra 2 del Sábado .....	83
Tabla 17. Información del resultado de la muestra 3 del Sábado.....	85
Tabla 18. Información del resultado de la muestra 1 del Domingo.....	86
Tabla 19. Información del resultado de la muestra 2 del Domingo.....	87
Tabla 20. Información del resultado de la muestra 3 del Domingo.....	88
Tabla 21. Información del resultado de la muestra 1 del Miércoles.....	90
Tabla 22. Información del resultado de la muestra 2 del Miércoles .....	91
Tabla 23. Información del resultado de la muestra 3 del Miércoles.....	92
Tabla 24. Análisis de laboratorio .....	94
Tabla 25. Análisis in situ .....	95
Tabla 26. Características Organolépticas.....	95
Tabla 27. Porcentajes de remoción por cada una de las plantas .....	98
Tabla 28. Propuesta de plan de manejo para el aprovechamiento de la piscina biodigestora. .....	102
Tabla 29. Datos de pH, antes y después del tratamiento. ....	110

Tabla 30. Datos de pH en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	110
Tabla 31. Datos de pH en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.....	111
Tabla 32. Datos de pH en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. .....	111
Tabla 33. Datos de color, antes y después del tratamiento.....	112
Tabla 34. Datos de color en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	113
Tabla 35. Datos de color en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.....	113
Tabla 36. Datos de color en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. .....	114
Tabla 37. Datos de conductividad eléctrica, antes y después del tratamiento.....	114
Tabla 38. Datos de conductividad eléctrica en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.....	115
Tabla 39. Datos de conductividad eléctrica en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.....	115
Tabla 40. Datos de conductividad eléctrica en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.....	116
Tabla 41. Datos de turbidez, antes y después del tratamiento.....	116
Tabla 42. Datos de turbidez en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	117
Tabla 43. Datos de turbidez en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.....	118
Tabla 44. Datos de turbidez en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.....	118
Tabla 45. Datos de sólidos totales, antes y después del tratamiento.....	119
Tabla 46. Datos de sólidos totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.....	119
Tabla 47. Datos de sólidos totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.....	120

Tabla 48. Datos de sólidos totales en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	121
Tabla 49. Datos de nitritos, antes y después del tratamiento. ....	121
Tabla 50. Datos de nitritos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. ....	122
Tabla 51. Datos de nitritos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	123
Tabla 52. Datos de nitritos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	123
Tabla 53. Datos de nitratos, antes y después del tratamiento. ....	124
Tabla 54. Datos de nitratos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. ....	124
Tabla 55. Datos de nitratos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	125
Tabla 56. Datos de nitratos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	125
Tabla 57. Datos de nitrógeno total, antes y después del tratamiento. ....	126
Tabla 58. Datos de nitrógeno total en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. ....	127
Tabla 59. Datos de nitrógeno total en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	127
Tabla 60. Datos de nitrógeno total en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	128
Tabla 61. Datos de fosfatos, antes y después del tratamiento. ....	128
Tabla 62. Datos de fosfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. ....	129
Tabla 63. Datos de fosfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	129
Tabla 64. Datos de fosfatos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	130
Tabla 65. Datos de sulfatos, antes y después del tratamiento. ....	130

Tabla 66. Datos de sulfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	131
Tabla 67. Datos de sulfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	131
Tabla 68. Datos de sulfatos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	132
Tabla 69. Datos de hierro, antes y después del tratamiento. ....	133
Tabla 70. Datos de hierro en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	133
Tabla 71. Datos de hierro en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	134
Tabla 72. Datos de hierro en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	134
Tabla 73. Datos de amonio, antes y después del tratamiento. ....	135
Tabla 74. Datos de amonio en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	136
Tabla 75. Datos de amonio en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	136
Tabla 76. Datos de amonio en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	137
Tabla 77. Datos de DQO, antes y después del tratamiento. ....	137
Tabla 78. Datos de DQO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	138
Tabla 79. Datos de DQO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	139
Tabla 80. Datos de DQO en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. .....	139
Tabla 81. Datos de DBO, antes y después del tratamiento. ....	140
Tabla 82. Datos de DBO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	140
Tabla 83. Datos de DBO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	141

Tabla 84. Datos de DBO en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. .....	141
Tabla 85. Datos de coliformes totales, antes y después del tratamiento.....	142
Tabla 86. Datos de coliformes totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. ....	143
Tabla 87. Datos de coliformes totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	143
Tabla 88. Datos de coliformes totales en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. ....	144
Tabla 89. Datos de ecoli, antes y después del tratamiento. ....	144
Tabla 90. Datos de ecoli en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho. .....	145
Tabla 91. Datos de ecoli en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua. ....	146
Tabla 92. Datos de ecoli en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua. .....	146
Tabla 93. Resultados de predicción aplicando la ecuación (porcentajes de remoción).....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Naciente del Río Jatun Yaku en el sector de Otavalo – San Pablo .....	6
Figura 2. Tipos de fitorremediación. ....	13
Figura 3. Planta flotante: <i>Lemna minor</i> .....	18
Figura 4. Planta sumergida: <i>Ceratophyllum demersum</i> .....	19
Figura 5. Planta emergente: <i>Zantedeschia aethiopica</i> .....	20
Figura 6. Humedal Artificial.....	24
Figura 7. Plantas fitorremediadoras usadas en los humedales artificiales.....	26
Figura 8. Mapa de ubicación de la piscina Biodigestora .....	46
Figura 9. Mapa de ubicación de los tres puntos de muestreo .....	49
Figura 10. Ubicación de los tres puntos de muestreo. ....	51
Figura 11. Fosa para la construcción de la piscina biodigestora .....	59
Figura 12. Medidas del canal de derivación, puerta metálica y aletas.....	60
Figura 13. Medidas de la compuerta de salida.....	61
Figura 14. Medidas del desarenador. ....	62
Figura 15. Colocación del cascajo en el canal de agua.....	62
Figura 16. Colocación de la lenteja de agua en la piscina biodigestora. ....	64
Figura 17. Plantación del cartucho en la piscina biodigestora.....	65
Figura 18. Piscina biodigestora en diferentes ángulos.....	66
Figura 19. Estándar de pesticidas. ....	80
Figura 20. Cromatograma de la muestra 1 del Sábado .....	82
Figura 21. Cromatograma de la muestra 2 del Sábado .....	83
Figura 22. Cromatograma de la muestra 3 del Sábado .....	84
Figura 23. Cromatograma de la muestra 1 del Domingo.....	86
Figura 24. Cromatograma de la muestra 2 del Domingo.....	87
Figura 25. Cromatograma de la muestra 3 del Domingo.....	88
Figura 26. Cromatograma de la muestra 1 del Miércoles.....	90
Figura 27. Cromatograma de la muestra 2 del Miércoles.....	91
Figura 28. Cromatograma de la muestra 3 del Miércoles.....	92
Figura 29. Secciones de la piscina biodigestora .....	99

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Formato de encuestas del proceso de socialización.....	167
Anexo II. Listado de asistencia a la socialización del trabajo de investigación. ....	168
Anexo III. Permisos de autorización para realizar el trabajo de investigación en la Unidad Educativa “Sarance”. ....	170
Anexo IV. Tabulación de las encuestas del proceso de socialización. ....	172
Anexo V. Registro fotográfico de toda la investigación.....	173

## **1. RESUMEN**

La presente investigación se ejecutó en la Unidad Educativa “Sarance”, localizada en el cantón Otavalo; con la finalidad de construir una piscina biodigestora de 29,2 m de largo, 1,70 m de ancho y 1,50 m de profundidad, empleando dos especies de plantas, la primera, es una especie acuática flotante (*Lemna minor*) y la segunda, es una especie de humedal subsuperficial (*Zantedeschia aethiopica*); para de esta manera efectuar una fitorremediación a las aguas residuales domésticas que entran en forma de canal de agua a la institución y así reducir sus niveles de contaminación, brindando de esta forma agua de mayor calidad; estas aguas residuales domésticas son provenientes del Río Jatun Yaku. Dentro de la investigación se empleó una caracterización física, química y microbiológica de estas aguas residuales domésticas, para conocer su estado de contaminación, estableciendo diferentes puntos de muestreo para la toma de muestras de agua y realizando las respectivas mediciones de caudales; además se determinó el funcionamiento que brinda la piscina biodigestora a través de estas plantas, sacando porcentajes de remoción por análisis y por plantas; por último, se realizó una propuesta de plan de manejo, con la finalidad de aprovechar al máximo todas las potencialidades que brinda la piscina, la cual genera beneficios económicos, educativos y ambientales para la institución. Como principales resultados se encontraron que estas aguas residuales, excedían de sus límites permisibles de calidad de agua, solamente en los parámetros de DQO y DBO, aportando una alta contaminación en este río; por lo tanto, al ejecutar la fitorremediación en la piscina biodigestora, los niveles de contaminación de estos parámetros disminuyeron, debido a que el Cartucho (*Zantedeschia aethiopica*) aportó un porcentaje de remoción total del 37,92% y la Lenteja de Agua (*Lemna minor*) aportó un porcentaje de remoción total del 62,08%; corroborando así la hipótesis de la investigación, la cual, establece que este tratamiento aporta excelentes resultados para disminuir la contaminación en los ríos.

### **PALABRAS CLAVES:**

Fitorremediación, piscina biodigestora, aguas residuales, contaminación, remoción.

## 2. ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Educational Unit "Sarance", located in the canton Otavalo; the purpose is to build a biodigester pool 29,2 m long, 1,70 m wide and 1,50 m deep, using two species of plants, the first is a floating aquatic species (*Lemna minor*) and the second is a kind of subsuperficial wetland (*Zantedeschia aethiopica*); so that in this way a remediation network is made to the waters of the domestic networks that to the form of water channel to the institution and thus to its contamination levels, thus providing a higher quality water; this domestic wastewater comes from the Jatun Yaku River. Within the research there is a physical, chemical and microbiological characteristic of this domestic wastewater, to know its pollution status, establishing different sampling points for taking water samples and making the respective flow measurements; in addition, the operation provided by the biodigester pool was determined through these plants, the percentages of removal by analysis and by plants; finally, a proposal for a management plan was made, in order to make the most of all the potential offered by the pool, the quality of the economic, educational and environmental benefits for the institution. The main results can be seen in these times; the limits of the water quality limits, but also in the parameters of COD and BOD; therefore, at the same time, the cartilage (*Zantedeschia aethiopica*) contributed a total removal percentage of 37,92% and the duckweed (*Lemna minor*) contributed a total removal percentage of 62,08%; corroborating the hypothesis of the research, the quality, the best results to reduce pollution in rivers.

### KEY WORDS:

Phytoremediation, biodigester pool, wastewater, pollution, removal.

### 3. INTRODUCCIÓN

El río Jatun Yaku es uno de los tres ríos que atraviesan por la ciudad de Otavalo, junto al río Machángara y Tejar; hace algunos años atrás este río era uno de los más limpios del sector, desde su nacimiento en el lago San Pablo hasta el final de su trayectoria en la comunidad de Cotama, pero actualmente se ha convertido en uno de los más contaminados de la ciudad, esto sucede principalmente por el inadecuado funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales que rodean a la laguna de San Pablo, debido a que de las catorce plantas instaladas, ninguna se encuentra en funcionamiento; generando así un alto índice de contaminación en el río Jatun Yaku, ya que al no haber un tratamiento adecuado de estas aguas, las consecuencias para la salud serían muy perjudiciales; debido a que existen ciertas poblaciones que se encuentran situadas en las orillas de este río, y utilizan el agua para riego, para cría de ganado, para aseo personal, para cocinar, entre otras cosas; y es así que en vez de consumir un agua tratada o limpia, están consumiendo un agua microbiológicamente afectada; generando así enfermedades como disentería, cólera, paludismo, esquistosomiasis y tifoidea (Escobar, 2014). A continuación, se presentan las principales causas de contaminación del río Jatun Yaku.

En la nacimiento del río, que es el lago San Pablo, se puede apreciar un agua no tan contaminada, podría decirse casi limpia y transparente, la cual los moradores hacen uso de la misma para sus actividades cotidianas, como por ejemplo, utilizarla para el riego de sus diferentes cultivos, para su aseo personal, lavar la ropa, entre otros; el problema de la contaminación de este río radica aguas abajo, desde la Cascada de Peguche en adelante, ya que allí las personas están acostumbradas a bañarse y a lavar la ropa, generando así una elevada cantidad de tensoactivos en el agua a causa de los detergentes utilizados; siguiendo la trayectoria del río al llegar a la ciudadela Jacinto Collahuazo y Miravalle, los moradores del sector arrojan cantidades incontrolables de residuos sólidos al río, entre los cuales tenemos residuos orgánicos, inorgánicos, tóxicos, peligrosos y escombros, causando de esta forma la muerte de la vida acuática, entre los cuales tenemos: macro invertebrados, plantas acuáticas, plancton, etc (Da Ros, 2014).

Otra de las causas principales de contaminación de este río, es debido a las descargas residuales que son arrojadas al mismo, a causa de las poblaciones que se han ido asentando indebidamente en las orillas del río desde hace muchos años atrás, estas poblaciones se

encuentran asentadas en toda la trayectoria del río Jatun Yaku, desde San Pablo hasta Cotama, sin tener ningún tipo de ordenamiento territorial, el cual establezca que se puedan asentar en ese lugar; por otro lado, es importante mencionar también que no sólo estas descargas residuales mencionadas anteriormente van a parar al río Jatun Yaku; si no también las descargas residuales de la zona central de la ciudad de Otavalo, son arrojadas a este río; todas estas descargas residuales afectan a la calidad del agua, alterando sus características físicas, químicas, y biológicas, y a su vez haciendo que estas aguas sean inaprovechables (Rhoades, 2016).

Además, otro de los impactos que afectan al río Jatun Yaku es la contaminación causada por la sedimentación, esto se da principalmente por tres situaciones; en primer lugar, se da por los sedimentos que vienen de las descargas residuales que son arrojadas al río y que con el paso del tiempo se han ido formando; en segundo lugar, se da por los sedimentos de los residuos sólidos, principalmente de los desechos orgánicos; y en tercer lugar, se da por las descargas de las aguas de las florícolas, las cuales traen una variedad de químicos que se utilizan para los cultivos de las flores (Escobar, 2014). Cerca del sector de Peguche existen algunas tejedurías, las cuales emplean tinturas tóxicas para sus tejidos, ya que luego de haber ejecutado el proceso de tejido, las aguas de las mismas son descargadas al Jatun Yaku, y es aquí donde toma el nombre del río de colores, debido a que en algunas ocasiones al río se le puede observar de color rojo o azul a causa de este tipo de tinturas, afectando así una vez más a la calidad del agua de este río (Da Ros, 2014).

Una vez evidenciada toda la problemática por la cual pasa el río Jatun Yaku, se puede establecer que no existe un estudio adecuado del aspecto socio ambiental del río, considerando así las necesidades de los habitantes de la zona, los cuales son perjudicados al utilizar un agua de baja calidad y es estrictamente necesario que se realice un tratamiento a estas aguas residuales, con el fin de mejorar y conservar el entorno.

Es por ello que la solución ante esta problemática, está en recurrir a los recursos naturales que nos brinda la madre naturaleza, utilizando diferentes especies de plantas, para ejecutar un tratamiento a estas aguas residuales domésticas, mediante la fitorremediación, la cual consiste en el uso de plantas acuáticas, para biodegradar, minimizar y retener los contaminantes (metales, plaguicidas, materia orgánica, hidrocarburos) presentes en el agua; y así asimilarlos como fuente de alimento para un óptimo crecimiento de las mismas, a través

de la metabolización. Lo que se pretende hacer en la investigación es construir una piscina biodigestora o conocida también como humedal artificial; empleando dos especies de plantas, Lenteja de Agua y Cartucho; con la finalidad de fitorremediar las aguas residuales domésticas y así disminuir los niveles de contaminación de las aguas provenientes del río Jatun Yaku, aportando un agua de mayor calidad para su uso en distintas actividades.

Desde una visión socio ambiental, se puede mencionar que este tipo de piscinas biodigestoras, aportan a la minimización de los impactos ambientales causados por la contaminación en el recurso agua, esta piscina se puede construir en las comunidades que no cuenten con apoyo económico por parte de los municipios de los cantones; ya que, si se realiza una comparación, entre implementar una planta de tratamiento e implementar una piscina biodigestora; los costos que se tendrían en la planta de tratamiento serían muy elevados, en cambio con la piscina, los costos van hacer mínimos en comparación con la planta de tratamiento; entonces va hacer muy ideal para que las comunidades la puedan construir, utilizando plantas fitorremediadoras que tengan a su alrededor, con la finalidad de tratar sus aguas residuales (Rueda, 2018).

El río Jatun Yaku tiene su nacimiento desde el lago San Pablo, el cual a lo largo de su trayectoria pasa por algunas comunidades y sectores urbanos; después de su nacimiento en el lago San Pablo, pasa por la comunidad de la Compañía, luego continua bajando hasta pasar por la hacienda Quinchuqui, una vez que el río atraviesa por esta hacienda baja por la Cascada de Peguche, y adquiere una mejor forma en su estructura después de saltar por esta Cascada, es decir aumenta la velocidad del agua, al igual que la profundidad y el ancho del río (Coronel, 2011). Posteriormente de saltar por esta Cascada, atraviesa el Barrio Obraje, que pertenece a uno de los Barrios de Peguche; continuando con su trayectoria el río pasa por la Unidad Educativa “Sarance” y la Antigua Fábrica Pinto, para después atravesar inmediatamente por las Ciudadelas Jacinto Collahuazo y Miravalle; para finalizar con su trayectoria, el río Jatun Yaku al atravesar por estas dos ciudadelas llega a la comunidad de Cotama en donde se une al río Machangara, que es otro de los ríos que atraviesa por la ciudad de Otavalo (Coronel, 2011).

En la siguiente figura se puede visualizar el nacimiento del río Jatun Yaku hasta el final de su trayectoria.

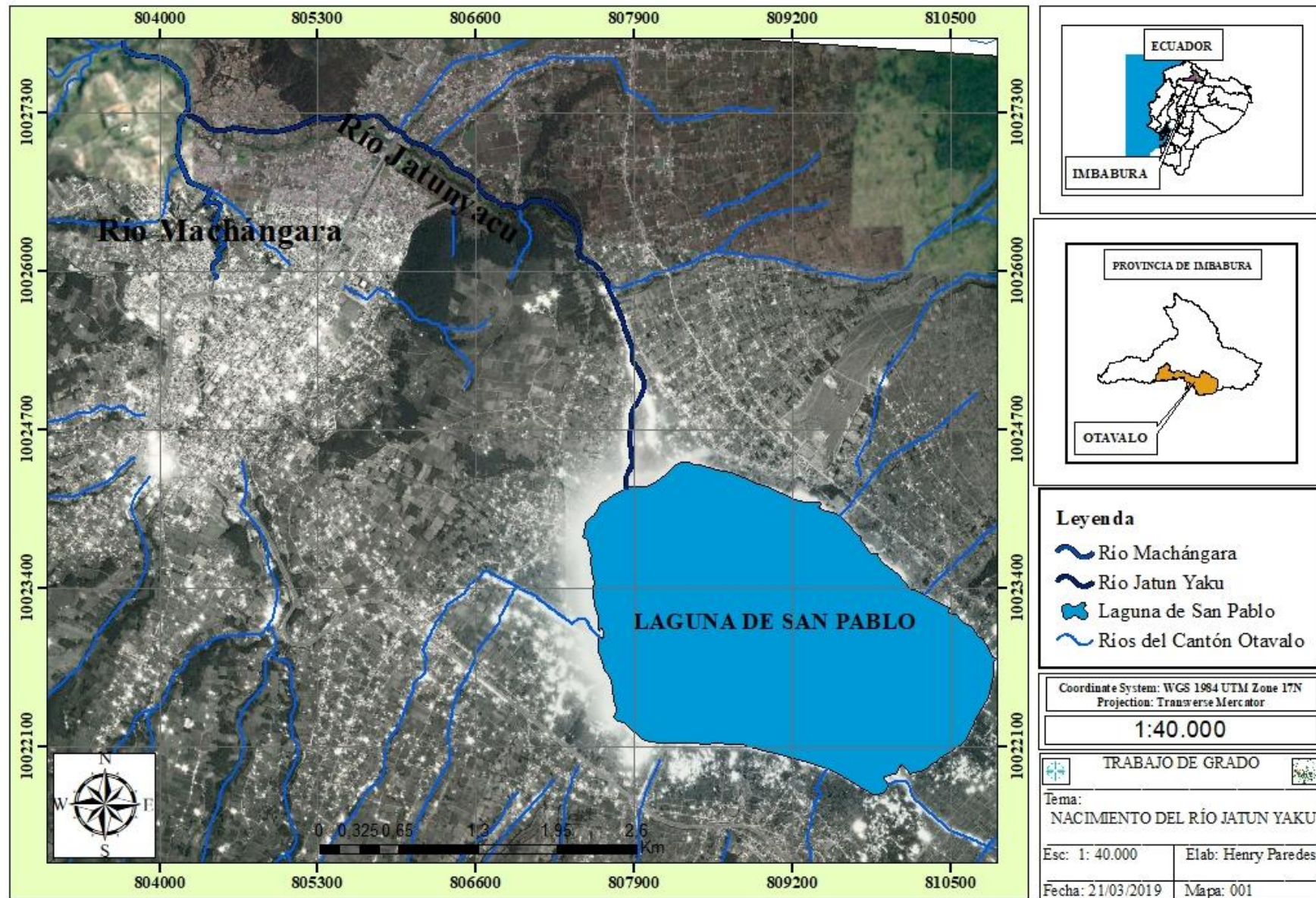


Figura 1. Naciente del Río Jatun Yaku en el sector de Otavalo – San Pablo  
Elaborado por: Autor

### **3.1.Objetivo general**

Evaluar el comportamiento de *Lemna minor* y *Zantedeschia aethiopica* en la descontaminación de aguas del río Jatun Yaku a través de la piscina biodigestora, con el fin de mejorar su calidad de agua.

### **3.2.Objetivos Específicos**

1. Validar el procedimiento del tratamiento de aguas residuales a través de la caracterización física, química y microbiológica de las aguas del río Jatun Yaku.
2. Determinar la eficacia de *Lemna minor* y *Zantedeschia aethiopica* utilizadas para la remoción de nutrientes y microorganismos patógenos provenientes de las aguas residuales del río Jatun Yaku, parroquia el Jordán del cantón Otavalo.
3. Formular una propuesta de plan de manejo, con el propósito de establecer un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, mismos que permitan lograr el bienestar de la población, a través de una socialización.

### **3.3.Hipótesis**

El tratamiento de fitorremediación en piscinas biodigestoras para las aguas residuales del río Jatun Yaku, contribuirá en la disminución de la contaminación de sus aguas, mejorando la calidad de vida de los pobladores y el aspecto visual del lugar.

## 4. ESTADO DEL ARTE

### 4.1. Aguas residuales

Ávila (2014) menciona que las aguas residuales son las aguas ya utilizadas y en ellas se encuentran ciertas sustancias suspendidas que es el producto de la utilización del agua limpia, sustancias como; aceites, jabones, combustibles, materiales de construcción y residuos alimenticios, que proceden de baños, servicios higiénicos, fregaderos de cocina, del lavado en máquinas, de la utilización en riegos, principalmente partículas de dióxido de carbono que normalmente se encuentran depositadas directamente en las aguas que conducen a ríos y acequias, que dañan gravemente los recursos hídricos del sector.

#### 4.1.1. Componentes de las aguas servidas y/o residuales.

Las componentes principales de las aguas servidas y/o residuales son los siguientes:

**a) Biológicos:** Principalmente entre los más comunes tenemos a la flora (carrizos, lenteja de agua, cartuchos) y a la fauna (macro invertebrados, plancton, peces).

**b) Físicos:** Aquí tenemos a la temperatura, color, sólidos de cualquier tipo, y olor.

**c) Químicos:** Son tres muy importantes, que son los gases, componentes inorgánicos y los orgánicos; entre los gases, se tiene al oxígeno y metano; en los componentes orgánicos, se tiene a los restos de detergentes, grasas de todo tipo, compuestos organoclorados, carbohidratos, proteínas, COVs, y aceites; en los componentes inorgánicos, se tiene a la variedad de metales pesados, fluoruros, cloruros, fósforo, compuestos alcalinos, azufre, pH y nitrógeno (Cuenca et al., 2014).

#### 4.1.2. Tipos de aguas residuales.

Se dividen en tres tipos importantes, y son los siguientes:

**a) Aguas domésticas:** Son aguas que provienen de los hogares (cocina, lavandería, desechos humanos, duchas, baños); y son vertidas a los cuerpos de agua o al alcantarillado; estas aguas presentan gran cantidad de materia orgánica, que pueden estar diluidas o suspendidas; entre las cuales tenemos a las sales minerales, fosfatos, nitratos, etc; generando así una elevada contaminación en el recurso agua.

**b) Aguas industriales:** Como su nombre lo indica, son aguas procedentes de industrias, que fueron producto de actividades industriales o comerciales; en este tipo de aguas se encuentra un alto contenido de compuestos químicos, dependiendo de la industria y de producto realizado; el efluente que sale de las industrias presenta diversas sustancias que normalmente son difíciles de eliminar, debido a su elevada concentración o composición química; entonces aquí existe una mezcla de compuestos inorgánicos y orgánicos, que presentan toxicidad y un amplio grado de contaminación al ambiente.

**c) Aguas urbanas:** En estas aguas se encuentra la mezcla de las aguas industriales, domésticas, y de escorrentía pluvial; las cuales al combinarse elevan su grado de contaminación hacia el ambiente; este tipo de aguas son enviadas hacia una planta de tratamiento para volverlas a incorporar en el ambiente con una menor contaminación; es importante mencionar que, las particularidades de cada uno de los vertidos al alcantarillado, dependerá de los habitantes, como por ejemplo, el número de personas que habitan el sector o la ciudad, las industrias que existen en el sector, los tipos de industrias, entre otros (Aguilar et al., 2016).

## **4.2. Muestreo de aguas residuales**

La toma de muestras consiste en coger un determinado volumen de agua residual, para analizarlo física, química y microbiológicamente; para tomar la muestra de agua se debe tener en cuenta lo siguiente; se debe coger la muestra lo más alejado posible a la orilla del río; al ser agua residual se debe colocar una mascarilla y guantes de protección personal; además se debe anotar la fecha y la hora en la que se ejecuta el muestreo; es importante mencionar que, este muestreo se debe hacer en frascos ámbar esterilizados, y una vez que la muestra sea recolectada, se debe colocar en un refrigerador a 4 °C; después de ello, la muestra está lista para proceder a su caracterización en un laboratorio acreditado (Aguirre et al., 2015).

### **4.2.1. Tipos de muestreo de aguas residuales.**

Según Tina y Guzmán (2015) existen tres tipos de muestreo para las aguas residuales y son los siguientes:

**a) Muestreo simple:** Este muestreo consiste en tomar la muestra de agua solamente una vez, es decir al instante; para este caso, solamente hay que tomar la muestra de donde esté cayendo el agua, que puede ser de un chorro, de una tubería o de algún cuerpo hídrico; cabe recalcar que, este tipo de muestreo presenta cierta desventaja, ya que al ser tomada al instante, puede generar un margen de error, y así no se conocería con exactitud el grado de contaminación del agua.

**b) Muestreo compuesto:** En este caso se procede a coger la muestra de agua cada cierto tiempo, que puede ser en el tiempo de 6 a 8 horas, cogiendo la muestra de agua a cada hora y acumulándolas en un envase; este muestreo consiste en acumular varias de las muestras simples y así obtener un promedio de las condiciones en las que se encuentra el agua; esto también es muy factible para conocer el cambio de la contaminación que se da en el agua.

**c) Muestreo cualificado:** Comprende en ejecutar una muestra compuesta en un tiempo exacto de diez minutos, en este tiempo se cogen cinco muestras simples y se las mezcla en un envase; determinando así que cada dos minutos se coge una muestra de agua; en este muestreo se puede establecer un promedio de la polución que tiene el agua en un tiempo exacto.

### **4.3. Fitorremediación de aguas residuales**

La fitorremediación, se puede definir como una tecnología amigable, de bajo costo y sustentable para el ambiente, en donde se utilizan las plantas tanto in situ como ex situ, para minimizar la concentración de contaminantes (metales pesados, plaguicidas, materia orgánica, hidrocarburos,) que se localizan en los recursos aire, suelo y agua; aportando también una restauración en los mismos; las plantas realizan este proceso mediante algunos procedimientos bioquímicos en los que incluyen a los organismos bacterianos que se encuentran en el sistema radicular de las plantas; en estos procesos bioquímicos se da la biodegradación, minimización, mineralización, reducción, retención, y volatilización de varios contaminantes; y así estos son asimilados como fuente de alimento para un óptimo crecimiento de las plantas, a través de la metabolización (Villagrana, 2016).

Por otro lado, la fitorremediación permite eliminar diversos tipos de sustratos, entre los cuales se tiene a sustratos gaseosos, sólidos y líquidos; en los líquidos tenemos a las aguas servidas, descargas de minería, descargas industriales, aguas subterráneas, aguas residuales

provenientes de la agricultura; en los sólidos, tenemos a los lugares donde tratan madera, zonas militares, lotes agrícolas, minerías; y por último en los gaseosos tenemos al aire, compuesto por una variedad de gases como, ozono, dióxido de azufre y carbono, hollín, entre otros; el proceso de fitorremediación ha tenido grandes éxitos descontaminando lo siguiente: hidrocarburos, bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), pesticidas, solventes orgánicos, macro y micro nutrientes vegetales, metales pesados como, cadmio, selenio plomo, vanadio, wolframio, mercurio, y uranio (Palta y Morales, 2014).

#### **4.3.1. Particularidades de la fitorremediación.**

Este proceso presenta las siguientes particularidades:

- a) Su costo es bajo, es una tecnología bastante barata en comparación de usar plantas de tratamiento convencionales, debido a que su estructura no es tan amplia como la de otros sistemas de tratamiento de aguas.
- b) Remedia amplias extensiones de zonas que están contaminadas, en los cuales incluyen grandes volúmenes de aguas residuales, sea que éstas estén con un índice bajo o alto de contaminación.
- c) Representa una tecnología bastante sustentable, amigable con el ambiente, y que no requiere mucho dinero para su implementación (Mentaberry, 2011).

#### **4.3.2. Ventajas y Desventajas del proceso de fitorremediación.**

Este proceso presenta más ventajas que desventajas, en cuanto a ventajas presenta las siguientes:

- a) No necesita de técnicos especializados para su mantenimiento, tampoco utiliza energía.
- b) No representa ningún peligro hacia el ambiente.
- c) No genera residuos secundarios (lodos), por lo tanto, no se necesita de áreas para desechos.
- d) Brinda una estética agradable al ambiente, siendo aceptada por la mayoría de las personas.
- e) Presenta un gran potencial para el tratamiento de diversos componentes peligrosos.

f) Después de ejecutar este proceso, tanto el agua como la biomasa de las plantas se pueden reciclar en diversas actividades (Muñoz, 2013).

En cuanto a las desventajas, se presentan las siguientes:

g) Las sustancias contaminantes que están aglomeradas en las hojas de las plantas, se liberan hacia el ambiente en la época de otoño, esto se da si se usa especies perennes.

h) Toda especie de planta fitorremediadora, con el tiempo adquiere un alto grado de toxicidad.

i) Ocupan espacios muy amplios.

j) Contribuye en el crecimiento de insectos, que habitan las plantas fitorremediadoras (Muñoz, 2013).

#### **4.3.3. Tipos de fitorremediación.**

Existen siete tipos de fitorremediación que son los siguientes:

a) **Fitoextracción:** Las plantas absorben y extraen los contaminantes provenientes del suelo y los acumulan en las hojas y tallos.

b) **Fitoestabilización:** Aquí sucede una paralización y una minimización de la disponibilidad de los contaminantes que se encuentran en el recurso suelo, precaviendo así el traslado a aguas que se encuentran profundamente en el suelo (subterráneas).

c) **Fitodegradación:** Consiste en la biodegradación de todo tipo de contaminantes, tanto los inorgánicos como los orgánicos, además, también se da la aglomeración de xenobióticos y la eliminación de todo tipo de sustancia tóxica, por actividades del metabolismo de las plantas.

d) **Rizodegradación:** Degradación de cualquier tipo de contaminante, causados por los organismos rizosféricos.

e) **Rizofiltración:** A través de las raíces, las plantas acuáticas, hongos, organismos bacterianos, y algas absorben los metales pesados presentes en las aguas residuales.

**f) Fitovolatilización:** Se absorben los contaminantes provenientes del recurso suelo, luego se convierten en estructuras volátiles y posteriormente se liberan hacia la atmósfera; en algunos casos puede reintroducirse en la planta.

**g) Fitodesalinización:** Se dan en las plantas halófitas, las cuales eliminan la sal que está presente en el suelo (Bustillos, 2012).

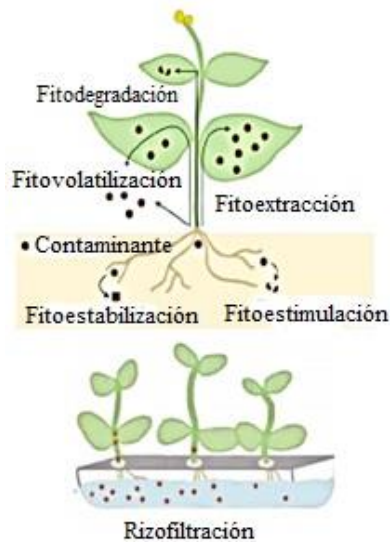


Figura 2. Tipos de fitorremediación.  
Fuente: (Bustillos, 2012)

Una vez analizado todos los tipos de fitorremediación, es importante mencionar que estos procesos no se rechazan uno del otro, debido a que pueden ocurrir de forma simultánea varios de estos; como en el caso de los humedales artificiales, en los cuales puede darse la fitovolatilización, rizofiltración y la fitoestabilización al mismo tiempo (Villagrana, 2016).

#### 4.3.4. Principios para seleccionar plantas fitorremediadoras.

Los principios que se debe considerar para seleccionar las plantas fitorremediadoras, son los siguientes:

- a) Que acumulen una variedad de metales pesados.
- b) Que sean fáciles de cosechar.
- c) Que sean especies propias del sector, que sean representativas en su ecosistema.
- d) Que presenten un rápido desarrollo o crecimiento y una elevada productividad.

e) Deben ser resistentes a elevadas concentraciones de diversos metales pesados (Bárcenas, 2012).

#### **4.4. Clases de tratamientos para las aguas servidas o residuales**

A las aguas residuales se realiza un tratamiento previo de los sólidos en suspensión y de la masa biológica disuelta, utilizando un pre tratamiento; luego de que esta masa biológica es removida, el agua puede experimentar un proceso adicional de factores físicos y químicos (Marsilli, 2015). Este proceso de tratamiento se clasifica en:

##### **4.4.1. Tratamiento preliminar.**

Es la preparación o acondicionamiento de las aguas servidas, considerando el proteger las instalaciones, además el funcionamiento de las piscinas biodigestoras o de piscinas creadas dentro del mismo río, en su tratamiento para eliminar o reducir los elementos indeseables en el agua residual por medio de la piscina biodigestora, con el siguiente tratamiento (González et al., 2017).

##### **4.4.1.1.Rejillas.**

Sette (2014) menciona que este proceso de tratamiento manifiesta sobre la clasificación en base a su colocación siendo estas cribas fijas o móviles de forma sea cuadrada o rectangular, considerando el tamaño de la materia que se desea remover en microcribas medianas o gruesas.

