

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS
TOTORA Y CARRIZO EN LA ABSORCIÓN Y REMOCIÓN DE
NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS DEL DISTRITO NAMORA – CAJAMARCA, 2020**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título
Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Bach. Chugden Romero, Narda Mirela

Bach. Verastegui Ortiz, Rocío Mardeli

Asesor: Ing. Mg. Miguel Ángel Arango Llantoy

CAJAMARCA – PERÚ

Mayo 2020

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS
TOTORA Y CARRIZO EN LA ABSORCIÓN Y REMOCIÓN DE
NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS DEL DISTRITO NAMORA – CAJAMARCA, 2020**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título
Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Bach. Chugden Romero, Narda Mirela

Bach. Verastegui Ortiz, Rocío Mardeli

Asesor: Ing. Mg. Miguel Ángel Arango Llantoy

CAJAMARCA – PERÚ

Mayo 2020

COPYRIGHT © 2020 by

CHUGDEN ROMERO, NARDA MIRELA

VERASTEGUI ORTIZ, ROCÍO MARDELI

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

***ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
PREVENCIÓN DE RIESGOS***

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS
TOTORA Y CARRIZO EN LA ABSORCIÓN Y REMOCIÓN DE
NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS DEL DISTRITO NAMORA – CAJAMARCA, 2020**

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

Dedicatoria

A:

A dios, por darme la fuerza necesaria para poder culminar esta etapa de mi carrera.

A mis padres, Clodomiro y Tereza por haberme apoyado y brindarme sus sabios consejos para tomar decisiones firmes en todas las etapas de mi vida y por el amor incondicional que me tienen.

Rocío Mardeli Verástegui Ortiz.

A:

Mi padre Mario Antonio Chugden Huatay que en paz descansa, quien tuvo como sueño verme lograr adquirir el título profesional de Ingeniero Ambiental y Prevencionista de Riesgos.

Mi madre Sonia Romero Ocas, quien siempre me brinda apoyo incondicional y no duda de mi capacidad para alcanzar mis metas.

A mi hijo Antonio Joaquín quien se ha convertido en motor y motivo para alcanzar mis objetivos y metas.

Narda Mirela Chugden Romero

Agradecimiento

A Dios por darnos la luz y la guía espiritual para culminar nuestras metas trazadas.

A nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado, y no dudar de nuestra capacidad para ser mejores personas.

A los docentes de la facultad de ingeniería ambiental y prevención de riesgos por sus enseñanzas durante mi formación profesional.

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Miguel Arango por su asesoramiento en la ejecución de este proyecto de investigación,

Narda M. Chugden Romero & Rocío M. Verástegui Ortiz.

RESUMEN

El propósito de la investigación fue determinar la eficiencia de las plantas *Scirpus californicus* (Totora) y *Phragmites Australis* (Carrizo) absorción y remoción de nutrientes en las aguas residuales domésticas mediante Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal. La investigación consistió en las siguientes etapas: recolección y análisis inicial del agua residual doméstica de la planta de tratamiento del distrito de Namora, recolección de las plantas *Scirpus californicus* (Totora) y *Phragmites Australis* (Carrizo), el diseño y construcción del humedal, análisis de post tratamiento en el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca, análisis de datos mediante la Prueba C de Dunnett para muestras relacionadas, utilizando el software (Excel), IBM SPSS y ANOVA. El análisis de los resultados demostró que existen diferencias significativas en la eficiencia de ambas plantas, para los parámetros fisicoquímicos (Turbidez, SST, SDT, NA, NT, aluminio, bario, DBO₅ y DQO) se demuestra que la *Scirpus californicus* (Totora) tiene mayor eficiencia para la absorción y remoción de nutrientes en el tratamiento de agua residual doméstica, los cuales obtuvieron eficiencias del 94.5% de Turbidez, 97.2% de SST, 95.4% NA, 95.99% NT, 98.98% Aluminio, 51.06% de Bario, 93.39% de DBO₅ y DQO, mientras que en los análisis para los parámetros microbiológicos (Coliformes totales y termotolerantes, E-Coli) se demuestra que *Phragmites Australis* (Carrizo) tiene mayor capacidad depuradora; es decir, tiene mayor eficiencia con el 92% C-de Total, 95% de C-Term y 95.2% de E-Coli.

Concluimos, que existe eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos al pasar por el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, demostrando que las obtenciones

finales del agua se encuentran dentro de lo establecido por el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y la modificatoria el Decreto Supremo N° 05-2015-MINAM, indicando que el agua residual doméstica es apta para el uso de regadío.

Palabras Claves:

Humedales Artificiales, Plantas Totora y Carrizo, Agua residual Doméstica.

SUMMARY

The purpose of the research was to determine the efficiency of the plants *Scirpus californicus* (Totora) and *Phragmites Australis* (Carrizo) absorption and removal of nutrients in domestic wastewater by Horizontal Subsurface Flow Artificial Wetlands. The research consisted of the following stages: collection and initial analysis of domestic wastewater from the Namora district treatment plant, collection of *Scirpus californicus* (Totora) and *Phragmites Australis* (Carrizo) plants, design and construction of the wetland, analysis of post-treatment in the Regional Water Laboratory - Cajamarca, data analysis by Dunnett's C Test for related samples, using the software (Excel), IBM SPS and ANOVA. The analysis of the results showed that there are significant differences in the efficiency of both plants, for the physicochemical parameters (Turbidity, STT, NA, NT, aluminum, barium, BOD5 and COD5) it is shown that *Scirpus californicus* (Totora) has higher efficiency for the absorption and removal of nutrients in the treatment of domestic wastewater, which obtained efficiencies of 94.5% Turbidity, 97.2% SST, 95.4% NA, 95.99% NT, 98.98% aluminum, 51.06% barium, 93.39% of BOD5 and COD5, while in the analyzes for the microbiological parameters (total and thermotolerant coliforms, E-Coli) it is shown that *Phragmites Australis* (Carrizo) has a greater purifying capacity; that is, it is more efficient with 92% C-de Total, 95% C-Term and 95.2% E-Coli.

We conclude that there is efficiency of removal of the physical-chemical and microbiological parameters when passing through the treatment system by means of horizontal subsurface flow artificial wetlands, showing that the final obtaining of the water is within the established by Supreme Decree No. 002 -2008-MINAM and the amendment to Supreme Decree No. 05-2015-MINAM, indicating that domestic wastewater is suitable for irrigation use.

Keywords:

Artificial Wetlands, Totora and Carrizo Plants, Domestic Wastewater.

INDICE

Dedicatoria	5
Agradecimiento	6
RESUMEN.....	7
Palabras Claves:	8
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Planteamiento del problema de investigación.....	17
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Justificación de la investigación.....	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo General	18
1.4.2. Objetivos Específicos	18
1.5. Hipótesis.....	19
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1. Teorías que sustentan la investigación.....	19
2.1.1. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones	19
2.1.2. Biorremediación con plantas acuáticas: fitorremediación de aguas residuales.....	20
2.1.3. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación	20
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Sistemas Naturales de Depuración	22
2.2.2. Humedales Construidos.....	23
2.2.3. Humedales Artificiales	24
2.2.4. Clasificación de Humedales Artificiales	26
2.2.4.1. Según régimen hidráulico	27
2.2.5. Ventajas y Desventajas del humedal artificial.....	30
2.2.6. Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HHAA FS).....	31
2.2.6.1. Humedales de Flujo Superficial dominados por macrófitas emergentes. 33	
2.2.6.2. Humedales de Flujo Superficial dominados por macrófitas sumergidas. 34	
2.2.6.3. Humedales de Flujo Superficial dominados por macrófitas flotantes .35	
2.2.7. Humedales de Flujo Subsuperficial (HA FSS).....	35
2.2.7.1. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal (HHAA FSSH) 37	

2.2.7.2.	Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical (HA FSSV)	40
2.2.7.3.	Partes de los Humedales de Flujo Subsuperficial	42
2.2.7.4.	Diseño de Humedales Subsuperficiales de flujo Horizontal	45
2.2.7.5.	Diseño de Humedales Subsuperficiales de flujo Vertical.....	49
2.2.8.	La totora planta Fito depuradora (<i>Scirpus californicus</i>).....	52
2.2.8.1.	Características generales:.....	52
2.2.8.2.	Características morfológicas.....	53
2.2.8.3.	Capacidad depuradora de la totora.....	55
2.2.8.4.	Adaptación de la totora	56
2.2.8.5.	Variables que intervienen en el establecimiento de plantaciones de totora.	57
A.	La comunidad vegetal.	57
B.	El Substrato.	58
C.	La calidad y el nivel del agua.....	59
D.	Período y época de plantación.	60
E.	Disponibilidad de recursos.....	60
F.	Nivel de biomasa verde que se desea obtener.....	61
2.2.9.	Carrizo (<i>Phragmites australis</i>).....	61
2.2.10.	Taxonomía de las especies vegetales seleccionadas.....	64
2.2.11.	Aforo del caudal.....	65
2.3.	Discusión teórica.....	67
2.4.	Definición de términos básicos	67
2.4.1.	Absorción:	67
2.4.2.	Adsorción:	68
2.4.3.	Agua Residuales:	68
2.4.4.	Aguas Residuales Domésticas:.....	68
2.4.5.	Bioacumulación:.....	68
2.4.6.	Coliformes:	68
2.4.7.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):.....	68
2.4.8.	Demanda química de oxígeno (DQO):.....	69
2.4.9.	Degradación:	69
2.4.10.	Depuración:.....	69
2.4.11.	ECA:	69
2.4.12.	Efluente:.....	69

2.4.13.	Fitorremediación:.....	69
2.4.14.	Hídrico:	69
2.4.15.	LMP:.....	69
2.4.16.	Micrófitos:	69
2.4.17.	Nitrificación:.....	70
2.4.18.	Pre tratadas:.....	70
2.4.19.	Sostenible:.....	70
2.4.20.	Solidos totales:.....	70
2.4.21.	Vertimiento:.....	70
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	71
3.1.	Tipo de la investigación	71
3.1.1.	Investigación Aplicativa.....	71
3.2.	Diseño de la Investigación	71
3.3.	Área de Investigación.....	71
3.4.	Unidad de análisis, universo y muestra.....	73
3.4.1.	La unidad de análisis: Agua residual domestica de la población del distrito de Namora, provincia de Cajamarca.....	73
3.4.2.	Universo: Agua residual proveniente de los domicilios del distrito de Namora	73
3.4.3.	Muestra:.....	73
3.5.	Operacionalización de las variables	73
3.6.	Métodos de investigación.....	75
3.6.1.	Escenario de la investigación	75
3.6.2.	Metodología del cultivo.....	75
3.6.3.	Volumen del caudal.....	76
3.6.4.	Muestreo y análisis de los parámetros pre tratamiento	77
3.6.5.	Diseño y construcción del humedal.....	79
3.6.6.	Elección de las plantas acuáticas	83
3.7.	Técnicas de Investigación	84
3.7.1.	Procedimientos de Comprobación de la validez y confiabilidad de los instrumentos.....	84
3.8.	Técnicas de análisis de datos (estadísticas).....	84
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141

5.1. CONCLUSIONES	141
5.2. RECOMENDACIONES	145
BIBLIOGRAFÍA	147
ANEXOS	151
ANEXO A.....	151
Trasplantar las plantas, <i>Phragmites Australis</i> (carrizo) del Distrito de Namora y <i>Scirpus californicus</i> (Totora) del distrito de baños del Inca	151
ANEXO B.....	152
Recolección del agua residual domestica del distrito de Namora.....	152
ANEXO C.....	153
Construcción de planta piloto de planta piloto para el tratamiento de agua residual domestica.....	153
ANEXO D.....	154
Toma de muestra del agua residual tratada con las plantas Totora y Carrizo.....	154
ANEXO E.....	155
Informe de ensayo del agua residual doméstica en estado actual para su caracterización.....	155
ANEXO F.....	159
Informe de ensayo del agua residual domesticas tratada después de diseñar la planta de tratamiento.....	159