Esta rejilla debe diseñarse de forma que las aguas residuales no reduzcan su tamaño para evitar la sedimentación de los materiales, estas pueden ser limpiadas mecánica o manualmente, facilitando el proceso de la limpieza de las cribas (Sette, 2014).

Es importante mencionar que las plantas de tratamiento que tienen una magnitud muy extensa, tienen diversas formas de realizar su limpieza, ya que funcionan mecánicamente; es por ello que en asuntos de mantenimiento se aconseja colocar más de dos rejillas o cribas (Cubillos et al., 2013).

#### **4.4.1.2.Desarenador.**

El propósito principal del desarenador es separar las partículas de arena, grava u otro cualquier material que sea motivo de sedimentación, teniendo un peso superior al de los sólidos orgánicos en descomposición presentes en el agua servida (González et al., 2017).

La arena de igual manera puede mantener elementos como partículas de hueso, cáscaras de huevo, residuos de comida, la eliminación de estos materiales nos permite proteger a los equipos mecánicos móviles en su desgaste anormal y de esta manera podemos reducir la formación de depósitos pesados en las tuberías, además de ello disminuir la limpieza frecuente de los digestores, que cumplen con el proceso de llevar las aguas residuales hacia la planta de tratamiento; se presentan varios tipos de desarenadores para el tratamiento de las aguas residuales, el más utilizado es el de recorrido horizontal y aireado (Carillo y Chávez, 2017).

#### **4.4.2. Tratamiento primario.**

Marsilli (2015) menciona que este tratamiento nos permite reducir elementos como aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos; su propósito principal es eliminar en un alto porcentaje los sólidos suspendidos en las aguas negras, llegando a obtener un 60% de eliminación en la piscina de sedimentación. A continuación, se describen las piscinas de sedimentación utilizadas en el tratamiento primario:

##### **4.4.2.1.Piscina séptica.**

Es un sistema fundamental por cuanto este permite separar la parte sólida de las aguas residuales por medio de un proceso simple de sedimentación; conociéndose como proceso séptico, formándose la estabilización de la materia orgánica mediante bacterias anaerobias, transformándole en lodos inofensivos (Waterplas, 2014).

La piscina séptica para calcular su capacidad se debe tener en cuenta la cantidad de personas que son usuarios de la planta de tratamiento, tomando en cuenta de que el volumen por persona debe ser de ciento cincuenta litros por persona por día en un tiempo de veinticuatro horas (Noguez y López, 2017).

#### **4.4.2. Piscina sedimentadora.**

Esta piscina permite la separación por medio de la gravedad de los materiales suspendidos y contener una parte del material flotante, refiriéndose a las grasas (Cubillos et al., 2013).

La altura de la piscina debe tener de uno a tres metros considerando la velocidad de sedimentación que debe ser de 0,04 centímetros por segundo, así mismo el fondo tiene que tener una pendiente mayor a dieciséis por ciento, almacenando así el sedimento y a la vez se elimine a través de la tubería colocada al costado de la piscina; estos lodos producidos en la piscina sedimentadora pueden ser utilizados en un proceso de compostaje (N y F de Colombia, 2017).

#### **4.4.3. Tratamiento secundario**

Luego del tratamiento primario las aguas negras contienen un gran porcentaje de sólidos orgánicos y su descomposición depende de las bacterias aerobias y anaerobias, que lo convierte en material orgánico o inorgánico estable (Ramírez, Delgadillo, Prieto y Villagómez, 2016).

Este tratamiento se realiza para degradar el contenido biológico de las aguas servidas que son producto de la basura emitida por el hombre, desperdicios de la cocina, además jabones y detergentes; obteniendo un proceso biológico efectivo (López y Gonzáles, 2017).

Para este tratamiento debemos considerar los siguientes aspectos:

##### **4.4.3.1. Filtros de desbaste.**

Rigola (2015) menciona que los filtros de desbaste son procesos utilizados para tratar aguas residuales con carga orgánica fuerte o variable, que son producto de industrias, estos filtros son circulares y altos, para la aplicación de aguas residuales con cantidades relativamente altas.

##### **4.4.3.2. Filtro de goteo.**

Este filtro mantiene un proceso de descontaminación en el que distribuye de manera repentina sobre un lecho de estructura porosa con el fin de que los microorganismos cumplan con una biodegradación, de esta forma el material orgánico del agua servida sea absorbida por ellos y modificada a CO<sub>2</sub>; este tratamiento de decantación produce una disminución del 85% de la DBO<sub>5</sub> (Sierra, 2016).

#### **4.4.3. Tanque de ventilación**

Son filtros que mantienen aireación también llamados aerobios biológicos que mezclan la filtración de agua con la reducción biológica del carbono denominado nitrificación; estos medios apoyan a la suspensión de elementos en el filtro, su propósito es aguantar severamente a los sólidos suspendidos que se encuentran en el filtro y a la biomasa; también la minimización del carbono y la transformación del amoníaco, esto ocurre en un proceso aerobio, por otro lado el cambio del nitrato se produce de manera anaerobia (Medina, 2016).

#### **4.4.4. Tratamiento terciario**

Este tratamiento tiene como propósito principal implementar y completar los tratamientos anteriores para lograr una descontaminación más eficiente, con menor carga de contaminantes para que estas aguas sean utilizadas en acuíferos de recreación, agua para riego y para la industria; la remoción o eliminación de sustancias o compuestos como fosfatos, nitratos, parásitos, algas, bacterias y virus, y sobre todo los sólidos totales disueltos (Marsilli, 2015).

Este tratamiento nos permite generar una etapa final de las condiciones de las aguas que vienen de los efluentes, con estándares requeridos para que sean descargados al ambiente receptor (Sierra, 2016).

En esta etapa permite eliminar contaminantes orgánicos, nutrientes, sales minerales, pretendiendo que el agua salga lo más pura posible para terminar su tratamiento con micro filtraciones, precipitaciones, coagulación y finalmente la cloración y ozonización (Sette, 2014).

##### **4.4.4.1. Tratamiento de lodos.**

Luego de realizar los distintos procesos para tratar a las aguas servidas se produce el lodo, este varía según el tipo de planta que se utiliza para el tratamiento; en términos generales se puede decir que los lodos son el producto del primer proceso de homogenización que representa un 0,2 por ciento del volumen del agua residual y el contenido de sólidos, contiene un sesenta y tres por ciento; los lodos activados tienen un rendimiento del 1,2 al 1,5 por ciento del volumen de agua tratada (Paredes, 2015).

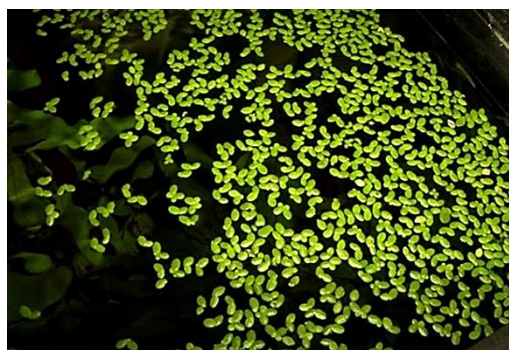
#### **4.5.Plantas acuáticas usadas para el tratamiento de aguas residuales**

Las piscinas biodigestoras o conocidas también como humedales artificiales, pueden emplear una variedad de tipos de plantas acuáticas, para tratar diferentes tipos de aguas residuales; una planta acuática se define como una especie vegetal, que se acondiciona a los ambientes que tengan agua o que sean muy húmedos, por ejemplo, pantanos de profundidad baja, estuarios marinos, riberas de ríos, lagunas, estanques, entre otros; estas plantas acuáticas están dentro de las plantas vasculares; es importante mencionar que este grupo de plantas acuáticas, se subdividen en tres importantes subgrupos: plantas sumergidas, plantas flotantes y plantas de humedal o emergentes (Roldán y Ramírez, 2016). A continuación, se explican más detalles de estos subgrupos.

##### **4.5.1. Tipos de plantas acuáticas.**

###### **a) Plantas flotantes**

Estas plantas presentan sus hojas en la parte superficial del agua y su sistema radicular no se encuentra anclado en el fondo, ya que también flotan; tienen la propiedad de transportar el CO<sub>2</sub> y el requerimiento de oxígeno emitido directamente de la atmósfera, de esta manera este tipo de plantas acuáticas captan los nutrientes minerales directamente del agua (Garbisu et al., 2008).



*Figura 3. Planta flotante: Lemna minor*  
Fuente: (Garbisu, Epelde y Becerri, 2008)

### **b) Plantas sumergidas**

Estas plantas presentan un sistema radicular anclado en el fondo del agua en donde habitan, estas especies están totalmente sumergidas en el agua, tanto sus hojas, raíces, tallos e inflorescencias; además, tienen la posibilidad de absorber directamente el O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y minerales; este tipo de plantas eliminan con facilidad la turbiedad transformándola en agua cristalina (Berrocal, 2017).



*Figura 4. Planta sumergida: Ceratophyllum demersum.*  
Fuente: (Berrocal, 2017)

### **c) Plantas de humedal o emergentes**

Estas plantas presentan su sistema radicular anclado en el fondo del agua, sin embargo, parte de los tallos, flores y hojas se encuentran flotando en la parte superficial del agua o también emergen sobre el agua; las plantas emergentes a través de sus raíces asimilan los nutrientes que se encuentran tanto en el agua como en el suelo; guardándolos así en toda la planta, tanto en las hojas, tallos y raíces; además, estas especies ayudan a disminuir la velocidad del agua, ya que ejercen una labor de barrera física y a la vez ayudan a retener los sedimentos, contribuyendo al mejoramiento de las aguas residuales (Martelo y Borrero, 2014).



Figura 5. Planta emergente: *Zantedeschia aethiopica*  
Fuente: (Martelo y Borrero, 2014)

#### 4.5.2. Propiedades de las plantas acuáticas.

Este tipo de vegetales juegan un papel muy importante donde se consideran las principales funciones:

- a) Proveer de aire a las raíces de las plantas acuáticas y proveer de oxígeno a los microorganismos.
- b) Permite la absorción de nutrientes como N y P.
- c) El sistema permite la eliminación de contaminantes que han sido asimilados por las plantas mediante sus tejidos.
- d) Permite un entramado del sistema radicular de tal forma que puedan filtrar a los residuos que se encuentran suspendidos en el agua (Roldán y Ramírez, 2016).

Estas plantas presentan una mayor intensidad en la recirculación de nutrientes en las piscinas biodigestoras permitiendo que sus efluentes sean utilizados en la agricultura, como un elemento principal para el riego, limitando su uso en la alimentación humana (Agudelo et al., 2005).

## **4.6.Humedales**

Los humedales se definen como lugares de tierra que se dan de forma natural o creada por el hombre (artificial), en donde se encuentra tanto el agua salada como el agua dulce, o solo una de cada una; cuya parte superficial se llena de agua de forma eventual o constante; es importante mencionar que, existen estudios en donde se afirma que el 6,4% de la tierra, se encuentra recubierta por humedales, ya que ellos alojan una variedad de especies de flora y fauna; los manglares, turberas, pantanos y esteros, representan ejemplos de humedales (Torres y Rivanedeira, 2013).

### **4.6.1. Particularidades para la identificación de humedales.**

Son varias las particularidades para identificar a los humedales y son las siguientes:

- a) El recurso suelo tiene que ser hidromorfo, que significa que debe tener agua de forma eventual o constante.
- b) Tiene que tener una cantidad de agua mínima, con poca profundidad, puede ser eventual o constante.
- c) El lugar debe contar con la presencia de plantas acuáticas.
- d) Debe presentar áreas de transición, de los ecosistemas acuáticos y terrestres, ya que, gracias a la interacción entre estos ecosistemas, se puede controlar al ambiente, a la fauna y flora asociada (Ocampo, 2015).

### **4.6.2. Ventajas y Desventajas que presentan los humedales.**

Según Dugan (2012) los humedales presentan las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- a) Las especies acuáticas son empleadas como bombas succionadoras de contaminantes, las cuales representan un costo mínimo para conseguir la purificación de las aguas residuales.
- b) La degradación de los contaminantes sucede de forma más dinámica con especies vegetales que con bacterias.
- c) Representa un método bastante óptimo para purificar grandes cantidades de agua.
- d) No consume nada de energía.

- e) Se integra muy bien al ambiente, debido a que se reemplaza estructuras grandes y equipos costosos por una implementación de plantas acuáticas.
- f) Presenta un mantenimiento bastante viable, debido a que no necesita de bastantes personas para ejecutar su mantenimiento, basta con una sola persona que tenga conocimientos sobre las especies implementadas.
- g) Posee una gran capacidad para eliminar los contaminantes.
- h) Presenta beneficios paisajísticos y socio ambientales.

Desventajas:

- i) Se debe considerar como máximo una profundidad de 1,50 a 1,75 m, ya que esa es la altura máxima en la que pueden estar las plantas.
- j) Las plantas que van a ser colocadas en los humedales deben tener una óptima madurez, ya que tienen que estar en la etapa de juvenil a adulta.
- k) Los animales pueden comerse las plantas que se encuentran en los humedales.
- l) Ocupan una extensión bastante amplia de suelo.
- m) Al haber bastante cantidad de materia orgánica en el agua, puede presentarse el crecimiento de algas (eutrofización).

#### **4.6.3. Funciones de los humedales.**

Los humedales presentan las siguientes funciones:

- a) La remoción física:** Este procedimiento permite proporcionar al humedal una alta eficiencia en la remoción de contaminantes.
- b) La remoción biológica:** Es el proceso más importante en la remoción de los contaminantes en las piscinas biodigestoras, por cuanto la planta capta con mayor facilidad los nutrientes como nitratos, amonios y fosfatos.
- c) La remoción química:** Es el principal factor para la remoción del suelo del humedal ya que se produce la retención de residuos que se dan a un plazo muy corto, permitiendo una descontaminación profunda (Torres y Rivanedeira, 2013).

#### **4.6.4. Tiempo de vida que presentan los humedales.**

Al momento que se construye un humedal, se debe tomar en cuenta cada cuanto tiempo se cambia los elementos que fueron implementados en la obra, por ejemplo, en el caso del cascajo, este jamás debe ser cambiado; la geomembrana debe reemplazarse por otra nueva cada siete años; por otro lado, todavía no ha existido las investigaciones que afirmen que los humedales dejen de descontaminar las aguas residuales después de haber pasado un prolongado tiempo; debido a que si se presenta el caso de que se abandona a un humedal artificial, las plantas que se encuentran implementadas van a crecer de forma silvestre, sin ningún tipo de problema, y a la vez generaran un hábitat para la macro fauna; es importante mencionar que, los humedales artificiales presentan una prolongada vida útil como se da en el caso de algunas plantas de tratamiento; ya que se puede afirmar que algunos de estos han continuado funcionando por un tiempo de veinte años y a pesar de haber pasado ese tiempo, han seguido funcionando normalmente y sin ningún problema (Muench, 2011).

#### **4.6.5. Clasificación de los Humedales.**

Los humedales se dividen o se clasifican, en los descritos a continuación:

- a) Palustres:** Se refiere a los que se encuentran en áreas pantanosas.
- b) Ribereños:** Son los que se encuentran cerca a las riveras de los ríos.
- c) Marinos:** Son los que se dan en la región Costa, como en el caso de los manglares.
- d) Artificiales:** Este tipo de humedales, son creados por el hombre de forma ex situ, para el uso de diversas actividades, por ejemplo, para tratamiento de aguas residuales o para estanques agrícolas.
- e) Lacustres:** Estos se encuentran en los bordes algunos lagos y lagunas (Castillo et al., 2018).

#### 4.6.6. Humedales artificiales.

Como su nombre mismo lo indica, los humedales artificiales son estructuras creadas por el hombre de forma ex situ, en donde se implementan varias especies acuáticas, con la finalidad de que las mismas absorban los diversos contaminantes presentes en las aguas residuales y así mejorar su calidad de agua; los dimensionamientos de esta estructura, dependerá del diseñador y del caudal a tratar; en este tipo de humedales, es importante decidir con qué tipo de planta acuática se va a trabajar, ya que se puede seleccionar entre plantas flotantes, sumergidas y emergentes o de humedal (Maqueda, 2013).

Dentro de los humedales artificiales, debe tomarse en cuenta tres importantes detalles, que son los siguientes: el agua residual, las plantas y el sustrato; para el caso del agua residual, esta atraviesa por el sustrato y por las plantas, y al pasar estos dos, sus niveles de contaminación disminuyen; en el caso de las plantas, éstas ayudan a dar oxígeno al sustrato, también eliminan la materia orgánica y nutrientes, y especialmente dan vida a pequeños microorganismos que se desarrollan en su sistema radicular y en el sustrato; finalmente para lo que se refiere al sustrato, éste ayuda a sujetar y a dar firmeza a las plantas, accediendo a que los microorganismos se fijen en el mismo, estos microorganismos serán los que participarán en los procesos de descontaminación de las aguas servidas o residuales (Salas, 2013).

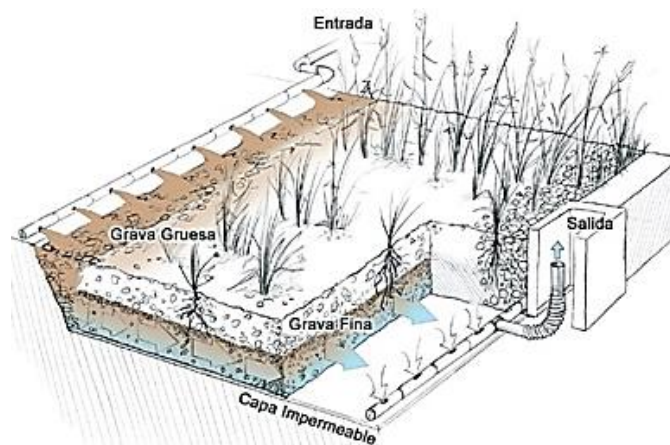


Figura 6. Humedal Artificial.  
Fuente: (Salas, 2013)

Por otro lado, estos humedales artificiales permiten que se eliminen una amplia variedad de contaminantes que se encuentran en las aguas residuales, como son los siguientes:

- a) Eliminan todo tipo de patógenos a través de la biodegradación.
- b) Eliminan una variedad de metales pesados, por ejemplo, plomo, cobre, mercurio, cadmio, entre otros.
- c) Eliminan grandes cantidades de nutrientes, por ejemplo, fosfatos y todas las formas del nitrógeno, a través de la desnitrificación.
- d) Eliminan todo tipo de sólidos que se encuentren diluidos o en suspensión a través de la filtración y sedimentación.
- e) Eliminan una gran cantidad de materia orgánica a través del sistema radicular de las plantas y de las bacterias que se encuentran en los humedales (Blázquez y Trapote, 2016).

Además, este tipo de estructuras son empleadas también para múltiples usos, aparte del tratamiento de aguas residuales, ya que se puede usar también para lo siguiente:

- a) Para tratar aguas provenientes de la agricultura.
- b) Para tratar los lixiviados provenientes de los residuos sólidos.
- c) Para tratar los lodos provenientes de las aguas residuales domésticas
- d) Para tratar los residuos que se encuentran en los pozos sépticos (Blázquez y Trapote, 2016).

Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade (2017) mencionan que los humedales construidos presentan ventajas con respecto a los proyectos de tratamiento alternativo, debido a que no necesita de energía para funcionar; de esta manera se abaratan los costos de las instalaciones; y se propone utilizar especies flotantes y de humedal como una alternativa para la vida silvestre y para la minimización de la contaminación en el recurso agua.

La presencia de la biotecnología hace que sea posible la instalación de piscinas artificiales que actúan como filtros naturales, pudiendo ser ubicados entre las instalaciones que realizan un tratamiento para este tipo de aguas y los recursos acuáticos, este tipo de sistemas a más de no utilizar un mantenimiento técnico ni consumir la energía eléctrica hace de que cueste menos de una cuarta parte de un sistema tecnificado; en estas piscinas se puede utilizar diferentes tipos de plantas acuáticas que están presentes en nuestro sector como: Totoras, Lenteja de agua, Lirio de agua, Cartucho, Juncos, entre otros (Rodríguez, 2014).

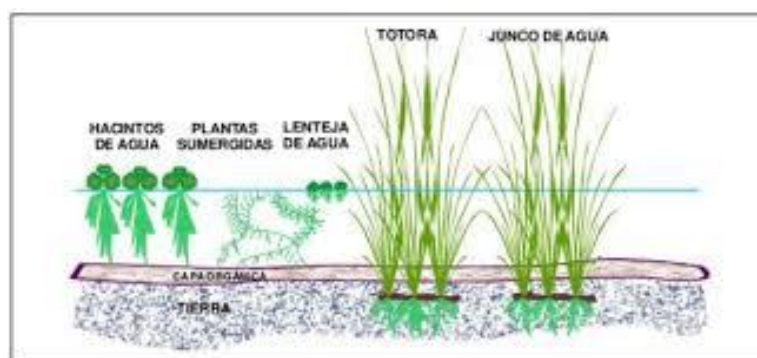


Figura 7. Plantas fitorremedadoras usadas en los humedales artificiales.  
Fuente: (Rodríguez, 2014)

#### 4.6.6.1. Tipos de humedales artificiales.

Para ejecutar un tratamiento a las aguas servidas o residuales, se utilizan principalmente dos tipos de humedales artificiales, y son los siguientes: humedales artificiales con flujo subsuperficial y los humedales artificiales con flujo superficial (Torres y Rivanedeira, 2013). A continuación, se detalla más a profundidad cada uno de ellos:

**a) Humedal artificial con flujo subsuperficial:** En este tipo de humedal se utilizan especies acuáticas emergentes o también conocidas como especies de humedal, en donde el sistema radicular de estas especies, absorberán los contaminantes que se encuentren en las aguas servidas; esta estructura se define como una fosa, en la cual se utilizan diferentes tipos de medios granulares para sujetar las plantas, por ejemplo, se puede utilizar cascajo, piedra bola, piedras de ríos, entre otros; es importante mencionar que el nivel del agua en estas estructuras permanece debajo de la parte superficial, en donde las especies emergentes se plantan en la parte inferior de la estructura, utilizando sustrato y un medio granular; y así las aguas servidas circulan de manera vertical u horizontal por este tipo de estructuras, dependiendo de la forma en la que circule el caudal, además, el suelo de esta estructura debe

estar totalmente impermeabilizado con geomembrana o cualquier otro material resistente; dentro de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, se distinguen dos subtipos, que son los de flujo vertical y horizontal, dependiendo de cómo sea la circulación del caudal a través del humedal; en los de flujo horizontal, el caudal circula de forma lenta y atraviesa toda la estructura en sentido horizontal; en cambio, en los de flujo vertical, el caudal circula de una forma un poco más rápida y atraviesa toda la estructura en sentido vertical (Martínez, 2014).

**b) Humedal artificial con flujo superficial:** En esta estructura se usan especies flotantes y sumergidas, a diferencia del otro tipo de humedal artificial, aquí no se utiliza ningún medio granular, ya que ninguna de las plantas acuáticas que se utilizan en este tipo lo necesitan; el sistema radicular de estas especies son las que se encargan de tratar las aguas residuales que atraviesan la estructura; es importante mencionar que el suelo de esta estructura debe estar totalmente impermeabilizado con geomembrana o con otro material resistente y que la profundidad de la fosa de este humedal sea entre el 1,30 a 1,50 m; teniendo así un nivel de agua bastante considerable; dentro de los humedales artificiales de flujo superficial, se distinguen dos subtipos, que son utilizando plantas acuáticas flotantes y sumergidas; en los que se usa plantas acuáticas flotantes, hay que considerar que estas especies presentan un rápido crecimiento y que su sistema radicular adquiere un óptimo desarrollo al momento que trata las aguas residuales, prácticamente, estas especies se encuentran flotando en la parte superficial del agua; por otro lado, en los que se usa plantas acuáticas sumergidas, se tiene que tomar en cuenta que estas especies tienen un buen desarrollo únicamente en las aguas que presenten oxígeno, como es el caso de las aguas residuales; estas especies se encuentran totalmente sumergidas y ancladas al suelo de la estructura; aportando así buenos niveles de descontaminación (Vergara, 2015).

#### **4.7. Plantas acuáticas utilizadas en la piscina biodigestora**

El tratamiento de las aguas residuales, aplicando la fitorremediación con especies flotantes y de humedal en piscinas biodigestoras, son de vital importancia para poder eliminar muchos niveles de sólidos suspendidos, patógenos, metales pesados, materia orgánica e hidrocarburos; mejorando notablemente estas aguas y contribuyendo al ambiente con la minimización de la contaminación en el recurso agua (Véles y Carillo, 2017).

Las plantas utilizadas en la piscina biodigestora fueron dos especies diferentes, en las cuales, la primera especie, es una planta acuática flotante, que sería la Lenteja de Agua (*Lemna minor*) y la segunda especie, es una planta acuática emergente, conocida como Cartucho (*Zantedeschia aethiopica*); ambas especies contribuyen en el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes del río Jatun Yaku. A continuación, se describen más a detalle cada una de estas especies.

#### **4.7.1. Cartucho (*Zantedeschia aethiopica*)**

##### **4.7.1.1. Taxonomía.**

La especie pertenece al reino de las plantas, exactamente al orden de las Alismatales, dentro de su familia pertenece a las Araceae, su género y epíteto específico de la especie estudiada es *Zantedeschia aethiopica* (Díaz, 2015).

##### **4.7.1.2. Descripción de la especie.**

Sacca (2011) menciona que esta especie, presenta una variedad de nombres aparte de cómo lo llamamos comúnmente “Cartucho”, por ejemplo, flor de jarro, cala, azucena, lirio de agua, entre otros; a esta especie se la considera como semi acuática, ya que puede adaptarse tanto al ecosistema terrestre como al acuático; implementándolas así en macetas o en humedales artificiales. A continuación, se describen algunas características importantes de la especie:

- a) Los frutos que salen de los sépalos de estas especies, se consideran como bayas.
- b) Existen otras especies del mismo género que presentan una diversidad de colores en sus inflorescencias y espatas, pueden ser de color azul, negro, rojo, y amarillos.
- c) La especie suele presentar frutos, pero en algunas ocasiones no los genera debido a que la misma, ya ha producido por un prolongado tiempo, y llega a su límite en el que ya no los produce.
- d) Presenta un rizoma ancho, en el cual nacen varias raíces que alcanzan los quince centímetros de longitud.
- e) Son ampliamente utilizadas para decorar jardines residenciales, centros de mesa, estanques, ramos, entre otros.

f) Se considera de clase herbácea, particularmente perenne, la cual puede alcanzar la altura máxima de un metro con cincuenta centímetros.

g) Se considera una especie monoica, debido a que sus pequeñas flores se localizan en la misma planta; precisamente en la parte del espádice, debido a que se ubican primero las flores masculinas y debajo de ellas las femeninas.

h) Presenta un pseudo tallo, el cual nace del rizoma que se encuentra en la parte profunda, representando el sistema radicular de la especie, acotando también que el rizoma sirve para la reproducción de la planta.

i) Por otro lado, las diversas hojas de esta especie nacen también desde el rizoma, estas hojas son de varias particularidades, por ejemplo, pueden ser en forma de corazón, lanceoladas, pecioladas, con bordes de forma ondular y con una nervadura bastante vistosa; son de color verde oscuro y claro.

j) Las personas comúnmente mencionan que la flor del cartucho, es la estructura de color blanca, pero en realidad esta estructura se la conoce con el nombre de espata, las cuales se definen como hojas que fueron modificadas para envolver la inflorescencia y las flores que están dentro de esta inflorescencia; su única misión es proteger a las partes mencionadas anteriormente.

k) La inflorescencia, es la estructura larga de color amarillo, conocida científicamente como espádice, la cual lleva en sí las flores masculinas y femeninas, situando en lo más alto a las masculinas y en la parte inferior a las femeninas; su longitud puede medir hasta máximo los dieciocho centímetros y se encuentran enrollados por la espata de apariencia acampanada (Paredes, 2015).

#### **4.7.1.3.Hábitat y Distribución.**

La especie proviene del continente africano; y se ha esparcido por todos los continentes del planeta, sobre todo en las zonas donde abundan los climas tropicales, como es el caso de América y Australia; catalogándola, así como una planta severamente tóxica, tanto para los animales como para las personas; el hábitat de esta especie, es preferiblemente las zonas con mayor humedad, que tengan sombra, y que presenten bastante agua (Quimbita, 2015).

#### **4.7.1.4.Toxicidad.**

Esta especie se considera como una especie tóxica, debido a que como es una planta fitorremediadora, absorbe todo tipo de contaminantes presentes en las aguas residuales y las emplea para su óptimo desarrollo, por lo cual la planta adquiere una alta concentración de toxicidad, presentando un peligro para los animales y personas que la consuman; esta planta presenta en su interior un compuesto químico altamente nocivo, que es el oxalato de calcio y a la vez la savia que genera también es perjudicial para la salud; entonces, estos dos compuestos generan irritación en la boca, piel, produce diarrea, malestar estomacal, entre otras cosas; si se llegase a consumir esta planta, lo más recomendable es acudir al doctor lo más rápido posible (Gualli, 2017).

#### **4.7.1.5.Reproducción.**

Para lograr la reproducción de la especie, es importante asegurar que el suelo sea el más óptimo para su desarrollo, ya que la especie se adapta muy bien a los suelos humíferos; y también necesitan de la mano de un poco de abono; el primer método de reproducción de esta planta, es mediante semillas, lo que se debe hacer es sacar las semillas que se encuentran en el cáliz, luego ponerlas a secar, con la finalidad de darle una madurez a la semilla para procederla a plantar (Serna, 2009). El segundo método de reproducción es a través de rizomas; lo primero que se debe hacer es retirar uno de los rizomas de la planta, considerando que este debe presentar dos o más yemas; este rizoma que fue retirado debe tratarse con un buen fungicida, preferiblemente con un fungicida que contenga azufre, después se debe dejar que se seque algunos días; una vez seco, se procede a plantar en una pequeña maceta toda la parte rizomática, empleando tierra fértil humífera; esta maceta debe colocarse en un sitio en donde mantengan una temperatura de 20 a 24 °C y su riego debe ser muy poco frecuente; finalmente cuando los brotes de esquejes se encuentren creciendo y hayan conseguido la altura de veinte centímetros, se los trasplanta a un recipiente más amplio o al lugar en donde se lo quiera colocar, utilizando la tierra que se tenía anteriormente, ya cuando estos esquejes estén en la altura mencionada anteriormente, el sistema radicular que nace del rizoma que se plantó al inicio, se ha desarrollado correctamente y sin ningún tipo de problemas (Serna, 2009).

#### **4.7.1.6. Uso y Cultivo.**

Principalmente se utiliza en el cultivo de plantas ornamentales por su vistoso color blanco en su flor; pero según estudios realizados esta planta es muy utilizada en la limpieza de aguas residuales, evitando de esta forma la proliferación de algas que son perjudiciales para el tratamiento de aguas (Domínguez et al., 2016).

#### **4.7.1.7. Usos medicinales.**

La especie presenta grandes beneficios en la parte medicinal, debido a que en su interior presentan polisacáridos y flavonoides disolventes; los cuales favorecen para curar enfermedades inflamatorias, debido a que la planta actúa como analgésico, trata la tos severa y además es diurética; en algunos lugares la usan para curar heridas de gravedad, como quemaduras, enrojecimientos de piel, bultos de pus, eczemas, entre otros; otra de las formas de uso es por cataplasma caliente, usando la espata de color blanca, lo que primero se debe hacer es lavar bien esta parte de la planta y colocarla a fuego lento, después se procede a cortar en pequeños trozos y se los sitúa encima de las verrugas; es importante mencionar que el aceite que se extrae de esta especie ayuda curar los hinchazones o golpes del cuerpo, basta con frotar un poco de aceite en la zona afectada (Trejo et al., 2014).

#### **4.7.1.8. Cuidados.**

Esta planta necesita los siguientes cuidados descritos a continuación:

- a) Deben estar en los lugares que tengan sombra, debido a que, si se expone demasiado al sol, puede hacerla amarillar las hojas y las flores, lo más recomendable es colocarla en áreas húmedas y un poco oscuras para obtener una óptima floración.
- b) Deben estar en suelos que sean bien drenados y sobre todo fértiles.
- c) Referente a la situación climática, la especie se adapta también a temperaturas frías.
- d) Al ser una especie semiacuática, se la puede tener en macetas o en estanques, dependiendo del gusto de la persona; recalcando que la flor cortada de esta especie presenta una alta demanda en el mercado (Nuñez, 2017).

## **4.7.2. Lenteja de Agua (*Lemna minor*)**

### **4.7.2.1. Taxonomía.**

La especie pertenece al reino de las plantas, exactamente al orden de las Alismatales, dentro de su familia pertenece a las Araceae, su género y epíteto específico de la especie estudiada es *Lemna minor* (Cruz, 2016).

### **4.7.2.2. Descripción de la especie.**

Restrepo (2007) menciona que esta especie se la conoce comúnmente como lenteja o lentejines de agua, es considerada como especie totalmente acuática, se adapta muy bien a todo tipo de ecosistema acuático; por lo que se la puede encontrar en aguas calmadas que tengan poco movimiento, por ejemplo, remansos de ríos, estanques, lagos, lagunas, embalses, entre otros; normalmente es utilizada y aprovechada para la purificación de los diferentes tipos de aguas residuales, por ejemplo, aguas servidas, domésticas o particularmente en la depuración de aguas con excretas porcinas, la cual adquiere un alto valor nutritivo con un alto contenido inorgánico que este no es tóxico para los animales. Según Kinsner (2018) menciona algunas de las características más importantes de la especie y son las siguientes:

- a) Se considera una especie cosmopolita, ya que existe en varios lugares del planeta; además presenta un crecimiento demasiado acelerado, que en algunos casos es considerada como plaga.
- b) Se adapta a las aguas que tengan un pH fuera del rango normal.
- c) Presenta una alta concentración nutricional cuando está seca, y se representa de la siguiente forma: grasas (3,9%), contenido de humedad (9%), contenido de cenizas (11 a 15%), proteína cruda (32 a 38%), extracto de la planta (22%) y fibra (15,9%).
- d) Su amplia cobertura vegetal para cubrir estanques, favorece para evitar el crecimiento de las algas, ya que esta especie es sumamente competidora de espacio.
- e) Su estructura vegetativa pertenece a un taloide, el cual se considera como una estructura en donde no se distinguen las hojas y el tallo.

- f) Algunos investigadores afirman que la estructura taloide pertenece solamente a una hoja normal que fue modificada para cumplir con las tareas de los ejes por donde nacen las flores, tallos y hojas.
- g) La estructura de las hojas son aplanadas y de forma ovalada, estas se encuentran enlazadas por una acumulación del sistema radicular, su coloración es verdosa.
- h) Requieren de mucha luz solar, que varía en el rango de 12 a 14 horas al día.
- i) Carecen de la estructura perianto; por lo que las flores surgen de un pequeño orificio situado en el borde de la estructura ovalada (pseudo hoja), en el interior de la espata.
- j) El tamaño de la especie es sumamente pequeño, presentando un largo de dos a cuatro milímetros y una anchura de dos milímetros; además su peso varía entre los sesenta a setenta miligramos.
- k) Se considera una especie monoica, ya que presenta flores de ambos sexos; las femeninas son prácticamente un pistilo que se ha originado únicamente por la existencia de un carpelo y las masculinas se constituyen solamente por el estambre.
- l) Su producción de flores se da de vez en cuando, estas flores prácticamente llegan a medir solamente un milímetro de espesor; por otro lado, el fruto genera de una a cuatro semillas, estas semillas son demasiado minúsculas para poder visualizarla normalmente, ya que llegan a medir 0,5 milímetros.
- m) Su pseudo hoja presenta un largo de uno a cuatro milímetros y su anchura va de uno a dos milímetros; las pseudo hojas vienen con su sistema radicular individual, la cual presenta una coloración blanca, este sistema radicular mide de veinte a veinticinco centímetros de longitud.

#### **4.7.2.3.Reproducción.**

Su reproducción comúnmente se da en forma asexual, que sería por gemación; en los bordes que se encuentran en la parte basal, crecen algunas yemas, las cuales generan una nueva planta, desprendiéndose así de la planta progenitora, y a la vez forman una especie de alfombra pegajosa de coloración verdosa; es importante mencionar que esta planta se reproduce cada dos días, estableciendo que su crecimiento es demasiado rápido (Arenas y Torres, 2011).

#### **4.7.2.4.Distribución.**

Se distribuye en varias zonas del planeta, por ejemplo, el continente asiático, europeo, australiano y americano; esta especie se sitúa en aguas calmadas, que tengan poco o ningún movimiento, como el caso de lagunas, embalses, estanques, remansos de ríos, entre otros; su distribución es demasiado amplia, debido a que se da en climas subtropicales y tropicales (Arroyo, 2004).

#### **4.7.2.5.Hábitat.**

Las condiciones de hábitat para esta especie son las siguientes:

- a) Se adapta a las temperaturas que van de 5 a 30 °C, aunque la temperatura más ideal para el desarrollo de la especie es de 15 a 18 °C.
- b) La especie crece en lugares con buena iluminación.
- c) Se desarrolla en aguas que presenten un alto contenido de nutrientes, sobre todo que tengan elevadas concentraciones de fosforo y nitrógeno, es importante mencionar que el hierro constituye un elemento que disminuye el crecimiento de la especie.
- d) Se adaptan con normalidad a las aguas que presentan un pH de 4,5 a 7,5 (Vargas y Merchán, 2016).

#### **4.7.2.6.Usos.**

Existen múltiples usos que la especie brinda a la sociedad y son las siguientes:

- a) Sirve de alimento para varios animales, la biomasa que brinda esta especie contiene un elevado contenido proteico, por lo que es bastante factible para darles de comer a los animales domésticos, que sería al ganado vacuno, porcino, truchas y aves de corral.
- b) Es ideal para tratar las aguas residuales; esta especie es considerada como la mejor planta fitorremediadora para el tratamiento de este tipo de aguas, debido a que absorbe y almacena varios metales pesados, por ejemplo, cadmio, plomo, cromo, cobre, níquel y selenio; entonces de esta forma, la especie se encarga de remover estos metales pesados que provocan una elevada contaminación en el agua; además, esta especie también absorbe grandes

cantidades de materia orgánica, varios nutrientes, hidrocarburos, sólidos disueltos, solventes orgánicos, entre otros.

c) Producen zonas sombreadas en el lugar en donde se las encuentra, que puede ser estanques o pequeños acuarios.

d) Favorecen a que los anabántidos (peces) se reproduzcan con normalidad, debido a que la biomasa de esta especie da soporte a los nidos de estos peces.

e) En el continente asiático, la consumen como alimento para el hombre, ya que se realizan diversos tipos de ensaladas con la especie (Cevallos, 2015).

#### **4.7.2.7.Control.**

Existen dos tipos de control para esta especie y son los siguientes:

a) Control de forma mecánica: Aquí se utilizan herramientas manuales como coladores, rastrillos, cortadoras, entre otras; con la finalidad de ir retirando poco a poco la biomasa acumulada.

b) Control de forma biológica: Consiste en colocar una especie depredadora acuática, especialmente que sea herbívora, la cual se vaya alimentando poco a poco de esta planta, otorgando así un control adecuado; las especies que se pueden utilizar son truchas, y algunos moluscos (Cruz, 2016).

#### **4.7.2.8.Cuidados.**

Esta planta necesita los siguientes cuidados descritos a continuación:

a) El agua en donde habita la especie, debe contener un alto índice de nutrientes, tal y como lo tienen las aguas residuales, si la planta se encuentra tratando este tipo de aguas, va a presentar un óptimo crecimiento.

b) Para que la especie logre un óptimo desarrollo, debe estar situada en aguas calmadas, que tengan mínimo movimiento.

c) La planta debe estar situada en donde le llega la luz del sol y si en tal caso se encuentran en acuarios o en estanques artificiales, se debe hacer el cambio de agua cada semana y a la vez se la debe cosechar cada siete días (Kinsner, 2018).

#### **4.7.2.9. Propiedades.**

Esta planta absorbe un alto contenido de nutrientes presentes en las aguas residuales, cuando tiene condiciones de buena iluminación, la especie absorbe de una forma impresionante al elemento nitrógeno (nitratos, nitritos, amonio), el ejecutar este proceso es de suma importancia para los sitios en donde habita la especie, debido a que mejora su calidad de agua; considerando también que la especie absorbe sustancias que provienen de plaguicidas. Por otro lado, esta planta presenta propiedades que todavía no se han estudiado a profundidad, como el tema de la elaboración de bio combustible a partir de la biomasa de la especie; además, constituye como un elemento ideal para hacer abonos orgánicos en composteras, ya que este abono presenta un alto poder fertilizante en el suelo (Cevallos, 2015).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Materiales de Campo

**Tabla 1.**

*Materiales de campo*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividad Empleada</b>
Potenciómetro MW102	1	Análisis in situ de las aguas residuales y tratadas.
Conductímetro Elicrom 8500	1	Análisis in situ de las aguas residuales y tratadas.
Medidor de oxígeno HI 9143	1	Análisis in situ de las aguas residuales y tratadas.
Termómetro	1	Análisis in situ de las aguas residuales y tratadas.
Molinete OTT C31	1	Medición de los caudales de entrada y salida de la piscina biodigestora.
Frascos ámbar	9	Toma de muestras de aguas residuales y tratadas.
Cuaderno de campo	1	Apuntar los resultados obtenidos.
GPS Garmin 64	1	Determinación de la ubicación del proyecto.
Cámara fotográfica Canon T6 Lcd3	1	Sacar fotografías para los anexos.
Cementina	1	Delimitación del área.
Piola	1	Delimitación del área.
Estacas	4	Delimitación del área.
Flexómetro	1	Delimitación del área.
Retroexcavadora	1	Delimitación del área.
Arena gruesa	1 volqueta	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Ripio grueso	1 volqueta	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Bloques	70	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.

Continuación Tabla 1

Cemento	8 quintales	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Acelerante	1	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Arena fina	1 volqueta	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Tablas rústicas	12	Construcción de la compuerta de salida.
Caretilla	1	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Azadón	1	Elaboración del desarenador.
Pala	1	Elaboración del desarenador.
Pico	1	Elaboración del desarenador.
Baldes	3	Toma de muestras de aguas residuales y tratadas.
Barra recta	1	Elaboración del desarenador.
Nivel de mano	1	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Puerta metálica	1	Para controlar la cantidad de agua que ingresa a la piscina.
Aletas de tol	2	Para disminuir la velocidad del caudal del agua.
Bailejo	1	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Combo	1	Construcción de la compuerta de salida.
Clavos de 2 pulgadas	30	Construcción de la compuerta de salida.
Escuadra	1	Construcción del canal de derivación y compuerta de salida.
Segueta	1	Construcción de la compuerta de salida.
Geomembrana de 500 micras	1	Para evitar que el agua filtre en el suelo.
Cascajo	1 volqueta	Para filtrar el lodo que viene trayendo el caudal de agua.
Mallas	2	Para dividir la piscina biodigestora por cada planta.

Continuación Tabla 1

Cartuchos	24	Fitorremediación
Lenteja de agua	1 galón	Fitorremediación
Tijera de podar	1	Mantenimiento de la piscina biodigestora.
Hoz	1	Mantenimiento de la piscina biodigestora.
Cernidor	1	Mantenimiento de la piscina biodigestora.
Muestras de agua residual	9	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales.
Muestras de agua tratada	9	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas tratadas.
Cronómetro	1	Prueba de velocidad de agua.
Pelota de espuma flex	1	Prueba de velocidad de agua.

Elaborado por: Autor

## 5.2. Materiales de Oficina

Tabla 2.

### *Materiales de oficina*

Material	Cantidad	Actividad Empleada
Software ArcGis 10,5	1	Diseño de mapas cartográficos.
Software R Project 3,6,0	1	Para realizar la prueba estadística de los resultados obtenidos.
Software Google Earth Pro	1	Diseño de mapas cartográficos.
Laptop Toshiba Satellite S55	1	Para realizar el trabajo de investigación.
Cartografía en formato Shapefile, de los ríos de Otavalo y San Pablo	1	Diseño de mapas cartográficos.

Elaborado por: Autor

### 5.3. Materiales, Reactivos y Equipos de Laboratorio

#### 5.3.1. Materiales de laboratorio.

**Tabla 3.**

*Materiales de laboratorio*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividad Empleada</b>
Tubos de ensayo	18	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales y tratadas.
Barras de agitación	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Matraz Erlenmeyer de 300 ml	1	Análisis de pesticidas
Gradilla	1	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales y tratadas.
Pipeta de 10 ml	1	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales y tratadas.
Micropipeta de 1000 µl	1	Análisis microbiológico de las aguas residuales y tratadas.
Puntas expell esterilizadas	18	Análisis microbiológico de las aguas residuales y tratadas.
Quemador Bunsen	1	Análisis microbiológico de las aguas residuales y tratadas.
Vasos de precipitación de 5 ml	6	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales y tratadas.
Pera de succión	1	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales y tratadas.
Crisoles de 30 ml	18	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Placas Petrifilm	18	Análisis microbiológico de las aguas residuales y tratadas.

Continuación Tabla 3

Frascos ámbar de 30 ml	9	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales y tratadas.
Frascos ámbar de 1 L	9	Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales y tratadas.
Pinzas	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Embudo de cristal	9	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Papel filtro	9	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Tubos capilares	9	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Probeta de 50 ml	1	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Corchos de caucho	9	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Piseta	1	Análisis físicos y químicos de las aguas residuales y tratadas.
Cápsula de enfriamiento	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Cubeta de vidrio de 10 mm	1	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Esparcidor	1	Análisis microbiológico de las aguas residuales y tratadas.
Columna EC 250/4 NUCLEOSIL 100 – 5 C18	1	Análisis de pesticidas.

Elaborado por: Autor

### 5.3.2. Reactivos de laboratorio.

Tabla 4.

#### *Reactivos de laboratorio*

<b>Reactivo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividad Empleada</b>
Solución A (Cloruro férrico hexahidratado)	1 ml	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Solución B (Cloruro de calcio)	1 ml	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.

Continuación Tabla 4

Solución C (Magnesio sulfato heptahidratado)	1 ml	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Solución D (Fosfato monopotásico + Fosfato de disódio + Fosfato dipotásico + Cloruro de amonio)	1 ml	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Kit La Motte para determinar Sulfatos	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Kit La Motte para determinar Fosfatos	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Kit La Motte para determinar Amonio	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Kit La Motte para determinar Nitratos	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Kit La Motte para determinar Nitritos	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Kit La Motte para determinar Hierro	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Tubos Hach para determinar DQO	18	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Hidróxido de sodio (0,1 mol/l)	60 perlas	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Acetonitrilo A955 - 1	15 ml	Análisis de pesticidas.
Agua destilada	1 L	Análisis físicos y químicos de las aguas residuales y tratadas.
Agua pura	50 ml	Análisis de pesticidas.

Elaborado por: Autor

### 5.3.3. Equipos de laboratorio.

Tabla 5.

#### *Equipos de laboratorio*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividad Empleada</b>
Turbidímetro HI 93703	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Colorímetro Smart 3 La Motte	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Conductímetro Elicrom 8500	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.

Continuación Tabla 5

Potenciómetro MW102	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Fotómetro NOVA 60 A	1	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Mufla Pequeña Thermo Scientific D62	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Incubadora Velp Scientifica para DBO ANSAM	1	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Balanza Analítica ADB 200 – 4	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Estufa Vwr Scientific Shel Labs ICT 5,4	1	Análisis físico de las aguas residuales y tratadas.
Oxitops WTW	9	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Contador de colonias SC6 Plus	1	Análisis microbiológico de las aguas residuales y tratadas.
Refrigeradora MABE	1	Preservación de las muestras de agua.
Baño María KBM	1	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Calentador de bloque OHAUS	1	Análisis químico de las aguas residuales y tratadas.
Cromatografía líquida (HPLC)	1	Análisis de pesticidas.

Elaborado por: Autor

#### 5.4.Variable independiente

Parámetros de control: DQO, DBO, Nitritos, Amonio.

#### 5.5.Variable dependiente

Calidad del agua

## **5.6. Metodología**

### **5.6.1. Descripción de la ubicación del proyecto.**

La presente investigación se ejecutó en la Unidad Educativa “Sarance”, localizada en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia Miguel Egas Cabezas, exactamente al norte de la ciudad de Otavalo, en la dirección Panamericana norte kilómetro 1,5 – Sector de Peguche; esta institución presenta una latitud de: 0°14'17'' N; una longitud de: 78°15'36'' W y una altitud de: 2549 msnm. El proyecto de investigación se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas presentadas a continuación, 0°14'32,30'' N y 78°14'59,52''O; además, el proyecto de investigación presenta la siguiente delimitación cardinal, al Norte la parroquia de Miguel Egas Cabezas, al Sur la zona céntrica de la ciudad de Otavalo, al oeste la ciudadela Miravalle y al Este la parroquia de Peguche.

El lugar en donde se ubica el proyecto, tiene las siguientes particularidades meteorológicas; cuenta con un piso altitudinal montano bajo, la temperatura media anual es de 18 °C, la temperatura máxima que ha presentado el lugar es de 21 °C y la temperatura mínima que ha presentado el lugar es de 15 °C; su precipitación anual es de 1043 mm; presenta una humedad relativa de 77% y un punto de rocío de 11 °C (Cabascango, 2011).

Maigua (2011) afirma que la Unidad Educativa “Sarance” refiere a un establecimiento educativo, cuya principal función es la formación de bachilleres, principalmente en dos especializaciones que son las siguientes, Tratamiento de Lácteos y Aprovechamiento Agropecuario. La Unidad Educativa “Sarance” presenta una elevada demanda de estudiantes, ya que actualmente cuenta con 500 estudiantes de lugares rurales y urbanos; además la institución cuenta con 43 empleados públicos, entre ellos profesores, personal de servicio y personal administrativo (Maigua, 2011).

En la parte posterior de las oficinas de la institución se encuentra la granja experimental, la cual tiene 18 ha de área total, divididas en dos zonas que son las siguientes: La primera zona consta de 4 ha que son utilizadas para instalaciones con fines administrativos, laboratorios para diferentes asignaturas y algunas aulas para los estudiantes; la segunda zona consta de 14 ha para producción de cultivos en gran magnitud, como por ejemplo, invernaderos que tienen cultivos de pimientos, lechugas, tomate riñón, entre otros; también están las zonas:

avícolas, cavícolas, piscícolas, cunícolas, apícolas y porcinas; dos viveros forestales y las plantas de producción de lácteos (Ministerio de Educación, 2014).

Como dato adicional, la institución promueve e instruye los diferentes conocimientos agropecuarios hacia los estudiantes, estableciendo así algunos valores locales para los mismos; de esta forma se contribuye a la formación de bachilleres que sean capaces de emprender distintos proyectos agropecuarios para su vida cotidiana (Ministerio de Educación, 2014).

En la siguiente figura, se puede visualizar la ubicación exacta del proyecto de investigación.

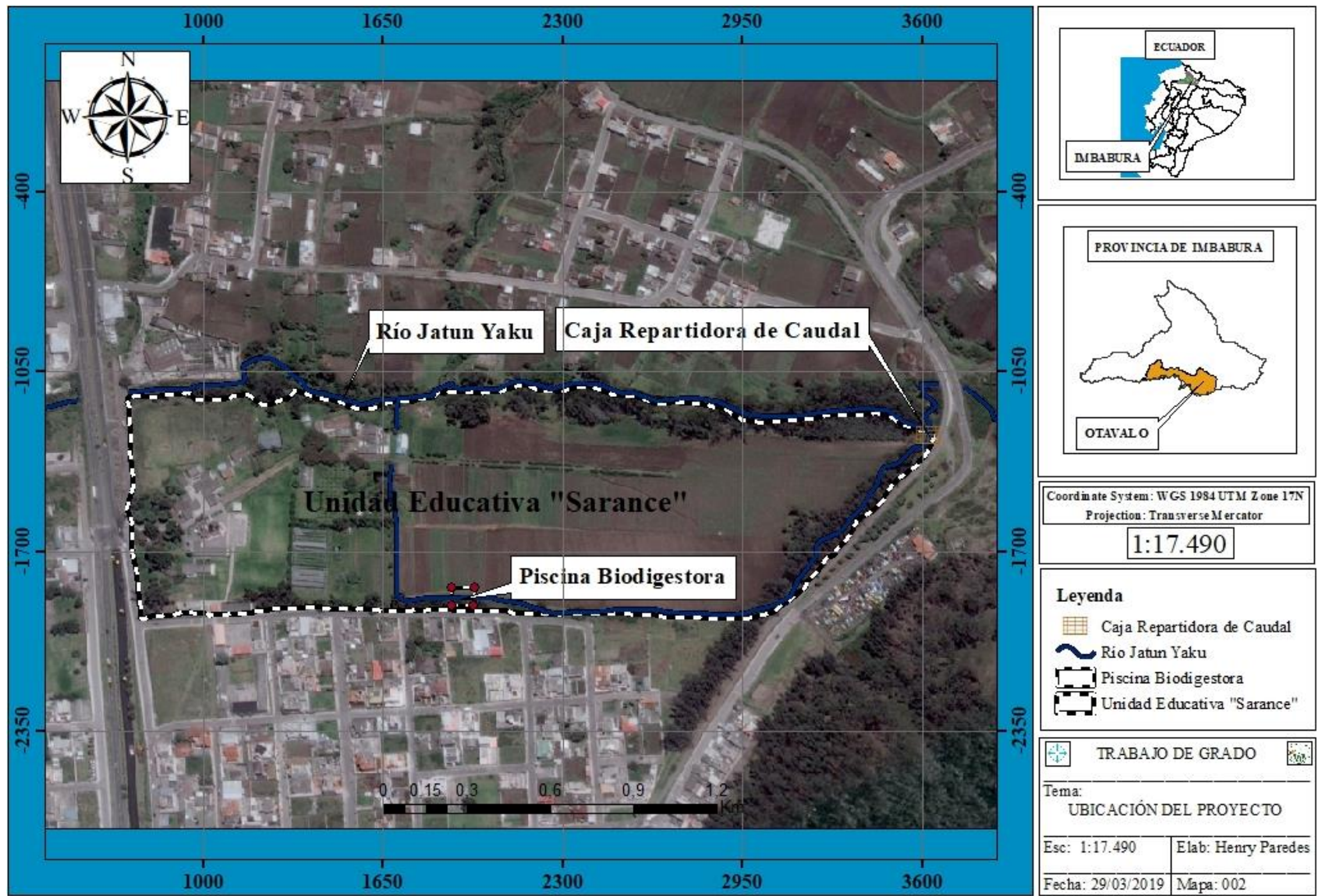


Figura 8. Mapa de ubicación de la piscina Biodigestora  
Elaborado por: Autor

### **5.6.2. Medición del caudal.**

Para realizar el tratamiento de las aguas residuales de un efluente del Río Jatun Yaku, es necesario ejecutar la medición del caudal que pasa por la Unidad Educativa Sarance, con el fin de conocer la cantidad de agua que entra a la piscina biodigestora para ser tratada y a su vez conocer la cantidad de agua que sale de la misma; esta medición se realizó en la entrada y en la salida de la piscina biodigestora, tanto en el día como en la noche; para poder determinar el caudal máximo y mínimo que tiene este canal de agua (Bello y Pino, 2014).

La medición del caudal se ejecutó midiendo la velocidad del agua (V), la profundidad promedio (P) y la anchura promedio (A); en cuanto a la velocidad del agua se tomó el dato utilizando el medidor de caudal (Molinete), para la profundidad promedio se tomaron los datos en varios puntos del canal en una distancia de 15 m, después se cogió el dato más profundo y se lo dividió en la mitad, para utilizarlo en la fórmula; y por último para la anchura promedio, se tomaron los datos en varios puntos del canal en una distancia de 15 m, para poder coger el dato de anchura que más veces se repetía y utilizarlo en la fórmula de cálculo de caudal (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014).

Una vez obtenido el dato de la velocidad de agua, profundidad y anchura promedio, se procedió a aplicar la siguiente fórmula para cálculo de caudal:  $Q = V \times P \times A$  (FAO, 2014).

### **5.6.3. Toma de muestras de las aguas residuales y tratadas.**

La toma de muestras de las aguas residuales se ejecutó para el objetivo 1 y la toma de muestras de las aguas tratadas para el objetivo 2; cada una de estas muestras de agua presentan diferentes puntos de muestreo y diferentes días para la obtención de las mismas; como son las siguientes:

#### **5.6.3.1. Aguas residuales.**

Para la toma de muestras de las aguas residuales se consideraron tres puntos de muestreo que son los siguientes: El sector de Peguche, el sector donde se construirá la piscina biodigestora y en la caja de revisión que se encuentra justo en la salida de la Unidad Educativa “Sarance”; es importante mencionar que se cogió una muestra de agua por cada

punto de muestreo en diferentes días, debido a que se realizó un muestreo compuesto, en el cual se obtendrán las variaciones promedio de la contaminación del agua; al ejecutarse este tipo de muestreo es necesario solo una muestra de agua, ya que en esta muestra estará la mezcla de todas las aguas que se tomaron según el rango de tiempo, generando así mejores resultados para los análisis (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2007).

Según el IDEAM (2007) el procedimiento para la toma de muestras se realizó en un día de Feriado (Sábado), en un día entre semana (Miércoles) y en un día del fin de semana (Domingo); la recolección de agua se ejecutó en un lapso de tiempo de 8 horas, desde las 8:00 de la mañana hasta las 15:00 de la tarde, cogiendo 2 litros de agua a cada hora, y acumulando en baldes mayores a 15 litros; una vez que toda el agua se encontraba acumulada en los baldes, se procedió a tomar las muestras de agua con los frascos ámbar en cada uno de los baldes, para posteriormente colocarlos en refrigeración a 4 °C; este procedimiento se realizó por cada punto de muestreo; dándonos un total de 9 muestras, es decir 3 muestras del día de Feriado (Sábado), 3 muestras del día entre semana (Miércoles) y 3 muestras del día del fin de semana (Domingo).

Es importante mencionar que se eligió estos días, debido a que se realizó un análisis de número de personas, que consistía en ver cuáles son los días que más personas visitan el atractivo turístico “Cascada de Peguche”, ya que las personas son las encargadas de generar la contaminación en el río Jatun Yaku; de lunes a viernes, el día que más personas van a visitar este atractivo turístico es el día Miércoles; en cuanto al fin de semana, el día que más asisten personas es el día Domingo y por último se consideró un día más, el cual es un día de feriado, que en este caso vendría hacer un Sábado de difuntos, en el mes de Noviembre; este día de feriado es sumamente importante debido a que en este día va haber mayor asistencia de personas a este lugar en comparación con los días ya mencionados anteriormente; entonces estos 3 días representativos sirven para ver la variación de la contaminación que va a tener las aguas del río Jatun Yaku, ya que son los días en que más asistencia de personas se tiene en esta zona y por ende mayor contaminación; lo cual es ideal para determinar la máxima contaminación que puede tener este río.

En la siguiente figura, se puede visualizar el lugar exacto de los tres puntos de muestreo.

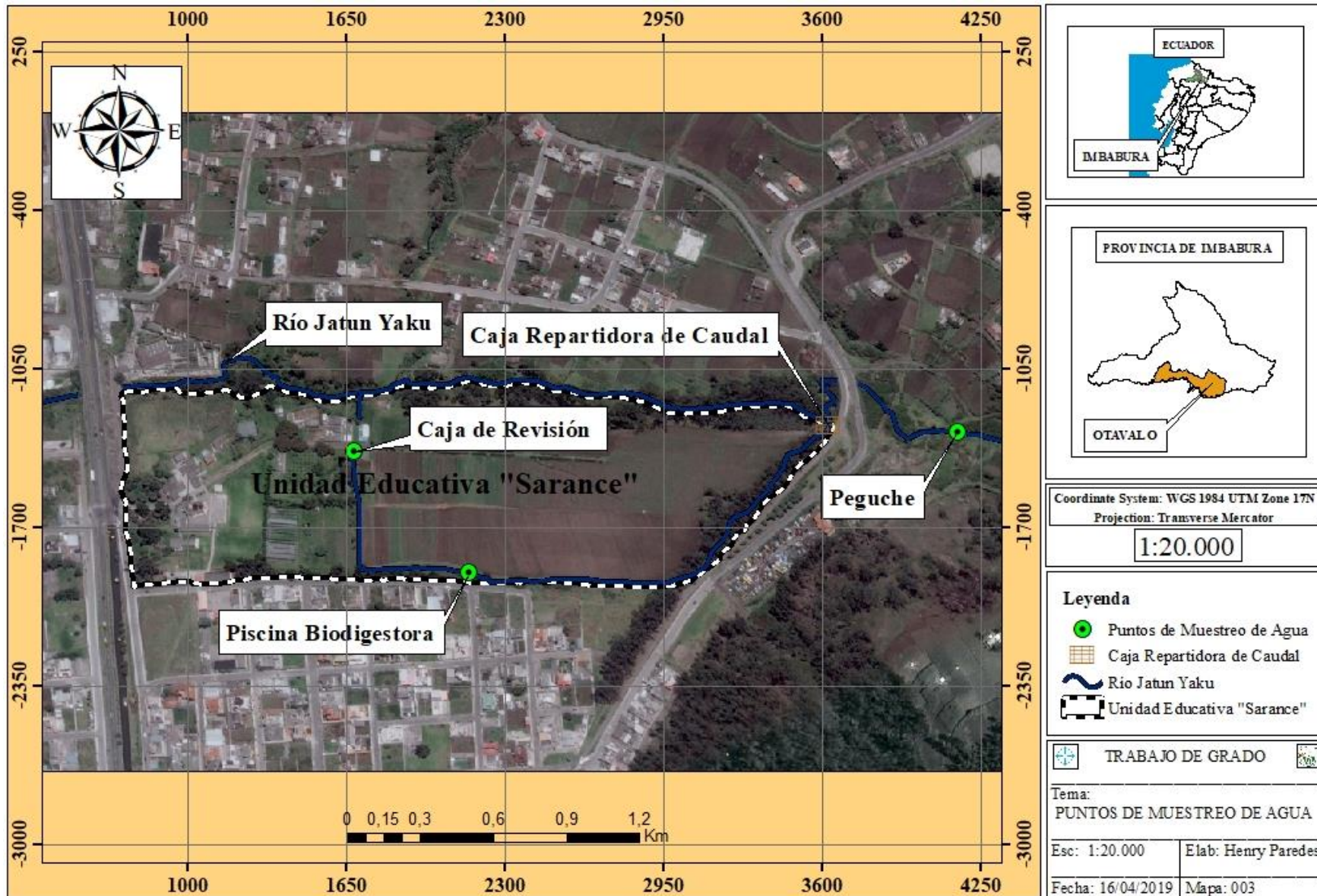


Figura 9. Mapa de ubicación de los tres puntos de muestreo  
Elaborado por: Autor

### **5.6.3.2. Aguas tratadas.**

Para la toma de muestras de las aguas tratadas, se consideraron tres puntos de muestreo, los cuales se localizan en todo el tramo de la piscina biodigestora y son los siguientes; el primer punto de muestreo se localiza dos metros antes de llegar a la entrada de la piscina biodigestora, el segundo punto de muestreo se localiza en la sección en donde se encuentran las lentejas de agua y el tercer punto de muestreo se localiza en la sección en donde se encuentran los cartuchos; es importante mencionar que se cogió una muestra de agua por cada punto de muestreo en diferentes días, debido a que se realizó un muestreo compuesto, en el cual se obtendrán las variaciones promedio de la contaminación del agua; al ejecutarse este tipo de muestreo es necesario solo una muestra de agua, ya que en esta muestra estará la mezcla de todas las aguas que se tomaron según el rango de tiempo, generando así mejores resultados para los análisis (IDEAM, 2007).

Según el IDEAM (2007) el procedimiento para la toma de muestras se realizó en un día de Feriado (Viernes), en un día entre semana (Miércoles) y en un día del fin de semana (Domingo); la recolección de agua se ejecutó en un lapso de tiempo de 8 horas, desde las 8:00 de la mañana hasta las 15:00 de la tarde, cogiendo 2 litros de agua a cada hora, y acumulando en baldes mayores a 15 litros; una vez que toda el agua se encontraba acumulada en los baldes, se procedió a tomar las muestras de agua con los frascos ámbar en cada uno de los baldes, para posteriormente colocarlos en refrigeración a 4 °C; este procedimiento se realizó por cada punto de muestreo; dándonos un total de 9 muestras, es decir 3 muestras del día de Feriado (Viernes), 3 muestras del día entre semana (Miércoles) y 3 muestras del día del fin de semana (Domingo).

Es importante mencionar que se eligió estos días, debido a que se realizó un análisis de número de personas, que consistía en ver cuáles son los días que más personas visitan el atractivo turístico “Cascada de Peguche”, ya que las personas son las encargadas de generar la contaminación en el río Jatun Yaku; de lunes a viernes, el día que más personas van a visitar este atractivo turístico es el día Miercoles; en cuanto al fin de semana, el día que más asisten personas es el día Domingo y por último se consideró un día más, el cual es un día de feriado, que en este caso vendría hacer un Viernes de carnaval, en el mes de Marzo; este día de feriado es sumamente importante debido a que en este día va haber mayor asistencia de personas a este lugar en comparación con los días ya mencionados anteriormente;

entonces estos 3 días representativos sirven para ver la variación de la contaminación que va a tener las aguas del río Jatun Yaku, ya que son los días en que más asistencia de personas se tiene en esta zona y por ende mayor contaminación; lo cual es ideal para que se realice el tratamiento en la piscina biodigestora, debido a que las aguas van a venir con bastante contaminación y al pasar por la piscina, la contaminación va a disminuir.

En la siguiente figura, se puede visualizar el lugar exacto de los tres puntos de muestreo.



Figura 10. Ubicación de los tres puntos de muestreo.  
Elaborado por: Autor

#### **5.6.4. Caracterización de las aguas residuales y tratadas.**

La caracterización de las aguas residuales se empleó para el objetivo 1 y la caracterización de las aguas tratadas para el objetivo 2, los cuales, en ambos objetivos se realizaron análisis de laboratorio, análisis in situ y características organolépticas; es importante mencionar que los análisis de laboratorio se ejecutaron en los diferentes laboratorios que tiene la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA); en cuanto a los análisis de pesticidas, solamente se lo ejecutó para las aguas residuales del objetivo 1.

##### **5.6.4.1. Análisis de laboratorio.**

Los análisis de laboratorio comprenden en ejecutar una serie de diferentes análisis, los cuales nos permiten conocer las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales y de las aguas tratadas; para que de esta forma se pueda comparar los resultados

obtenidos con los límites permisibles del acuerdo ministerial 097 A; y así establecer si estas aguas se encuentran por encima de los límites permisibles de calidad de agua o se encuentran en un rango normal; a continuación, se presentan los siguientes análisis de laboratorio que se ejecutaron para las aguas residuales y para las aguas tratadas:

#### 5.6.4.1.1. *pH.*

Para determinar el pH se coloca la muestra de agua en un vaso de precipitación de 100 ml; después se introduce el electrodo en el vaso de precipitación, se espera hasta que el dato se estabilice y se toma el dato (Universidad Javeriana de Bogotá, 2008).

#### 5.6.4.1.2. *Color.*

Para determinar el color se coge una pipeta y se coloca 10 ml de la muestra de agua en un tubo capilar y se afora; después se enciende la maquina Smart 3 Colorimeter, se escoge la opción todas las pruebas y se busca el análisis deseado que sería en este caso Color; luego se mide el blanco, se espera un momento y se mide la muestra; finalmente se toma el dato en unidades de color (UC) (Guerrero y Flores, 2014).

#### 5.6.4.1.3. *Conductividad Eléctrica.*

Se coloca la muestra de agua en un vaso de precipitación de 100 ml; después se introduce el electrodo en el vaso de precipitación, se espera hasta que el dato se estabilice y se toma el dato en microsiemens ( $\mu\text{S}$ ) (Universidad Javeriana de Bogotá, 2008).

#### 5.6.4.1.4. *Turbidez.*

Con la ayuda de una pipeta se coloca 10 ml de la muestra de agua en un tubo capilar y se afora; después se enciende el turbidímetro, se mide el blanco, se espera un momento y se mide la muestra; finalmente se toma el dato en unidades de turbidez (NTU) (Universidad Javeriana de Bogotá, 2008).

#### 5.6.4.1.5. *Sólidos totales.*

Para determinar los sólidos totales primero se lavan los crisoles con jabón y agua destilada; luego se coloca los crisoles en la estufa a 110 °C por 30 min; después se pasa los crisoles a

la capsula de enfriamiento por 10 min; se saca los crisoles de la capsula y se los pesa en la balanza analítica (Dato 1). Posteriormente se coloca 20 ml de las muestras de agua en los crisoles y se los vuelve a poner en la estufa por un tiempo aproximado de 5 a 6 horas, dependiendo de la muestra de agua. Una vez que haya transcurrido este tiempo, se vuelve a colocar los crisoles en la capsula de enfriamiento por 10 min, se pesa en la balanza analítica y se realiza el peso permanente (Dato 2); finalmente se aplica la formula y se obtiene el dato en miligramos por litro (mg/l) (Ruiz, 2014).

#### 5.6.4.1.6. *Nitritos.*

Se coloca 5 ml de la muestra de agua en un tubo de ensayo; después se adiciona una microcuchara del reactivo (Nitrito de Sodio), y se lo agita hasta que el mismo se diluya totalmente; luego se lo mantiene en reposo por un tiempo de 10 min; finalmente se lo coloca en la cubeta, para poder realizar la medición en el espectrofotómetro y tomar el dato en miligramos por litro (mg/l) (Merck, 2014).

#### 5.6.4.1.7. *Nitratos.*

Poner en un tubo de ensayo que se encuentre seco, una microcuchara del reactivo  $\text{NO}_3^-$ ; después se coloca 5 ml del reactivo  $\text{NO}_3^-$  y se agita por 1 min, hasta que el mismo se disuelva totalmente; luego se coloca 1,5 ml de la muestra de agua y se mueve el tubo de ensayo por poco tiempo. Mantenerlo en reposo por un tiempo de 10 min y después colocarlo en la cubeta, para poder medirlo en el espectrofotómetro y tomar el dato en miligramos por litro (mg/l) (Merck, 2014).

#### 5.6.4.1.8. *Nitrógeno Total.*

En un tubo de DQO, colocar 0,15 g de hidróxido de sodio; después se añade en el mismo tubo un sobre Hach de nitrógeno total; en otro tubo de ensayo se añade 2,0 ml de agua destilada, el cual servirá como blanco para la medición; en el tubo original, se añade 2,0 ml de la muestra de agua; luego se debe tapar los tubos y moverlos por un tiempo de treinta segundos. Una vez realizado esto, se inserta los tubos en el calentador por treinta minutos; se saca los tubos del calentador, se los deja en reposo un momento para que se enfríen y se los pueda medir en el Colorímetro; se procede a encender la maquina Smart 3 Colorimeter, se escoge la opción todas las pruebas y se busca el análisis deseado que sería en este caso

Nitrógeno Total; se mide el blanco, se espera un momento y se mide la muestra; finalmente se toma el dato en miligramos por litro (mg/l) (Guerrero y Flores, 2014).