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas Residuales	22
Tabla 2: Ventajas y desventajas para humedales artificiales	30
Tabla 3: Recomendaciones para humedales artificiales.....	31
Tabla 4: Características principales de los substratos	48
Tabla 5: Capacidad depuradora de humedales con totora	55
Tabla 6: Taxonomía de <i>Scirpus californicus</i> (<i>Totora</i>)	64
Tabla 7: Taxonomía de <i>Phragmites australis</i> (<i>Carrizo</i>)	64
Tabla 8: Operacionalización de Variables	74
Tabla 9: Se muestran los tratamientos estudiados.....	86
Tabla 10: Se muestran los estadísticos descriptivos para cada variable del análisis fisicoquímico.....	86
Tabla 11: Pruebas multivariante	87
Tabla 12: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a	87
Tabla 13: Pruebas univariadas	89

Tabla 14: Comparaciones por parejas	90
Tabla 15: Estadísticos descriptivos	97
Tabla 16: Pruebas multivariante.....	98
Tabla 17: Pruebas univariadas	99
Tabla 18: Comparaciones por parejas	100
Tabla 19: Factores inter-sujetos	107
Tabla 20: Estadísticos descriptivos	107
Tabla 21: Pruebas multivariante.....	110
Tabla 22: Pruebas univariadas	111
Tabla 23: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a	113
Tabla 24: Comparaciones por parejas	114
Tabla 25: Factores inter-sujetos	130
Tabla 26: Factores inter-sujetos	131
Tabla 27: Pruebas multivariante.....	132
Tabla 28: Pruebas univariadas	132
Tabla 29: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a	133
Tabla 30: Comparaciones por parejas	134
Tabla 31: Estadística de grupo	139
Tabla 32: Prueba de muestras independientes.....	140

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de humedales construidos; A, con flujo superficial, y B, con flujo.	24
Figura 2: Clasificación de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales según el tipo de flujo hidráulico.....	28
Figura 3: Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas	29
Figura 4: Humedales Artificiales de Flujo Superficial HHAA FS	32
Figura 5: Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal HHAA FSSH	38
Figura 6: Corte transversal de un humedal artificial de flujo vertical	41
Figura 7: Plantas helófitas en medio acuático	52
Figura 8: <i>Phragmites australis (Carrizo)</i>	63
Figura 9: Ubicación del distrito de Namora, Cajamarca	72
Figura 10: Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas	
Fuente: Elaborada por los autores	72
Figura 11: Puntos de monitoreo.....	80

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

A nivel global se han desarrollado distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales para solucionar los problemas asociados a descargas no tratadas. Sin embargo, existe limitada información acerca del funcionamiento, operatividad y mantenimiento de dichos sistemas, impidiendo que muchas ciudades puedan acceder a la información y a las experiencias exitosas sobre tratamiento de aguas residuales para ciudades con poblaciones menos de 5,000 a 10,000 personas. Esta situación conduce a la implementación de sistemas inoperantes y al abandono de los existentes por parte de la comunidad. (VILLEGAS, M. & VIDAL, E, 2009)

De acuerdo a un estudio sobre la situación actual y perspectivas en el sector agua y saneamiento en el Perú, presentado por la Autoridad Nacional de Agua ANA, 7 millones de habitantes de nuestro país no tienen acceso a agua potable segura; el nivel de cobertura de agua potable en un nivel mayor al 80%, es solo en los Departamentos (hoy Gobiernos Regionales) de: Lambayeque, Lima, Callao, Ica, Arequipa y Tacna; la cobertura en menor al 40% en Amazonas, Huánuco, Huancavelica y Puno; el agua no facturada es de aproximadamente el 40%; más de 10 millones de habitantes no tiene servicios de saneamiento; la cobertura de saneamiento mayor al 80% es solo en Lambayeque, Lima y Tacna, la cobertura de saneamiento del 20% al 40% es en Loreto, Ucayali y Madre de Dios. (AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA (ANA), Marzo, 2013)

El actual sistema de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca, tiene una utilización de lagunas de estabilización que, en funciones normales, generan reducción de patógenos en las aguas negras y grises. El

problema reside en que las aguas residuales domesticas no son tratadas debido a la ineficiente gestión, afectando así a la población. Actualmente el tratamiento de aguas residuales es nulo, pues la planta de tratamiento existente, constituida por un sistema de lagunas de estabilización, está paralizada. (EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS SEDACAJ.S.A, (EPS, SEDACAJ), 2012 - 2013)

Sumando a todo esto el malestar social generado por la inutilidad de las lagunas, que además de generar malos olores, no suplen a todo el caudal de agua proveniente de la ciudad, desviando estas aguas a parte bajas de la ciudad, donde son utilizadas como riego de pastos para alimento del ganado vacuno, porcino, ovino, hortalizas, etc. Otra parte es vertida a los cuerpos de agua, como en el caso de los ríos San Lucas y Mashcon que son los más perjudicados en todos los aspectos ambientales y no reciben ningún tratamiento

El Distrito de Namora es uno de los 12 distritos de la Provincia de Cajamarca ubicada en el departamento de Cajamarca, en el norte del Perú. En la actualidad Namora aún no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, por lo cual esta investigación tiene por prioridad, tratar aguas residuales domésticas, evitando que estas mismas sean descargadas hacia sus propios ríos y suelos, alterando su calidad y generando problemas ambientales.

Es por ello que surge la preocupación de un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas en el distrito de Namora, este sistema de tratamiento es considerado como una alternativa para ser empleado en lugares que no cuenten con saneamiento o red de alcantarillado, mejorando así la calidad del efluente de la PTAR en presencia de plantas acuáticas.

1.1. Planteamiento del problema de investigación

Este problema se refiere a la inconformidad por parte de la población del distrito de Namora acerca de las pozas de oxidación actuales que se encuentran en un estado deplorable, las cuales no cumplen con su adecuada función para tratar las aguas residuales domésticas, así drenan dichas aguas sin previo tratamiento a las corrientes hídricas generando contaminación del agua, suelo y del aire. Es por ello que se propone evacuar el efluente de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica con menos porcentaje de nutrientes a los cuerpos de agua (rio, lagos, o mar) o usarlos en riego a un bajo costo.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál de las dos plantas *Scirpus californicus* (Totorá) y *Phragmites Australis* (Carrizo) tienen mayor eficiencia en la absorción y remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas?

1.3. Justificación de la investigación

El presente proyecto tiene como propósito estudiar el distinto comportamiento de las plantas acuáticas, con el fin de obtener un buen tratamiento de remoción de nutrientes, poder obtener agua que sea útil en riego de cultivos a base de tratamientos naturales, que traería como consecuencia un ahorro de agua potable.

La inmensa mayoría de estos tratamientos son complejos y pueden representar un porcentaje muy elevado de los costos totales de tratamiento. Los procesos de eliminación de nutrientes, generalmente clasificados como

de tratamiento terciario, consisten básicamente en productos químicos-biológicos, fisicoquímicos, bioquímicos, y los sistemas biológicos

La concentración de nutrientes en estas dos plantas acuáticas varía mucho con el tipo del efluente de las PTAR, el clima de la región y el tipo de macrófita.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar la eficiencia de las plantas acuáticas *Scirpus californicus* (Totorá) y *Phragmites Australis* (Carrizo) en la absorción y remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Distrito Namora – Cajamarca

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar los valores para cada variable química, fisicoquímica y microbiológica para los tratamientos de agua residual doméstica con las plantas *Scirpus californicus* (Totorá) y *Phragmites Australis* (Carrizo).
- Definir cuál de las especies *Scirpus californicus* (Totorá) y *Phragmites Australis* (Carrizo) realiza con mayor eficiencia la absorción y remoción de nutrientes de aguas residuales domésticas del distrito de Namora.
- Determinar si hay diferencia o no, del parámetro físico temperatura, en el tratamiento de agua residual doméstica con las plantas *Scirpus californicus* (Totorá) y *Phragmites Australis* (Carrizo)

1.5. Hipótesis

“La *Scirpus californicus* (Totorá) tiene mayor eficiencia en la remoción de nutrientes que el *Phragmites Australis* (Carrizo), siendo constante la temperatura con respecto a la otra planta acuática”.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Teorías que sustentan la investigación

2.1.1. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones

Según Núñez, RA; Meas, Y; Ortega, R; Olgún, EJ., (2004) El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Es un término relativamente nuevo, acuñado en 1991. Se compone de dos palabras, fito, que en griego significa planta o vegetal, y remediar (del latín remediare), que significa poner remedio al daño, o corregir o enmendar algo. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales

De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

2.1.2. Biorremediación con plantas acuáticas: fitorremediación de aguas residuales

Según Olmedo, F (2013), La Biorremediación se logra usando seres vivos capaces de metabolizar: transformar, degradar, disminuir o eliminar de un ecosistema a sus contaminantes. Sería básicamente, reproducir lo que ocurre en los suelos y cuerpos de agua en la naturaleza cuando se depuran de manera natural, sin necesidad de implementar aparatología costosa ni de efectuar grandes gastos de energía ni grandes impactos al ambiente.

Cuando se trata de recuperar un ecosistema acuático hablamos de fitorremediación. En este caso se emplean aquellas especies vegetales con la mayor capacidad de tolerar, asimilar o acumular grandes concentraciones de residuos radioactivos, orgánicos o metales pesados. Lo fantástico es que, comparándolo con un sistema estándar de depuración de agua, este sistema de Biorremediación considerado blando implica bajo consumo energético y bajo impacto ambiental.

Podemos distinguir distintos sistemas de fitorremediación entre los sistemas blandos de biodepuración. Tenemos los humedales artificiales, los filtros verdes y los lagunajes. En cada uno de ellos diferentes combinaciones de microorganismos y vegetales, son las encargadas de la “limpieza” de los cuerpos de agua.

2.1.3. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación

El aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por

lo que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos (Singh y Jain, 2003; Reichenauer y Germida, 2008).

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas.

La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Kelley et al, 2000; Miretzky et al., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen et al., 2007; Cho et al., 2008). Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin. Algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras. Por definición, estas plantas deben acumular al menos 100 $\mu\text{g/g}$ (0.01 % peso seco) de Cd y As; 1000 $\mu\text{g/g}$ (0.1 % peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10 000 $\mu\text{g/g}$ (1.0 % peso seco) de Mn (Watanabe, 1997; Reeves et al, 1999; McGrath et al, 2001; Kamal et al, 2004; Yang et al, 2004; Reeves, 2006; Padmavathiamma y Li, 2007).

Esta tecnología se hace más efectiva a través de la manipulación genética, lo que mejora la capacidad de remediación de las plantas (Cherian y Oliveira; 2005). Se han diseñado especies vegetales con una

mayor capacidad de degradación de contaminantes orgánicos o de acumulación de metales pesados.

Algunas plantas genéticamente modificadas (GM) están adaptadas específicamente para la fitorremediación de Cd, Hg o bifenilos policlorados (PCB's) (Raskin, 1996; Meagher, 2000; Pilon-Smith y Pilon 2002; Eapen et al, 2007; Macek et al, 2007).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistemas Naturales de Depuración

Los sistemas naturales son aquellos que logran la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos. En estos sistemas un buen número de procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de organismos (García Serrano, J., y Corzo Hernández, A, 2008). Los sistemas naturales pueden clasificarse en dos categorías según el tratamiento tenga lugar fundamentalmente en el terreno o en una masa de agua.

Tabla 1: Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas Residuales

SISTEMAS NATURALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Basados en la Aplicación del agua del terreno		Basados en los procesos que suceden en la masa de agua
Aplicación subsuperficial	Aplicación superficial	Humedales construidos

Zanjas y lechos filtrantes. Humedales construidos flujo subsuperficial.	Filtros verdes. Infiltración – Percolación. Filtros de arena	Sistemas con plantas flotantes.	Lagunajo natural.	flujo superficial
---	---	---------------------------------------	----------------------	----------------------

Fuente: Adaptado de García Serrano y Corzo Hernández, (2008)

2.2.2. Humedales Construidos

Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna. Los humedales construidos también se denominan humedales artificiales. (García Serrano, J., y Corzo Hernández, A, 2008, pág. 2)

Atendiendo el tipo de circulación del agua, los humedales construidos se clasifican en flujo superficial o en flujo subsuperficial (Figura 1).

En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora. En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la

lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua.

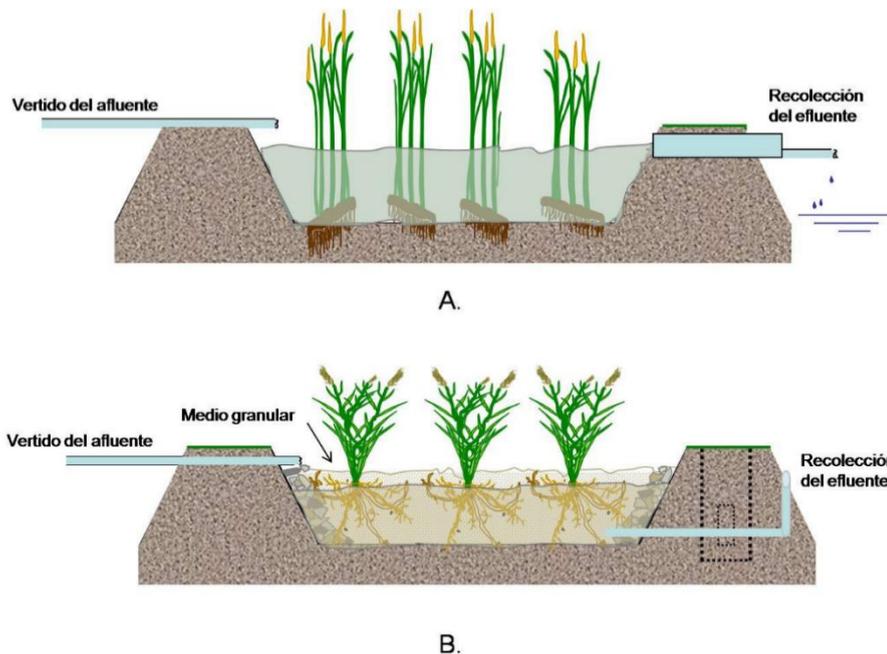
(García Serrano, J., y Corzo Hernández, A., 2008, pág. 3)

Figura 1: Tipos de humedales construidos; A, con flujo superficial, y B, con flujo.

Fuente: Adaptado de García Serrano y Corzo Hernández, (2008).

2.2.3. Humedales Artificiales

Los Humedales Artificiales (HHAA) han sido definidos como “sistemas de ingeniería, diseñados y construidos para utilizar las



funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales". (The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team ITRC, 2003)

Delgadillo, O., Pérez, L., Camacho, A. y Andrade, M., (2010) afirman que:

Los HHAA son generalmente utilizados como parte de los procesos de tratamiento descentralizado de aguas residuales, industriales o grises. Se implementan principalmente como tratamiento secundario, es decir, los efluentes siempre necesitan de un tratamiento primario, que debe ser de acuerdo a las características del afluente, antes de entrar en el lecho filtrante del Humedal Artificial.

Esta tecnología puede ser considerada como un ecosistema complejo, en el que los principales actores son (Sánchez, 2013):

- El sustrato: que sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula), que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas.
- La vegetación (macrófitas): que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que en su parte subterránea también se desarrolla la biopelícula.
- El agua a tratar: que circula a través del sustrato y de la vegetación. El carácter artificial de este tipo de sistemas de depuración viene definido por las siguientes particularidades (Salas JJ., Pidre JR. y Sánchez L., 2007)
- Construcción de una superficie de fondo impermeable para evitar infiltraciones de las aguas residuales en el suelo.
- Substitución del sustrato de tierra con un medio filtrante de gravillas y gravas para garantizar la conductividad hidráulica y minimizar el riesgo de colmatación

- Elección, por parte del proyectista, de la vegetación macrófitas que colonizará el humedal y contribuirá a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y al desarrollo de la biopelícula.

La vegetación que se emplea en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales. Se trata de plantas acuáticas emergentes como carrizos, juncos, aneas, espadañas, etc. especies anfibas que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo o bien flotando en la superficie del agua (Salas JJ *et al*, 2007)

2.2.4. Clasificación de Humedales Artificiales

Se han propuesto diversos diseños de humedales artificiales a lo largo de su desarrollo tecnológico. Las variables de diferenciación pueden hacer referencia al sistema de flujo del agua residual, sustrato o lecho utilizado, vegetación y sucesión de unidades de tratamiento. En cuanto a la dirección del movimiento del agua a través del humedal se consideran los siguientes tipos: horizontal, vertical, flujo superficial y flujo subsuperficial. En cuanto al sustrato, hay sistemas que llevan por debajo del manto de agua una capa de suelo o tierra vegetal para enraizar la vegetación, otros que en perfil emplean exclusivamente un lecho de grava y arena, y otros sistemas únicamente tienen agua. Con respecto a la vegetación, hay sistemas que contemplan el uso de plantas acuáticas flotantes, macrófitas acuáticas emergentes, sistemas mixtos de sucesión de vegetación, y sistemas de uso de macrófitas acuáticas emergentes en flotación. Por último, hay que indicar con respecto a la sucesión de unidades de tratamiento que hay una amplia gama de

diseños en función de las características de cada uno de los sub-humedales (flujo, sustrato, profundidad, pendiente, vegetación), y de cómo se configuran entre sí (serie, paralelo, recirculación). (González)

Los humedales artificiales pueden clasificarse según el tipo de flujo de agua y por el tipo de plantas macrófitas:

2.2.4.1. Según régimen hidráulico

Vymazal, J. y Kröpfelová, L., (2008) aseguran que: “los humedales pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee:”

- A. Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HHAA FS)**, si el agua circula en forma superficial entre los tallos de las macrófitas. En estos sistemas el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,5 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora.

- B. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HHAA FSS)**, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal, dentro del cual se pueden encontrar de flujo horizontal (HA FSSH) y de flujo vertical (HA FSSV). En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La

biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua (García Serrano, J., y Corzo Hernández, A, 2008)

Además, pueden existir combinaciones entre estos para formar sistemas híbridos:

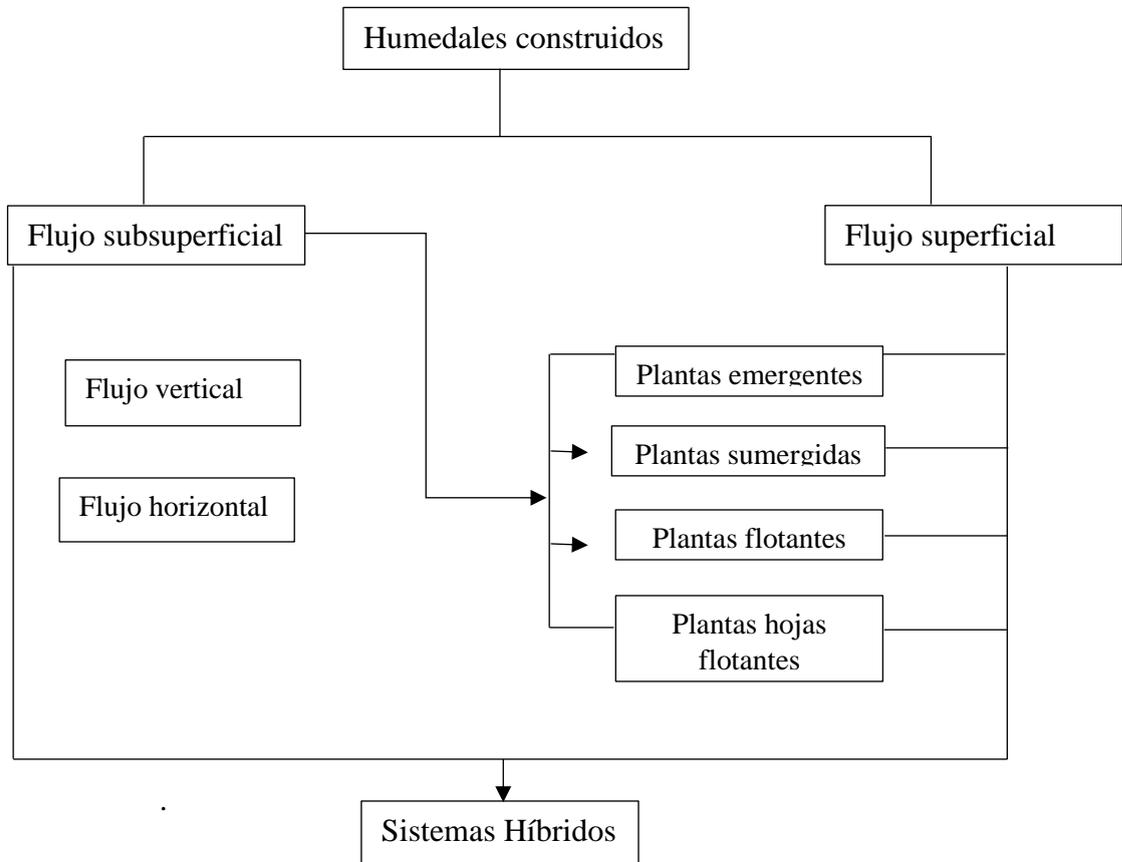


Figura 2: Clasificación de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales según el tipo de flujo hidráulico

Fuente: Adaptado de Vymazal, J. y Kröpfelová, L., (2008)

C. Según el tipo de macrófitas

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres.

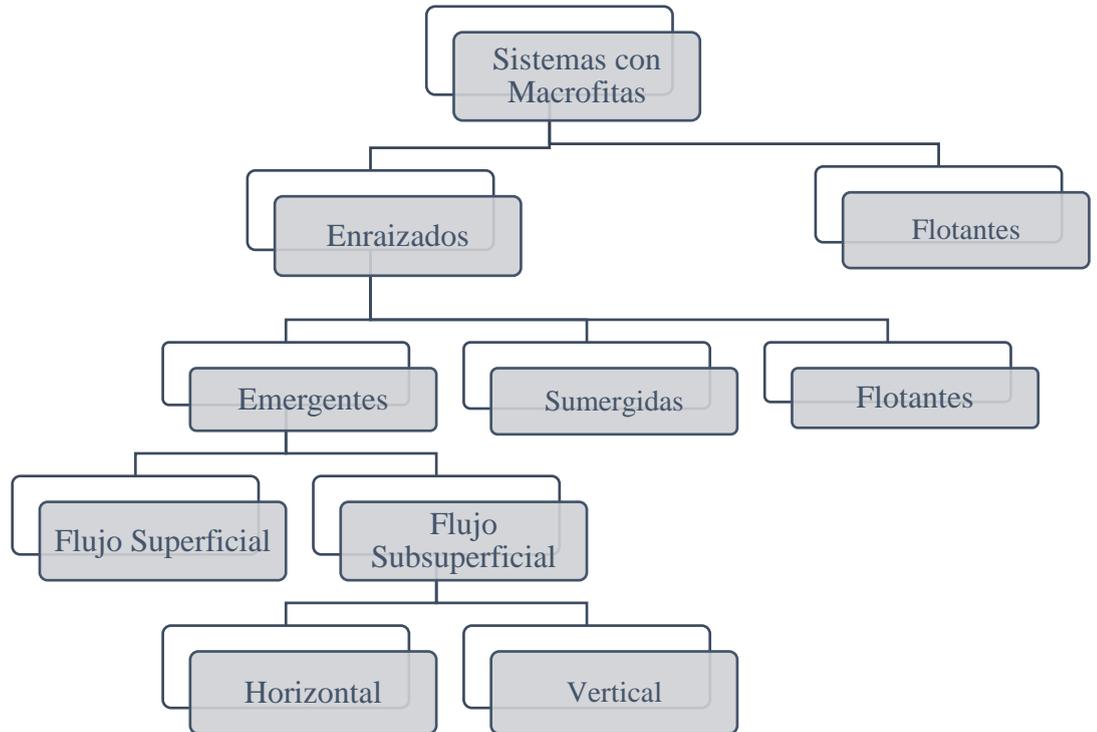


Figura 3: Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas

Fuente: Adaptado de Delgadillo et al, (2010)

Considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en (Delgadillo et al, 2010):

- Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes: principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema.

- Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas: comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.
- Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes: en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos.