#### 5.6.4.1.9. *Fosfatos.*

Añadir en un tubo de ensayo 8,0 ml de agua que se encuentre destilada; después se coloca 0,50 ml de la muestra de agua y se agita; luego se coloca 0,50 ml del reactivo PO<sub>4</sub>-1 y se agita; posteriormente se pone una dosis del reactivo PO<sub>4</sub>-2 y se lo mueve hasta que el mismo se disuelva; finalmente se lo mantiene en reposo por un tiempo de 5 min y después se lo coloca en la cubeta, para poder medirlo en el espectrofotómetro y tomar el dato en miligramos por litro (mg/l) (Merck, 2014).

#### 5.6.4.1.10. *Sulfatos.*

Colocar 2,5 ml de la muestra de agua en un tubo de ensayo; adicionarle dos gotas del reactivo SO<sub>4</sub>-1 y moverlo por poco tiempo; una vez realizado esto, se debe colocar una microcuchara del reactivo SO<sub>4</sub>-2 y moverlo por poco tiempo; después, se tiene que introducir el tubo en el baño maría por un tiempo de 5 min. Luego se tiene que realizar una filtración del contenido del tubo hacia otro tubo nuevo; se adiciona al contenido filtrado cuatro gotas del reactivo SO<sub>4</sub>-4 y se mueve por poco tiempo; finalmente se introduce nuevamente el tubo en el baño maría por un tiempo de 7 min, y después se lo coloca en la cubeta, para poder medirlo en el espectrofotómetro y tomar el dato en miligramos por litro (mg/l) (Merck, 2014).

#### 5.6.4.1.11. *Hierro.*

Colocar 5,0 ml de la muestra de agua en un tubo de ensayo; adicionar tres gotas del reactivo Fe-1 y agitarlo suavemente; mantenerlo en reposo por un tiempo de 3 min y después colocarlo en la cubeta, para poder medirlo en el espectrofotómetro y tomar el dato en miligramos por litro (mg/l) (Merck, 2014).

#### 5.6.4.1.12. *Amonio.*

Poner 5,0 ml de la muestra de agua en un tubo de ensayo; colocar 0,60 ml del reactivo NH<sub>4</sub>-1 y agitarlo por un momento; adicionar una microcuchara del reactivo NH<sub>4</sub>-2 y moverlo para que se diluya; mantener en reposo por un tiempo de 5 min; después, se coloca cuatro gotas del reactivo NH<sub>4</sub>-3 y se agita; mantenerlo en reposo por un tiempo de 5 min y después

colocarlo en la cubeta, para poder medirlo en el espectrofotómetro y tomar el dato en miligramos por litro (mg/l) (Merck, 2014).

#### 5.6.4.1.13. *DQO.*

Primero se debe encender el calentador, este debe estar a una temperatura de ciento cincuenta grados centígrados; después, se debe colocar 0,2 ml de la muestra de agua en un tubo de DQO; se cierra el tubo y se lo mueve cuidadosamente por poco tiempo; luego en otro tubo de DQO se añade 0,2 ml de agua que se encuentre destilada, ya que este tubo servirá como blanco para realizar la medición. Una vez realizado todo lo anterior, se introduce ambos tubos en el calentador, por un periodo de tiempo de 2 horas; pasado las 2 horas, se procede a apagar el calentador, esperando un tiempo de veinte minutos, con el fin de que se disminuya la temperatura de los tubos; se enciende la maquina Smart 3 Colorimeter, se escoge la opción todas las pruebas y se busca el análisis deseado que sería en este caso COD High Range; se mide el blanco, se espera un momento y se mide la muestra; finalmente se toma el dato en miligramos por litro (mg/l) (Gómez y Peña, 2014).

#### 5.6.4.1.14. *DBO.*

Colocar 43 ml de la muestra de agua en el frasco ámbar; insertar la barra agitadora en el fondo del frasco ámbar; colocar 1 ml de la solución A, B, C, y D – Solución buffer, en el frasco ámbar; colocar hidróxido de sodio en el soporte de Alkali hasta una cierta altura y situarlo en la boquilla del frasco ámbar; tapar, calibrar el Oxitop y situarlo en la incubadora por 5 días a 20 °C; una vez transcurrido los 5 días, se procede a tomar el dato aplastando la tecla B del Oxitop, este dato se lo toma en miligramos por litro (mg/l) (Flores y Loera, 2014).

#### 5.6.4.1.15. *Coliformes Totales y Ecoli.*

Poner la placa Petrifilm en una zona lisa; se alza la capa de la placa y se añade 1 ml de la muestra de agua, justo en el centro del círculo; se baja la capa de la placa y se aplasta la misma con la placa dispersora por unos 30 segundos; después se introduce la placa Petrifilm en la incubadora, por un periodo de tiempo de 24 a 48 horas; una vez realizado el proceso de incubación, se coloca la placa en el contador de colonias, se realiza el conteo y se toma el dato en unidades formadoras de colonias (UFC) (Microbiology 3M, 2008).

#### **5.6.4.2. Análisis in situ.**

Los análisis in situ comprenden en ejecutar ciertos análisis principales en los sitios de muestreo, para poder conocer la calidad del agua que presenta el río, de esta forma se podrá deducir si las características del río se encuentran en normalidad o se encuentran alteradas a causa de las diferentes formas de contaminación hacia este río; a continuación, se presentan los análisis in situ realizados tanto para las aguas residuales como para las aguas tratadas:

##### *5.6.4.2.1. pH.*

Se enciende el equipo y se espera un momento hasta que aparezcan los números; después se introduce el electrodo en el balde con agua, se espera hasta que el dato se estabilice y se toma el dato (Universidad Javeriana de Bogotá, 2008).

##### *5.6.4.2.2. Conductividad Eléctrica.*

Se enciende el equipo y se espera un momento hasta que aparezcan los números; después se introduce el electrodo en el balde con agua, se espera hasta que el dato se estabilice y se toma el dato en unidades de microsiemens ( $\mu\text{S}$ ) (Universidad Javeriana de Bogotá, 2008).

##### *5.6.4.2.3. Temperatura.*

Se coloca el termómetro en el balde con agua; se espera un momento hasta que se estabilice la barra de mercurio; y finalmente se toma el dato en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Veto M. R., 2012).

##### *5.6.4.2.4. Oxígeno Disuelto.*

Se enciende el equipo y se espera un momento hasta que aparezcan los números; después se introduce el electrodo en el balde con agua; luego se mueve el electrodo en forma circular por poco tiempo; finalmente se espera hasta que el dato se estabilice y se toma el dato en miligramos por litro ( $\text{mg/l}$ ) (Veto M. R., 2012).

### **5.6.4.3. Características organolépticas.**

Las características organolépticas consisten en ejecutar una serie de apreciaciones cualitativas en los sitios de muestreo, para poder dar una definición sensorial de cómo se encuentran estos lugares, es decir si huelen feo o no, si su color de agua es transparente o turbia, si es que existe presencia de material particulado o no; a continuación, se presentan las características organolépticas realizadas en las aguas residuales y en las aguas tratadas:

#### *5.6.4.3.1. Olor.*

Se olfatea en los sitios en donde se va a realizar la toma de muestras de agua; se da un resultado de olor, como por ejemplo los siguientes: fuerte, pícrico, agrio, dulce y putrefacto (Aguamarket, 2017).

#### *5.6.4.3.2. Color.*

Se realiza una observación en los sitios en donde se va a realizar la toma de muestras de agua; se da un resultado de color, como por ejemplo los siguientes: ligeramente amarillento, verdoso y azulado (Aguamarket, 2017).

#### *5.6.4.3.3. Material Particulado.*

Se coge un poco de agua en los dedos y se visualiza si existe o no presencia de material particulado, esto se realiza en los sitios en donde se va a realizar la toma de muestras de agua; se da un resultado de material particulado, como por ejemplo los siguientes: abundante, medio y escaso (Aguamarket, 2017).

### **5.6.4.4. Análisis de Pesticidas.**

Uno de los análisis adicionales que se realizó en la caracterización de las aguas residuales fue el análisis de pesticidas, el cual se ejecutó a través del cromatógrafo para HPLC; y además se elaboró un estándar, el cual está comprendido por 26 variedades de pesticidas; este estándar ayudará a comparar los picos en los cromatogramas de las muestras de agua, según los tiempos de retención que tenga el mismo; para que de esta forma se pueda detectar si existe presencia o no de pesticidas en el agua; a continuación, se presenta el procedimiento para realizar el análisis de pesticidas en las aguas residuales:

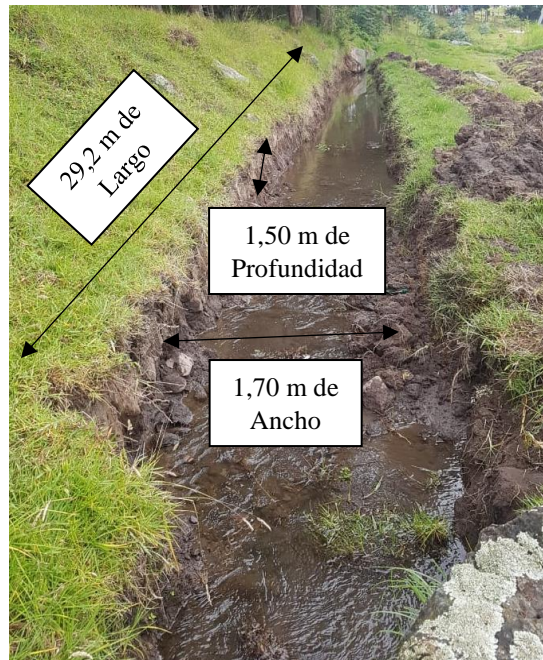
Se prende el detector UV, la bomba, el detector infrarrojo, el procesador Windows y se enciende el programa Chromatography Data System; para iniciar es necesario crear un proyecto, el cual se inicia en el Icono Management tools; una vez creado el proyecto se dirige al ícono ChromNAV, nos dirigimos al ícono HPLC – UV; se escoge el proyecto que se realizó; nos dirigimos a edit control, en donde se va a ver las condiciones en que va a trabajar el equipo. Una vez ubicados en el edit control, en el ícono activamos la bomba, el detector UV, Colum Oven; después nos dirigimos al ícono Pump y colocamos en Pump mode Iso 1; en la opción Flow colocamos 0,8 mL/min; en máxima presión se coloca 25,0 MPa; y en mínima presión se coloca 0,0 MPa. En el recipiente A se coloca acetonitrilo y en el recipiente B se coloca agua pura; en el recipiente A se coloca a un porcentaje de un 15% y en el recipiente B se coloca un 85%; en el ícono de Colum Oven, se coloca una temperatura de 40 °C y nos dirigimos al ícono UV 1, y se coloca en la opción Wavelength 230 nm. Para este método se utiliza la columna EC 250/4 NUCLEOSIL 100 – 5 C18; luego se dirige al ícono Acquisition Sequence Editor; y se coloca otros parámetros extras para la corrida, en donde se carga el método, el tiempo que se va a correr y el volumen que se va a inyectar; finalmente realizado lo detallado anteriormente, se procede a inyectar la muestra y se manda a correr (Chirinos, 2015).

### **5.6.5. Construcción de la piscina biodigestora.**

Para realizar la construcción de la piscina biodigestora, se ejecutaron las siguientes etapas:

#### **5.6.5.1. Delimitación del área.**

Para la delimitación del área en donde va a ser construida la piscina biodigestora, se inicia efectuando la medición del largo y ancho con la ayuda del flexómetro, una vez obtenido estas medidas, se utiliza la piola y las estacas para trazar un camino en forma de rectángulo que tenga las medidas de largo y ancho tomadas anteriormente; después se va regando cementina por encima de este camino rectangular para poder dar forma; luego se quita la piola y las estacas, y nos queda la forma de un rectángulo hecho de cementina; este rectángulo hecho de cementina se realiza con el fin de que la retroexcavadora sepa los límites de hasta donde tiene que realizar la excavación, tanto de largo, ancho y profundidad; finalmente la retroexcavadora realiza la excavación por el camino señalado, dejando así la fosa o hueco en donde se construirá la piscina biodigestora (Rueda, 2018).



*Figura 11.* Fosa para la construcción de la piscina biodigestora  
Elaborado por: Autor

Adicional a lo mencionado anteriormente, también se realiza la excavación de un desvío permanente, localizado 3 m antes de llegar a la fosa o hueco; este desvío se realiza con el fin de conducir el canal de agua por este camino y así evitar que vaya por su ruta normal, para que de esta forma se pueda realizar la construcción de la piscina, sobre todo las partes de la entrada y la salida que son hechos de material de hormigón; este desvío permanente tiene 68 m de largo y 0,6 m de ancho, el cual se conecta con el canal de agua que tiene la Unidad Educativa “Sarance”.

#### **5.6.5.2. Canal de derivación.**

Para el canal de derivación, se empieza construyendo una plataforma de hormigón con las siguientes medidas, 1,20 m de ancho, 4,00 m de largo, y 0,1 m de alto; después se ejecuta el asentamiento de la mampostería, la cual consiste en la colocación de los bloques en toda la plataforma, dando así la forma de un gavión; luego se realiza la colocación de la puerta metálica en la mitad del canal de derivación, la cual servirá para controlar la cantidad de agua que va a entrar en la piscina; y además se coloca también las 2 aletas de tol en las paredes del canal, con el fin de reducir la velocidad con la que entra el caudal a la piscina; finalmente se procede a enlucir todo el canal de derivación, tanto las paredes, piso y la parte

superficial; es importante mencionar que cuando se realiza la enlucida del canal, se deja secar por un tiempo de 1 día (Rueda, 2018).

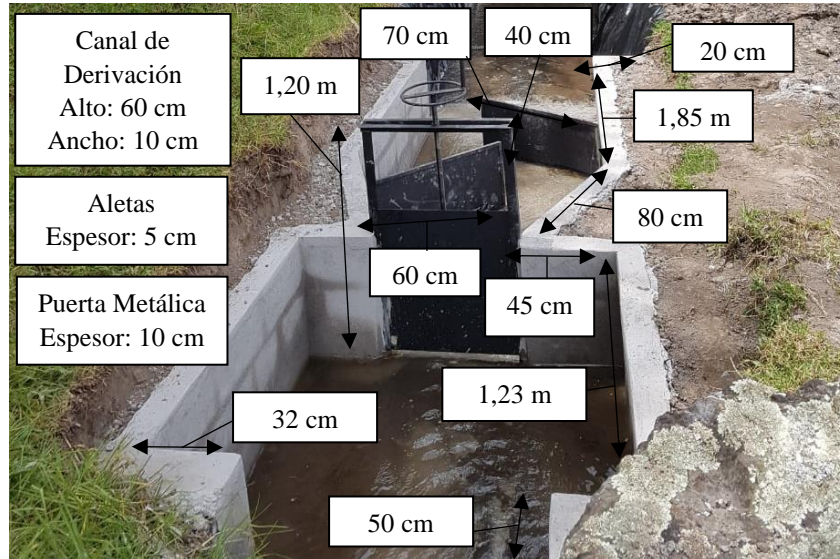


Figura 12. Medidas del canal de derivación, puerta metálica y aletas.  
Elaborado por: Autor

### 5.6.5.3. Compuerta de salida.

Para la compuerta de salida, se empieza construyendo una plataforma de hormigón con las siguientes medidas, 1,20 m de ancho, 1,20 de largo y 0,1 m de alto; después se ejecuta el asentamiento de la mampostería, la cual consiste en la colocación de los bloques en toda la plataforma, dando así la forma de 2 columnas rectangulares; luego con la ayuda del cincel y del combo se realiza 2 orificios de 60 cm de alto en cada una de las columnas; una vez realizado estos orificios se colocan 3 tablas rectangulares en los mismos y se pega las uniones de las tablas con silicona; estas tablas ayudarán a que el caudal de salida de la piscina, salga poco a poco, en cantidades mínimas a las que entró; finalmente se procede a enlucir la compuerta de salida, tanto en las paredes, piso y la parte superficial; es importante mencionar que el enlucido y la puesta de silicona se los debe dejar secar por un tiempo de 1 día (Rueda, 2018).

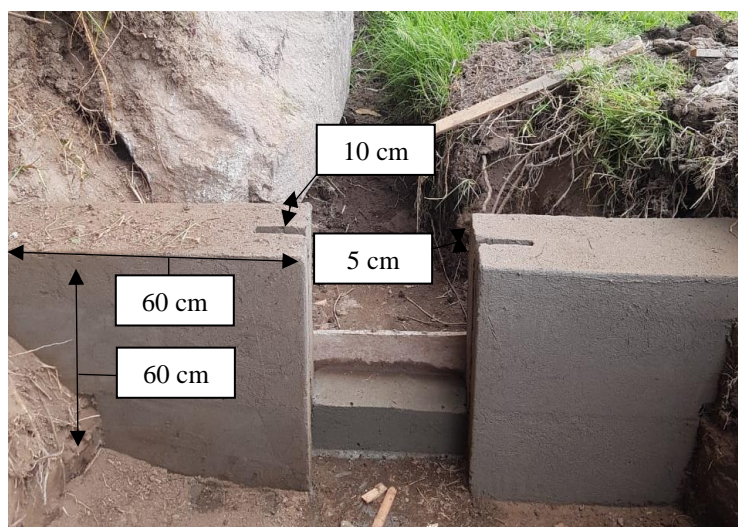


Figura 13. Medidas de la compuerta de salida.

Elaborado por: Autor

#### 5.6.5.4. Colocación de la geomembrana.

Primero se empieza desenrollando la geomembrana y se le va colocando poco a poco en la piscina, templando en el piso y en las paredes; en los lados de la piscina se hace una pequeña zanja de 30 cm de alto, en esta zanja se coloca la geomembrana y se pone encima varias chambas, estacas y piedras grandes para que la geomembrana se asiente en la tierra y no se salga; la finalidad de colocar la geomembrana es para que el agua residual no filtre en la tierra y no la contamine, sirviendo así también como un impermeabilizante (Rueda, 2018).

#### 5.6.5.5. Elaboración del desarenador.

Primero se empieza excavando un hueco de 2 m de largo, 0,60 m de ancho y 1 m de profundidad; este desarenador se encuentra ubicado 3 metros antes de llegar a la entrada de la piscina; la finalidad con la que se realiza el desarenador, es para que los lodos que vienen en el canal de agua, se sedimenten en el mismo y pase solo agua a la piscina, dando así mejores resultados para los análisis de agua (Frers, 2012).



*Figura 14.* Medidas del desarenador.  
Elaborado por: Autor

#### **5.6.5.6. Colocación del cascajo en el canal de agua.**

Diecisiete metros antes de llegar a la piscina biodigestora, se realizó la colocación de cascajo en el canal de agua, ya que se situó desde la curva del canal de agua hasta la entrada de la piscina, la forma de colocación fue seleccionando las piedras medianas y situándolas en el suelo, tratando de cubrir todos los espacios vacíos posibles; se coloca este cascajo con el fin de que el caudal se eleve un poco en altura y se pueda llenar con mayor cantidad de agua a la piscina, también sirve para limpiar el lodo que viene trayendo el caudal y de esta forma lograr que pase solo agua a la piscina (Rueda, 2018).



*Figura 15.* Colocación del cascajo en el canal de agua.  
Elaborado por: Autor

#### **5.6.5.7.Colocación de las mallas.**

Las mallas se colocaron en dos partes de la piscina, la primera que es la más grande se la situó en la mitad y la otra que es la más pequeña se la situó después del canal de derivación, en ambas mallas se colocaron 2 clavos de acero en cada uno de los extremos de los marcos, además en estos extremos se situaron rollos de plástico y palos, para que las mismas estén bien sujetas; se realiza la colocación de estas mallas, con el fin de que la lenteja de agua no se pase a la sección en donde se encuentran los cartuchos, ni tampoco pase a la sección del canal de derivación; para que así se pueda observar la división de estas plantas en la piscina.

#### **5.6.5.8.Plantación del cartucho y lenteja de agua.**

La función principal del cartucho y la lenteja de agua, es la de absorber los microorganismos patógenos y contaminantes que se encuentren en el agua a través de sus raíces, llevándolos así hasta sus tejidos adiposos, estos contaminantes se quedan en este lugar, después de haber pasado por un proceso de recirculación y así estas plantas pueden devolver el agua en óptimas condiciones; reduciendo así sus niveles de contaminación y mejorando la calidad del agua del río Jatun Yaku, la cual puede ser reutilizada para las distintas actividades agropecuarias de la institución; a continuación se presenta el procedimiento para realizar la plantación de estas especies (Marrero, Sánchez y Pérez, 2014).

##### *5.6.5.8.1. Lenteja de agua.*

En el sector de San Miguel, cerca de la laguna de San Pablo, se realiza la recolección de la lenteja de agua, cogiendo aproximadamente un galón de esta planta; después, se procede a regar la cantidad recogida en la primera sección de la piscina biodigestora; finalmente, luego de haber transcurrido 8 días de su colocación, se puede visualizar que en esta sección de la piscina se ha llenado completamente de esta planta (Rueda, 2018).



*Figura 16.* Colocación de la lenteja de agua en la piscina biodigestora.  
Elaborado por: Autor

#### 5.6.5.8.2. *Cartucho.*

En la segunda sección de la piscina biodigestora, se va colocando en forma de zigzag las piedras de cascajo en forma de pequeños montículos, situando así un total de 12 montículos de estas piedras; luego se va armando una corona circular con las piedras de cascajo que se encuentran en estos montículos; posteriormente se procede a sacar los cartuchos que se encuentran plantados en la Unidad Educativa “Sarance” para trasplantarlos en las coronas de cascajo, se saca un total de 24 cartuchos; después, en el centro de las coronas de cascajo se coloca 2 baldes de tierra en cada uno de los montículos y se va haciendo un hueco central en medio de la tierra; seguidamente, se colocan 2 plantas de cartucho en los huecos de tierra, y se va cubriendo con la misma tierra a las plantas en forma de pirámide, una vez realizado esto, se va cogiendo las piedras de los mismos montículos y se las coloca encima de la tierra, en forma de pirámide, para que ayuden a compactar la tierra con las plantas y a la vez brindar un mejor soporte a las mismas; finalmente, con un pedazo de piola, se va amarrando los pseudo tallos de todos los cartuchos plantados, con el propósito de que las plantas no se caigan y puedan seguir creciendo hacia arriba. Después de que hayan transcurrido 4 semanas, se procede a zafar las piolas de todas las plantas, pudiendo observar así que las plantas ya se encuentran totalmente firmes y enraizadas en los montículos de cascajo (Rueda, 2018).



*Figura 17.* Plantación del cartucho en la piscina biodigestora.  
Elaborado por: Autor

#### **5.6.5.9. Mantenimiento de la piscina biodigestora.**

El mantenimiento de la piscina biodigestora, se realiza de la siguiente forma; para la sección en donde se encuentran los cartuchos, se debe podar las hojas y las flores que se encuentren secas, en el caso de las flores se debe retirar todo lo de color café, y en el caso de las hojas, se las debe cortar desde el pedúnculo floral, para que así puedan dar paso al crecimiento de nuevas hojas y flores que crecerán desde los rizomas que se encuentran en los pseudo tallos; esto se debe realizar una vez al mes. En el caso de la lenteja de agua se debe cosechar la planta cada 7 días, debido a su rápido crecimiento, retirando una pequeña porción de la misma con la ayuda de un colador, y llenando así 2 baldes de 20 litros de esta planta; la cosecha se la debe hacer en forma de zigzag en toda la sección en donde se encuentra la lenteja de agua, con el fin de que la misma pueda tener suficiente espacio para seguir ejerciendo su función de descontaminación; es importante mencionar que los baldes que se encuentran llenos de esta planta, son llevados a la compostera para su uso en diferentes actividades agropecuarias (Frers, 2012).

En el canal de derivación, se debe limpiar las telarañas y las natillas de color negro que se forman en la puerta metálica y en el agua, esta limpieza se la puede hacer con un colador, 1 vez por semana. En la puerta de salida, se debe controlar que el nivel del agua se encuentre

5 cm por debajo de la última tabla, para que así la piscina biodigestora, pueda seguir ejerciendo su función, esto se lo debe realizar 3 veces por semana; si en tal caso el nivel del agua sobrepasa la última tabla, lo que se debe hacer es tapar con un poco de champas al canal de agua, esto se hace 7 metros antes de que el caudal entre a la piscina, ya que así podrá entrar con menor velocidad; y podrá mantenerse 5 cm por debajo de la última tabla en la puerta de salida. En cuanto al desarenador, se debe realizar la limpieza cada 6 meses, retirando el lodo con la ayuda de una pala; para poder realizar esta limpieza se debe desviar el canal de agua por el desvío permanente hasta finalizar la limpieza (Pérez, 2010).

La piscina biodigestora presenta una dimensión de 29,2 m de largo, 1,70 m de ancho y 1,50 m de profundidad; dándonos un área total de 49,64 m<sup>2</sup> y un volumen total de 74,46 m<sup>3</sup>; en la siguiente figura, se presenta la piscina biodigestora con todas sus dimensiones.



*Figura 18.* Piscina biodigestora en diferentes ángulos.  
Elaborado por: Autor

### **5.6.6. Prueba de velocidad de agua.**

Para ejecutar dicha prueba, primeramente, se dividió la piscina en tres secciones, la primera sección es el canal de derivación, la cual comprende 3,2 m de largo; la segunda sección es el área de la lenteja de agua, presentando 13 m de largo y la última sección es el área de los cartuchos, teniendo 13 m de largo; luego se colocó una pequeña bola de espuma flex en el

inicio de cada sección y se tomó el tiempo en el que se demora en llegar hasta la salida de las mismas; esto se realizó 7 veces por cada sección, para que haya mayor credibilidad en los datos; una vez obtenido los tiempos de las tres secciones, se procede a sacar el promedio por sección y luego se realiza la suma total de estos tres promedios, dándonos así el dato de tiempo total (T); por otro lado, también se realiza la suma total del largo de las tres secciones, dándonos así el dato de espacio total (E) (FAO, 2014).

Para finalizar esta prueba, ya obtenido los datos de espacio y tiempo total, se procede aplicar la siguiente formula, para determinar la velocidad del agua con la que cruza desde la entrada hasta la salida de la piscina biodigestora:  $V = E/T$  (FAO, 2014). Ejecutar esta prueba de velocidad de agua, es sumamente importante debido a que, gracias a la misma, se puede determinar el tiempo y velocidad con la que el agua atraviesa por las plantas para ejecutar el proceso de fitorremediación y así descontaminar esta agua residual; debido a que la lenteja de agua se encarga de descontaminar la parte superficial del agua y el cartucho la parte inferior del agua, dando así un tratamiento completo del agua que entra a la piscina.

#### **5.6.7. Propuesta de plan de manejo.**

La propuesta de plan de manejo se realizó en base a una proyección macro de todas las funciones que puede ofrecer la piscina biodigestora, debido a que el proyecto no sólo realiza la función del tratamiento de las aguas residuales, sino que también involucra un aspecto económico en beneficio de la Unidad Educativa “Sarance”, de las cuales se pueden generar distintas actividades para sacar el máximo aprovechamiento de la piscina biodigestora; estas actividades se realizan en conjunto con los ingenieros y estudiantes del establecimiento, para aportar una mayor educación en los mismos.

Una vez terminado el proceso de construcción y funcionamiento de la piscina biodigestora, se desarrolla la propuesta de plan de manejo, la cual contempla varios puntos importantes como son los siguientes; introducción, objetivo general y específicos, matriz de manejo, datos generales del proyecto, marco legal vigente, descripción del área de influencia, manejo de productos y subproductos, medidas de seguridad, evaluación y control, programas de capacitación, manejo y seguimiento; la finalidad de realizar esta propuesta de plan de manejo es para darle un manejo adecuado a la piscina biodigestora, generando así ingresos

económicos a la institución, educación ambiental para todos los estudiantes, y mitigación al ambiente frente al problema ambiental identificado (Rueda, 2018).

Para aplicar la propuesta de plan de manejo, se consideraron los siguientes representantes principales: Ingenieros, Técnicos, Personal de la Granja y estudiantes de la Unidad Educativa “Sarance”.

#### **5.6.8. Prueba estadística.**

Con los datos de los resultados del agua tratada en los diferentes días, se realizó una prueba estadística, la cual consiste en realizar parcelas pareadas, aplicando la prueba t de student, la finalidad de realizar esta prueba estadística es para ver si existen semejanzas o diferencias en estos datos; definiendo así las hipótesis necesarias y obteniendo la normalidad de los datos con la prueba Shapiro Wilk; esta prueba se la realizó en el software R Project 3,6,0 (Cervantes, 2015).

Por otro lado, también se ejecutó una correlación múltiple entre la remoción y los parámetros más representativos del tratamiento en la piscina biodigestora (DQO, DBO, Coliformes Totales, Ecoli), a través de una ecuación de predicción, en el cual se obtendrá porcentajes de remoción que a futuro van a dar con este tratamiento, en cada uno de los días; esta ecuación se la puede aplicar cuando la remoción del tratamiento sea bastante óptima para disminuir la contaminación del agua; esta correlación se lo realiza en el programa Excel y además sirve también para conocer que el proyecto seguirá aportando buenos resultados de remoción en estas aguas del río Jatun Yaku (Cervantes, 2015).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Objetivo 1:** Validar el procedimiento del tratamiento de aguas residuales a través de la caracterización física, química y microbiológica de las aguas del río Jatun Yaku.

### 6.1. Medición del caudal de entrada y de salida de la piscina biodigestora en el día

#### 6.1.1. Medición del caudal de entrada.

**Tabla 6.**

*Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Entrada - Día).*

<b>PROFUNDIDAD PROMEDIO (m)</b>	<b>ANCHURA PROMEDIO (m)</b>
0,10	0,69
0,10	0,54
<b>0,17</b>	0,48
0,15	0,59
0,10	0,61
0,11	0,62
0,11	0,57
0,12	0,60
0,11	0,52
0,11	0,45
0,08	0,68
0,08	0,60
0,09	0,59
0,09	<b>0,66</b>
0,07	<b>0,66</b>
0,09	0,76
0,10	0,70
0,15	<b>0,66</b>
0,15	0,64
0,10	0,73
0,10	<b>0,66</b>
0,11	0,75

Elaborado por: Autor

**Velocidad del agua:** 0,2 m/s

**Anchura promedio:** 0,66 m

**Profundidad promedio:**  $0,17 \text{ m} / 2 = 0,08 \text{ m}$

Para la obtención del dato de caudal en litros sobre segundos, se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = V \times A \times P$$

$$Q = 0,2 \text{ m/s} \times 0,66 \text{ m} \times 0,08 \text{ m}$$

$$Q = 0,011 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{11 \text{ l/s}}$$

El caudal que entra a la piscina biodigestora en el día es de **11 l/s**.

### 6.1.2. Medición del caudal de salida.

**Tabla 7.**

*Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Salida - Día).*

<b>PROFUNDIDAD PROMEDIO (m)</b>	<b>ANCHURA PROMEDIO (m)</b>
0,08	0,75
0,07	0,64
0,14	0,58
<b>0,15</b>	0,78
0,14	<b>0,88</b>
0,12	0,94
0,10	<b>0,88</b>
0,07	0,87
0,06	<b>0,88</b>
0,04	0,91
0,03	0,73
0,03	0,77
0,03	0,81
0,03	0,67
0,03	0,75
0,03	0,76
0,03	0,83
0,02	0,79
0,10	0,92
0,03	0,95
0,05	<b>0,88</b>
0,03	0,89

**Elaborado por:** Autor

**Velocidad del agua:** 0,1 m/s

**Anchura promedio:** 0,88 m

**Profundidad promedio:**  $0,15 \text{ m} / 2 = 0,07 \text{ m}$

Para la obtención del dato de caudal en litros sobre segundos, se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = V \times A \times P$$

$$Q = 0,1 \text{ m/s} \times 0,88 \text{ m} \times 0,07 \text{ m}$$

$$Q = 0,0066 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{6,6 \text{ l/s}}$$

El caudal que sale de la piscina biodigestora en el día es de **6,6 l/s**.

## 6.2. Medición del caudal de entrada y de salida de la piscina biodigestora en la noche

### 6.2.1. Medición del caudal de entrada.

**Tabla 8.**

*Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Entrada - Noche).*

PROFUNDIDAD PROMEDIO (m)	ANCHURA PROMEDIO (m)
0,09	0,69
0,09	0,54
<b>0,16</b>	0,48
0,14	0,59
0,09	0,61
0,10	0,62
0,10	0,57
0,11	0,60
0,10	0,52
0,10	0,45
0,07	0,68
0,07	0,60
0,08	0,59
0,08	<b>0,66</b>
0,06	<b>0,66</b>
0,08	0,76
0,09	0,70
0,14	<b>0,66</b>
0,14	0,64
0,09	0,73
0,09	<b>0,66</b>
0,10	0,75

Elaborado por: Autor

**Velocidad del agua:** 0,2 m/s

**Anchura promedio:** 0,66 m

**Profundidad promedio:**  $0,16 \text{ m} / 2 = 0,08 \text{ m}$

Para la obtención del dato de caudal en litros sobre segundos, se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = V \times A \times P$$

$$Q = 0,2 \text{ m/s} \times 0,66 \text{ m} \times 0,08 \text{ m}$$

$$Q = 0,01056 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{10,56 \text{ l/s}}$$

El caudal que entra a la piscina biodigestora en la noche es de **10,56 l/s**.

### 6.2.2. Medición del caudal de salida.

**Tabla 9.**

*Datos de profundidad y anchura promedio (Caudal de Salida - Noche).*

PROFUNDIDAD PROMEDIO (m)	ANCHURA PROMEDIO (m)
0,07	0,75
0,06	0,64
0,13	0,58
<b>0,14</b>	0,78
0,13	<b>0,88</b>
0,11	0,94
0,09	<b>0,88</b>
0,06	0,87
0,05	<b>0,88</b>
0,03	0,91
0,02	0,73
0,02	0,77
0,02	0,81
0,02	0,67
0,02	0,75
0,02	0,76
0,02	0,83
0,01	0,79
0,09	0,92
0,02	0,95
0,04	<b>0,88</b>
0,02	0,89

Elaborado por: Autor

**Velocidad del agua:** 0,1 m/s

**Anchura promedio:** 0,88 m

**Profundidad promedio:**  $0,14 \text{ m} / 2 = 0,07 \text{ m}$

Para la obtención del dato de caudal en litros sobre segundos, se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = V \times A \times P$$

$$Q = 0,1 \text{ m/s} \times 0,88 \text{ m} \times 0,07 \text{ m}$$

$$Q = 0,00616 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{6,16 \text{ l/s}}$$

El caudal que sale de la piscina biodigestora en la noche es de **6,16 l/s**.

Una vez realizada la medición del caudal de entrada y de salida de la piscina biodigestora, tanto en el día como en la noche, se puede establecer que el caudal máximo de entrada y de salida se da en el día, con los siguientes datos: **11 l/s (Caudal de entrada)** y **6,6 l/s (Caudal de salida)**. En cuanto a la noche se puede mencionar que se da el caudal mínimo de entrada y de salida, con los siguientes datos: **10,56 l/s (Caudal de entrada)** y **6,16 l/s (Caudal de salida)**. Ya con este análisis se indica que en el día la piscina biodigestora recibe y expulsa mayor cantidad de agua que en la noche, ya que en el día el canal que pasa por la Unidad Educativa “Sarance” baja con mayor cantidad de agua.

### **6.3. Caracterización de las aguas residuales**

Los siguientes resultados descritos a continuación, pertenecen a los análisis de laboratorio de las 9 muestras, 1 por cada punto de muestreo, en diferentes días (Sábado - Feriado; Miércoles - Entre Semana; Domingo - Fin de Semana); aquí se incluye también los resultados de los análisis in situ y de las características organolépticas.

#### **6.3.1. Datos del día Miércoles (Entre semana)**

En la tabla 10 podemos observar los análisis de laboratorio, análisis in situ y características organolépticas del día Miercoles (Día entre semana); en cuanto a los análisis de laboratorio, haciendo la comparación con los límites máximos permisibles del acuerdo ministerial 097 A, se puede encontrar que existe un excedente en los límites en lo que se refiere a DQO y DBO, los cuales representan un nivel de contaminación sumamente elevado para las aguas de este río; en cuanto a los análisis in situ, realizando igualmente la comparación, todo se encuentra en su rango normal y por último para las características organolépticas, se puede establecer que existe bastante olor a putrefacción debido a las descargas de aguas residuales y también se observa que el color del agua varía según su punto de muestreo.

**Tabla 10.***Caracterización día Miércoles*

ANÁLISIS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	Peguche	Unidad Educativa “Sarance” (Piscina Biodigestora)	Unidad Educativa “Sarance” (Caja de Revisión)	
	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	
<b>Análisis de laboratorio</b>	pH	8,03	8,28	8,3
	Color	160 uc	53 uc	66 uc
	Conductividad Eléctrica	322 $\mu$ S	304 $\mu$ S	304 $\mu$ S
	Turbidez	13,16 NTU	59,60 NTU	4,83 NTU
	Sólidos Totales	825 mg/l	390 mg/l	345 mg/l
	Nitritos	0,03 mg/l	0,02 mg/l	0,03 mg/l
	Nitratos	0,16 mg/l	0,13 mg/l	0,32 mg/l
	Nitrógeno Total	0,23 mg/l	0,2 mg/l	0,42 mg/l
	Fosfatos	1,6 mg/l	1,7 mg/l	0,6 mg/l
	Sulfatos	100 mg/l	92 mg/l	62 mg/l
	Hierro	0,45 mg/l	1,33 mg/l	0,06 mg/l
	Amonio	0,04 mg/l	0,05 mg/l	0,07 mg/l
	DQO	280 mg/l	220 mg/l	192 mg/l
	DBO	183 mg/l	243 mg/l	189 mg/l
	Coliformes Totales	139 UFC	167 UFC	163 UFC
	Ecoli	44 UFC	36 UFC	19 UFC
	<b>Análisis in situ</b>	pH	8,11	8,29
Conductividad Eléctrica		318 $\mu$ S	304 $\mu$ S	303 $\mu$ S
Temperatura		13,1 °C	11,9 °C	12,4 °C
Oxígeno disuelto		4,53 mg/l	4,75 mg/l	4,55 mg/l
<b>Características organolépticas</b>	Olor	Dulce	Fuerte	Putrefacto
	Color	Ligeramente Amarillento	Verdoso	Ligeramente Amarillento
	Material Particulado	Escaso	Abundante	Medio

**Elaborado por:** Autor

### 6.3.2. Datos del día Domingo (Fin de semana)

En la tabla 11 podemos observar los análisis de laboratorio, análisis in situ y características organolépticas del día Domingo (Fin de semana); en cuanto a los análisis de laboratorio, haciendo la comparación con los límites máximos permisibles del acuerdo ministerial 097 A, se puede encontrar que existe un excedente en los límites en lo que se refiere a DQO y DBO, los cuales representan un nivel de contaminación sumamente elevado para las aguas de este río; en cuanto a los análisis in situ, realizando igualmente la comparación, todo se encuentra en su rango normal y por último para las características organolépticas, se puede establecer que existe bastante olor a putrefacción debido a las descargas de aguas residuales y también se observa que el color del agua varía según su punto de muestreo.

**Tabla 11.**

*Caracterización día Domingo*

ANÁLISIS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	Peguche	Unidad Educativa "Sarance" (Piscina Biodigestora)	Unidad Educativa "Sarance" (Caja de Revisión)
	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO
pH	7,83	8,16	8,19
Color	70 uc	126 uc	206 uc
Conductividad Eléctrica	330 $\mu$ S	314 $\mu$ S	315 $\mu$ S
Turbidez	6,90 NTU	10,87 NTU	17,04 NTU
Sólidos Totales	355 mg/l	315 mg/l	295 $\mu$ S
Nitritos	0,03 mg/l	0,03 mg/l	0,03 mg/l
Nitratos	0,28 mg/l	0,27 mg/l	0,79 mg/l
Nitrógeno Total	0,37 mg/l	0,7 mg/l	1,27 mg/l
Fosfatos	3,4 mg/l	2,2 mg/l	30,3 mg/l
Sulfatos	16 mg/l	69 mg/l	22 mg/l
Hierro	0,40 mg/l	0,46 mg/l	0,09 mg/l
Amonio	0,06 mg/l	0,40 mg/l	0,45 mg/l
DQO	296 mg/l	252 mg/l	204 mg/l
DBO	189 mg/l	135 mg/l	124 mg/l
Coliformes Totales	145 UFC	155 UFC	188 UFC

Continuación Tabla 11

	Ecoli	61 UFC	53 UFC	62 UFC
	pH	8,26	8,32	8,27
<b>Análisis in situ</b>	Conductividad Eléctrica	319 $\mu$ S	308 $\mu$ S	311 $\mu$ S
	Temperatura	16,3 °C	15,6 °C	14,0 °C
	Oxígeno disuelto	5,27 mg/l	5,11 mg/l	5,76 mg/l
<b>Características organolépticas</b>	Olor	Dulce	Putrefacto	Putrefacto
	Color	Verdoso	Ligeramente Amarillento	Ligeramente Amarillento
	Material Particulado	Escaso	Abundante	Medio

Elaborado por: Autor

### 6.3.3. Datos del día Sábado (Feriado)

En la tabla 12 podemos observar los análisis de laboratorio, análisis in situ y características organolépticas del día Sábado (Feriado); en cuanto a los análisis de laboratorio, haciendo la comparación con los límites máximos permisibles del acuerdo ministerial 097 A, se puede encontrar que existe un excedente en los límites en lo que se refiere a DQO y DBO, los cuales representan un nivel de contaminación sumamente elevado para las aguas de este río; en cuanto a los análisis in situ, realizando igualmente la comparación, todo se encuentra en su rango normal y por último para las características organolépticas, se puede establecer que existe bastante olor a putrefacción debido a las descargas de aguas residuales y también se observa que el color del agua varía según su punto de muestreo.

**Tabla 12.***Caracterización día Sábado*

ANÁLISIS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	Peguche	Unidad Educativa “Sarance” (Piscina Biodigestora)	Unidad Educativa “Sarance” (Caja de Revisión)	
	RESULTADO	RESULTADO	RESULTADO	
<b>Análisis de laboratorio</b>	pH	7,56	7,97	8,04
	Color	11 uc	22 uc	141 uc
	Conductividad Eléctrica	450 $\mu$ S	389 $\mu$ S	392 $\mu$ S
	Turbidez	4,33 NTU	4,52 NTU	2,54 NTU
	Sólidos Totales	215 mg/l	185 mg/l	200 mg/l
	Nitritos	0,08 mg/l	0,09 mg/l	0,07 mg/l
	Nitratos	0,09 mg/l	0,01 mg/l	0,07 mg/l
	Nitrógeno Total	0,53 mg/l	2,88 mg/l	1,2 mg/l
	Fosfatos	0,6 mg/l	0,9 mg/l	0,3 mg/l
	Sulfatos	12 mg/l	15 mg/l	44 mg/l
	Hierro	0,04 mg/l	0,03 mg/l	0,08 mg/l
	Amonio	0,36 mg/l	2,78 mg/l	1,06 mg/l
	DQO	192 mg/l	296 mg/l	184 mg/l
	DBO	81 mg/l	129 mg/l	124 mg/l
	Coliformes Totales	67 UFC	68 UFC	101 UFC
	Ecoli	41 UFC	46 UFC	44 UFC
	<b>Análisis in situ</b>	pH	8,13	8,18
Conductividad Eléctrica		480 $\mu$ S	410 $\mu$ S	410 $\mu$ S
Temperatura		18,5 °C	17,7 °C	17,6 °C
Oxígeno disuelto		4,60 mg/l	4,94 mg/l	4,82 mg/l
<b>Características organolépticas</b>	Olor	Dulce	Putrefacto	Putrefacto
	Color	Ligeramente Amarillento	Verdoso	Verdoso
	Material Particulado	Escaso	Abundante	Medio

**Elaborado por:** Autor

#### **6.4.Comparación de las aguas residuales con los límites permisibles de calidad de agua, del acuerdo ministerial 097 a**

Una vez obtenido todos los resultados de los análisis de las 9 muestras en diferentes días, se realiza una comparación con los límites permisibles del Anexo 1 referente a la calidad del agua, el cual se encuentra en el acuerdo ministerial 097 A; este acuerdo ministerial es la normativa vigente más actual para realizar este tipo de comparaciones (Tapia, 2015). Es importante mencionar que de todos los análisis de agua que se realizaron en las 9 muestras en diferentes días, solo la DBO y la DQO exceden de los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce; todos los otros análisis de agua se encuentran dentro de los límites permisibles.

Las tabla 13 que se muestra a continuación, contiene los resultados de los análisis que sobrepasan los límites permisibles en cada una de las muestras; ya que lo que se puede encontrar principalmente es que la DBO y la DQO sobrepasan su límite permisible en 6 muestras; en 2 muestras la DBO igualmente sobre pasa su límite permisible y en la muestra restante que es la muestra 1 del Feriado, se puede mencionar que no se encuentra en esta tabla debido a que todos sus resultados se encontraban dentro de los límites permisibles; es importante mencionar que tanto la DBO como la DQO son parámetros para determinar la contaminación del agua, ya que mientras más elevado sea el índice de contaminación, la DBO va hacer mucho mayor; y en el caso de que la DQO sea mayor, significa que existe mayor contaminación en la muestra de agua; entonces se puede establecer que en estas muestras se tiene una elevada proporción de O<sub>2</sub> que las bacterias requieren para consumir o degradar el material orgánico que se encuentra en estas aguas servidas (DBO) y también se puede mencionar que existe una mayor proporción de O<sub>2</sub> indispensable para oxidar el material orgánico a través de métodos químicos (DQO) (Osorio y Peña, 2014).

En cuanto a los análisis in situ, se puede establecer que sus valores se encuentran dentro de los límites permisibles de calidad de agua, para lo que es pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto; debido a que el río Jatun Yaku, solamente sufre problemas de contaminación en lo que se refiere a DBO y la DQO.

**Tabla 13.**

*Resultados de los análisis que sobrepasan los límites permisibles*

	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Referencia
	Peguiche			Unidad Educativa "Sarance" (Piscina Biodigestora)			Unidad Educativa "Sarance" (Caja de Revisión)			
Días	Análisis	Resultado (mg/l)	Límites Permisibles del Anexo 1 Calidad de Agua (097 A) (mg/l)	Análisis	Resultado (mg/l)	Límites Permisibles del Anexo 1 Calidad de Agua (097 A) (mg/l)	Análisis	Resultado (mg/l)	Límites Permisibles del Anexo 1 Calidad de Agua (097 A) (mg/l)	Tapia (2015)
<b>Feriado</b>	DQO	-	-	DQO	296	200	DQO	-	-	
	DBO	-	-	DBO	129	100	DBO	124	100	
<b>Fin de Semana</b>	DQO	296	200	DQO	252	200	DQO	204	200	
	DBO	189	100	DBO	135	100	DBO	124	100	
<b>Entre Semana</b>	DQO	280	200	DQO	220	200	DQO	-	-	
	DBO	183	100	DBO	243	100	DBO	189	100	

Elaborado por: Autor

## 6.5. Análisis de pesticidas

Los siguientes resultados descritos a continuación, pertenecen a los análisis de pesticidas de las 9 muestras de aguas residuales, 1 por cada punto de muestreo en diferentes días (Feriado – Sábado; Entre Semana – Miércoles; Fin de Semana – Domingo); aquí se incluye también el estándar de pesticidas.

### 6.5.1. Estándar de pesticidas

El cromatograma de la figura 19 corresponde al estándar de pesticidas con la presencia de 26 picos, con su respectivo tiempo de retención (tR) o como resultado los siguientes compuestos activos (Nombre del pico).

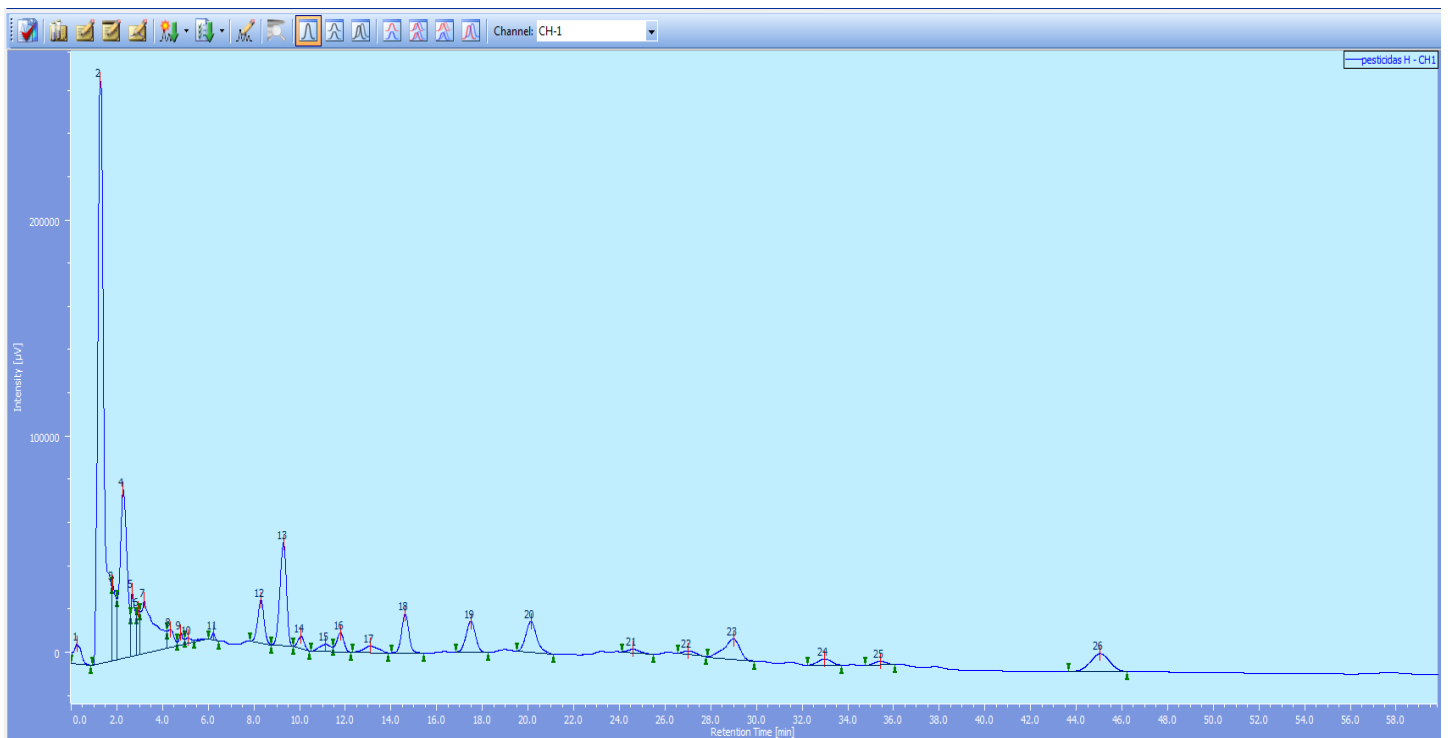


Figura 19. Estándar de pesticidas.

Elaborado por: Autor

La tabla 14, nos muestra toda la información en la cual fue elaborado el estándar para la determinación de los pesticidas en las muestras de agua, cuenta con 26 variedades de pesticidas, cada uno con su respectivo tiempo de retención y además este estándar ayudará a comparar los picos en los cromatogramas de las muestras de agua, según los tiempos de retención que tenga el mismo; para que de esta forma se pueda detectar si existe presencia o no de pesticidas en el agua.

**Tabla 14.***Información del estándar para la determinación de pesticidas.*

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Desisopropylatrazine	1	0,250	N/A	2	1,767	1,544
2	Metamitron	1	1,275	N/A	142	N/A	N/A
3	Fenuron	1	1,808	N/A	N/A	N/A	N/A
4	Desethylatrazine	1	2,275	N/A	234	N/A	N/A
5	Crimidine	1	2,675	N/A	N/A	N/A	N/A
6	Metoxurone	1	2,933	N/A	N/A	N/A	N/A
7	Simazine	1	3,200	N/A	N/A	N/A	N/A
8	Metribuzin	1	4,350	N/A	N/A	N/A	N/A
9	Cyanazineor	1	4,800	N/A	3791	N/A	N/A
10	Methabenzthiazuron	1	5,117	N/A	N/A	N/A	N/A
11	Chlortoluron	1	6,217	N/A	10294	5,497	0,972
12	Antrazine	1	8,308	N/A	4117	1,867	0,943
13	Monolinuron	1	9,292	N/A	4769	1,428	0,897
14	Diuron	1	10,050	N/A	5830	N/A	1,017
15	Isoproturon	1	11,133	N/A	N/A	N/A	N/A
16	Metobromuron	1	11,775	N/A	6464	1,473	N/A
17	Proham	1	13,083	N/A	1916	1,737	1,009
18	Metazachlor	1	14,617	N/A	10340	4,291	1,045
19	Sebuthylazine	1	17,483	N/A	8364	3,259	1,000
20	Propazine	1	20,117	N/A	8842	4,878	1,244
21	Terbutylazine	1	24,575	N/A	10119	2,340	1,303
22	Linuron	1	27,000	N/A	9616	1,726	1,266
23	Choroxuron	1	28,975	N/A	9438	3,477	0,798
24	Prometryn	1	32,975	N/A	14021	2,237	0,979
25	Terbutryn	1	35,400	N/A	17831	7,342	0,991
26	Metolachlor	1	45,017	N/A	13216	N/A	0,950

**Elaborado por:** Autor**6.5.2. Cromatogramas de las Muestras del día Sábado****Muestra 1****Fecha:** 03/11/2018**Día:** Sábado - Feriado**Punto de muestreo N° 1:** Peguche

El cromatograma de la figura 20 corresponde a la muestra 1 del Sábado con la presencia de 3 picos (Picos azules) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,38; probablemente corresponda a Metamitron, el Segundo pico, con su (tR)=1,95; probablemente corresponda a Fenuron, el Tercer pico, con su (tR)=4,28; probablemente corresponda a Metribuzin; comparando los picos azules con los amarillos del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que los tiempos de retención de los picos azules son los que más se acercan a los tiempos de retención de los picos del estándar.

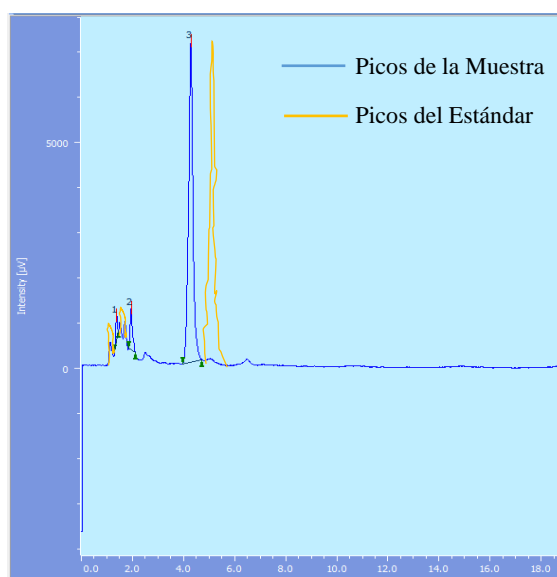


Figura 20. Cromatograma de la muestra 1 del Sábado  
Elaborado por: Autor

**Tabla 15.**

*Información del resultado de la muestra 1 del Sábado*

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,383	1,27	N/A	1715	3,996	0,807
2	Probablemente Fenuron	1	1,950	1,80	N/A	2676	10,548	1,342
3	Probablemente Metribuzin	1	4,283	4,35	N/A	3423	N/A	1,055

Elaborado por: Autor

## Muestra 2

**Fecha:** 03/11/2018

**Día:** Sábado – Feriado

**Punto de muestreo N° 2:** Unidad Educativa “Sarance” (Piscina Biodigestora)

El cromatograma de la figura 21 corresponde a la muestra 2 del Sábado con la presencia de 1 pico (Pico azul) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,39; probablemente corresponda a Metamitron; comparando el pico azul con el amarillo del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que el tiempo de retención del pico azul es el que más se acerca al tiempo de retención del pico del estándar.

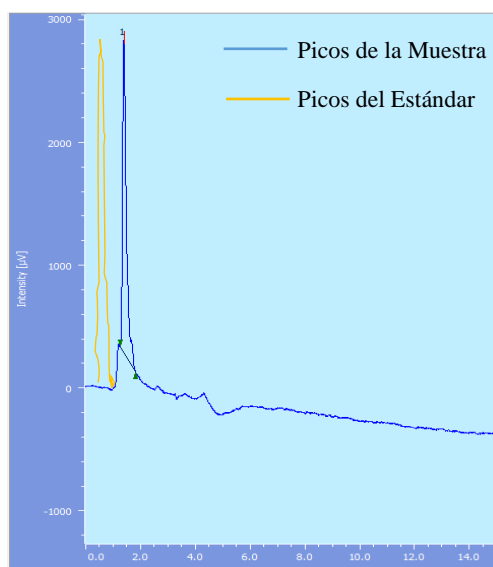


Figura 21. Cromatograma de la muestra 2 del Sábado  
Elaborado por: Autor

## Tabla 16.

*Información del resultado de la muestra 2 del Sábado*

#	Nombre del pico	N° de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	N° de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,392	1,27	N/A	627	N/A	2,104

Elaborado por: Autor

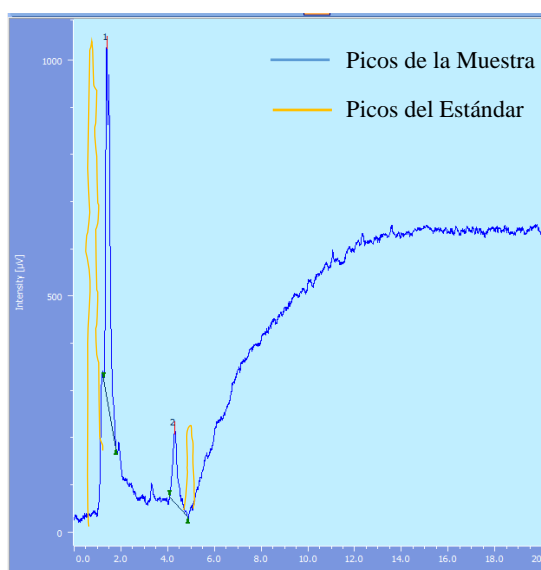
### Muestra 3

**Fecha:** 03/11/2018

**Día:** Sábado – Feriado

**Punto de muestreo N° 3:** Unidad Educativa “Sarance” (Caja de Revisión)

El cromatograma de la figura 22 corresponde a la muestra 3 del Sábado con la presencia de 2 picos (Picos azules) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,39; probablemente corresponda a Metamitron, el Segundo pico, con su (tR)=4,30; probablemente corresponda a Metribuzin; comparando los picos azules con los amarillos del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que los tiempos de retención de los picos azules son los que más se acercan a los tiempos de retención de los picos del estándar.



*Figura 22.* Cromatograma de la muestra 3 del Sábado  
Elaborado por: Autor

**Tabla 17.***Información del resultado de la muestra 3 del Sábado.*

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,392	1,27	N/A	286	8,820	2,215
2	Probablemente Metribuzin	1	4,308	4,35	N/A	2667	N/A	1,739

Elaborado por: Autor

**6.5.3. Cromatogramas de las Muestras del día Domingo****Muestra 1****Fecha:** 02/12/2018**Día:** Domingo – Fin de Semana**Punto de muestreo N° 1:** Peguche

El cromatograma de la figura 23 corresponde a la muestra 1 del Domingo con la presencia de 3 picos (Picos azules) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,49; probablemente corresponda a Metamitron, el Segundo pico, con su (tR)=1,94; probablemente corresponda a Fenuron, el Tercer pico, con su (tR)=57,13; es un pesticida desconocido debido a que nuestro patrón no cuenta con el tiempo de retención establecido; comparando los picos azules con los amarillos del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que los tiempos de retención de los picos azules son los que más se acercan a los tiempos de retención de los picos del estándar.

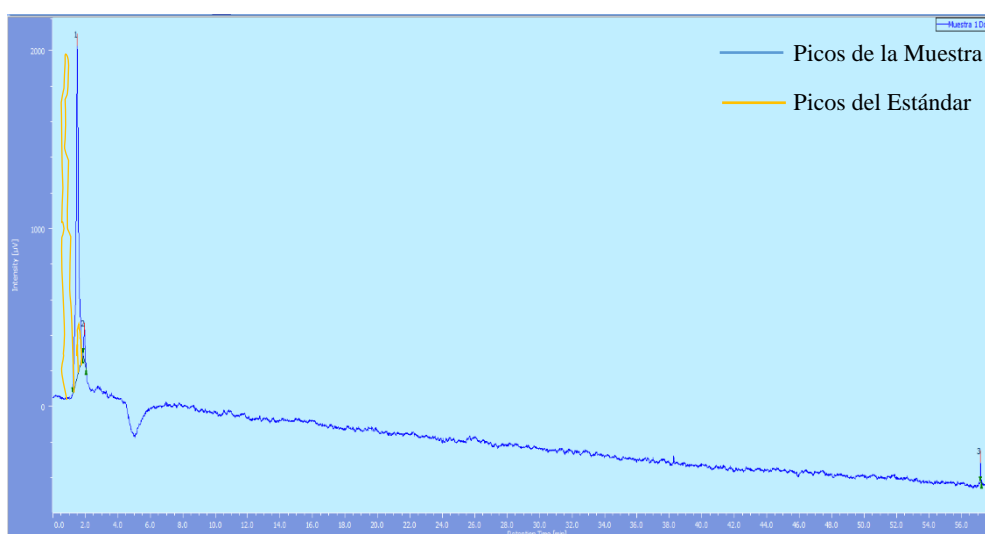


Figura 23. Cromatograma de la muestra 1 del Domingo.  
Elaborado por: Autor

### Tabla 18.

Información del resultado de la muestra 1 del Domingo.

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,492	1,27	N/A	687	2,335	1,063
2	Probablemente Fenuron	1	1,942	1,80	N/A	2388	N/A	1,120
3	Pesticida Desconocido	1	57,133	-----	N/A	N/A	N/A	N/A

Elaborado por: Autor

### Muestra 2

Fecha: 02/12/2018

Día: Domingo – Fin de Semana

Punto de muestreo N° 2: Unidad Educativa “Sarance” (Piscina Biodigestora)

El cromatograma de la figura 24 corresponde a la muestra 2 del Domingo con la presencia de 3 picos (Picos azules) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,50; probablemente corresponda a Metamitron, el Segundo pico, con su (tR)=2,05; probablemente corresponda a Fenuron, el Tercer pico, con su (tR) =

19,80; probablemente corresponda a Propazine; comparando los picos azules con los amarillos del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que los tiempos de retención de los picos azules son los que más se acercan a los tiempos de retención de los picos del estándar.

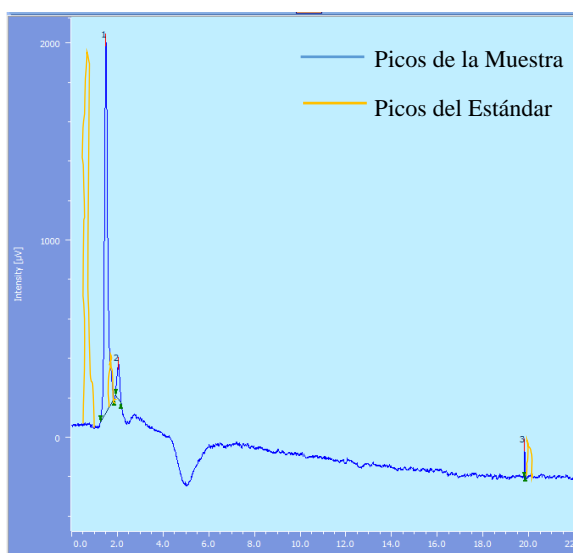


Figura 24. Cromatograma de la muestra 2 del Domingo.  
Elaborado por: Autor

### Tabla 19.

#### Información del resultado de la muestra 2 del Domingo

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,500	1,27	N/A	622	2,342	1,385
2	Probablemente Fenuron	1	2,050	1,80	N/A	1266	N/A	0,899
3	Probablemente Propazine	1	19,800	20,11	N/A	N/A	N/A	N/A

Elaborado por: Autor

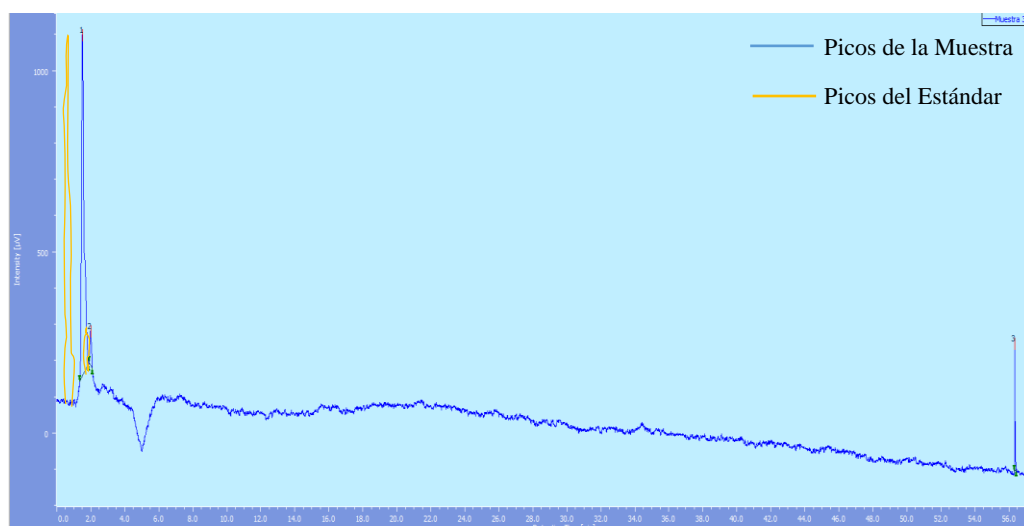
### Muestra 3

**Fecha:** 02/12/2018

**Día:** Domingo – Fin de Semana

**Punto de muestreo N° 3:** Unidad Educativa “Sarance” (Caja de Revisión)

El cromatograma de la figura 25 corresponde a la muestra 3 del Domingo con la presencia de 3 picos (Picos azules) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,50; probablemente corresponda a Metamitron, el Segundo pico, con su (tR)=1,99; probablemente corresponda a Fenuron, el Tercer pico, con su (tR) = 56,31; es un pesticida desconocido debido a que nuestro patrón no cuenta con el tiempo de retención establecido; comparando los picos azules con los amarillos del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que los tiempos de retención de los picos azules son los que más se acercan a los tiempos de retención de los picos del estándar.



*Figura 25.* Cromatograma de la muestra 3 del Domingo  
Elaborado por: Autor

**Tabla 20.***Información del resultado de la muestra 3 del Domingo.*

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,508	1,27	N/A	665	2,373	1,660
2	Probablemente Fenuron	1	1,992	1,80	N/A	2084	489,489	1,065
3	Pesticida Desconocido	1	56,317	-----	N/A	21987342	N/A	2,300

**Elaborado por:** Autor**6.5.4. Cromatogramas de las Muestras del día Miércoles.****Muestra 1****Fecha:** 12/12/2018**Día:** Miércoles – Entre Semana**Punto de muestreo N° 1:** Peguche

El cromatograma de la figura 26 corresponde a la muestra 1 del Miércoles con la presencia de 3 picos (Picos azules) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,45; probablemente corresponda a Metamitron, el Segundo pico, con su (tR)=16,07; probablemente corresponda a Metazachlor, el Tercer pico, con su (tR) = 16,49; probablemente corresponda a Sebuthylazine; comparando los picos azules con los amarillos del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que los tiempos de retención de los picos azules son los que más se acercan a los tiempos de retención de los picos del estándar.

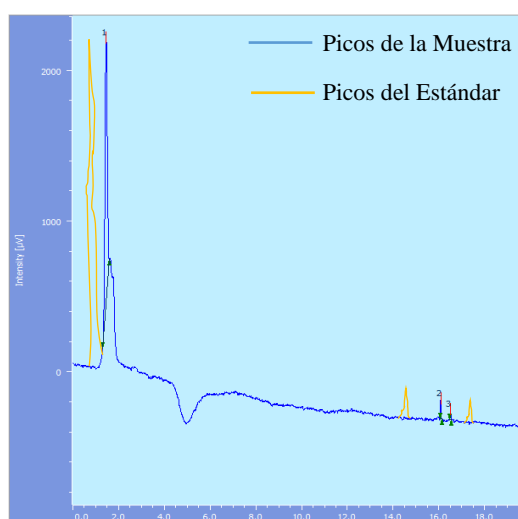


Figura 26. Cromatograma de la muestra 1 del Miércoles.  
Elaborado por: Autor

**Tabla 21.**

*Información del resultado de la muestra 1 del Miércoles*

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,458	1,27	N/A	899	N/A	0,975
2	Probablemente Metazachlor	1	16,075	14,61	N/A	N/A	N/A	N/A
3	Probablemente Sebuthylazine	1	16,492	17,48	N/A	N/A	N/A	N/A

Elaborado por: Autor

## Muestra 2

**Fecha:** 12/12/2018

**Día:** Miércoles – Entre Semana

**Punto de muestreo N° 2:** Unidad Educativa “Sarance” (Piscina Biodigestora)

El cromatograma de la figura 27 corresponde a la muestra 2 del Miércoles con la presencia de 2 picos (Picos azules) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que el Primer pico, con su (tR)=1,40; probablemente corresponda a Metamitron, el Segundo pico, con su (tR)=11,22; probablemente corresponda a Isoproturon; comparando los picos

azules con los amarillos del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que los tiempos de retención de los picos azules son los que más se acercan a los tiempos de retención de los picos del estándar.

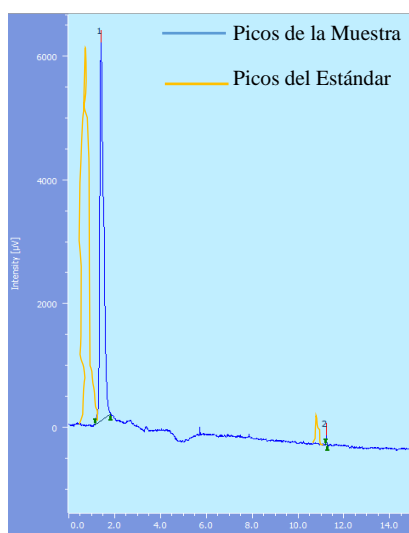


Figura 27. Cromatograma de la muestra 2 del Miércoles.  
Elaborado por: Autor

## Tabla 22.

*Información del resultado de la muestra 2 del Miércoles .*

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,408	1,27	N/A	306	N/A	1,638
2	Probablemente Isoproturon	1	11,225	11,13	N/A	N/A	N/A	N/A

Elaborado por: Autor

## Muestra 3

**Fecha:** 12/12/2018

**Día:** Miércoles – Entre Semana

**Punto de muestreo N° 3:** Unidad Educativa “Sarance” (Caja de Revisión)

El cromatograma de la figura 28 corresponde a la muestra 3 del Miércoles con la presencia de 1 pico (Pico azul) con su respectivo tiempo de retención (tR), dando como resultado que

el Primer pico, con su (tR)=1,41; probablemente corresponda a Metamitron; comparando el pico azul con el amarillo del estándar, se puede decir que los tiempos de retención varían en pocas décimas, es por ello que el resultado de la determinación del pesticida según el pico que se tenga, se interpreta como probablemente, ya que el tiempo de retención del pico azul es el que más se acerca al tiempo de retención del pico del estándar.