Los humedales fundamentados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial

2.2.5. Ventajas y Desventajas del humedal artificial

Tabla 2: Ventajas y desventajas para humedales artificiales

Humedales Artificiales	
Ventajas	Desventajas
El sistema es muy estable en la operación y eficiente para la remoción de materia orgánica y nutrientes, condiciones que permiten disponer el efluente en ambientes naturales.	Requieren de un proceso adicional de desinfección para eliminar totalmente los organismos patógenos, sobre todo cuando se trata sólo aguas residuales.
Pueden operar sin ningún consumo energético, al carecer de equipos electromecánicos.	Puede colmatarse en poco tiempo, cuando no cuentan con sistemas de pretratamiento adecuados.
La operación es sencilla y con bajo costo.	En zonas de altitud elevada puede ocurrir que las plantas empleadas no se adapten.

	Por ello, habría que realizar estudios <i>in situ</i> con especies locales.
Perfecta integración a el medio rural y urbano, como parques y jardines.	Un débil compromiso, así como la desorganización de los usuarios, hacen que estos proyectos no tengan éxito
Generalmente no producen olores desagradables.	

Fuente: SINIA, 2008

Tabla 3: Recomendaciones para humedales artificiales

Recomendaciones para Humedales Artificiales
Este sistema de tratamiento no es estándar. Se debe diseñar de acuerdo a cada realidad urbana.
Es viable para efluentes de poblaciones pequeñas y medianas.
Si se desea implementar esta tecnología en la sierra del país, se deberá considerar especies vegetales locales y analizar la calidad del efluente para determinar su aprovechamiento.

Fuente: SINIA, 2008.

2.2.6. Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HHAA FS)

En estos sistemas el flujo de agua es de tipo horizontal superficial, agua se hace discurrir por la superficie un canal o estanque que contiene una capa de agua no muy profunda, generalmente de unos 30 cm, aunque puede llegar a ser más de 1m. Se configuran con una apariencia similar a los humedales naturales y se diseñan a modo de canales o estanques con paredes ataludadas, en donde éstas y el recubrimiento inferior son estancos (materiales impermeables), canalizaciones de entrada y salida del agua residual, estructuras o dispositivos de control del flujo, y alternancia de áreas con y sin vegetación acuática. (González)

Un humedal artificial de flujo subsuperficial (FS, subsurface flow wetlands) está diseñado específicamente para el tratamiento de algún

tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento, y está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado. El medio se planta normalmente con los mismos tipos de vegetación emergentes presentes en las praderas inundadas y, por diseño, el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio. Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada. (EPA 832-F00-024., 2000)

De acuerdo a la bibliografía antes mencionada podemos deducir que en los humedales de flujo superficial (HHAA FS) el agua fluye sobre la superficie del sustrato desde la entrada hasta la salida del flujo de agua, y la vegetación se desarrolla en condiciones de inundación total o parcial, con profundidades de agua inferiores a los 60 cm (generalmente en el rango de los 30 a 50 cm).

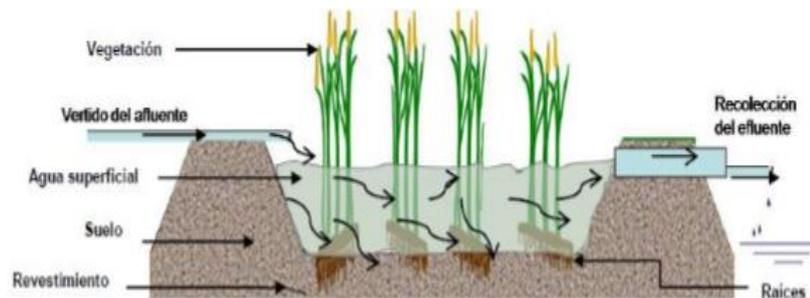


Figura 4: Humedales Artificiales de Flujo Superficial HHAA FS

Fuente: Adaptado de García Serrano, J., y Corzo Hernández, A, (2008)

El flujo superficial del agua permite un mayor intercambio con la atmósfera y el desarrollo de procesos de carácter aeróbico. Además, el

humedal está más expuesto a las condiciones meteorológicas, por lo que la precipitación y la evapotranspiración alteran el régimen de caudales y la propia superficie inundada por el humedal, que puede llegar a ser muy fluctuante y estacional.

Salas , Pidre y Sánchez, (2007) aseguran lo siguiente:

En los HHAA FS la capa de agua cercana a la superficie es aeróbica mientras que el sustrato y generalmente también la zona profunda del agua es anaeróbica. Los humedales creados para la retención de aguas de tormentas o para el tratamiento de aguas procedentes del drenaje de minas o de tierras agrícolas, son mayoritariamente de flujo superficial.

2.2.6.1. Humedales de Flujo Superficial dominados por macrófitas emergentes.

Las especies de plantas macrófitas emergentes más comúnmente utilizadas en los humedales de tratamiento son el carrizo, la enea y los juncos. Las macrófitas que se desarrollen en un humedal deben poseer una extensa superficie para la fijación de microorganismos y ser capaces de transportar el oxígeno de forma eficiente de las hojas hasta las raíces. De este modo, se crea una zona aerobia en el sustrato que favorece la nitrificación (Salas et al, 2007)

Como principal ventaja de este tipo de sistema dominado por macrófitas emergentes se puede destacar que sus costes de construcción y de mantenimiento son reducidos. La principal desventaja es que requiere más espacio que otros sistemas para lograr

una misma eficacia en la reducción de carga contaminante del agua (Sánchez, 2013)

2.2.6.2. Humedales de Flujo Superficial dominados por macrófitas sumergidas.

Sánchez, (2013) afirma lo siguiente:

Las plantas sumergidas se encuentran suspendidas en la columna de agua o enraizadas en los sedimentos. Las partes fotosintéticas de la planta suelen estar en la columna de agua, y su aporte de oxígeno al agua debido a esta actividad fotosintética durante el día es muy abundante, lo que favorece la mineralización y la nitrificación. Además, la utilización del dióxido de carbono (CO₂) del agua para la realización de la fotosíntesis durante el día incrementa el potencial hidrógeno (pH) en la columna de agua, lo que favorece la volatilización del amonio.

Mientras que para Kadlec, R.H. y Wallace, S. , (2009):

El uso de las plantas sumergidas para la depuración de aguas, debido a su capacidad de eliminación de contaminantes, es también una opción en teoría válida. Sin embargo, su utilidad se ve limitada debido a su escasa resistencia en aguas en las que se produce el crecimiento simultáneo de algas, viéndose perjudicadas por las condiciones anaeróbicas que se dan en esos casos, hasta el punto de sufrir severos daños o incluso morir.

2.2.6.3. Humedales de Flujo Superficial dominados por macrófitas flotantes

La especie de macrófita flotante que mejor representa este tipo de humedales es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), que ha sido objeto de numerosos estudios acerca de la depuración de aguas residuales, así como de la eliminación de metales pesados. La principal ventaja del jacinto de agua es su relativamente escasa sensibilidad a las bajas temperaturas, pero que en ningún caso deben ser extremas, ya que en caso de producirse heladas las plantas de jacinto mueren. (Sánchez, 2013)

Una densa cubierta de macrófitas flotantes impide que la luz penetre en la columna de agua, limitando así la actividad de las algas, y reduce la transferencia de gases entre el agua y la atmósfera. La superficie del agua está así libre de algas y es pobre en oxígeno, dándose unas condiciones aptas para la desnitrificación. La secuencia nitrificación – desnitrificación puede ser sustancial en sistemas dominados por los jacintos de agua, ya que su extensivo sistema de raíces proporciona oxígeno para la nitrificación, no sucediendo así con otros macrófitos flotantes como la Lemna, cuya superficie enraizada es escasa (Kadlec, R.H. y Wallace, S., 2009)

2.2.7. Humedales de Flujo Subsuperficial (HA FSS)

Un humedal de tratamiento de flujo subsuperficial (HA FSS) es aquel en el que el flujo de agua se produce a través de un medio poroso, constituido por el propio sustrato o por grava, diseñados de tal modo que

el nivel de agua permanezca en todo momento por debajo de la superficie del sustrato.

En los sistemas HA FSS, el flujo del influente es de tipo horizontal subsuperficial, es decir, que el agua se hace discurrir por debajo de la superficie del sistema. De modo semejante al de los HA FS, se diseñan a modo de estanques con paredes y base estancas y las debidas canalizaciones y dispositivos de control de flujo. Sin embargo, más que el tipo de flujo, lo que realmente define al humedal HA FSS es que no hay, como tal, una columna de agua continua, sino que el influente circula a través de un medio inerte, que consiste en un lecho de arena y/o grava de grosor variable, que sostiene la vegetación (hidrófitos o higrófitos). Este lecho se diseña de modo que permita la circulación del agua residual a través del sistema radicular de las macrófitas acuáticas. El agua se puede mover tanto de forma horizontal como verticalmente a través de la zona radicular de las macrófitas. En definitiva, en los sistemas de flujo subsuperficial no existe lámina de agua a la vista del observador, y el conjunto sólo recuerda vagamente a los humedales naturales por el tipo de vegetación. Por esta razón a estos sistemas se les denomina alternativamente ‘lechos vegetados sumergidos’, o sistemas HA FSS. (González)

Los sistemas de humedales subsuperficiales utilizan una capa de suelo o grava como sustrato para el crecimiento de las plantas. Los flujos de agua atraviesan por gravedad y horizontalmente el sustrato y las raíces de las plantas. Durante el paso del agua residual a través del sistema

radicular de las plantas, la materia orgánica se descompone biológicamente, el nitrógeno puede ser desnitrificado y el fósforo y los metales pesados son fijados en el suelo. Las plantas tienen dos importantes funciones en este proceso: suministrar oxígeno a los microorganismos en la rizosfera e incrementar y estabilizar la conductividad hidráulica del suelo. El principal inconveniente de este tipo de sistemas es la colmatación de los espacios libres del lecho a causa del gran crecimiento de las raíces y rizomas de las macrófitas, lo que puede llegar a establecer caminos preferenciales para el agua, con lo que se reduce el tiempo de retención y por lo tanto, la capacidad de depuración del filtro. (González)

Los HHAA FSS pueden dividirse a su vez según la dirección predominante del flujo a través del lecho poroso, ya sea horizontal o vertical. Los sistemas de flujo horizontal son los más utilizados, y son aquellos de efectividad más demostrada, aunque en los últimos años se han desarrollado numerosas experiencias con sistemas de flujo vertical en algunos humedales de Europa, especialmente en Francia y Austria (Langergraber, 2008)

2.2.7.1. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal (HHAA FSSH)

Los Humedales Artificiales de flujo Subsuperficial Horizontal (HHAA FSSH) consisten en una cubeta, generalmente impermeabilizada para reducir intercambios con las aguas

subterráneas, en la cual se dispone un material granular a modo de lecho, que puede dividirse en tres zonas (Sánchez, 2013):

- a. Una zona de entrada y amortiguación del flujo para procurar una distribución homogénea del flujo a lo ancho del lecho.
- b. El cuerpo principal del lecho, que es donde se desarrolla la vegetación y donde se dan la mayor parte de procesos de transformación del agua y sus componentes.
- c. La zona de salida del agua, en la que se dispone un tubo de drenaje que recoge el agua y la conduce por un dispositivo de salida. El agua entra a través de un dispositivo que la distribuye en todo el ancho del lecho, y fluye lentamente por debajo de la superficie a través del medio poroso, hasta alcanzar el dispositivo de salida en el que es recogida y descargada.