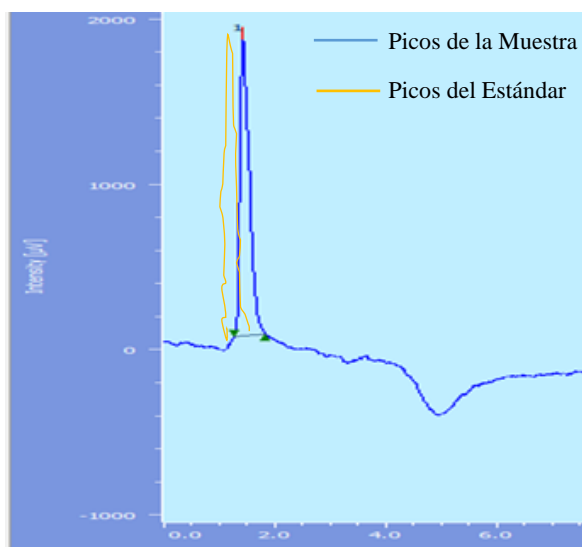


Figura 28. Cromatograma de la muestra 3 del Miércoles.  
Elaborado por: Autor

### Tabla 23.

*Información del resultado de la muestra 3 del Miércoles*

#	Nombre del pico	Nº de corridas	Tiempo de retención del cromatograma	Tiempo de retención del estándar	Cantidad	Nº de placas teóricas	Resolución	Factor de simetría
1	Probablemente Metamitron	1	1,417	1,27	N/A	312	N/A	1,845

Elaborado por: Autor

Después de analizar los cromatogramas de las 9 muestras en diferentes días, se puede establecer que, si existe presencia de pesticidas en estas muestras de aguas residuales, ya que el pesticida que con mayor frecuencia aparece en los cromatogramas es metamitron; también se puede apreciar que existen pesticidas desconocidos, toman el nombre de desconocidos, debido a que no se encuentran en el estándar establecido y probablemente tengan otros nombres aparte de los 26 pesticidas que se encuentran en el estándar.

**Objetivo 2:** Determinar la eficacia de *Lemna minor* y *Zantedeschia aethiopica* utilizadas para la remoción de nutrientes y microorganismos patógenos provenientes de las aguas residuales del río Jatun Yaku de la parroquia el Jordán del cantón Otavalo.

### **6.6. Caracterización de las aguas tratadas**

Los siguientes resultados descritos a continuación, pertenecen a los análisis de laboratorio de las 9 muestras, 1 por cada punto de muestreo, en diferentes días (Viernes - Feriado; Miércoles - Entre Semana; Domingo – Fin de Semana); aquí se incluye también los resultados de los análisis in situ y de las características organolépticas.

#### **6.6.1. Datos de los análisis de laboratorio de los días Miércoles, Domingo, Viernes**

La tabla 24, indica el proceso de cómo se trató las aguas residuales del río Jatun Yaku que entran a la piscina biodigestora, ya que empieza dando los datos del agua de entrada, es decir de cómo viene la contaminación antes de realizar el tratamiento, los cuales se observan igualmente unos datos elevados de DQO y DBO; después se muestran los datos de cómo se trató la misma agua al pasar por los cartuchos, los cuales ya empezaron a disminuir esta contaminación y por último se muestran los datos de cómo se trató la misma agua que paso por los cartuchos al pasar por las lentejas de agua, dándonos así una disminución de la contaminación mucho más óptima al pasar el agua por las dos plantas; de esta manera también se puede establecer que el agua tratada se ha vuelto a incorporar dentro de los límites permisibles de calidad de agua, generando así agua de mayor calidad para la Unidad Educativa “Sarance”.

**Tabla 24.**

*Análisis de laboratorio*

Análisis	MIERCOLES					DOMINGO					VIERNES				
	Agua de Entrada	Cartucho		Lenteja		Agua de Entrada	Cartucho		Lenteja		Agua de Entrada	Cartucho		Lenteja	
	Resultado	Resultado	% De Remoción	Resultado	% De Remoción	Resultado	Resultado	% De Remoción	Resultado	% De Remoción	Resultado	Resultado	% De Remoción	Resultado	% De Remoción
pH	7,92	7,86	0,76	7,84	1,02	8,1	8,09	0,13	7,98	1,49	8,07	7,95	1,49	7,79	3,47
Color	141 uc	22 uc	84,4	11 uc	92,2	242 uc	144 uc	40,5	119 uc	50,83	206 uc	160 uc	22,34	131 uc	36,41
Conductividad Eléctrica	548 µS	306 µS	44,17	183,3 µS	66,56	493 µS	310 µS	37,12	297 µS	39,76	345 µS	294 µS	14,79	198,9 µS	42,35
Turbidez	107,09 NTU	41,58 NTU	61,18	10,50 NTU	90,2	11,55 NTU	10,18 NTU	11,87	9,02 NTU	21,91	66,79 NTU	31,11 NTU	53,43	11,77 NTU	82,38
Sólidos Totales	320 mg/l	275 mg/l	14,07	205 mg/l	35,94	300 mg/l	245 mg/l	18,34	215 mg/l	28,34	260 mg/l	210 mg/l	19,24	150 mg/l	42,31
Nitritos	0,20 mg/l	0,11 mg/l	45	0,07 mg/l	65	0,07 mg/l	0,05 mg/l	28,58	0,03 mg/l	57,15	0,11 mg/l	0,09 mg/l	18,19	0,03 mg/l	72,73
Nitratos	0,55 mg/l	0,35 mg/l	36,37	0,26 mg/l	52,73	0,34 mg/l	0,27 mg/l	20,59	0,20 mg/l	41,18	0,43 mg/l	0,32 mg/l	25,59	0,24 mg/l	44,19
Nitrógeno Total	0,83 mg/l	0,50 mg/l	39,76	0,36 mg/l	56,63	0,68 mg/l	0,51 mg/l	25	0,37 mg/l	45,59	0,6 mg/l	0,43 mg/l	28,34	0,28 mg/l	53,34
Fosfatos	0,5 mg/l	0,3 mg/l	40	0,2 mg/l	60	1,2 mg/l	0,8 mg/l	33,34	0,7 mg/l	41,67	2,9 mg/l	2,0 mg/l	31,04	0,5 mg/l	82,76
Sulfatos	190 mg/l	152 mg/l	20	111 mg/l	41,58	131 mg/l	119 mg/l	9,17	77 mg/l	41,23	315 mg/l	183 mg/l	41,91	82 mg/l	73,97
Hierro	0,61 mg/l	0,43 mg/l	29,51	0,23 mg/l	62,3	0,71 mg/l	0,11 mg/l	84,51	0,07 mg/l	90,15	0,42 mg/l	0,31 mg/l	26,2	0,14 mg/l	66,67
Amonio	0,08 mg/l	0,04 mg/l	50	0,03 mg/l	62,5	0,27 mg/l	0,19 mg/l	29,63	0,14 mg/l	48,15	0,06 mg/l	0,02 mg/l	66,67	0,01 mg/l	83,34
DQO	144 mg/l	84 mg/l	41,67	76 mg/l	47,23	280 mg/l	190 mg/l	32,15	166 mg/l	40,72	275 mg/l	189 mg/l	31,28	162 mg/l	41,1
DBO	178 mg/l	90 mg/l	49,44	75 mg/l	57,87	118 mg/l	88 mg/l	25,43	69 mg/l	41,53	86 mg/l	72 mg/l	16,28	54 mg/l	37,21
Coliformes Totales	99 UFC	83 UFC	16,17	72 UFC	27,28	91 UFC	70 UFC	23,08	63 UFC	30,77	97 UFC	64 UFC	34,03	38 UFC	60,83
Ecoli	35 UFC	30 UFC	14,29	26 UFC	25,72	27 UFC	21 UFC	22,23	13 UFC	51,86	45 UFC	39 UFC	13,34	13 UFC	71,12

**Elaborado por:** Autor

### 6.6.2. Datos de los análisis in situ de los días Miércoles, Domingo, Viernes

La tabla 25, indica los análisis in situ que se obtuvieron de la piscina biodigestora, los cuales muestran que todos los datos están dentro de su rango normal de los límites de calidad de agua y no presentan ningún problema en ninguno de los puntos de muestreo.

**Tabla 25.**

*Análisis in situ*

Análisis	MIÉRCOLES			DOMINGO			VIERNES		
	Agua de Entrada	Cartucho	Lenteja	Agua de Entrada	Cartucho	Lenteja	Agua de Entrada	Cartucho	Lenteja
pH	7,94	7,71	7,45	8,27	8,06	7,91	7,66	7,58	7,49
Conductividad Eléctrica ( $\mu$ S)	193,5	172,0	153,3	194,1	185,9	178,7	191,3	188,5	180,7
Temperatura ( $^{\circ}$ C)	19,2	18,5	18,1	18,3	17,8	17,2	18,5	18,0	17,5
Oxígeno disuelto (mg/l)	3,96	3,82	3,70	3,88	3,70	3,62	3,47	3,31	3,20

Elaborado por: Autor

### 6.6.3. Datos de las características organolépticas de los días Miércoles, Domingo, Viernes

La tabla 26, indica las variaciones que se obtuvieron del olor, color y material particulado, de la piscina biodigestora, lo cual se pudo apreciar que el olor cambia de un olor putrefacto a un dulce, el color varía en la transparencia y en cuanto a material particulado, se da de forma muy escasa; todo ocurre debido a que estas aguas están en un proceso de tratamiento.

**Tabla 26.**

*Características Organolépticas*

Análisis	MIÉRCOLES			DOMINGO			VIERNES		
	Agua de Entrada	Cartucho	Lenteja	Agua de Entrada	Cartucho	Lenteja	Agua de Entrada	Cartucho	Lenteja
Olor	Putrefacto	Dulce	Dulce	Putrefacto	Dulce	Dulce	Putrefacto	Dulce	Dulce
Color	Ligeramente Amarillento	Verdoso	Verdoso	Ligeramente Amarillento	Verdoso	Verdoso	Ligeramente Amarillento	Verdoso	Verdoso
Material Particulado	Escaso	Escaso	Escaso	Medio	Escaso	Escaso	Abundante	Escaso	Escaso

Elaborado por: Autor

### **6.7.Comparación de las aguas tratadas con los límites permisibles de calidad de agua, del acuerdo ministerial 097 a**

Una vez obtenido los resultados de las muestras de agua tratada en los diferentes días, se realiza la comparación con los límites permisibles del Anexo 1 referente a la calidad del agua, el cual se encuentra en el acuerdo ministerial 097 A; este acuerdo ministerial es la normativa vigente más actual para realizar este tipo de comparaciones (Tapia, 2015).

Al realizar esta comparación, se ha evidenciado que en todas las muestras de agua que se recolectaron en diferentes días, se ha generado una disminución en todos los parámetros de calidad de agua; estableciendo así que los problemas de contaminación de DQO y DBO que se tenía anteriormente, se han disminuido y se han vuelto a incorporar dentro de los límites permisibles de calidad de agua; determinando que el tratamiento de aguas residuales utilizando piscinas biodigestoras, es realmente factible para disminuir la contaminación de las aguas residuales domésticas; generando de esta forma un agua de mayor calidad para la Unidad Educativa “Sarance”, la cual será empleada para diferentes actividades.

En cuanto a los análisis in situ, se puede establecer que se ha evidenciado una disminución en los parámetros de pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto; corroborando así que el tratamiento de aguas residuales en piscinas biodigestoras es realmente óptimo frente a los problemas de contaminación; a pesar de que se haya dado una disminución en los parámetros, es importante mencionar que los mismos se encuentran dentro de los límites permisibles de calidad de agua.

### **6.8.Porcentajes de remoción por cada planta**

En la tabla 27, se puede observar que en los porcentajes de remoción de los días miércoles, domingo y viernes, tanto para cartucho como lenteja, tienden a variar, como, por ejemplo, algunos de ellos bajan y luego suben, otros solamente tienden a bajar, otros solo tienden a subir y por último otros tienden a subir y bajar; esto se da debido a que la carga de contaminación que baja a la piscina biodigestora, no siempre es la misma, ya que algunos días bajará con mayor contaminación y en otros días bajará con menor contaminación; esto depende de las actividades humanas que se generen aguas arriba de la zona de estudio; entonces las plantas cuando el agua viene con alta carga de contaminantes se demoran más tiempo en poder dar el tratamiento y cuando viene con baja carga de contaminación se

demora menos tiempo en generar el tratamiento; normalmente este tratamiento se lo conoce como el proceso de recirculación de contaminantes, en donde las plantas van a absorber a los mismos, para poder digerirlos y utilizarlos como fuente de energía, alimento y demás; es por ello que se puede observar estas variaciones de los porcentajes de remoción en estos días.

Además, en esta misma tabla, se puede establecer que el Cartucho presenta un porcentaje de remoción total del **37,92 %** y la Lenteja de Agua presenta un porcentaje de remoción total del **62,08 %**; determinando así que la Lenteja de Agua realiza un proceso de descontaminación mucho mayor que el Cartucho, debido a que esta planta supera en número a los Cartuchos y así su poder de descontaminación va hacer más óptimo para las aguas residuales que entren a la piscina biodigestora.

**Tabla 27.**

*Porcentajes de remoción por cada una de las plantas*

ANÁLISIS	CARTUCHO				LENTEJA DE AGUA				
	DÍA ENTRE SEMANA (MIÉRCOLES)	FIN DE SEMANA (DOMINGO)	FERIADO (VIERNES)	PROMEDIO	DÍA ENTRE SEMANA (MIÉRCOLES)	FIN DE SEMANA (DOMINGO)	FERIADO (VIERNES)	PROMEDIO	
	%	%	%	%	%	%	%	%	
pH	0,76	0,13	1,49	0,79	1,02	1,49	3,47	1,99	
Color	84,4	40,5	22,34	49,08	92,2	50,83	36,41	59,81	
Conductividad Eléctrica	44,17	37,12	14,79	32,03	66,56	39,76	42,35	49,56	
Turbidez	61,18	11,87	53,43	42,16	90,2	21,91	82,38	64,83	
Sólidos Totales	14,07	18,34	19,24	17,22	35,94	28,34	42,31	35,53	
Nitritos	45	28,58	18,19	30,59	65	57,15	72,73	64,96	
Nitratos	36,37	20,59	25,59	27,52	52,73	41,18	44,19	46,03	
Nitrógeno Total	39,76	25	28,34	31,03	56,63	45,59	53,34	51,85	
Fosfatos	40	33,34	31,04	34,79	60	41,67	82,76	61,48	
Sulfatos	20	9,17	41,91	23,69	41,58	41,23	73,97	52,26	
Hierro	29,51	84,51	26,2	46,74	62,3	90,15	66,67	73,04	
Amonio	50	29,63	66,67	48,77	62,5	48,15	83,34	64,66	
DQO	41,67	32,15	31,28	35,03	47,23	40,72	41,1	43,02	
DBO	49,44	25,43	16,28	30,38	57,87	41,53	37,21	45,54	
Coliformes Totales	16,17	23,08	34,03	24,43	27,28	30,77	60,83	39,63	
Ecoli	14,29	22,23	13,34	16,62	25,72	51,86	71,12	49,57	
<b>SUMA TOTAL</b>				490,87				803,76	1294,63
<b>PORCENTAJE POR CADA PLANTA</b>				<b>37,92</b>				<b>62,08</b>	100%

Elaborado por: Autor

### 6.9. Prueba de velocidad de agua

Los resultados de la prueba de velocidad de agua son los siguientes:

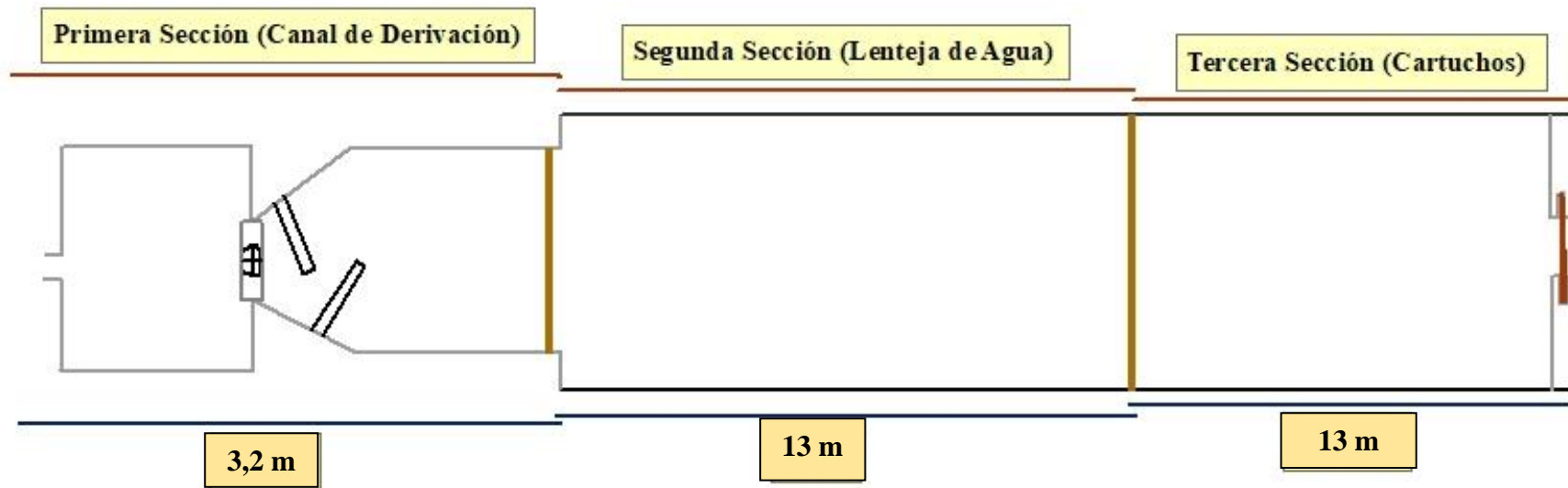


Figura 29. Secciones de la piscina biodigestora  
Elaborado por: Autor

#### Primera Sección (Canal de Derivación)

Tiempo N° 1 = 7' 21"  
 Tiempo N° 2 = 7' 11"  
 Tiempo N° 3 = 7' 23"  
 Tiempo N° 4 = 7' 05"  
 Tiempo N° 5 = 7' 19"  
 Tiempo N° 6 = 7' 11"  
 Tiempo N° 7 = 7' 32"  
 Tiempo Promedio = 7' 17"

#### Segunda sección (Lenteja de Agua)

Tiempo N° 1 = 21' 63"  
 Tiempo N° 2 = 21' 61"  
 Tiempo N° 3 = 21' 59"  
 Tiempo N° 4 = 21' 49"  
 Tiempo N° 5 = 21' 55"  
 Tiempo N° 6 = 21' 49"  
 Tiempo N° 7 = 21' 62"  
 Tiempo Promedio = 21' 56"

#### Tercera Sección (Cartuchos)

Tiempo N° 1 = 24' 53"  
 Tiempo N° 2 = 24' 55"  
 Tiempo N° 3 = 24' 54"  
 Tiempo N° 4 = 24' 56"  
 Tiempo N° 5 = 24' 55"  
 Tiempo N° 6 = 24' 49"  
 Tiempo N° 7 = 24' 53"  
 Tiempo Promedio = 24' 53"

Sumatoria de los tres promedios:  $7' 17'' + 21' 56'' + 24' 53'' = 53' 26''$  (Tiempo Total)

Sumatoria del largo de las tres secciones:  $3,2 \text{ m} + 13 \text{ m} + 13 \text{ m} = 29,2 \text{ m}$  (Espacio Total)

Los  $53' 26''$  de tiempo total, se los transforma a segundos para poder usarlo en la fórmula:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ min} \nearrow 60\text{s} \\ 53 \text{ min} \searrow X = 3180 \text{ segundos} + 26 \text{ segundos} = \mathbf{3206 \text{ segundos}} \end{array}$$

Fórmula para determinar la velocidad del agua:

$$V = E/T$$

$$V = 29,2 \text{ m} / 3206 \text{ s} = \mathbf{0,0091 \text{ m/s}}$$

Al darnos un resultado de  $0,0091 \text{ m/s}$ , se puede establecer que la velocidad del agua con la que cruza desde la entrada hasta la salida de la piscina biodigestora, es sumamente lenta, la cual, nos favorece en gran magnitud, para que las plantas puedan absorber el agua a través de sus raíces varias veces, generando así un mejor tratamiento para el agua residual doméstica que entra a la piscina.

**Objetivo 3:** Formular una propuesta de plan de manejo, con el propósito de establecer un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, mismos que permitan lograr el bienestar de la población, a través de una socialización.

## **6.10.Propuesta de plan de manejo**

### **6.10.1. Introducción**

El tratamiento de las aguas residuales a través de la piscina biodigestora, se define como una acción, en la cual se enlazan varias actividades, llegando hacer el resultado de una evaluación ambiental; la cual está dirigida a la mitigación, prevención y compensación de las problemáticas ambientales, que surgen de la ejecución de diferentes obras, proyectos y actividades; como es el caso del canal de agua que entra a la Unidad Educativa “Sarance”, que lleva en sí las aguas provenientes del Río Jatun Yaku, las cuales se encuentran con descargas domésticas (Peña, Ducci y Zamora, 2013).

Este proyecto de investigación presenta un enfoque y orientación de los métodos generales para generar un adecuado manejo de la piscina biodigestora, minimizando de forma progresiva y con intervalos racionales, a los impactos ambientales que son generados a causa de las actividades antrópicas sobre este recurso natural. En esta propuesta de plan de manejo ambiental se tendrá que incorporar la matriz de aprovechamiento de la piscina biodigestora y los diferentes programas que ayudaran a fomentar una mayor educación en los estudiantes y un incremento en la economía de la institución; debido a que el propósito principal es darle un uso esencial a la materia prima que sale de la piscina biodigestora, aparte del tratamiento que se les da a sus aguas residuales; contribuyendo de esta manera a que el agua tratada que sale de esta piscina se encuentre dentro de los límites permisibles de calidad de agua, de acuerdo a lo mencionado en el acuerdo ministerial 097 A (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2019).

### **6.10.2. Objetivo general**

Implementar una propuesta de plan de manejo ambiental, mediante el análisis de las actividades que se realizan en la Granja de la Unidad Educativa “Sarance”, con el fin de dar un mejor aprovechamiento a la materia prima generada de la piscina biodigestora.

### 6.10.3. Objetivos específicos

Identificar los parámetros técnicos adecuados para el tratamiento de aguas residuales en piscinas biodigestoras, con el fin de obtener agua de calidad para uso agrícola.

Propender un manejo adecuado de las plantas flotantes y de humedal en lo que se refiere a la producción y comercialización de las mismas, en el ámbito socio ambiental.

### 6.10.4. Matriz de manejo de la piscina biodigestora

**Tabla 28.**

*Propuesta de plan de manejo para el aprovechamiento de la piscina biodigestora.*

<b>Medidas propuestas</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medios de verificación</b>	<b>Responsables</b>	<b>Frecuencia</b>
Verificar y controlar el ingreso de agua a la piscina biodigestora.	Nivel de agua.	-Fotografías. -Registros de control. -Graduación en la abertura de la compuerta.	Ing. Agrónomo	3 veces por semana
Verificar el crecimiento de las plantas flotantes y de humedal.	Cantidad de lenteja. Tamaño de las hojas del cartucho.	-Fotografías. -Registros de control.	Ing. Agrónomo	1 vez por semana
Cosechar la biomasa de la lenteja de agua.	Maduración de la lenteja de agua.	-Registros de cosecha. -Fotografías. -Cantidad cosechada en Kg.	Técnico Agrícola	Cada 7 días
Cosechar la biomasa del cartucho.	Envejecimiento de las flores y de las hojas.	-Registros de cosecha. -Fotografías. -Cantidad cosechada.	Técnico Agrícola	1 vez al mes
Trasladar y manejar la biomasa de las plantas a la compostera.	Transporte en recipientes plásticos.	-Número de baldes. -Fotografías. -Registros de cantidades.	Técnico Agrícola	1 vez por semana
Verificar y controlar la calidad del agua.	Turbiedad.	-Fotografías. -Análisis de laboratorio.	Ing. Agrónomo	Cada seis meses
Preparar la biomasa de las plantas para	Cantidad y calidad de la biomasa.	-Registros de cantidades.	Técnico Agrícola	1 vez por semana

Continuación Tabla 28

alimento en fresco de ganado vacuno, porcino, aves de corral y truchas.		- Calidad de la biomasa.	Estudiantes	
Preparar la biomasa de las plantas para el traslado a un secador solar para la elaboración de balanceados.	Cantidad y calidad de la biomasa.	-Registros de cantidades. - Calidad de la biomasa.	Técnico Agrícola Estudiantes	1 vez por semana
Cosechar y comercializar las flores de los cartuchos.	Número de floraciones y apertura del cartucho.	-Número de flores vendidas. -Número de producción de flores.	Técnico Agrícola Estudiantes	Cada mes
Preparar abonos orgánicos a base de la biomasa de las plantas.	Calidad del sustrato.	-Registro de cantidades.	Técnico Agrícola Estudiantes	1 vez por semana

Elaborado por: Autor

### 6.10.5. Datos generales del proyecto

#### 6.10.5.1. Nombre de la institución educativa

Unidad Educativa “Sarance”

#### 6.10.5.2. Nombre del representa legal de la institución educativa

MSc. Luis Inuca, Rector de la Unidad Educativa “Sarance”

#### 6.10.5.3. Departamento responsable

Departamento de Aprovechamiento Agropecuario

#### 6.10.5.4. Nombres completos de la persona responsable del proyecto

Paredes Pinto Henry Patricio

#### 6.10.5.5. Dirección de la institución

La Unidad Educativa “Sarance” se localiza en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia Miguel Egas Cabezas, exactamente al norte de la ciudad de Otavalo en la dirección panamericana norte kilómetro 1,5 – Sector de Peguche.

## **6.10.6. Marco legal**

### **6.10.6.1. Código Orgánico del Ambiente.**

**Art. 196.-** Los GADS Municipales tendrán que tener instalados los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento para las zonas rurales y urbanas, acorde a la normativa ambiental vigente de calidad de agua; por otro lado, también deberán incentivar a que estas aguas residuales después de haber recibido un tratamiento especializado, sean reutilizadas con fines agrícolas; siempre que las mismas hayan recuperado sus características físicas, químicas y microbiológicas, y estén dentro de los límites permisibles de uso de agua para riego; es importante mencionar que se debe evitar contaminar otras fuentes receptoras de agua, así también como la fauna o el recurso suelo, al momento de realizar el tratamiento de las aguas residuales; las plantas de tratamiento que están implementadas en las diferentes zonas del cantón, deberán tener las respectivas autorizaciones de funcionamiento por parte de las autoridades del GAD Municipal (Pozo, 2017).

### **6.10.6.2. Acuerdo Ministerial 097 A.**

**Art. 53.-** Una de las formas para ejecutar un adecuado control de la contaminación en los sistemas de agua, es efectuando un PMA, en el cual se contemple el tratamiento adecuado de estos efluentes, al momento de recibir las descargas domésticas, estableciendo también la ejecución de otro tipo de actividades para controlar la escorrentía pluvial, la cual también genera contaminación a estos efluentes; ya que de esta forma se puede otorgar un mayor control y una mejor prevención de los impactos ambientales que pueden seguirse generando. Es importante mencionar que la autoridad ambiental, puede pedir al encargado de la regularización de estos efluentes, los análisis de calidad de agua, con la finalidad de saber cómo se encuentran según los límites permisibles (Tapia, 2015).

## **6.10.7. Descripción del área de influencia.**

El área de influencia del proyecto, inicia desde el sector de Peguche bajo, en donde se puede visualizar el descenso del canal de agua que entra a la Unidad Educativa “Sarance”; al llegar este canal al área de cultivos extensivos, se puede observar a la piscina biodigestora, la cual tiene una dimensión de 29,2 m de largo, 1,70 m de ancho y 1,50 m de profundidad. La principal área de influencia serían los cultivos de alfalfa, caña de azúcar, maíz y hortalizas

que se encuentran en la parte lateral derecha de la piscina biodigestora; el resto del área de influencia es en base a la dirección que sigue este canal de agua, el cual pasa también, por el vivero forestal y por las piscinas de crianza de truchas.

Es importante mencionar que dentro de esta área de influencia se debe tener las siguientes precauciones, a la entrada de la piscina biodigestora, se debe implementar señaléticas en donde se muestre la prohibición del ingreso de niños, la prohibición del ingreso con animales, y la prohibición del ingreso con alimentos; debido a que en este lugar se realiza un tratamiento de aguas residuales (Brousse, 2015).

#### **6.10.8. Manejo del producto principal y subproductos.**

##### **6.10.8.1. Manejo del producto principal.**

El manejo del producto principal consiste en el agua tratada que sale de la piscina biodigestora, la cual, a través de este tratamiento ha mejorado sus características físicas, químicas y microbiológicas, generando así un agua de mayor calidad para la Unidad Educativa “Sarance”; al presentar un porcentaje de remoción total del 37,92 % en lo que se refiere a Cartucho y un porcentaje de remoción total del 62,08 % en lo que se refiere a Lenteja de Agua; es importante mencionar que estas plantas a través del tratamiento en la piscina biodigestora, han disminuido la contaminación de las aguas residuales provenientes del Río Jatun Yaku, las cuales entran en forma de canal de agua a esta institución; por lo tanto, el uso que se le dará a estas aguas tratadas serán para las piscinas de truchas y para el riego de viveros forestales y cultivos extensivos (Lorenzo, Llanes, Fernández y Bataller, 2009).

##### **6.10.8.2. Manejo de subproductos.**

En cuanto al manejo de los subproductos, se tiene a la biomasa vegetal de las plantas, tanto de la Lenteja de Agua como la de los Cartuchos, las cuales sirven para la generación de alimento en fresco para ganado vacuno, porcino, aves de corral y truchas, elaboración de balanceados y para la producción de abonos orgánicos en composteras (Salas, Romero, Navarro y Ponce, 2014).

### **6.10.9. Medidas de seguridad.**

Dentro de las medidas de seguridad se debe contemplar la implementación de señaléticas de carácter ambiental y de carácter preventivo, en donde las mismas, nos expliquen todas las medidas que las personas deben cumplir al momento de visitar la piscina biodigestora; en lo que se refiere a las señaléticas de carácter ambiental, éstas nos deben indicar que en el lugar en donde se encuentra la piscina biodigestora, se está realizando un tratamiento biológico y que además se está manejando aguas residuales provenientes de descargas urbanas; en cuanto a las señaléticas de carácter preventivo, estas nos deben indicar lo siguiente; la primera señalética debe indicar que se prohíbe el ingreso de niños sin la supervisión de un adulto o técnico especializado, para evitar cualquier posible accidente; la segunda señalética debe indicar que se debe usar guantes de protección para manipular las plantas y el agua residual, debido a que ambos se encuentran en un proceso de tratamiento; la tercera señalética debe indicar que se prohíbe el ingreso con animales, ya que ellos pueden generar algún daño en las plantas; y por último, la cuarta señalética nos debe indicar que se prohíbe el ingreso de personas que estén con alimentos y bebidas (Brousse, 2015).

Es importante mencionar que al momento de realizar las visitas a la piscina biodigestora con los estudiantes de la Unidad Educativa “Sarance”, el técnico especializado deberá dar una socialización acerca de las medidas de seguridad que se deben cumplir para evitar cualquier tipo de accidente y así fomentar una mejor educación para los estudiantes que conozcan el funcionamiento de esta piscina.

### **6.10.10. Evaluación y control**

#### **6.10.10.1. Evaluación**

La Unidad Educativa “Sarance” debe ejecutar los análisis del agua tratada cada 6 meses, es decir 2 veces por año; y debe realizar una comparación de los resultados obtenidos con los límites permisibles del acuerdo ministerial 097 A, y así establecer si el funcionamiento de la piscina biodigestora sigue siendo óptimo para tratar las aguas residuales provenientes del Río Jatun Yaku.

#### **6.10.10.2. Control.**

Para llevar un adecuado control de la piscina biodigestora, lo primero que se debe hacer es controlar el crecimiento de las plantas; en lo que se refiere a Lenteja de Agua, se debe realizar la cosecha cada 7 días, identificando las lentejas maduras que son de color blanco amarillo; para el Cartucho se debe realizar la poda de las hojas y de las flores secas 1 vez al mes. Además, se debe controlar el ingreso de agua a la piscina 3 veces por semana y se debe verificar que, en la compuerta de salida de la piscina, el agua se encuentre por debajo de los 5 cm de la tercera tabla.

#### **6.10.11. Programa de capacitación del manejo de aguas residuales.**

##### **6.10.11.1. Objetivos de capacitación**

Conseguir una adecuada captación de los participantes a través de las memorias preparadas por el capacitador.

Conocer e identificar cada uno de los requerimientos necesarios para cubrir los temas.

Comprender las nuevas tendencias ambientales sobre el manejo de aguas residuales.

##### **6.10.11.2. Descripción del programa**

Dentro de este programa se debe tener en cuenta los siguientes niveles, que serán impartidos a la comunidad educativa del establecimiento:

Nivel de conocimiento sobre los problemas ambientales del sector.

Nivel de participación en las actividades ambientales por parte de los miembros de la comunidad educativa.

Nivel de capacitación en temas ambientales.

Nivel de información sobre manejo de aguas residuales (Proaño, 2016).

### **6.10.11.3. Registros de participación**

#### *6.10.11.3.1. Componente de Educación Ambiental.*

Dentro de este componente de educación ambiental se incluirá a un grupo meta, que son los profesores y estudiantes del establecimiento; y se considerará las siguientes estrategias educativas.

#### *6.10.11.3.2. Estrategias educativas.*

Capacitar a grupos meta y mejorar los conocimientos, actitudes y prácticas ambientales, sobre las aguas residuales.

Identificar y Gestionar el manejo adecuado de los recursos naturales.

Mejorar los conocimientos y aptitudes, sobre el manejo de aguas residuales (Velázquez, Moreno y Aguirre, 2018).

### **6.10.11.4. Temáticas de la capacitación.**

Las temáticas que se dictarán a los profesores y estudiantes del establecimiento serán las siguientes:

Conceptos sobre educación ambiental.

La crisis ambiental a nivel nacional.

La importancia del manejo de aguas residuales (Proaño, 2016).

### **6.10.11.5. Responsable de la capacitación.**

Ing. Marco Cabascango, Responsable de la Granja Experimental de la Unidad Educativa “Sarance”.

## **6.11. Análisis estadístico de cada parámetro, antes y después del tratamiento en la piscina biodigestora**

Este análisis estadístico comprende en realizar parcelas pareadas, aplicando la prueba estadística t student; ejecutando tres comparaciones, la primera, el agua antes de ingresar a la piscina frente al agua tratada con cartucho (Después); la segunda, el agua antes de ingresar a la piscina frente al agua tratada con lenteja de agua (Después); y la tercera, es un versus entre las dos plantas; es decir, el agua tratada con cartucho frente al agua tratada con lenteja de agua. Estas tres comparaciones, se las ejecuta por cada parámetro, con la finalidad de ver si estadísticamente existen semejanzas o diferencias en estos datos; antes de ejecutar este análisis estadístico, primero se determina la normalidad de los datos con la prueba Shapiro Wilk.

### **6.11.1. Interpretación de las Hipótesis**

Si el p-valué, indica que el resultado es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula, la cual indica que el tratamiento antes es estadísticamente igual al tratamiento después ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ); en cambio, si en el p-valué, indica un resultado menor a 0,05 se acepta la hipótesis alternativa, la cual indica que el tratamiento antes es estadísticamente diferente al tratamiento después ( $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ ).

### **6.11.2. Interpretación de la Normalidad.**

Si el p-value, indica que el resultado es mayor a 0,05; se acepta la hipótesis nula, esto significa que existe una distribución normal de los datos; por otro lado, si el p-value, indica un resultado menor a 0,05; se acepta la hipótesis alternativa, la cual establece una distribución no normal de los datos.

## Parámetro pH

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 29.**

*Datos de pH, antes y después del tratamiento.*

Días	Antes	Después	
	Agua de entrada	Cartucho	Lenteja de Agua
Miércoles	7,92	7,86	7,84
Domingo	8,1	8,09	7,98
Viernes	8,7	7,95	7,79

Elaborado por: Autor

Agua de entrada: p-value = 0,4244

Cartucho: p-value = 0,7615

Lenteja de Agua: p-value = 0,4902

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

**Parcelas pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 30.**

*Datos de pH en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

Días	Antes	Después	Diferencia
Miércoles	7,92	7,86	0,06
Domingo	8,1	8,09	0,01
Viernes	8,7	7,95	0,75
Promedio	8,24	7,97	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,3708

El p-valué de la prueba t student es 0,3708; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 31.**

*Datos de pH en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	7,92	7,84	0,08
Domingo	8,1	7,98	0,12
Viernes	8,7	7,79	0,91
Promedio	8,24	7,87	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,3044

El p-valué de la prueba t student es 0,3044; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 32.**

*Datos de pH en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	7,86	7,84	0,02
Domingo	8,09	7,98	0,11
Viernes	7,95	7,79	0,16
Promedio	7,97	7,87	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,1422

El p-valué de la prueba t student es 0,1422; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

### Parámetro Color

#### Normalidad de los datos:

#### Tabla 33.

*Datos de color, antes y después del tratamiento.*

Días	Antes	Después	
	Agua de entrada	Cartucho	Lenteja de Agua
Miércoles	141	22	11
Domingo	242	144	119
Viernes	206	160	131

Elaborado por: Autor

Agua de entrada: p-value = 0,6862

Cartucho: p-value = 0,2028

Lenteja de Agua: p-value = 0,1736

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

#### Parcelas Pareadas:

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 34.**

*Datos de color en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	141	22	119
Domingo	242	144	98
Viernes	206	160	46
Promedio	196,3	108,7	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,05615

El p-valué de la prueba t student es 0,05615; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 35.**

*Datos de color en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	141	11	130
Domingo	242	119	123
Viernes	206	131	75
Promedio	196,3	87,0	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,02409

El p-valué de la prueba t student es 0,02409; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1\neq\mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 36.**

*Datos de color en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	22	11	11
Domingo	144	119	25
Viernes	160	131	29
Promedio	108,7	87,0	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,05797

El p-valué de la prueba t student es 0,05797; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Parámetro Conductividad Eléctrica**

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 37.**

*Datos de conductividad eléctrica, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	548	306	183,3
Domingo	493	310	297
Viernes	345	294	198,9

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,5062

Cartucho: p-value = 0,4633

Lenteja de Agua: p-value = 0,2423

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente,  $p\text{-value} > 0,05$ ; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

**Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 38.**

*Datos de conductividad eléctrica en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	548	306	242
Domingo	493	310	183
Viernes	345	294	51
Promedio	462,0	303,3	

**Elaborado por:** Autor

$p\text{-value} = 0,1067$

El  $p\text{-value}$  de la prueba t student es 0,1067; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 39.**

*Datos de conductividad eléctrica en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	548	183,3	364,7
Domingo	493	297	196
Viernes	345	198,9	146,1
Promedio	462,0	226,4	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,07056

El p-valué de la prueba t student es 0,07056; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 40.**

*Datos de conductividad eléctrica en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

Días	Cartucho	Lenteja	Diferencia
Miércoles	306	183,3	122,7
Domingo	310	297	13
Viernes	294	198,9	95,1
Promedio	303,3	226,4	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,1446

El p-valué de la prueba t student es 0,1446; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

### Parámetro Turbidez

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 41.**

*Datos de turbidez, antes y después del tratamiento.*

Días	Antes	Después	
	Agua de entrada	Cartucho	Lenteja de Agua
Miércoles	107,9	41,58	10,58
Domingo	11,55	10,18	9,02
Viernes	66,79	31,11	11,77

Elaborado por: Autor

Agua de entrada: p-value = 0,8387

Cartucho: p-value = 0,6371

Lenteja de Agua: p-value = 0,8519

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

### **Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 42.**

*Datos de turbidez en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	107,9	41,58	66,32
Domingo	11,55	10,18	1,37
Viernes	66,79	31,11	35,68
Promedio	62,1	27,6	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,2077

El p-valué de la prueba t student es 0,2077; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 43.**

*Datos de turbidez en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	107,9	10,58	97,32
Domingo	11,55	9,02	2,53
Viernes	66,79	11,77	55,02
Promedio	62,1	10,5	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,2004

El p-valué de la prueba t student es 0,2004; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 44.**

*Datos de turbidez en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	41,58	10,58	31
Domingo	10,18	9,02	1,16
Viernes	31,11	11,77	19,34
Promedio	27,6	10,5	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,1866

El p-valué de la prueba t student es 0,1866; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

## Parámetro Sólidos Totales

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 45.**

*Datos de sólidos totales, antes y después del tratamiento.*

Días	Antes	Después	
	Agua de entrada	Cartucho	Lenteja de Agua
Miércoles	320	275	205
Domingo	300	245	215
Viernes	260	210	150

Elaborado por: Autor

Agua de entrada: p-value = 0,6369

Cartucho: p-value = 0,9152

Lenteja de Agua: p-value = 0,2738

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

**Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 46.**

*Datos de sólidos totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

Días	Antes	Después	Diferencia
Miércoles	320	275	45
Domingo	300	245	55
Viernes	260	210	50
Promedio	293,3	243,3	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,003317

El p-valué de la prueba t student es 0,003317; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 47.**

*Datos de sólidos totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	320	205	115
Domingo	300	215	85
Viernes	260	150	110
Promedio	293,3	190,0	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,007968

El p-valué de la prueba t student es 0,007968; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 48.**

*Datos de sólidos totales en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	275	205	70
Domingo	245	215	30
Viernes	210	150	60
Promedio	243,3	190,0	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,04721

El p-valué de la prueba t student es 0,04721; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

### **Parámetro Nitritos**

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 49.**

*Datos de nitritos, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	0,2	0,11	0,07
Domingo	0,07	0,05	0,03
Viernes	0,11	0,09	0,03

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,5827

Cartucho: p-value = 0,6369

Lenteja de Agua: p-value < 2,2e-16

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después para Cartucho; establece lo siguiente,  $p\text{-value} > 0,05$ ; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos. Mientras que, en el caso de la Lenteja de Agua, establece lo siguiente,  $p\text{-value} < 0,05$ ; por lo tanto, se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alternativa; la cual, establece una distribución no normal para los datos de Lenteja de agua.

### **Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 50.**

*Datos de nitritos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,2	0,11	0,09
Domingo	0,07	0,05	0,02
Viernes	0,11	0,09	0,02
Promedio	0,127	0,083	

**Elaborado por:** Autor

$p\text{-value} = 0,2044$

El  $p\text{-value}$  de la prueba t student es 0,2044; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 51.**

*Datos de nitritos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,2	0,07	0,13
Domingo	0,07	0,03	0,04
Viernes	0,11	0,03	0,08
Promedio	0,127	0,043	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,0853

El p-valué de la prueba t student es 0,0853; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 52.**

*Datos de nitritos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,11	0,07	0,04
Domingo	0,05	0,03	0,02
Viernes	0,09	0,03	0,06
Promedio	0,083	0,043	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,07418

El p-valué de la prueba t student es 0,07418; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

## Parámetro Nitratos

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 53.**

*Datos de nitratos, antes y después del tratamiento.*

Días	Antes	Después	
	Agua de entrada	Cartucho	Lenteja de Agua
Miércoles	0,55	0,35	0,26
Domingo	0,34	0,27	0,2
Viernes	0,43	0,32	0,24

Elaborado por: Autor

Agua de entrada: p-value = 0,8428

Cartucho: p-value = 0,7262

Lenteja de Agua: p-value = 0,6369

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

**Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 54.**

*Datos de nitratos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

Días	Antes	Después	Diferencia
Miércoles	0,55	0,35	0,2
Domingo	0,34	0,27	0,07
Viernes	0,43	0,32	0,11
Promedio	0,440	0,313	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,08106

El p-valué de la prueba t student es 0,08106; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 55.**

*Datos de nitratos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

Días	Antes	Después	Diferencia
Miércoles	0,55	0,26	0,29
Domingo	0,34	0,2	0,14
Viernes	0,43	0,24	0,19
Promedio	0,440	0,233	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,04264

El p-valué de la prueba t student es 0,04264; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1\neq\mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 56.**

*Datos de nitratos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

Días	Cartucho	Lenteja	Diferencia
Miércoles	0,35	0,26	0,09
Domingo	0,27	0,2	0,07
Viernes	0,32	0,24	0,08
Promedio	0,313	0,233	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,005168

El p-valué de la prueba t student es 0,005168; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

### **Parámetro Nitrógeno Total**

#### **Normalidad de los datos:**

#### **Tabla 57.**

*Datos de nitrógeno total, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	0,83	0,5	0,36
Domingo	0,68	0,51	0,37
Viernes	0,6	0,43	0,28

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,6678

Cartucho: p-value = 0,2196

Lenteja de Agua: p-value = 0,1939

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

#### **Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 58.**

*Datos de nitrógeno total en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,83	0,5	0,33
Domingo	0,68	0,51	0,17
Viernes	0,6	0,43	0,17
Promedio	0,703	0,480	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,05257

El p-valué de la prueba t student es 0,05257; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 59.**

*Datos de nitrógeno total en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,83	0,36	0,47
Domingo	0,68	0,37	0,31
Viernes	0,6	0,28	0,32
Promedio	0,703	0,337	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,01934

El p-valué de la prueba t student es 0,01934; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 60.**

*Datos de nitrógeno total en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,5	0,36	0,14
Domingo	0,51	0,37	0,14
Viernes	0,43	0,28	0,15
Promedio	0,480	0,337	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,0005404

El p-valué de la prueba t student es 0,0005404; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Parámetro Fosfatos**

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 61.**

*Datos de fosfatos, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>		<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	0,5	0,3	0,3	0,2
Domingo	1,2	0,8	0,8	0,7
Viernes	2,9	2	2	0,5

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,5491

Cartucho: p-value = 0,5542

Lenteja de Agua: p-value = 0,7804

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente,  $p\text{-value} > 0,05$ ; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

**Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 62.**

*Datos de fosfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,5	0,3	0,2
Domingo	1,2	0,8	0,4
Viernes	2,9	2	0,9
Promedio	1,533	1,033	

**Elaborado por:** Autor

$p\text{-value} = 0,1383$

El  $p\text{-value}$  de la prueba t student es 0,1383; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 63.**

*Datos de fosfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,5	0,2	0,3
Domingo	1,2	0,7	0,5
Viernes	2,9	0,5	2,4
Promedio	1,533	0,467	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,252

El p-valué de la prueba t student es 0,252; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu 1=\mu 2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 64.**

*Datos de fosfatos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,3	0,2	0,1
Domingo	0,8	0,7	0,1
Viernes	2	0,5	1,5
Promedio	1,033	0,467	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,3486

El p-valué de la prueba t student es 0,3486; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu 1=\mu 2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

### **Parámetro Sulfatos**

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 65.**

*Datos de sulfatos, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	190	152	111
Domingo	131	119	77
Viernes	315	183	82

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,61

Cartucho: p-value = 0,9655

Lenteja de Agua: p-value = 0,2609

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

### **Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

#### **Tabla 66.**

*Datos de sulfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	190	152	38
Domingo	131	119	12
Viernes	315	183	132
Promedio	212	151,33	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,2379

El p-valué de la prueba t student es 0,2379; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 67.**

*Datos de sulfatos en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	190	111	79
Domingo	131	77	54
Viernes	315	82	233
Promedio	212	90	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,1611

El p-valué de la prueba t student es 0,1611; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 68.**

*Datos de sulfatos en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	152	111	41
Domingo	119	77	42
Viernes	183	82	101
Promedio	151,33	90	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,0906

El p-valué de la prueba t student es 0,0906; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

## Parámetro Hierro

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 69.**

*Datos de hierro, antes y después del tratamiento.*

Días	Antes	Después	
	Agua de entrada	Cartucho	Lenteja de Agua
Miércoles	0,61	0,43	0,23
Domingo	0,71	0,11	0,07
Viernes	0,42	0,31	0,14

Elaborado por: Autor

Agua de entrada: p-value = 0,6614

Cartucho: p-value = 0,7262

Lenteja de Agua: p-value = 0,8624

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

**Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 70.**

*Datos de hierro en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

Días	Antes	Después	Diferencia
Miércoles	0,61	0,43	0,18
Domingo	0,71	0,11	0,6
Viernes	0,42	0,31	0,11
Promedio	0,580	0,283	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,1921

El p-valué de la prueba t student es 0,1921; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 71.**

*Datos de hierro en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,61	0,23	0,38
Domingo	0,71	0,07	0,64
Viernes	0,42	0,14	0,28
Promedio	0,580	0,147	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,05619

El p-valué de la prueba t student es 0,05619; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 72.**

*Datos de hierro en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,43	0,23	0,2
Domingo	0,11	0,07	0,04
Viernes	0,31	0,14	0,17
Promedio	0,283	0,147	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,1085

El p-valué de la prueba t student es 0,1085; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

### **Parámetro Amonio**

#### **Normalidad de los datos:**

#### **Tabla 73.**

*Datos de amonio, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	0,08	0,04	0,03
Domingo	0,27	0,19	0,14
Viernes	0,06	0,02	0,01

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,165

Cartucho: p-value = 0,2059

Lenteja de Agua: p-value = 0,2738

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

#### **Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 74.**

*Datos de amonio en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,08	0,04	0,04
Domingo	0,27	0,19	0,08
Viernes	0,06	0,02	0,04
Promedio	0,137	0,083	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,05719

El p-valué de la prueba t student es 0,05719; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 75.**

*Datos de amonio en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,08	0,03	0,05
Domingo	0,27	0,14	0,13
Viernes	0,06	0,01	0,05
Promedio	0,137	0,060	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,1027

El p-valué de la prueba t student es 0,1027; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 76.**

*Datos de amonio en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	0,04	0,03	0,01
Domingo	0,19	0,14	0,05
Viernes	0,02	0,01	0,01
Promedio	0,083	0,060	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,2222

El p-valué de la prueba t student es 0,2222; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Parámetro DQO**

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 77.**

*Datos de DQO, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	144	84	76
Domingo	280	190	166
Viernes	275	189	162

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,0619

Cartucho: p-value = 0,0156

Lenteja de Agua: p-value = 0,0751

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después para Lenteja de Agua, establece lo siguiente,  $p\text{-value} > 0,05$ ; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos. Mientras que, en el caso del Cartucho, establece lo siguiente,  $p\text{-value} < 0,05$ ; por lo tanto, se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alternativa; la cual, establece una distribución no normal para los datos de Cartucho.

**Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 78.**

*Datos de DQO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	144	84	60
Domingo	280	190	90
Viernes	275	189	86
Promedio	233	154,33	

**Elaborado por:** Autor

$p\text{-value} = 0,01399$

El  $p\text{-value}$  de la prueba t student es 0,01399; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 79.**

*Datos de DQO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	144	76	68
Domingo	280	166	114
Viernes	275	162	113
Promedio	233	134,66	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,02298

El p-valué de la prueba t student es 0,02298; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 80.**

*Datos de DQO en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	84	76	8
Domingo	190	166	24
Viernes	189	162	27
Promedio	154,33	134,66	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,07936

El p-valué de la prueba t student es 0,07936; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

## Parámetro DBO

### Normalidad de los datos:

**Tabla 81.**

*Datos de DBO, antes y después del tratamiento.*

Días	Antes	Después	
	Agua de entrada	Cartucho	Lenteja de Agua
Miércoles	178	90	75
Domingo	118	88	69
Viernes	83	72	54

Elaborado por: Autor

Agua de entrada: p-value = 0,712

Cartucho: p-value = 0,1939

Lenteja de Agua: p-value = 0,5367

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

### Parcelas Pareadas:

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 82.**

*Datos de DBO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

Días	Antes	Después	Diferencia
Miércoles	178	90	88
Domingo	118	88	30
Viernes	83	72	11
Promedio	126,33	83,33	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,2045

El p-valué de la prueba t student es 0,2045; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 83.**

*Datos de DBO en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

Días	Antes	Después	Diferencia
Miércoles	178	75	103
Domingo	118	69	49
Viernes	83	54	29
Promedio	126,33	66	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,1121

El p-valué de la prueba t student es 0,1121; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 84.**

*Datos de DBO en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

Días	Cartucho	Lenteja	Diferencia
Miércoles	90	75	15
Domingo	88	69	19
Viernes	72	54	18
Promedio	83,33	66	

Elaborado por: Autor

p-value = 0,004773

El p-valué de la prueba t student es 0,004773; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

### **Parámetro Coliformes Totales**

#### **Normalidad de los datos:**

#### **Tabla 85.**

*Datos de coliformes totales, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	99	83	72
Domingo	91	70	63
Viernes	97	64	38

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,4633

Cartucho: p-value = 0,5997

Lenteja de Agua: p-value = 0,4933

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después tanto para Cartucho como Lenteja, establece lo siguiente, p-value > 0,05; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos.

#### **Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 86.**

*Datos de coliformes totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	99	83	16
Domingo	91	70	21
Viernes	97	64	33
Promedio	95,66	72,33	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,04369

El p-valué de la prueba t student es 0,04369; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 87.**

*Datos de coliformes totales en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	99	72	27
Domingo	91	63	28
Viernes	97	38	59
Promedio	95,66	57,66	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,06863

El p-valué de la prueba t student es 0,06863; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1 = \mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 88.**

*Datos de coliformes totales en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	83	72	11
Domingo	70	63	7
Viernes	64	38	26
Promedio	72,33	57,66	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,004773

El p-valué de la prueba t student es 0,004773; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Parámetro Ecoli**

**Normalidad de los datos:**

**Tabla 89.**

*Datos de ecoli, antes y después del tratamiento.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>		<b>Después</b>	
	<b>Agua de entrada</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja de Agua</b>
Miércoles	35	30	30	26
Domingo	27	21	21	13
Viernes	45	39	39	13

**Elaborado por:** Autor

Agua de entrada: p-value = 0,8777

Cartucho: p-value = 1

Lenteja de Agua: p-value < 2,2e-16

De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro Wilk realizada a los distintos datos de antes y después para Cartucho; establece lo siguiente,  $p\text{-value} > 0,05$ ; por lo tanto, se acepta la Hipótesis nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, lo cual significa que existe una distribución normal en los datos. Mientras que, en el caso de la Lenteja de Agua, establece lo siguiente,  $p\text{-value} < 0,05$ ; por lo tanto, se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alternativa; la cual, establece una distribución no normal para los datos de Lenteja de Agua.

**Parcelas Pareadas:**

**Primera comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Cartucho (Después).**

**Tabla 90.**

*Datos de ecoli en diferentes días, antes y después del tratamiento con Cartucho.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	35	30	5
Domingo	27	21	6
Viernes	45	39	6
Promedio	35,66	30	

**Elaborado por:** Autor

$p\text{-value} = 0,003442$

El  $p\text{-valué}$  de la prueba t student es 0,003442; el cual es menor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son diferentes ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ), indicando así que si existe diferencia estadística.

**Segunda comparación: Agua antes de ingresar al tratamiento frente al agua tratada con Lenteja de Agua (Después).**

**Tabla 91.**

*Datos de ecoli en diferentes días, antes y después del tratamiento con Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	35	26	9
Domingo	27	13	14
Viernes	45	13	32
Promedio	35,66	17,33	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,1196

El p-valué de la prueba t student es 0,1196; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

**Tercera comparación: Agua tratada con Cartucho frente a agua tratada con Lenteja de Agua (Versus).**

**Tabla 92.**

*Datos de ecoli en diferentes días, del agua tratada con Cartucho y Lenteja de Agua.*

<b>Días</b>	<b>Cartucho</b>	<b>Lenteja</b>	<b>Diferencia</b>
Miércoles	30	26	4
Domingo	21	13	8
Viernes	39	13	26
Promedio	30	17,33	

**Elaborado por:** Autor

p-value = 0,2021

El p-valué de la prueba t student es 0,2021; el cual es mayor a 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual nos indica que estadísticamente ambos tratamientos son iguales ( $\mu_1=\mu_2$ ), indicando así que no existe diferencia estadística.

## 6.12. Correlación múltiple

Esta prueba estadística, comprende en ejecutar una correlación múltiple entre la remoción y los parámetros más representativos del tratamiento en la piscina biodigestora (DQO, DBO, Coliformes Totales, Ecoli), a través de una ecuación de predicción, obteniendo así porcentajes de remoción que ha futuro van a dar con este tratamiento en cada uno de los días.

Aplicando la siguiente ecuación de predicción que nos da el programa por defecto:  $\%Remoción = 18,4152 + 0,228108 * \%Ecoli + 0,520593 * \%Coliformes\ Totales + 0,745435 * \%DBO - 0,885678 * \%DQO$ ; tenemos como resultados los porcentajes de remoción que puede darse a futuro con este tratamiento, los cuales se los puede observar en la tabla 107, en la sección de color amarillo; determinando así que existe una correlación prácticamente unitaria entre el experimento y esta ecuación.

**Tabla 93.**

*Resultados de predicción aplicando la ecuación (porcentajes de remoción)*

Especies/Días	%Remoción DQO	%Remoción DBO	%Remoción Coliformes Totales	%Remoción Ecoli	%Promedio de la Remoción	Resultados de predicción aplicando la ecuación (%)	
<b>Cartucho</b>	Día Entre Semana (Miércoles)	41,67	49,44	16,17	14,29	30,4	30,0409
	Fin de Semana (Domingo)	32,15	25,43	23,08	22,23	25,7	25,9832
	Feriado (Viernes)	31,28	16,28	34,03	13,34	23,7	23,6056
<b>Lenteja de Agua</b>	Día Entre Semana (Miércoles)	47,23	57,87	27,28	25,72	39,5	39,7916
	Fin de Semana (Domingo)	40,72	41,53	30,77	51,86	41,22	41,1566
	Feriado (Viernes)	41,1	37,21	60,83	71,12	57,7	57,6421

Elaborado por: Autor

Es importante mencionar que estos resultados de predicción aplicando este tipo de ecuaciones presentan un margen de error del menos del 1%, lo cual solo varían las décimas, si comparáramos el promedio de la remoción con estos resultados.

### **6.13.Socialización**

La socialización de la investigación se la ejecutó en la Unidad Educativa “Sarance”, localizada en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, parroquia Miguel Egas Cabezas, exactamente al norte de la ciudad de Otavalo, en la dirección Panamericana norte kilómetro 1,5 – Sector de Peguche; el día 26 de Julio del 2019, desde las 12h00 hasta 12h30; en el cual asistieron los estudiantes, docentes, técnicos y el rector de la institución (Anexo II).

Se requirió que todos los participantes respondan la encuesta correspondiente al proceso de socialización de la investigación, tomando en cuenta la escala que presenta la misma, la cual va del 1 al 5 para todas las preguntas; dentro de esta encuesta, se presenta una sección en la cual se mide el impacto que generó la investigación, estableciendo cuatro preguntas con la finalidad de establecer si la investigación presenta relevancia para la sociedad; si presenta perspectivas para los estudios a futuro; si genera beneficios en la actualidad para las comunidades u organizaciones y por último, si los objetivos que se establecieron en toda la investigación llegaron a ser cumplidos.

Esta investigación tuvo una elevada aceptación por parte de los participantes, evidenciándose así en la tabulación de las respectivas encuestas; las cuales mostraron que la mayoría de participantes calificaron con alto y muy alto, y unos pocos con medio; lo cual se concluye que la investigación cumplió con todos sus objetivos de la manera más óptima para el ambiente y la sociedad, y que a la vez generó un elevado impacto en la misma; los resultados de la tabulación fueron los siguientes; un 92% de los participantes establecen que la investigación presenta relevancia para algún actor o para la sociedad; un 88% establece que el tema investigado presenta perspectivas para estudios complementarios posteriores; un 85% menciona que la investigación genera beneficios para las comunidades y organizaciones en la actualidad y a futuro; y por último, un 85% de los participantes indicaron que los objetivos de la investigación se han cumplido totalmente (Anexo IV).

#### 6.14. Discusión

Según la investigación realizada por Rueda (2018) establece que el caudal máximo de entrada a la piscina biodigestora que se encuentra en el sector de Angochagua es de 21,8 l/s y el caudal mínimo de salida es 16,5 l/s, ambos caudales tomados durante el día; mencionando que esta piscina biodigestora recibe una cantidad de agua bastante elevada en comparación con la piscina biodigestora de esta investigación; debido a que el canal de la Unidad Educativa “Sarance” presenta 11 l/s, los cuales entran a la piscina biodigestora para su tratamiento y a la vez genera un caudal de salida de 6,6 l/s; los caudales mencionados anteriormente representan a los caudales máximos y mínimos que entran y salen de la piscina biodigestora durante el día, ya que durante la noche existe una disminución de la cantidad de agua de este caudal.

Quinteros, Pueblas y Rodríguez (2017) mencionan que los dimensionamientos de las piscinas biodigestoras pueden variar según la cantidad de agua residual a la que se va a realizar el tratamiento y que el tipo de planta a utilizar en el proceso de fitorremediación dependerá según la opinión de cada investigador; en el caso de la investigación de estos autores, se construyó una piscina biodigestora empleando la planta de humedal Totora (*Schoenoplectus californicus*) con las siguientes medidas: 30 m de largo, 5 m de ancho y 1,50 m de profundidad, obteniendo así un área total de 150 m<sup>2</sup> y un volumen de 225 m<sup>3</sup>; la cual, se utiliza para tratar aguas residuales industriales provenientes de la textilera Permoda Ltda en Medellín. Otra investigación realizada por Hoffmann, Platzner, Winker y Muench (2015) establecen que en su investigación, construyeron una piscina biodigestora empleando la planta de humedal Carrizo (*Phragmites australis*) con las siguientes medidas: 20 m de largo, 10 m de ancho y 2 m de profundidad, obteniendo así un área total de 200 m<sup>2</sup> y un volumen de 400 m<sup>3</sup>; la cual sirve para tratar las aguas residuales urbanas provenientes de la parroquia Pativilca en Perú. En la presente investigación se construyó una piscina biodigestora utilizando dos tipos de plantas, como es el caso del Cartucho (*Zantedeschia aethiopica*) y la Lenteja de agua (*Lemna minor*), las cuales son plantas flotantes y de humedal que contribuyen al proceso de fitorremediación de aguas residuales domésticas, provenientes del Río Jatun Yaku en la ciudad de Otavalo; el dimensionamiento de esta piscina biodigestora es de 29,2 m de largo, 1,70 m de ancho y 1,50 m de profundidad; dándonos un área total de 49,64 m<sup>2</sup> y un volumen total de 74,46 m<sup>3</sup>.

Dentro de esta investigación se ejecutó la caracterización de las aguas residuales del río Jatun Yaku, en 3 puntos de muestreo en diferentes días, dándonos como resultado que de todos los análisis de agua que se realizaron en las 9 muestras recolectadas, solamente la DBO y la DQO, exceden de los límites permisibles de calidad de agua del acuerdo ministerial 097 A; teniendo así una DQO de 296 mg/l y una DBO de 243 mg/l, que representan a los valores más altos que se obtuvieron de las 9 muestras dentro de la caracterización. Según la investigación de Lema (2018) establece que se realizó una caracterización de aguas residuales en la naciente del río Jatun Yaku, consideraron 4 puntos de muestreo, las muestras fueron tomadas en 2 días diferentes y se menciona que de las 8 muestras que fueron recolectadas, el valor más alto de DQO fue de 380 mg/l y el valor más alto de DBO fue de 298 mg/l. Comparando con la presente investigación se puede determinar que el río Jatun Yaku, presenta problema de contaminación en lo que se refiere a DQO y DBO en su trayecto, desde su naciente hasta el lugar de estudio que es la Unidad Educativa “Sarance”, mencionando así que la investigación realizada por este autor, confirma que los resultados de caracterización que se obtuvieron en este estudio, coinciden en que las aguas residuales del río Jatun Yaku, se encuentran altamente contaminadas.

Según Méndez (2017) establece que en su investigación la mayoría de agricultores utilizan diferentes tipos de pesticidas para los cultivos que se encuentran aledaños a la ribera del río Jatun Yaku en el sector de San Pablo, como son los siguientes: piraclostrobin, metamitron y carbendazim; los cuales terminan regándose en las aguas de este río a través del viento o de la lluvia. Por otro lado, según la investigación de Arroba (2016) establece que en su estudio de calidad de agua de los ríos que rodean a la Laguna de San Pablo, ha identificado la presencia de algunos pesticidas, como son los siguientes: diuron, proham y metribuzin, los cuales se encuentran esparcidos en los ríos Itambi y Jatun Yaku. En la presente investigación se ejecutó el análisis de pesticidas de las aguas del río Jatun Yaku, con la finalidad de detectar la presencia de estos; encontrando así que, en las 9 muestras analizadas, se encontraron algunos de los pesticidas que mencionan estos autores, como es el caso de metamitron y metribuzin, afirmando de esta forma que en las aguas de este río si existe la presencia de pesticidas, los cuales vienen desde el nacimiento del mismo.

Según la investigación de Jaramillo y Flores (2014) mencionan que se construyó una piscina biodigestora con Lenteja de Agua, la cual aportó a la disminución de contaminantes en las aguas residuales que provienen de la actividad minera en el sector de Intag; teniendo así un dato de entrada de DQO de 247 mg/l y al tratarse con esta planta, presenta un dato de salida de 149 mg/l, con un porcentaje de remoción del 39,68%; en cuanto a la DBO presenta un dato de entrada de 214 mg/l y después del tratamiento disminuyó a 78 mg/l, con un porcentaje de remoción del 63,56%. Según Arias, Betancur, Gómez, Salazar y Hernández (2016) mencionan que en su estudio de tratamiento de aguas residuales porcinas implementando una piscina biodigestora de Cartuchos, han obtenido resultados bastante óptimos en la descontaminación de sus aguas; ya que en esta piscina ingresa una DQO de 377 mg/l y al realizarse el tratamiento disminuyó en 197 mg/l, con un porcentaje de remoción del 47,75%; en cuanto a la DBO ingresa un valor de 116 mg/l y luego del tratamiento disminuyó a 69 mg/l, con un porcentaje de remoción del 40,52%.

En el presente estudio se determinó que el funcionamiento de la piscina biodigestora, aportó buenos resultados para mejorar los problemas de contaminación de las aguas residuales del río Jatun Yaku en la ciudad de Otavalo, especialmente en lo que se refiere a DQO y DBO; como por ejemplo, ingresó un agua residual doméstica a la piscina biodigestora que presenta datos elevados de DQO y DBO; en cuanto a la DQO presenta un dato de 280 mg/l, al pasar por los cartuchos, disminuyó en 190 mg/l, con un porcentaje de remoción del 32,15% y al pasar por la lenteja de agua disminuyó en 166 mg/l, con un porcentaje de remoción del 40,72 %; en cuanto a la DBO presenta un dato de 178 mg/l, al pasar por los cartuchos disminuyó en 90 mg/l, con un porcentaje de remoción del 49,44% y al pasar por la lenteja de agua disminuyó en 75 mg/l, con un porcentaje de remoción del 57,87%; entonces se puede establecer que este tratamiento ha incorporado a estas aguas residuales, dentro de los límites permisibles de calidad de agua; y también se menciona que al realizar la comparación con las investigaciones de los otros autores, se confirma que el proceso de fitorremediación en piscinas biodigestoras, aporta buenos resultados para disminuir la contaminación en diferentes tipos de aguas residuales, ya que se corrobora los porcentajes de remoción de estas plantas, con las de las otras investigaciones.

Según García y Ludizaca (2017) establecen que dentro de su piscina biodigestora, se efectuó una prueba de velocidad de agua, aplicando el método del molinete, el cual le permitió medir la velocidad del agua de forma automática, generando un resultado de 0,015 m/s, estableciendo así que esta velocidad es sumamente lenta y le favorece en su proceso de fitorremediación para las aguas residuales urbanas de Tabacay. Dentro de este estudio se ejecutó una prueba de velocidad de agua, la cual nos sirve para determinar la velocidad en la que el agua pasa desde la entrada hasta la salida de la piscina biodigestora; dándonos como resultado una velocidad de 0,0093 m/s; estableciendo así que es una velocidad bastante lenta, la cual favorece para que las plantas puedan absorber el agua a través de sus raíces varias veces, generando un mejor tratamiento para estas aguas residuales domésticas que entran a la piscina; es importante mencionar que esta prueba de velocidad se la realizó, tomando el tiempo con un cronómetro en el que se demora la bola de espuma flex en atravesar toda la piscina; con la investigación mencionada anteriormente, se puede afirmar que estas pruebas de velocidad de agua son de gran importancia para determinar los tiempos y velocidades en las que se va a tratar las aguas residuales al momento de atravesar toda la piscina biodigestora.

Según la investigación realizada por Rueda (2018) menciona que en su propuesta de plan de manejo, se debe cumplir una serie de actividades para sacar el máximo aprovechamiento de la piscina biodigestora que se encuentra en el sector de Angochagua; los habitantes de esta zona al ejecutar estas actividades, generaran grandes beneficios económicos, sociales y ambientales para el crecimiento de la comunidad. En la presente investigación se efectúa una propuesta de plan de manejo para la piscina biodigestora que se encuentra en la Unidad Educativa “Sarance”, en la cual se establecen diferentes tipos de actividades para sacar el máximo aprovechamiento de esta piscina, como por ejemplo, cosechar la biomasa de las plantas, controlar la cantidad de agua, comercializar las flores, entre otras; comparando esta propuesta de plan de manejo con la de la investigación anterior, se puede determinar que ambas traen grandes beneficios económicos, sociales, y ambientales para las personas de la zona, en este caso al encontrarse la piscina dentro de una institución, favorecerá también en un beneficio educativo para todos los estudiantes que realicen la visita a la misma.