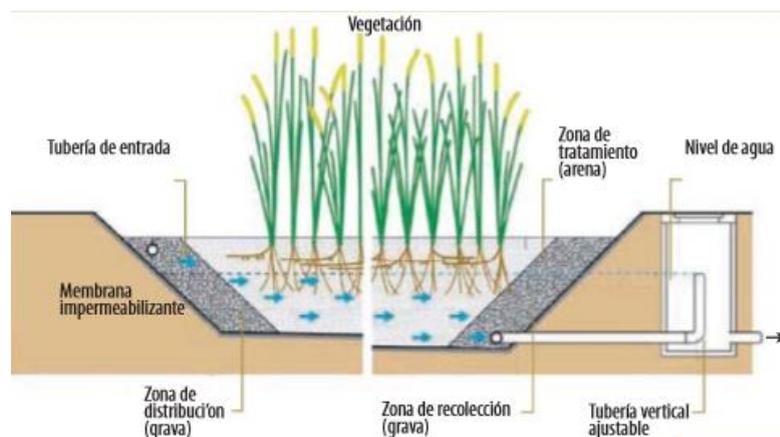


Figura 5: Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal HHAA FSSH

Fuente: Adaptado de Morel A. y Diener S , (2006)

Tanto el fondo como la superficie del lecho suelen tener una pendiente de entre el 0,5 y el 1%, lo cual facilita el drenaje total del humedal en caso de ser necesario por razones de mantenimiento. Sin embargo, esta

pendiente no es la que condiciona el flujo del agua, que atraviesa el medio poroso con características asimilables a las del flujo pistón (Kadlec, R.H. y Wallace, S., 2009). La altura de la lámina de agua es condicionada a lo largo del lecho por la altura del agua en el dispositivo de salida.

La profundidad normalmente de este tipo de humedales suele estar comprendida entre los 30 y los 60 cm, y el agua normalmente se encuentra a menos de 10 cm de la superficie del sustrato (en ningún caso debe aflorar superficialmente).

El material del cuerpo principal del lecho (la zona de desarrollo de la vegetación) suele ser de arenas o gravas finas de entre 3 y 35 mm de diámetro, que permita el enraizamiento y crecimiento de la vegetación, así como un flujo adecuado. En cuanto a la zona de entrada y la de salida, consiste generalmente en gravas gruesas de entre 30 y 100 mm de diámetro (García Serrano, J., y Corzo Hernández, A, 2008)

Los HHAA FSSH han demostrado una notable efectividad en la eliminación de Sólidos en Suspensión y en la filtración de sedimentos.

En estos sistemas existen pequeñas concentraciones de oxígeno que posibilitan el desarrollo de procesos aeróbicos. El oxígeno entra al humedal principalmente a través de la difusión desde la atmósfera o re-aeración (en una cantidad muy escasa), y también transportado por las raíces de la vegetación hasta zonas por debajo de la lámina de agua (Pidre, 2010)

En cualquier caso, se trataría de una cantidad muy insuficiente para permitir procesos aeróbicos de una intensidad considerable y, por lo tanto, los procesos anaeróbicos y anóxicos son los que desempeñan un papel principal en el tratamiento mediante HHAA FSSH (Langergraber, 2008). La materia orgánica es descompuesta tanto aeróbica como anaeróbicamente, lo cual resulta en una reducción eficiente. Sin embargo, el insuficiente aporte de oxígeno limita la nitrificación y supone una escasa reducción de amonio (NH_4) (Langergraber, G., Haberl, R., 2001). En cambio, pueden conseguirse unos altos niveles de remoción de nitrato (NO_3) debido a la desnitrificación.

2.2.7.2. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical (HA FSSV)

Los humedales artificiales HA FSSV están formados por un lecho plano cubierto de arena o grava y vegetación. Las aguas residuales son vertidas en la parte superior y se filtran a través del lecho para ser posteriormente recogidas mediante una red de drenaje situada en la base.

Los humedales de flujo subsuperficial vertical (HA FSSV) reciben las aguas a tratar en la superficie del sustrato poroso y estas van infiltrándose hasta ser recogidas en el fondo del lecho por una red de drenaje.

El agua es cargada intermitentemente, por lo que este sistema también es conocido como filtro intermitente. De este modo, se intercalan en

el sustrato condiciones de saturación con otras de aireación en las que el agua no fluye, estimulando el suministro de oxígeno en el sustrato entre las sucesivas cargas de agua y el desarrollo de procesos aeróbicos (García Serrano, J., y Corzo Hernández, A, 2008)

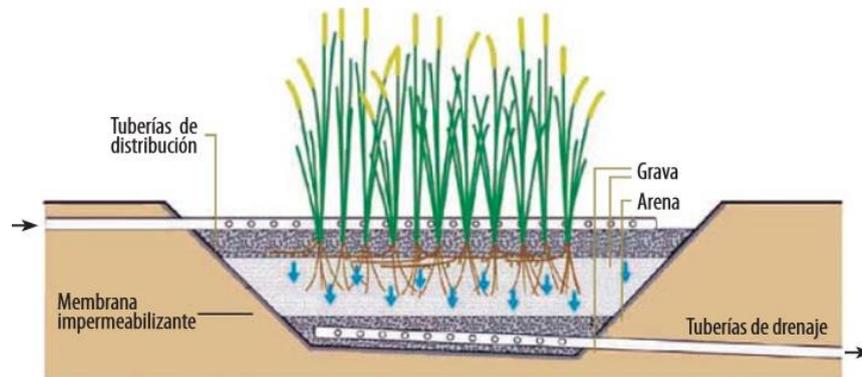


Figura 6: Corte transversal de un humedal artificial de flujo vertical

Fuente: Adaptado de Morel A. y Diener S , (2006)

La entrada de agua en estos sistemas de flujo vertical suele realizarse mediante sistemas de tuberías que distribuyen el caudal en distintos puntos de la superficie, procurando que la inundación de esta sea homogénea. En cuanto a la salida del agua, se dispone una red de drenaje en el fondo del lecho que evacue el caudal por gravedad, sin necesidad de un dispositivo de salida como ocurre con los HHAA FSSH.

En algunos de estos sistemas se han dispuesto sistemas de aireación mediante pequeñas chimeneas (tuberías cribadas con salida al exterior), con el fin de oxigenar aún más el sustrato y reforzar las condiciones aeróbicas del medio poroso.

Los HHAA FSSV tienen efectividad relativamente baja en lo que se refiere a la eliminación de Sólidos en Suspensión y coliformes fecales, pero la eliminación de Nitrógeno a través de la secuencia nitrificación - desnitrificación es eficiente debido a la elevada oxigenación y a la alternancia óxica y anóxica, causada por el intermitente flujo de agua. Asimismo, la eliminación de fósforo también se produce por precipitación (Langergraber, G., Haberl, R., 2001)

2.2.7.3. Partes de los Humedales de Flujo Subsuperficial

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial están constituidos por cuatro elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos.

A. Agua Residual

Las aguas residuales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal, en este caso. (Rolim, 2000)

B. Sustrato

En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo

granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos. El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal. (Lara B., 1999)

C. Vegetación

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno

crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. (Arias, 2004)

Según Lara (1999), “las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y esorrentía de varias maneras”:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

D. Microorganismos

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación

de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección. (Arias, 2004)

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera. (Lara B., 1999)

2.2.7.4. Diseño de Humedales Subsuperficiales de flujo Horizontal

Para el diseño de este tipo de humedal artificial los pasos a seguirse son:

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente.
- Sustrato.
- Relación largo
- **Ancho**

A. Cálculo del Área Superficial

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de la DBO₅, DQO₅, PH, Temperatura y Coliformes Termotolerantes.

El área superficial se calcula a través de la ecuación 1:

Ecuación 1: Determinación del área superficial

$$AS = \frac{Q \times LN\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T \times h \times \eta}$$

Donde:

Q= caudal de diseño del humedal (m³/día)

C= concentración efluente (mg/l)

C₀= concentración afluente (mg/l)

K_T= Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d⁻¹)

h= profundidad del humedal (m)

η= porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la ecuación 2:

Ecuación 2: Constante de reacción de primer orden

$$K_T = 1,104 \times 1,06^{T_2-20}$$

Donde:

T₂= temperatura del agua (°C)

La profundidad del humedal generalmente varia de 0,3 a 1 m (valor usual 0,6m), con una pendiente de 0,1 a 1%, siendo el valor usual de 0,5%.

B. Sustrato

Medio donde crecen las plantas, los microorganismos y se realizan los principales procesos de depuración.

Es recomendable utilizar para el diseño grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro que parece ser la que funciona mejor. Si se utiliza grava con diámetros muy grandes de sustrato, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultando en un flujo turbulento y que no se cumpla la ley de Darcy para el diseño. Caso contrario ocurre con grava de tamaño demasiado pequeño, esta reduce la velocidad del paso de agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos preferenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar una mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción.

Es recomendable realizar pruebas de conductividad y porosidad del sustrato (grava) antes del inicio, para definir exactamente el tipo de material a emplearse. Asimismo, se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 1/3 o bien por 0.1 (10%) para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos, raíces y otros. (Delgadillo, O., Pérez, L., Camacho, A., & Andrade, M., 2010)

En la Tabla N° 4 se muestra las características principales de los sustratos usados en los humedales.

Tabla 4: Características principales de los substratos

Tipo de material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Conductividad hidráulica, ks (m ³ /m ² /d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100-1.000	28-32
Arena gravosa	8	500-5.000	30-35
Grava fina	16	1.000-10.000	35-38
Grava media	32	10.000-50.000	36-40
Roca gruesa	128	50.000-250.000	38-45

Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

C. Relación Largo – Ancho

Para calcular el ancho del humedal se considera la ley de Darcy mediante la ecuación 3, para flujo en medio poroso.

Ecuación 3: Principio de Darcy para flujo en medios porosos

$$Ac = \frac{Q}{K_s \times S}$$

Donde:

Ac= área vertical en m²

Q= caudal medio en m³/s

Ks= Conductividad hidráulica (m/s)

S = pendiente (m/m)

El ancho del humedal (unidad de medida metros) se determina en función al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar.

Ecuación 4: Cálculo del ancho del humedal

$$W = \frac{A_c}{h}$$

El largo del humedal se determina en función al ancho y al área superficial como se muestra en la ecuación 5:

Ecuación N°5: Cálculo del largo humedal

$$L = \frac{A_c}{W}$$

Donde:

A_s = Área superficial del humedal (m²)

W = ancho del humedal (m)

Posteriormente se calcula la relación largo-ancho (L/A). Mientras mayor es la relación largo-ancho se tiene mejor depuración de las aguas, pero se tiene problemas de cortocircuitos, flujos preferenciales, presencia de agua sobre el lecho de grava y otros.

Por ello se recomienda relación largo – ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1.

2.2.7.5. Diseño de Humedales Subsuperficiales de flujo Vertical

La aplicación del agua residual se realiza en forma intermitente, a través de unas tuberías que se colocan encima del lecho de grava o arena. Para un mejor funcionamiento de estos humedales, se debe considerar siempre en el diseño la construcción de dos humedales para que operen en paralelo, es decir, que cada humedal tenga un periodo de reposo y un periodo de aplicación de agua. El periodo de reposo óptimo es que por cada periodo de alimentación se tenga dos periodos de reposo. (Delgadillo, O., *et al*, 2010)

La frecuencia de aplicación del agua residual se calcula considerando que no quede agua en la superficie procedente de la aplicación riego anterior. Esta forma de operación favorece la oxigenación del interior del lecho filtrante. Este proceso se realiza de la siguiente manera: la lámina de agua aplicada empuja el aire existente en el sustrato (porosidad), una vez que el agua aplicada se drena totalmente deja un espacio vacío que se llenará con aire, el cual

será arrastrado en la siguiente aplicación. El aporte de oxígeno por las raíces de las plantas es despreciable. (Delgadillo, O., *et al*, 2010)

Para el diseño de este tipo de humedales se deben seguir los siguientes pasos:

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente.
- Sustrato

A. Cálculo del área necesaria

Para realizar el cálculo del área del humedal se tiene en cuenta:

- La población equivalente
- Si el humedal trabajará como tratamiento primario o secundario.

La población equivalente se puede definir como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5) de 60 g de oxígeno por día mediante la ecuación 6. De igual forma, la carga contaminante de las aguas grises, viene determinada por la suma de los habitantes equivalentes de las industrias asentadas en el municipio y que vierten a la red de colectores municipales. (Delgadillo, O., *et al*, 2010)

Ecuación 6: Fórmula para el cálculo de la población equivalente

$$\text{Pobl. equivalente (hab)} = \frac{\text{DBO5 (mg/l)} \times \text{Caudal (m}^3\text{/d)}}{60 \text{ grDBO5 /día} \times \text{hab}}$$

Para Crites y Tchobanoglous, (2000), calcula el área en base en la tasa hidráulica de aplicación mediante la ecuación 7.

Ecuación 7: Cálculo del área superficial en humedal vertical

$$A_s = \frac{Q}{THA}$$

Y la tasa hidráulica de aplicación se calcula con la ecuación 8

Ecuación 8: Tasa hidráulica de aplicación

$$THA = \frac{TCH}{F}$$

Donde:

Q = caudal m³/día

THA = Tasa hidráulica de aplicación (mm/dosis)

TCH = Tasa de carga hidráulica (mm/día)

F = Frecuencia de dosificación (dosis/día)

B. Profundidad del humedal

La profundidad del humedal suele ser de unos 60 a 80 cm.

C. Pendiente

Según la opinión de Delgadillo, O., *et al* (2010):” La pendiente de la superficie del humedal es plana (0%), este debe ser realizado con mucho cuidado para evitar que se formen charcos de agua sobre la superficie. La pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2% pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 1%”.

D. Sustrato

El sustrato está conformado por varias capas de material según el tipo de uso que se le dará al humedal.

2.2.8. La totora planta Fito depuradora (*Scirpus californicus*)

Scirpus californicus, llamada junco o totora (del quechua t'utura), es una planta herbácea perenne acuática, de la familia de las ciperáceas, común en esteros y pantanos de América del Sur. Ésta macrófita, forma parte de la amplia gama de plantas Fito depuradoras empleadas en los sistemas no convencionales de depuración de aguas residuales.

2.2.8.1. Características generales:

Las helófitas son plantas adaptadas a condiciones de saturación de humedad e inundación, siempre que el agua no las cubra completamente. Es decir, soportan una fuerte limitación en la disponibilidad de oxígeno en el suelo. Comprende una parte debajo del nivel del agua, y otra parte aérea.

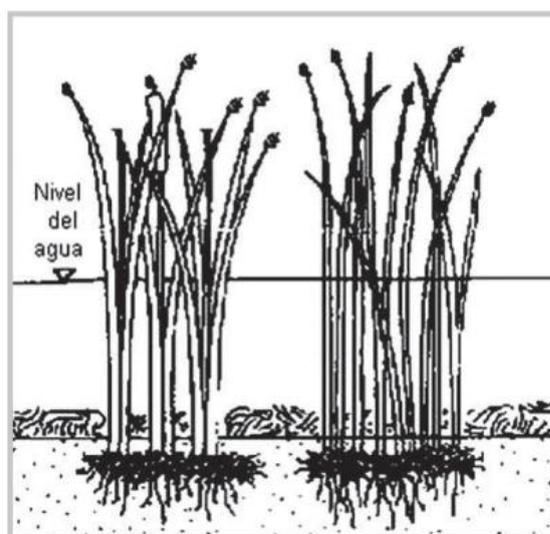


Figura 7: Plantas helófitas en medio acuático

Fuente. Adaptado de (OSCAR D., 2010)

El papel de las helófitas en los humedales artificiales se resume en los siguientes aspectos:

- Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas (OSCAR D., 2010)
- Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal (Cano, 2004)
- Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación (OSCAR D., 2010)
- Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos (OSCAR D., 2010)

2.2.8.2. Características morfológicas

Tienen epidermis muy delgadas a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes y tejidos; grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno. Esto permite la transferencia de oxígeno desde el aire y órganos fotosintéticos, y desde ahí hacia las raíces (Fernandez, 2004)

A. Rizomas

La torora tiene rizomas, que son tallos subterráneos que crecen paralelamente a la superficie del suelo. Éstos presentan a un lado raíces adventicias y a las otras ramas hacia la superficie con hojas y yemas. (Inga, 2004)

Acumulan reservas, con lo que aumentan su volumen, y en épocas favorables las yemas aprovechan esas reservas para germinar.

B. Tallos

Varían de 1 m a 4 m, erectos, remotos o próximos entre sí; lisos, trígonos o subteretes, verde-amarillentos cuando secos. Presentan vainas foliares pardo oscuro, sin láminas.

Los tallos tienen aerénquimas, que son tejidos sin color con grandes espacios intercelulares llenos de aire, que facilitan la flotación y la llegada de aire a los órganos sumergidos (figura 10). En las plantas vasculares, los tejidos de conducción están asociados a células parenquimatosas y tejidos de sostén. Se agrupan en pequeños haces conductores, que son de dos clases:

i) Xilema

El xilema está formado por vasos leñosos o tráqueas. Incluyen también las denominadas traqueidas, formadas por células alargadas con orificios llamados puntuaciones, que las comunican entre sí.

ii) Floema

El floema está constituido por tubos o células cribosas. Entre las células existen tabiques con agujeros o cribas que se obturan a bajas temperaturas y dificultan la conducción de sustancias orgánicas.

iii) Reproducción

En la mayoría de los casos, la totora se reproduce vegetativamente. La reproducción por semillas es muy limitada debido a que generalmente no logran germinar.

La reproducción vegetativa es por desarrollo de propágulos vegetativos; o sea, mediante células especializadas en propagar la planta (meristemos), agrupadas en estructuras especiales (rizomas). De esta manera se producen individuos nuevos, pero adaptados al medio ambiente.

2.2.8.3. Capacidad depuradora de la totora

Se tiene referencia de algunos estudios sobre la capacidad depuradora de los humedales con totora. En la tabla N° 5 se presentan algunos resultados al respecto.

Tabla 5: Capacidad depuradora de humedales con totora

Parámetros	Metales Pesados	Nitrógeno	Fosfato	Fósforo	Coliformes y Bacterias
(Z. Ujang, 2004)	85%*				
(Soto, 1999)		22 al 33%*	30%*	20%*	99.9%*

*% de reducción de los valores de los parámetros luego del paso por un humedal su superficial

Fuente: (GK Stearman, DB George, K Carlson, 2003)

Varios autores afirman que los resultados obtenidos con el uso de fotosistemas son mejores que los obtenidos con un sistema igual, pero sin plantas.

La reducción de contaminantes en general, de más del 20% en humedales implantados respecto a los no implantados. Sin embargo, existen también estudios que no registraron diferencias entre el rendimiento de humedales plantados y no plantados. (GK Stearman, DB George, K Carlson, 2003)

(García, 2004) indican que no existen diferencias estadísticamente significativas, entre humedales subsuperficiales plantados y no

plantados, en indicadores fecales y remoción de bacterias. Adicionalmente, el potencial depurador de los humedales varía estacionalmente. Ello puede ser explicado tanto por simples variaciones meteorológicas, como por cambios producidos en la fisiología de las plantas.

M. García et al. (2004) indican que hay una mayor remoción de indicadores fecales y bacterias en verano que en invierno.

Según Álvarez y Bécares (2005) el efecto de la vegetación es significativo en la eliminación de la contaminación, para aguas residuales diluidas (tratamiento previo de desbaste y laguna facultativa).

De lo anterior se puede concluir que las plantas aumentan la depuración en los humedales cuando las condiciones climatológicas, de tratamiento previo y calidad de agua a ser tratada, no son tan extremas como para salir de su rango de tolerancia.

2.2.8.4. Adaptación de la totora

Las especies helófitas tienen un gran rango de adaptación; por ello es que constituyen las especies dominantes en lugares donde las condiciones restringen las posibilidades de desarrollo de otras especies. Son plantas de climas templados que prosperan en posiciones soleadas, tolerando un amplio rango de pH (4 - 9). La temperatura media óptima para su desarrollo está dentro del intervalo de 16 °C a 27 °C. Se utilizan principalmente en humedales artificiales de flujo subsuperficial (lecho de grava/arena), ya que su tolerancia a

la inundación permanente es poca cuando la capa de agua es profunda. Prospera muy bien en medios acuáticos de profundidad somera como lagunas o zonas de inundación. (Málvarez, 1999).

2.2.8.5. Variables que intervienen en el establecimiento de plantaciones de totora.

Las variables que intervienen en el establecimiento de plantaciones de totora, influyen directamente en el prendimiento de las plántulas de totora, las variables que inciden en el establecimiento de una plantación de totora son:

- La comunidad vegetal acuática.
- El substrato.
- La calidad, el nivel del agua.
- El período y época de la plantación.
- La disponibilidad de recursos.
- El nivel de biomasa verde.

A. La comunidad vegetal.

Se refiere a la presencia de la biomasa de macrófitos acuáticos, que influyen en el establecimiento de una plántula de totora. La mayor cantidad de biomasa condiciona el crecimiento y desarrollo de la plántula de totora, y si existe una población dominante de chara sp. tiende a limitar el establecimiento de la plantación. Si existe una dominación de las caraceas en el lugar donde se establecerá la totora, se procederá a extraerla, hasta limpiar el substrato de los restos de silicato de calcio que excretan las caraceas, de no hacer

esta limpieza, el crecimiento de la plantación de totora, queda limitada. De existir una presencia dominante de chara, en la plantación de totora establecida, se procederá a limpiar y extraer la chara durante el período del primer año de la chara, con lo cual se limita el crecimiento de la chara y apoyo al desarrollo de la plántula de totora. (AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (ALT), 2000)

B. El Substrato.

La planta de totora es un macrófito acuático, que crece adherido al material al fondo en el litoral, por lo tanto, de acuerdo al tipo de substrato donde se establezca, se logrará el mayor o menor desarrollo de la totora. El substrato adecuado para la plantación de totora, debe ser con alto contenido de materia orgánica y en profundidad exprese por lo menos un espesor de 0.20 cm. Substrato que se encuentren alejados a estas características básicas, se limita el desarrollo de las plántulas de totora. Así, por ejemplo, el crecimiento en mayor substrato negro arcilloso, limoso a un substrato arenoso o su crecimiento en un substrato con piedras, es casi nulo. Sin embargo, por la necesidad de requerir de plantaciones de totora, se ha desarrollado técnicas que permitan contrarrestar esta variable adversa, es así que en un suelo arenoso-grava, se debe establecer la plántula limpiando el fondo y con un bloque vegetal, pero esta técnica tiene que perfeccionarse.

C. La calidad y el nivel del agua.

Esta variable comprende tres sub variables.

- **Parámetros químicos.**

Se refiere a la existencia de parámetros químicos adversos que limitan o anulan el crecimiento de plántulas de totora, como el caso del litoral de Pusi, que recibe aguas en exceso de Purima, aguas salinas, salitrosa que viene diesmando la población de macrófitos. También existe otros casos que limitan el crecimiento de las plántulas de totora. (AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (ALT), 2000)

- **Nivel del agua.**

La plantación de totora, está condicionada por el nivel del agua que existe en el momento del establecimiento de la plantación de totora, es así que no se está a una profundidad, el substrato se empleará el procedimiento adecuado. Esta variable viene siendo controlada con el desarrollo de las diversas técnicas de plantación de totora, es así que existen técnicas que puedan plantarse a unos metros de profundidad, la respuesta efectiva esta dado en la toma de decisión adecuada que permita el establecimiento de la plantación de totora. (AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (ALT), 2000)

- **Ubicación.**

Se refiere al lugar donde existe un fuerte oleaje que es una limitante para el establecimiento de plantaciones de totora. Esta variable no puede ser controlada, ya que muchas plantaciones de

titora realizadas, no han dado el resultado esperado. Existe una relación entre el fuerte oleaje y el substrato no adecuado para la plantación de totora, razón por la cual, para establecer plantaciones de totora en este lugar, se debe combinar dos a más técnicas que permitan el establecimiento de plantaciones de totora, como faltan realizar trabajos de investigación para contrarrestar esta variable. (AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (ALT), 2000)

D. Período y época de plantación.

Se refiere al momento cuando se efectúa la plantación de totora, es así, si realiza en una época de lluvias o rocas, o en los períodos de tiempo de los diversos meses del año. Para el período de tiempo que mayor resultado positivo se ha dado, para el establecimiento de plantaciones de totora en el período es de agosto a enero. Sin embargo, es posible realizar durante todo el año plantaciones de totora, en este caso se debe identificar la técnica más adecuada y el material vegetativo adecuado. Existe una relación positiva en establecimiento de plantaciones de totora, y el período de lluvias, en el período donde se ha logrado mayor crecimiento. (AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (ALT), 2000)