## 7. CONCLUSIONES

- Al caracterizar física, química y microbiológicamente las aguas residuales del río Jatun Yaku, determinó que existen problemas de contaminación en lo que se refiere a DQO y DBO; debido a que estos dos parámetros exceden de sus límites permisibles de calidad de agua que se encuentran en el acuerdo ministerial 097A; ya que, de las 9 muestras recolectadas, 6 muestras exceden en DBO y DQO; 2 muestras exceden solamente la DBO y la muestra restante se encuentra en rango normal de estos límites; estableciendo así que en 8 de 9 muestras se presentan problemas elevados de contaminación, por lo tanto, iniciar un tratamiento de estas aguas residuales domésticas es lo más factible para controlar la contaminación.
- El tratamiento de fitorremediación con *Lemna minor* y *Zantedeschia aethiopica* en piscinas biodigestoras, disminuye la contaminación de las aguas residuales domésticas del río Jatun Yaku; debido a que el Cartucho genera un porcentaje de remoción total del 37,92 % y la Lenteja de Agua genera un porcentaje de remoción total del 62,08%; estableciendo que la Lenteja de Agua realiza un proceso de descontaminación mucho mayor que el Cartucho, ya que esta planta supera en número a los Cartuchos y así su poder de descontaminación va hacer más óptimo para las aguas residuales que entren a la piscina biodigestora. Por otro lado, se puede mencionar también que de las 9 muestras recolectadas de las aguas tratadas, los niveles de contaminación en todos los análisis disminuyeron; indicando así que los problemas de contaminación de DQO y DBO que se tenía anteriormente se han reducido; volviendo a incorporar estas aguas residuales dentro los límites permisibles de calidad de agua y estableciendo que este tratamiento es realmente factible para la Unidad Educativa “Sarance”, ganando así un agua de mayor calidad para su uso en diferentes actividades.
- En la propuesta de plan de manejo ambiental referente al tratamiento de aguas residuales en piscinas biodigestoras, se establece que las diferentes actividades que se plantearon en dicha propuesta, proporcionan beneficios económicos para la Unidad Educativa “Sarance”; además de brindar una minimización del impacto ambiental que producen estas aguas residuales domésticas, al ejercer este tratamiento; por otro lado, también aporta una óptima educación ambiental en los estudiantes del establecimiento que visiten la piscina, demostrando así que este proyecto no solo sirve para tratar aguas residuales, más bien es un proyecto integrador que abarca beneficios económicos, ambientales y sociales.

## 8. RECOMENDACIONES

- Es importante dar el mantenimiento correcto a la piscina biodigestora, cosechando la biomasa de las plantas en los tiempos establecidos; para el Cartucho se debe realizar la cosecha una vez al mes y para la Lenteja de agua cada siete días; utilizando las tijeras podadoras, un colador y guantes de protección personal, para manipular las plantas y las aguas residuales.
- Cada seis meses se debe ejecutar un monitoreo de las aguas tratadas que salen de la piscina biodigestora, cogiendo una serie de muestras y mandándolas analizar en un laboratorio acreditado y así seguir controlando el funcionamiento de la piscina.
- Al construir piscinas biodigestoras, es necesario dejar secar las estructuras de concreto por lo menos dos días, con la finalidad de que el agua no destruya a las mallas y así ejercer un óptimo funcionamiento de la piscina.
- Ejecutar una limpieza manual del desarenador cada seis meses, utilizando guantes de protección personal y herramientas de campo.
- Realizar visitas técnicas a la piscina biodigestora con los estudiantes de la Unidad Educativa “Sarance”, acompañados de su respectivo profesor, con la finalidad de impartir una mejor educación ambiental, en lo que se refiere a tratamiento de aguas residuales domésticas.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguamarket. (2017). *Propiedades Organolépticas del Agua*. Santiago, Chile: Planeta.  
Recuperado de: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3966&termino=propiedades+organol%E9pticas+del+agua>
- Agudelo, L., Morales, K., y Suárez, A. (2005). Fitorremediación: La alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *La Sallista de Investigación*. 2 (1), pp. 2 – 5.
- Aguilar, M., Cruz, A., Salinas, E., y Ortiz, L. (2016). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157 – 167.  
Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/370/37012012004.pdf>
- Aguirre, S., Rogelio, M., Espinosa, M., y Díaz, R. (2015). Metodología para el Muestreo y Manipulación de muestras de Aguas Residuales en un Labmovil. *CENIC*, 36(1), 1 – 11. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511007.pdf>
- Arenas, A., y Torres, G. (2011). Evaluación de la planta *Lemna minor* como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2 (3), 1 – 11.
- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., y Hernández, M. (2016). *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. Recuperado de: [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/5](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5)
- Arroba, A. M. (2016). *Evaluación de la calidad del agua en la parroquia San Pablo del Lago, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura utilizando un Cromatógrafo de intercambio iónico con supresión química, previamente validado el método APHA 4110* (tesis de pregrado). Universidad de las fuerzas armadas – ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- Arroyo, M. S. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor*): una planta acuática promisoriosa. *Revista EIA*, 3(1), 33 – 38. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763003.pdf>

- Ávila, P. A. (2014). *Las aguas residuales*. Sevilla, España: Mundi – Prensa. Recuperado de: [http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/aguas\\_residuales.htm](http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/aguas_residuales.htm)
- Bárceñas, J. M. (2012). *Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación en cuatro especies vegetales nativas procedentes del sector Baeza – El Chaco, Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana de Quito, Quito, Ecuador.
- Bello, M., y Pino, M. (2014). *Medición de Presión y Caudal*. Recuperado de: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25635.pdf>
- Berrocal, M. A. (2017). *Sistema de ayuda a la decisión para el diseño de proyectos de fitorremediación de suelos industriales* (tesis doctoral). Universidad de Oviedo, Barcelona, España.
- Blázquez, J., y Trapote, A. (2016). *Análisis de los modelos de diseño en los sistemas naturales de depuración*. Recuperado de: <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf>
- Brousse, C. S. (2015). *Manual básico de seguridad e higiene en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de: <https://www.h2ointerpro.com.mx/img/media/manual-seguridad.pdf>
- Bustillos, M. B. (2012). *Tipos de Fitorremediación*. Barcelona, España: Kelonia. Recuperado de: [http://fitorremediacion-bm.mex.tl/1355562\\_TIPOS-DE-FITORREMEDIACION.html](http://fitorremediacion-bm.mex.tl/1355562_TIPOS-DE-FITORREMEDIACION.html)
- Cabascango, M. V. (2011). *Evaluación de cuatro tipos de sustratos y tres niveles de humus en la obtención de plántulas de nogal (juglans neotrópica) en la zona de Otavalo, Provincia de Imbabura* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador.
- Carillo, R., y Chávez, M. (2017). Fitorremediación asistida por microorganismos con énfasis en hongos arbusculares. *Agro Productividad*, 12 (1), 28 – 33. Recuperado de: [http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD\\_IV\\_2017.pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD_IV_2017.pdf)

- Castillo, J., Domínguez, J., y Magaña, R. (2018). *Inventario nacional de humedales*. Recuperado de: [https://www.undp.org/content/dam/el\\_salvador/docs/envenerg/Inventario%20de%20humedales%202017\\_final-compressed.pdf](https://www.undp.org/content/dam/el_salvador/docs/envenerg/Inventario%20de%20humedales%202017_final-compressed.pdf)
- Cervantes, O. A. (2015). *Manual para el uso de R Project*. Recuperado de: [https://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebut\\_es.pdf](https://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebut_es.pdf)
- Cevallos, D. E. (2015). *Propuesta de producción más limpia en la finca maranatha para el manejo eficiente del agua* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.
- Chirinos, M. A. (2015). *Guía práctica de manejo y uso del equipo y software de HPLC*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Michelle\\_Chirinos-Arias2/publication/283090329\\_Guia\\_practica\\_de\\_manejo\\_y\\_uso\\_del\\_equipo\\_y\\_software\\_de\\_HPLC/links/562a74b908ae04c2aeb1a7db/Guia-practica-de-manejo-y-uso-del-equipo-y-software-de-HPLC.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Michelle_Chirinos-Arias2/publication/283090329_Guia_practica_de_manejo_y_uso_del_equipo_y_software_de_HPLC/links/562a74b908ae04c2aeb1a7db/Guia-practica-de-manejo-y-uso-del-equipo-y-software-de-HPLC.pdf)
- Coronel, M. A. (2011). *Modelo de desarrollo para prevenir la contaminación en la ribera del río Jatun Yaku del Cantón Otavalo* (tesis de maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Cruz, Y. A. (2016). *Plantas acuáticas tropicales: Manual para su uso en la acuicultura rural*. Medellín, Colombia: ASEUC.
- Cubillos, J., Pulgarín, P., Gutiérrez, A., y Paredes, D. (2013). Fitorremediación en Aguas y Suelos Contaminados con Hidrocarburos del Petróleo. *Ingeniería y Competitividad*. 3 (1), pp. 3 – 14.
- Cuenca, A., Granados, A., y Camacho, K. (2014). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía. *Quivera*, 14(1), 78 – 97. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Da Ros, G. E. (2014). *La contaminación de aguas en Ecuador*. Quito, Ecuador: Mar Abierto.

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., y Andrade, M. (2017). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro andino para la gestión y uso del agua.
- Díaz, V. F. (2015). *Respuesta a la aplicación de fertilización química complementado con bioestimulantes foliares en el cultivo de Cartucho Blanco (Zantedeschia aethiopica) en la zona de El Ángel, provincia del Carchi* (tesis de pregrado). Universidad técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador.
- Domínguez, M., Gómez, S., y Morales, S. (2016). Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera. *Revista de investigaciones UG Ciencia*. 22 (1), pp. 24 – 48.
- Dugan, P. A. (2012). *Conservación de humedales*. Gland, Suiza: UICN.
- Escobar, J. C. (2014). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago, Chile: CEPAL.
- FAO. (2014). *Estimaciones del caudal de Agua*. Quebec, Canadá: Infosylva. Recuperado de: [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6705s/x6705s03.htm#top](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm#top)
- Flores, E., y Loera, B. (2014). *Prácticas de análisis fisicoquímicos de laboratorio para control de procesos*. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloIII/4Practicadeanalisisfisicoquimicosdelaboratorio.pdf>
- Frers, C. E. (2012). *El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de: <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/download/OBMD0808110301A/21323>
- Garbisu, C., Epelde, L., y Becerri, J. (2008). Fitorremediación. *Ecologistas en Acción*. 2 (1), pp. 31 – 54.
- García, A., y Ludizaca, W. (2017). *Diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad del Tabacay, Cantón Azogues, Provincia de Cañar* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

- Gómez, A., y Peña, B. (2014). *Prácticas de análisis fisicoquímicos de laboratorio para control de procesos*. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloIII/4Practicadeanalisisfisicoquimicosdelaboratorio.pdf>
- González, M., Carillo, R., Sánchez, A., y Ruiz, A. (2017). Alternativas de fitorremediación de sitios contaminados con elementos potencialmente tóxicos. *Agro Productividad*, 10 (4), 8 – 14. Recuperado de: [http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD\\_IV\\_2017.pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD_IV_2017.pdf)
- Gualli, O. C. (2017). *Evaluación de los efectos ecotoxicológicos del cromo hexa valente, mediante bioensayos en Zantedeschia aethiopica y Helianthus annuus* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Guerrero, M., y Flores, E. (2014). *Prácticas de análisis fisicoquímicos de laboratorio para control de procesos*. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloIII/4Practicadeanalisisfisicoquimicosdelaboratorio.pdf>
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., y Muench, E. (2015). *Revisión técnica de humedales artificiales*. Recuperado de: <http://ecotec.unam.mx/ECOTEC/wp-content/uploads/Revision-Tecnica-de-Humedales-Artificiales.pdf>
- IDEAM. (2007). *INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES*. Recuperado de: [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)
- Jaramillo, M., y Flores, E. (2014). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Kinsner, K. M. (2018). *Plantas asombrosas*. Barcelona, España: Universal.

- Lema, S. D. (2018). *Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales No.14 de la parroquia San Pablo del Lago, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- López, A., y González, R. (2017). Absorber, inmovilizar o atrapar: funciones de las plantas en la remediación de sitios contaminados por elementos potencialmente tóxicos. *Agro Productividad*, 10 (3), 80 – 86. Recuperado de: [http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDA D\\_IV\\_2017.pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDA D_IV_2017.pdf)
- Lorenzo, E., Llanes, G., Fernández, L., y Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. *CENIC Ciencias Biológicas*, 40(1), 2 – 11. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1812/181221574007.pdf>
- Maigua, L. A. (2011). *Modelo administrativo financiero para el área de procesamiento de lácteos del colegio técnico agropecuario Carlos Ubidia Albuja del Cantón Otavalo* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Maqueda, A. R. (2013). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales*. Madrid, España: Sexto Piso. Recuperado de: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>
- Marrero, J., Sánchez, I., y Pérez, O. (2014). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA*, 46(3), 52 – 61. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>
- Marsilli, A. F. (2015). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona, España: Pearson. Recuperado de: <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>
- Martelo, J., y Borrero, L. (2014). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales. *CIENC*, 8(15), 221 – 243. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>
- Martínez, P. A. (2014). *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas* (tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España.

- Medina, S. D. (2016). *Evaluación del pasto alemán (Echinochloa polystachya) y lenteja de agua (Lemna minor) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Chicaña, Ecuador.
- Méndez, D. C. (2017). *Evaluación del impacto ambiental provocado por el proceso de producción de Frutilla (Fragaria Dióica) en la comunidad de Inti Huaycopungo, Parroquia González Suárez, Provincia de Imbabura* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Mentaberry, A. E. (2011). *Fitorremediación*. Recuperado de: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM\\_fitorremediacion\\_argentina\\_25620.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf)
- Merck. (2014). *Analytical Test Kits*. Nueva Jersey, EU: Merck Millipore. Recuperado de [http://www.merckmillipore.com/INTL/en/products/analytics-sample-prep/test-kits-and-photometric-methods/.gSb.qB.srcAAAE\\_Of53.Lxi,nav?RedirectedFrom=http://www.analytical-test-kits.com/](http://www.merckmillipore.com/INTL/en/products/analytics-sample-prep/test-kits-and-photometric-methods/.gSb.qB.srcAAAE_Of53.Lxi,nav?RedirectedFrom=http://www.analytical-test-kits.com/)
- Microbiology 3M. (2008). *Placas Petrifilm™ para el Recuento de E. coli/Coliformes*. Recuperado de <https://multimedia.3m.com/mws/media/444950O/3m-petrfilm-e-coli-coliform-count-plate-interpretation-guide-spanish.pdf>
- Ministerio de Educación. (2014). *Experiencias Educativas Exitosas en Colegios que ofrecen Bachillerato Técnico*. Recuperado de: [https://ecuador.vvob.org/sites/ecuador/files/experiencias\\_exitosas\\_educacion\\_tecnica\\_octubre\\_2014.compressed.pdf](https://ecuador.vvob.org/sites/ecuador/files/experiencias_exitosas_educacion_tecnica_octubre_2014.compressed.pdf)
- Muench, E. M. (2011). *Revisión técnica de humedales artificiales*. Recuperado de: <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Revision-T--cnica-de-Humedales-Artificiales.pdf>.
- Muñoz, V. A. (2013). *Ventajas y desventajas de la fitorremediación*. Sevilla, España: Planeta. Recuperado de: <http://colaboraonambien.blogspot.com/2013/03/ventajas-y-desventajas-de-la.html>

- N y F de Colombia. (2017). *Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Kelonia. Recuperado de: <https://www.nyfdecolombia.com/plantas/tratamiento-de-aguas-residuales>
- Noguez, I., y López, A. (2017). Uso de leguminosas (Fabaceae) en fitorremediación. *Agro Productividad*, 9 (2), 57 – 62. Recuperado de: [http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD\\_IV\\_2017.pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD_IV_2017.pdf)
- Núñez, F. R. (2017). *Evaluación de humedales construidos en régimen de policultivo y monocultivo de plantas ornamentales para la depuración de aguas servidas* (tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Ocampo, L. A. (2015). *Identificación, caracterización, zonificación y plan de manejo del humedal laguna el silencio – municipio de mariquita - departamento del Tolima*. Recuperado de: [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/humedales/Mariquita/HUMEDAL\\_EL\\_SILENCIO.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/humedales/Mariquita/HUMEDAL_EL_SILENCIO.pdf)
- Osorio, P., y Peña, D. (2014). *Determinación de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>
- Palta, G., y Morales, S. (2014). Fitodepuración de aguas residuales domésticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximun* en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología Agroindustrial*, 11(2), 57 – 65. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a07.pdf>
- Paredes, J. L. (2015). *Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia rassipes "Jacinto de agua"* (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Lima, Perú.
- Peña, M., Ducci, J., y Zamora, V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*. Recuperado de: [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_en\\_Mexico2013.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/Tratamiento_de_aguas_residuales_en_Mexico2013.pdf)
- Pérez, E. C. (2010). *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango* (tesis de posgrado). Universidad Tecmilenio, Chihuahua, México.

- Pozo, H. A. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Recuperado de: [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Proaño, M. A. (2016). *Evaluación de las necesidades ambientales en situaciones post-desastre*. Recuperado de: [https://postconflict.unep.ch/publications/UNEP\\_PDNA\\_draft\\_SP.pdf](https://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_PDNA_draft_SP.pdf)
- Quimbita, M. A. (2015). *Respuesta del cultivo de cala (*Zantedeschia sp*) a la aplicación foliar complementaria con tres abonos de frutas a tres dosis* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Quinteros, F., Pueblas, Y., y Rodríguez, S. (2017). La fitorremediación para el tratamiento de aguas de piscinas. *Scielo*, 38 (3), 1 – 8. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382017000300009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000300009)
- Ramírez, A., Delgadillo, E., Prieto, F., y Villagómez, J. (2016). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14 (2), pp. 6 – 15.
- Restrepo, I. O. (2007). *Avance en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Rhoades, R. A. (2016). *Desarrollo con identidad: Comunidad, Cultura y Sustentabilidad en los Andes*. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=Wk8KVRcuBEwC&printsec=frontcover&dq=Desarrollo+con+identidad:+Comunidad,+Cultura+y+Sustentabilidad+en+los+Andes&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj1w8-dl\\_aAhXjdd8KHT2JCvEQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Wk8KVRcuBEwC&printsec=frontcover&dq=Desarrollo+con+identidad:+Comunidad,+Cultura+y+Sustentabilidad+en+los+Andes&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj1w8-dl_aAhXjdd8KHT2JCvEQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false)
- Rigola, M. C. (2015). Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. *Gestión Ambiental*. 5 (40), 137 – 154.
- Rodríguez, L. C. (2014). *Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Roldán, G., y Ramírez, J. (2016). Fundamentos de limnología neotropical. *Letras Verdes*. 3 (1), 15 – 23.

- Rueda, J. A. (2018). *Tratamiento de aguas residuales en piscinas biodigestoras*. Recuperado de: <https://www.eae-publishing.com/catalog/details//store/es/book/978-620-2-15725-4/tratamiento-de-aguas-residuales-en-piscinas-biodigestoras>
- Ruiz, H. A. (2014). *Prácticas de análisis físicoquímicos de laboratorio para control de procesos*. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloIII/4Practicadeanalisisfisicoquimicosdelaboratorio.pdf>
- Sacca, I. A. (2011). Especies Acuáticas y de Humedal. *Enciclopedia Moderna* [versión electrónica]. Barcelona, España: Enciclopedia Europea Inc, [https://books.google.com.ec/books?id=LcYYW-WMNgAC&pg=PA13&dq=enciclopedia+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjmlICwm-\\_aAhVE2FMKHW6AChAQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=LcYYW-WMNgAC&pg=PA13&dq=enciclopedia+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjmlICwm-_aAhVE2FMKHW6AChAQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false)
- Salas, G., Romero, O., Navarro, V., y Ponce, J. (2014). Lenteja de agua, una opción en dietas para tilapia roja. *AquaTIC*, 3(38), 85 – 93. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Jesus\\_T\\_Ponce-Palafx/publication/260892775\\_Lenteja\\_de\\_agua\\_una\\_opcion\\_en\\_dietas\\_para\\_tilapia\\_roja/links/02e7e5360fbd034af5000000/Lenteja-de-agua-una-opcion-en-dietas-para-tilapia-roja.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus_T_Ponce-Palafx/publication/260892775_Lenteja_de_agua_una_opcion_en_dietas_para_tilapia_roja/links/02e7e5360fbd034af5000000/Lenteja-de-agua-una-opcion-en-dietas-para-tilapia-roja.pdf)
- Salas, J. J. (2013). *Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales*. Monterrey, México: Iagua. Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>
- SEMARNAT. (2019). *Agua de calidad*. Monterrey, México: Kamite. Recuperado de: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_resumen14/06\\_agua/6\\_2\\_3.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_3.html)
- Serna, J. J. (2009). Diseño de una guía para el manejo postcosecha de calas (*Zantedeschia aethiopica*) orientada a fortalecer sus condiciones de negocio. *RRCAL*, 3(5), 183 – 193. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/service/redalyc/downloadPdf/4137/413741361013/6>.


- Sette, R. A. (2014). Tratamiento de aguas residuales. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&dq=tratamiento+de+aguas+residuales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi5g\\_2mne\\_aAhVoh-AKHXAQAwsQ6AEIJTAA#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&dq=tratamiento+de+aguas+residuales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi5g_2mne_aAhVoh-AKHXAQAwsQ6AEIJTAA#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=false)
- Sierra, R. A. (2016). *Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Monterrey, México.
- Tapia, L. S. (2015). *Acuerdo Ministerial 097A*. Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Tina, L., y Guzmán, S. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*. Recuperado de: [https://periagua.webmo.info/img\\_auth.php/7/7f/Guia\\_para\\_la\\_toma\\_de\\_muestra\\_de\\_agua\\_residual.pdf](https://periagua.webmo.info/img_auth.php/7/7f/Guia_para_la_toma_de_muestra_de_agua_residual.pdf)
- Torres, E., y Rivanedeira, F. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea* (tesis de pregrado). Escuela politécnica del ejército, Quito, Ecuador.
- Trejo, B., Torres, N., y Téllez, L. (2014). Caracterización de los productores de alcatraz blanco en La Perla. *Remexca*, 3(9), 179 – 192. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263137781022.pdf>
- Universidad Javeriana de Bogotá. (2008). *Instructivo de uso de Conductímetros y Turbidímetros*. Recuperado de: <https://www.javeriana.edu.co/documents/17504/4327976/Instituto+de+Errores+Innatos+del+Metabolismo+-+Instructivo+Manejo+del+medidor+pH+HI++8521+Hana/2ef0a37b-8682-4576-b2da-ee6e29827d70?version=1.1>
- Universidad Javeriana de Bogotá. (2008). *Instructivo de uso de Potenciómetros*. Recuperado de: <https://www.javeriana.edu.co/documents/17504/4327976/Instituto+de+Errores+Inn>

atos+del+Metabolismo+-  
+Instructivo+Manejo+del+medidor+pH+HI++8521+Hana/2ef0a37b-8682-4576-  
b2da-ee6e29827d70?version=1.1

- Vargas, A., y Merchán, N. (2016). Producción de biomasa de la lenteja de agua (*Lemna minor*), fertilizada con estiércol de ovinos. *La Sallista*, 14(3), 84 – 86. Recuperado de: <http://www.bioline.org.br/pdf?la06014>
- Velázquez, M., Moreno, A., y Aguirre, F. (2018). Estrategias educativas para abordar lo ambiental, experiencias en escuelas de educación básica en Chiapas. *Scielo*, 18(76), 1 – 12. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-26732018000100013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732018000100013)
- Véles, A., y Carillo, R. (2017). Fitorremediación asistida con enmiendas y fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos. *Agro Productividad*, 9 (3), 15 – 20. Recuperado de: [http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD\\_IV\\_2017.pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD_IV_2017.pdf)
- Vergara, D. A. (2015). Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia. *Activa*, 7(1), 99 – 107.
- Veto M. R. (2012). *Medidor de Oxígeno Disuelto*. Recuperado de: [https://www.veto.cl/components/com\\_virtuemart/files/manuales/espanol/L0222948.pdf](https://www.veto.cl/components/com_virtuemart/files/manuales/espanol/L0222948.pdf)
- Villagrana, R. A. (2016). *Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial* (tesis de pregrado). Universidad de Monterrey, Monterrey, México.
- Waterplas S.L. (2014). *Tratamiento de aguas residuales*. Madrid, España: Reverté. Recuperado de: <http://www.waterplas.com/aguas-residuales.php>

## 10. ANEXOS

### Anexo I. Formato de encuestas del proceso de socialización.



**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**

**ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES  
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD**

**PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos investigación, por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias:

<b>FECHA</b>	26 de Julio del 2019		
<b>EXPOSITOR</b>	Henry Patricio Paredes Pinto		
<b>LUGAR</b>	<b>DENTRO PUCESI</b>	<b>FUERA PUCESI</b>	X


**NOTA IMPORTANTE:** Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:

5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO

DETALLE DE VALORACIÓN	1	2	3	4	5
<b>ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN:</b>					
1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?					✓
2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?					✓
<b>EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR:</b>					
3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?					✓
4. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?					✓
5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?					✓
<b>MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN:</b>					
6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?					✓
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?				✓	
8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o Institución?					✓
9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?					✓
<b>REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO</b>					
<i>Excelente Trabajo de Investigación. El beneficio que presto a la U.E. Sarance es inmejorable por ser un colegio técnico agropecuario la producción se veía afectada, y la implementación de la piscicultura nos tiene un área de riesgo de mejor calidad.</i>					
<b>MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD</b>					
<i>- Mejoramiento de la calidad del suelo en los terrenos de la unidad -</i>					
<i>- Manejo correcto de pesticidas en los cultivos que se desarrollan en la unidad.</i>					
<b>INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO</b>					<i>Unidad Educativa "Sarance".</i>

Elaborado por: Autor

**Anexo II.** Listado de asistencia a la socialización del trabajo de investigación.

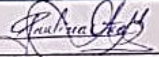


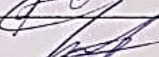




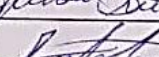
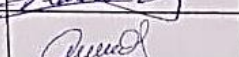

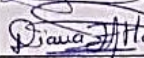

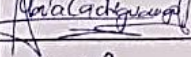
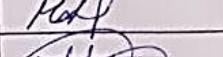





**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**

**ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**  
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

**LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

**NOMBRE DEL EXPOSITOR:** Henry Patricio Paredes Pinto  
**CARRERA:** Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo  
**FECHA:** 26 de Julio del 2019

NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCION A LA QUE REPRESENTA	FIRMA
Paulina Quevedo	1001203122	UES	
Alexandra Jiménez	1002709002	U.E. "Sarance"	
Anita Guerra	1002207973	U.E. "Sarance"	
Juan Ruiz	100228866-8	U.E. Sarance	
Andrés Yáñez	100371565-1	U.E. "Sarance"	
Hubia Guerra	1001425345	U.E. "Sarance"	
VERÓNICA ROTTIS	100281690-0	UE "SARANCE"	
Gabriela Morillo	100369363-5	U.E. "Sarance"	
MEQUEL LOZADA	170592602-8	UE "SARANCE"	
Andrés Bernaldo	100297411-7	UE "Sarance"	
Marcelo Muñoz	1003697396	UE "Sarance"	
Evelyn Ortiz	172107037-1	UE "Sarance"	
Mara Vasquez	1002082637	U.E. Sarance	
Diana Halte	1003332812	UE Sarance	
Roberto Herrera	1001772017	UE Sarance	
Maria Cachiguango	1002196507	UE Sarance	
Rubén del Toro	175754447-1	PUCE. SI	
Flor Vaca	100258797-8	UE Sarance	

Elaborado por: Autor



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES  
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

NOMBRE DEL EXPOSITOR: Henry Patricio Paredes Pinto


CARRERA: Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

FECHA: 26 de Julio del 2019

NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCION A LA QUE REPRESENTA	FIRMA
Francelma Hidalgo	1002413803	"SARANCA"	[Firma]
Paola Lema Ordoñez	1002487693	"Sarance"	[Firma]
Carmita Herrera	1001260673	"Sarance"	[Firma]
Lucía Alemán	100211738-8	"Sarance"	[Firma]
Amanda Caceres	100314358-1	"Sarance"	[Firma]
Washington Echeverría	100120325-4	"Sarance"	[Firma]
LIVIA FLORA	1002072153	"SARANCA"	[Firma]
Belen Franco	1002461323	"Sarance"	[Firma]
Violeta Guerra	100205192-6	"Sarance"	[Firma]
Ruby Pavón S.	100204900-3	U.E. "Sarance"	[Firma]
Rocio Almeida	100147105-9	U.E. "Sarance"	[Firma]
Soraya Aceldo	100197671-9	U.E. "Sarance"	[Firma]
ESTUARDO SANDOVAL	1001128089	U.E. SARANCE	[Firma]

Elaborado por: Autor

**Anexo III. Permisos de autorización para realizar el trabajo de investigación en la Unidad Educativa "Sarance".**

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
Sede Ibarra

Ibarra, 18 de septiembre de 2018  
Oficio N° 357 DIR - ECAA

Magister.  
Luis Inuca  
**RECTOR DE LA UNIDAD EDUCATIVA "SARANCE"**  
Presente. -

De mi consideración,

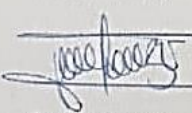
Reciba un atento y cordial saludo, a la vez deseándole el mayor de los éxitos en las funciones a usted encomendadas, en beneficio de la institución.

Me permito solicitar a usted por medio del presente, su autorización con el fin de que el señor Henry Patricio Paredes Pinto con C.I. 1004104210 estudiante de la carrera de Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, para que realice su trabajo de titulación (investigación) en la Unidad Educativa "SARANCE" de la ciudad de Otavalo, con el tema "Fitorremediación con *lemna minor* y *zantedeschia aethiopica* en piscinas biodigestoras para mejorar la calidad de agua del Río Jatun Yaku del cantón Otavalo"; al mismo tiempo que se beneficiará a los diferentes proyectos agrícolas y pecuarios que genera actualmente la Unidad Educativa SARANCE, para producción permanente.



La piscina biodigestora tendrá una dimensión de 20 metros de largo, 1,50 metros de ancho y 1,00 metro de profundidad; la piscina estará recubierta con plástico negro calibre 10. El desarrollo de la investigación estará bajo el acompañamiento de docente Ph.D. Rubén Del Toro en calidad de Director del trabajo de titulación.


En espera de que esta petición sea atendida favorablemente, reitero mi debido agradecimiento.

Atentamente,

  
Yadira Ordóñez, Ph.D.  
**DIRECTORA DE LA ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**

**Para confirmación:**  
yfordoniez@pucesi.edu.ec  
hpparedes@pucesi.edu.ec  
Cell: 0990565047

  
  
U. EDUCAT. "SARANCE"  
M.Sc. **Luis Inuca**  
RECTOR  
FECHA: 18-09-2018

  
Recibido  
19-09-2018  
Unidad Educativa  
"SARANCE"  
SECRETARÍA

Av. Jorge Guzmán Rueda y Av. Aurelio  
Florencia Díaz Calle 11 - Ibarra

Elaborado por: Autor



# UNIDAD EDUCATIVA "SARANCE"

Otavalo - Ecuador  
Resolución Nro. 233 DP-CEZ-1-2014  
Teléfono: (06) 2926109 / 2926366

Oficio N.- 129 -R.  
Otavalo, 2018 -09-24

Ph. D.  
Yadira Ordoñez  
DIRECTORA DE LA ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS Y AMBIENTALES  
Presente.

De mis consideraciones:

En atención a comunicación N.- 357-DIR – ECAA, de fecha 18 de septiembre del presente año, en la que me solicita la autorización con el fin de que el señor Henry Patricio Paredes Pinto con C.I. 1004104210 estudiante de la carrera de Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, realice su trabajo de titulación con el tema Fitorremediación con lezna minor zantedeschia aethiopia en piscinas biodigestoras para mejorar la calidad de agua del Rio Jatun Yaku, en la Unidad Educativa Sarance perteneciente al Cantón Otavalo, al respecto me permito informar que la Investigación servirá para proveer de agua de mejor calidad a los Emprendimientos Productivos razón por la cual cuenta con la respectiva autorización.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente

Msc. Luis Inuca Lechón  
RECTOR LA UNIDAD SARANCE

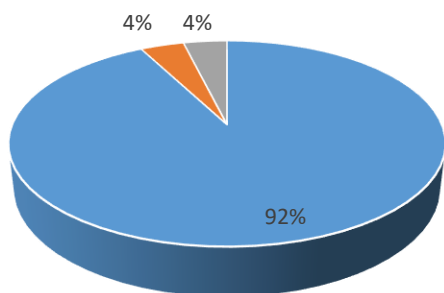
c.c. archivo



Unidad Educativa  
"SARANCE"  
RECTORADO

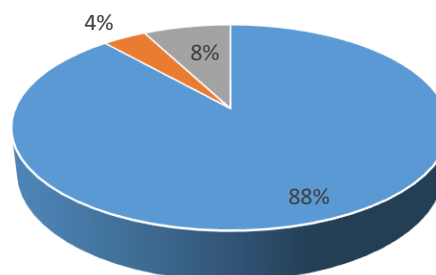
**Anexo IV.** Tabulación de las encuestas del proceso de socialización.

¿La investigación presenta relevancia para algún actor o para la sociedad?



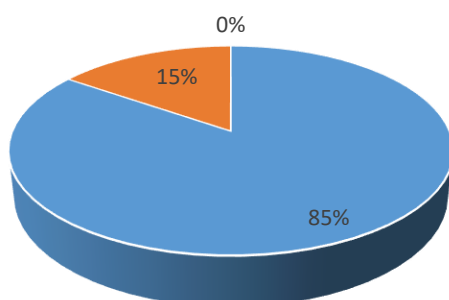
■ Muy alto ■ Alto ■ Medio

¿La investigación presenta perspectivas para estudios complementarios posteriores?



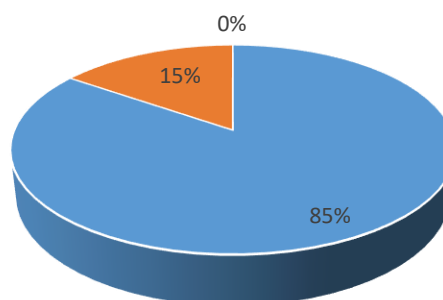
■ Muy alto ■ Alto ■ Medio

¿La investigación genera en la actualidad o a futuro beneficio en las entidades?



■ Muy alto ■ Alto ■ Medio

¿Los objetivos planteados en la investigación se cumplieron?



■ Muy alto ■ Alto ■ Medio

**Elaborado por:** Autor

**Anexo V.** Registro fotográfico de toda la investigación.

**a.** Toma de muestras de las aguas residuales.



**Elaborado por:** Autor

**b.** Análisis in situ de las aguas residuales.



**Elaborado por:** Autor

c. Caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales.



Elaborado por: Autor

d. Medición del caudal.



Elaborado por: Autor

- e. Elaboración de la fosa para la construcción de la piscina biodigestora y elaboración del desvío permanente.



Elaborado por: Autor

- f. Construcción del canal de derivación (Puerta de Entrada).



Elaborado por: Autor

**g. Construcción de la compuerta de salida (Puerta de Salida).**



**Elaborado por:** Autor

**h. Colocación de la geomembrana en toda la piscina.**



**Elaborado por:** Autor

i. Elaboración del desarenador.



Elaborado por: Autor

j. Colocación de cascajo en el canal de agua.



Elaborado por: Autor

k. Colocación de los doce montículos de cascajo.



Elaborado por: Autor

l. Plantación de los cartuchos (*Zantedeschia aethiopica*).



Elaborado por: Autor

**m.** Colocación de las mallas en la mitad y en el inicio de la piscina biodigestora.



**Elaborado por:** Autor

**n.** Colocación de la lenteja de agua (*Lemna minor*).



**Elaborado por:** Autor

**o.** Herramientas utilizadas para la cosecha de la biomasa de las plantas.



**Elaborado por:** Autor

**p.** Cosecha de la biomasa de los cartuchos.



**Elaborado por:** Autor

q. Cosecha de la biomasa de la lenteja de agua.



Elaborado por: Autor

r. Toma de muestras de las aguas tratadas.



Elaborado por: Autor

s. Análisis in situ de las aguas tratadas.



Elaborado por: Autor

t. Caracterización física, química y microbiológica de las aguas tratadas.



Elaborado por: Autor

ii. Cartuchos en etapa de floración.



Elaborado por: Autor

v. Lenteja de agua cosechada.



Elaborado por: Autor

w. Piscina biodigestora en diferentes ángulos.



Elaborado por: Autor

x. Socialización de la investigación en la Unidad Educativa “Sarance”.



Elaborado por: Autor