E. Disponibilidad de recursos.

La técnica a emplear, está condicionada por la disponibilidad de recursos que cuenta la comunidad para el establecimiento de la

plantación de totora, es así que existen piedras, se empleará o si existe un lugar donde extraen bloques vegetales o estacas. Se refiere a la existencia de recursos en la comunidad con que cuenta para el establecimiento de la plantación de totora, (se refiere a todos los recursos necesarios) La condicionante que establecen los recursos a utilizar, es la técnica a emplear y la eficiencia estará en función de la adecuación de la técnica con los recursos existentes. (AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (ALT), 2000)

F. Nivel de biomasa verde que se desea obtener.

El objetivo del establecimiento de plantación de totora, es conforme a un bosque sub acuático, que permita ocupar una mayor superficie del espejo de agua. El logro de la mayor biomasa verde, está en función de las diversas variables, pero existe un parámetro que pueda influenciar este mayor o menor crecimiento de biomasa verde, y se refiere al distanciamiento de las plántulas de totora, se viene empleando de 2 a 3 m. de distanciamiento, pero conforme al distanciamiento sea más corto, los costos del establecimiento subirán. (AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (ALT), 2000)

2.2.9. Carrizo (*Phragmites australis*)

Pertenece a la familia Poaceae, llega a tener una altura de 1.5 a 3 m con una profundidad radical de 0.7 – 0.8 m, absorbe contaminantes tales como plomo y zinc, contiene rizomas que penetran vertical y

profundamente, en el sustrato o fango del humedal, por ello el efecto oxigenado es potencialmente mayor, germinan en aproximadamente 5 días en condiciones de humedad a 20-24°C, el carrizo es una planta que produce mucha biomasa, y tiene un pH entre 2 – 8. (Izaguirre, 2006) señala que los resultados de un estudio realizado en México en el cual se utilizó *Phragmites australis* como sustrato, tuvo una efectividad de remoción del 88,5% para DBO5, 87,4 % DQO, 89% sólidos suspendidos, 73,6% nitrógeno orgánico y 99% coliformes fecales, cabe resaltar que pesar de su efectividad uno de los factores más importantes que hay que tener en cuenta con este tipo de especies es que no elimina al fosforo, pues no produce adsorción (Hidalgo, 2005)

Las hojas anchas asperosas y planas se estrechan en un punto, y se unen al tallo por vainas lisas, las hojas apuntan en una dirección en el viento. Las flores nacen en altamente ramificadas inflorescencias de color púrpura, que miden de 20 a 60 cm de longitud. Habita en suelos húmedos y orillas de cursos de agua y lagunas. En ríos se encuentran fundamentalmente en los tramos más bajos, en los que la velocidad del curso de agua les permite enraizar. (Patiño & Zhinín, 2015)

Figura 8: *Phragmites australis* (*Carrizo*)



Fuente. Elaborada por los autores

Se desarrolla tanto en aguas no contaminadas como en aguas alteradas de naturaleza orgánica, alcalina o salina. Su expansión se relaciona con el incremento en la contaminación mineral de las aguas (especialmente, nitratos), y el aumento de su salinidad. Tolerancia a distintos parámetros de contaminación muy amplia, pudiendo además relacionarse con las características particulares del ecotipo. Hay estudios que refieren valores para el influente del orden de 500 mg O₂/l de DBO₅, 60 mg/l de N total, 20 mg/l de N-NH₄ y 14 mg/l de fósforo. Con respecto a la tolerancia a la salinidad, se citan valores de tolerancia máxima del orden de 2% de concentración de sales, pero puede crecer con la influencia de aguas marinas (3.5% sal) si el medio en que está la parte subterránea (raíces y rizomas) tiene <2% sal. El carrizo se utiliza como helófito en los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial de manera prácticamente generalizada, porque es una planta muy rústica, polimorfa, con amplia variabilidad entre ecotipos. Añade un efecto oxigenador por liberación de oxígeno desde los rizomas. La capacidad de extracción de nutrientes puede estimarse en función de la composición de sus tejidos; la

biomasa aérea contiene aproximadamente 1.1% de nitrógeno y 0.12% de fósforo, y la subterránea 1.0% N y 0.15% fósforo. (Curt, 2009)

2.2.10. Taxonomía de las especies vegetales seleccionadas

Se elaboraron las siguientes tablas con la taxonomía de las especies vegetales seleccionadas.

Tabla 6: Taxonomía de *Scirpus californicus* (*Totora*)

TAXONOMÍA	
Reino	Vegetal
División	Anerógamas
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Monocotiledóneas
Superorden	Glumiflorales
Orden	Cyperales
Familia	Cyperaceas
Género	Schoenoplectus
Especie	Totora
Nombre Común	Totora



Fuente. Elaborada por los autores

Tabla 7: Taxonomía de *Phragmites australis* (*Carrizo*)

TAXONOMÍA	
Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Liliopsida
Superorden	Poales
Orden	Poaceae
Familia	Arundinoideae
Género	Phragmites
Especie	Phragmites australis
Nombre Común	Carrizo



Fuente. Elaborada por los autores

2.2.11. Aforo del caudal

Según el (Ministerio de Agricultura, 2010), existen cinco métodos y son los siguientes:

2.2.11.1. Método volumétrico

Este método es el más sencillo y confiable, el cual consta de un cronómetro y un recipiente aforado. Se estima el tiempo que demora el llenado de agua del recipiente; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V * t$$

Donde:

Q = Caudal (m³ /seg)

V = Volumen del recipiente (m³)

t = Tiempo en llenar el recipiente.

2.2.11.2. Medición en canales abiertos

El vertedero es un canal en el que se coloca una represa cuyo rebosadero puede adoptar distintas formas; el líquido represado alcanzará distintas alturas en función del caudal, relacionadas por ecuaciones dependientes del tipo de vertedero; este método se utiliza más para plantas de tratamientos convencionales (PETAR).

2.2.11.3. Medición por velocidad

La canaleta Parshall es el dispositivo ideal para usar en canales abierto para monitoreo continuo de caudal.

La fórmula general para calcular es:

$$Q = 4WHn$$

Donde:

Q = Caudal (m³ /seg)

W = Ancho de la Garganta (m)

H = Altura (m)

n = 1.522 * W (0.026)

2.2.11.4. Método del correntómetro

Este método se estima utilizando un medidor de velocidad (correntómetro) para determinar la velocidad superficial del agua y luego efectuando la medición del área transversal del curso de agua.

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal (m³ /seg)

V = Velocidad (m/seg)

A = Área de la sección transversal (m)

2.2.11.5. Método del flotador

En este método se necesita encontrar primero la velocidad mediante el uso del flotador, luego se estima la longitud del espacio recorrido por el flotador. La estimación del tiempo utilizado por flotador en

completar el espacio seleccionado y la longitud nos servirá para la medición de la velocidad del flujo de agua. Realizar un promedio de 05 mediciones para descartar los valores errados.

2.3.Discusión teórica

Estamos de acuerdo con Núñez, A (2004) al referirse que la fitorremediación es una tecnología relativamente nueva, natural y sustentable para poder remediar ambientes contaminados (agua, suelo y aire).

Con la teoría de Olmedo, F (2013), menciona que los seres vivos son capaces de metabolizar: transformar, degradar, disminuir o eliminar de un ecosistema a sus contaminantes, en este caso un ecosistema acuático empleando especies vegetales con mayor capacidad de tolerar, asimilar o acumular grandes cantidades de residuos radioactivos. Con lo último pueden reducirse en porcentaje, pero no está afirmado al completo, pues requiere de un tratamiento especial en conjunto con las plantas.

Se puede utilizar un sistema de biofiltro como complemento al tanque séptico, donde las plantas residuales pre-tratadas fluyen en forma horizontal o vertical. Este biofiltro es un humedal artificial que consta de plantas acuáticas, material filtrante, tuberías de PVC e impermeabilización.

2.4.Definición de términos básicos

2.4.1. Absorción:

Operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con el cual forma solución.

2.4.2. Adsorción:

Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atraen y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.

2.4.3. Agua Residuales:

Son aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014)

2.4.4. Aguas Residuales Domésticas:

Pueden ser de origen residual y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, proveniente de la actividad humana, y deben ser dispuestos adecuadamente (OEFA, 2014)

2.4.5. Bioacumulación:

Proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos.

2.4.6. Coliformes:

Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35 +/- 0.5 °C (coliformes totales).

2.4.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):

Representa a la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos y reacciones químicas, indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

2.4.8. Demanda química de oxígeno (DQO):

determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

2.4.9. Degradación:

Deterioro grave en el estado de una cosa por disminución o por pérdida de alguna de sus cualidades.

2.4.10. Depuración:

Acción y efecto de depurar, limpiar o purificar.

2.4.11. ECA:

Estándar de Calidad Ambiental.

2.4.12. Efluente:

Líquido residual que fluye de una instalación.

2.4.13. Fitorremediación:

Descontaminación de los suelos, la depuración de las aguas residuales o la limpieza del aire interior, usando vegetales, ya sean plantas vasculares, algas.

2.4.14. Hídrico:

Del agua o relacionado con ella.

2.4.15. LMP:

Límites Máximos Permisibles.

2.4.16. Micrófitos:

Son un tipo de plantas, más específicamente se trata de vegetación acuática. Las plantas acuáticas que se hayan entre las macrófitas son las

macro algas, las pteridofitas adaptadas a la vida acuática y las angiospermas

2.4.17. Nitrificación:

f. química Oxidación del amoníaco a nitritos y posteriormente a nitratos, catalizada por bacterias autotróficas y organismos heterotróficos. Es la oxidación biológica de amonio con oxígeno en nitrito, seguido por la oxidación de esos nitritos en nitratos.

2.4.18. Pre tratadas:

Dicho de aquello antes de un tratamiento primario.

2.4.19. Sostenible:

Que es compatible con los recursos de que dispone una región, una sociedad, etc.

2.4.20. Sólidos totales:

Los sólidos totales se clasifican según su tamaño; sólidos suspendidos: son las partículas flotantes como animales, basuras, restos de vegetales lo cual pueden ser perceptibles a simple vista esto nos facilita la separación de los sólidos por medios físicos sencillos, también pueden ser sólidos sedimentables que por su peso y tamaño la gravedad les deposita en el fondo de los receptores

2.4.21. Vertimiento:

Conjunto de materiales de desecho que se vierten en algún lugar, especialmente los procedentes de instalaciones industriales o energéticas.

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de la investigación

3.1.1. Investigación Aplicativa

Es tipo de investigación se desarrolló en hacer uso de los conocimientos, métodos, teorías y con la intervención de las necesidades de la población, para resolver un problema existente.

3.2. Diseño de la Investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva – analítica, puesto que describe las características de ciertos grupos analizados, estableciendo la comparación de variables y resultados entre ambos grupos de estudio.

Cuantitativo, porque utilizó la recolección de datos para determinar la eficiencia y eficacia de las plantas en el tratamiento de agua residuales domésticas del distrito de Namora - Cajamarca

3.3. Área de Investigación

Para la obtención del agua residual doméstica, la recolección se realizó de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) del distrito de Namora, provincia de Cajamarca.

DISTRITO DE NAMORA , CAJAMARCA

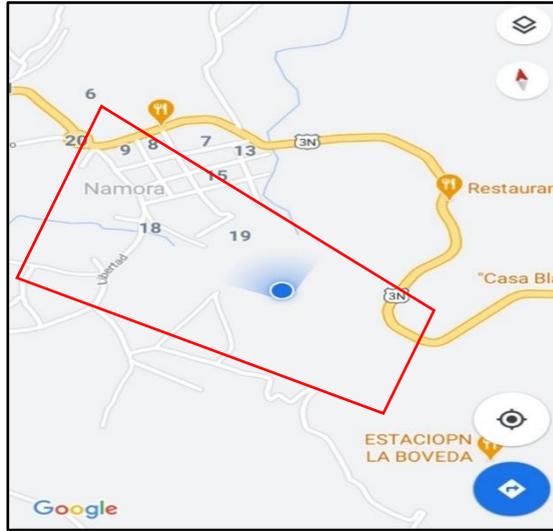


Figura 9: Ubicación del distrito de Namora, Cajamarca

Fuente: Elaborada por los autores

MAPA DE UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE NAMORA



Figura 10: Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas

Fuente: Elaborada por los autores

3.4. Unidad de análisis, universo y muestra

3.4.1. La unidad de análisis: Agua residual domestica de la población del distrito de Namora, provincia de Cajamarca.

3.4.2. Universo: Agua residual proveniente de los domicilios del distrito de Namora

3.4.3. Muestra:

Para determinar la muestra inicial se ha tomado como referencia la cantidad de 20 litros de agua residual domestica recolectada de las viviendas del distrito de Namora.

Después de haber enviado la muestra a laboratorio se recolectó 120 litros de agua residual domestica para ser tratada en la planta piloto de humedales artificiales.

3.5. Operacionalización de las variables

Identificadas las variables independiente y dependiente, se realizará la medición de estas mismas a través de muestras de laboratorio obtenidas de los humedales artificiales de flujo Subsuperficial horizontal y vertical. Los parámetros que usaremos para medir las concentraciones son metales pesados.

La investigación se realizará al agua residual doméstica que se obtuvo del distrito de Namora- Cajamarca.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Tabla 8: Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIONES		DIMENCIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICAS	INSTRUMENTO
Variables dependientes	Definición Conceptual	Definición Operacional					
La calidad del Agua residual doméstica tratada	Representa la calidad del agua residual que requiere un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de Alcantarillado.	Concentración de contaminantes	Parámetros de contaminación de agua residual doméstica	- Medida de los parámetros de contaminación	Cantidad de medidas porcentuales y numerales	Reporte de análisis ambiental	Experimentos Fotografías
Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	DIMENCIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICAS	INSTRUMENTO
Absorción y remoción nutrientes utilizando <i>Scirpus californicus</i> (Totora)	Descontaminación de los suelos, la depuración de las aguas residuales o la limpieza del aire interior, usando vegetales, ya sean plantas vasculares, algas.	Tanto en los Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical se alcanzan altas eficiencias de purificación bajo distintas condiciones.	Tipos de sistema subsuperficial de Humedales Artificiales	- Características de la fitorremediación -Número de ejemplares a utilizar	Cantidades porcentuales y numerales	Reporte de análisis ambiental	Experimentación de las muestras
Absorción y remoción nutrientes utilizando <i>Phragmites Australis</i> (Carrizo)							

Fuente: Ejecutoras del proyecto

3.6. Métodos de investigación

3.6.1. Escenario de la investigación

La presente investigación desarrolla el tratamiento de aguas residuales domésticas a través de una planta piloto de humedal artificial ubicada en el domicilio jr. Miguel Iglesias N° 1036 – Cajamarca.; sin embargo, las muestras de agua residual doméstica son adquiridas de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del distrito de Namora – Cajamarca.

Para medir la eficiencia de cada una de las plantas, inicialmente el Carrizo se consideró utilizar del mismo distrito de Namora, pero al no obtener resultados favorables se optó cambiar por Carrizo de la provincia de Hualgayoc, la Totora es adquirida del distrito de Baños del Inca – Cajamarca.

3.6.2. Metodología del cultivo

- a) Describir la aplicación de las plantas en los sistemas de tratamientos y evaluar su eficiencia en el mismo.
- b) Se extrajo agua residual doméstica del distrito de Namora - Cajamarca
- c) Se realizó 6 muestras, e un inicio una muestra inicial para determinar las condiciones y resultados que determina cada parámetro a ser analizado, la experimentación del desarrollo de la eficiencia en tratamiento de cada planta fue por separado en tinajas.
- d) Armada la planta piloto de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial se determina lo siguiente:

- Realizar el análisis inicial de la muestra general de agua residual doméstica, para medir los parámetros químicos, fisicoquímicos y microbiológicos.
- Realizar dos análisis de las muestras de agua residual doméstica ya tratada.
- Analizar el PH del agua residual doméstica tratada por 3 veces consecutivas.
- Medir la temperatura de inicio a fin del proyecto de investigación.

3.6.3. Volumen del caudal

Los materiales utilizados para el volumen del caudal son los siguientes:

- Balde de 20 L
- Guantes
- Cronómetro

Para determinar el volumen del caudal utilizamos el método volumétrico, puesto que el sistema de recolección de agua es una tubería de PVC de 10 pulgadas, ubicada en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica de NAMORA; el cual consistió en:

- a) Con la ayuda del balde de 20L y el cronómetro se procedió a realizar la medición del caudal, el cual determina, el tiempo de llenado del balde con el agua residual doméstica.

- b) Una vez obtenido el balde lleno, se retiró de la desembocadura del agua con mucho cuidado para evitar derrames, y proceder con la toma muestras para el análisis de los parámetros.
- c) Finalmente, los datos obtenidos en campo (volumen y tiempo), son aplicadas mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V * T$$

Dónde:

Q: Caudal (m³ /seg)

V: Volumen (litros)

T: Tiempo (minutos)

3.6.4. Muestreo y análisis de los parámetros pre tratamiento

Para el muestreo de los análisis de pre tratamiento de las aguas residuales domésticas se utilizó los siguientes materiales:

- Guantes
- Bata
- Mascara quirúrgica
- 2 frasco de plástico de 500 ml
- 2 frascos de plástico de 300 ml
- 2 frascos de plástico de 250 ml
- 2 frascos de vidrio de 400ml

Todos los frascos esterilizados, fueron proporcionados por el Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional de Cajamarca,

dónde hemos enviado a analizar todas las muestras de la presente investigación. Para realizar el muestreo, desarrollamos lo siguiente:

- a) En un frasco de plástico de 250 ml esterilizado se tomó una muestra de agua residual doméstica, para el respectivo análisis del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- b) Para el análisis del parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) se utilizó un frasco de plástico debidamente esterilizado de 250 ml.
- c) Para los parámetros nitrógeno y fósforo total el frasco utilizado para la toma de muestras de aguas residual fue de 250 ml.
- d) Y para los parámetros microbiológicos (Coliformes fecales y totales) la muestra de agua residual doméstica fue tomada en un frasco de 400 ml.
- e) En un frasco de plástico de 500 ml, se llenó al tope la muestra de agua residual para los análisis de los parámetros físicos como: conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, pH y sólidos totales disueltos.

Terminado el muestreo de los parámetros fisicoquímicos, químicos y microbiológicos, los frascos fueron enviados al Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional de Cajamarca para su concerniente análisis.

3.6.5. Diseño y construcción del humedal

3.6.5.1. Diseño:

Para la elaboración del diseño del Humedal Artificial Subsuperficial, se ha tomado con referencia la bibliografía mencionada en el apartado 2.2. Bases Teóricas.

Además, para realizar cálculos, utilizamos los siguientes materiales:

- Lapicero
- Calculadora
- Cuaderno de apuntes

El método utilizado para determinar las medidas exactas del humedal fue tomado de Delgadillo, O., Pérez, L., Camacho, A., & Andrade, M., (2010), teniendo en cuenta el caudal y la concentración de DBO₅.

El tiempo de retención hidráulica se encuentra en el intervalo de 4 a 15 días, siendo lo recomendado y empleado 7 días. (Delgadillo et al., 2010)

3.6.5.2. Construcción

Se tomó la decisión de la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal; para ello se utilizó lo siguiente:

- Tinas cuadradas de 1m² x 60cm
- Tubos de ½ pulgada
- Codos ½
- Cilindro de 200 L
- Válvulas de paso

- Pegamento
- Bases de madera

Secuencia de pasos en la etapa de construcción:

- Identificación del área a implementar y ejecutar el Humedal Artificial de flujo Subsuperficial.
- Limpieza y acondicionamiento del área, retirando cosas u objetos que puedan bloquear acceso u otros.
- Verificación de las medidas propuestas en el diseño de humedales artificiales, en cuanto al ancho, largo y altura.
- Construcción de la planta piloto humedal artificial, el cual consta de un tanque de distribución, cuatro reactores, tubos, codos y llaves de paso.

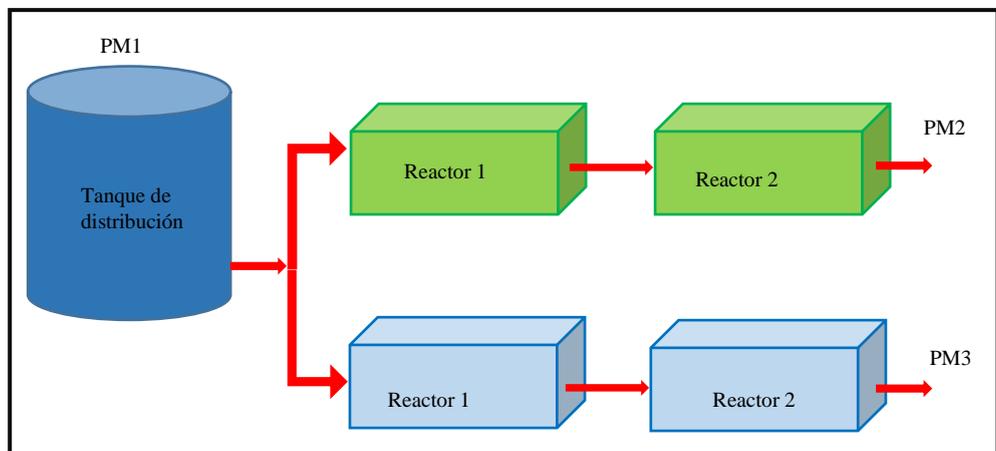


Figura 11: Puntos de monitoreo

Fuente: Elaborada por los autores

Donde:

PM1: Punto de monitoreo 1 (agua residual domestica)

PM2: Punto de monitoreo 2 *Phragmites Australis* (Carrizo)

PM3: Punto de monitoreo 3 *Scirpus californicus* (Totora)

3.6.5.3. Monitoreo del funcionamiento del humedal

Materiales para realizar el monitoreo:

- Cámara fotográfica
- Lapicero
- Cuaderno de apuntes
- Cuaderno de control de temperatura.

Instalado el sistema piloto Humedal Artificial de flujo Subsuperficial Horizontal, se procede al inicio del proceso de depuración de las aguas residuales domésticas, para ello se monitoreo todos los días por 3 meses seguidos la temperatura, sin embargo; para la toma de muestra y análisis, se realizó cada 15 días segunda muestra, después de la inicial, a los 45 días tercera muestra y a los 90 días muestra final, los horarios de monitoreo fueron 7:30 am y 12:30 pm, esto se dio con el fin de controlar y verificar la eficiencia de cada una de las plantas en el funcionamiento del sistema de tratamiento.

Realizamos monitoreo apropiados al sistema en marcha para observar la adaptación y crecimiento de las especies Totora y carrizo, presencia de mosquitos, rajaduras; también se realizó la limpieza de agentes extraños caídos en el humedal para no interferir en el proceso, permitiendo garantizar la operación del sistema.

3.6.5.4. Muestreo y Análisis de los parámetros post tratamiento

En el muestreo de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos después del tratamiento se utilizó:

- Culer
- Guantes
- 1 frasco de plástico de 500 ml
- 1 frascos de plástico de 250 ml
- Preservante ácido Nítrico (HNO_3)
- Preservante ácido sulfúrico (H_2SO_4)
- 2 frascos de plástico de 100 ml
- 1 frasco de vidrio de 400 ml

El muestreo consistió en:

- a) Para la Demanda Química de Oxígeno (DBO) se tomó un frasco de plástico de 250 ml y se llenó de agua residual hasta el límite para luego agregarle el preservante (H_2SO_4), para su análisis en Laboratorio Regional del Agua – Gobierno Regional de Cajamarca.
- b) La muestra de agua residual tomada para el DQO fue realizada en un frasco de plástico de 100 ml.
- c) Para el caso de nitrógeno y fósforo se utilizaron frascos de plástico de 250 ml, se añadió el preservante (HNO_3)
- d) Para los parámetros microbiológicos (Coliformes fecales y totales) la muestra fue tomada en un frasco de vidrio de 250 ml.

e) Por último, para los análisis físicos (conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, pH y sólidos totales disueltos) se utilizó un frasco de 500 ml.

terminado de realizar el muestreo de los parámetros fisicoquímicos, químicos y microbiológicos, los frascos fueron guardados en el culer y enviados al Laboratorio Regional del Agua – Gobierno Regional de Cajamarca y ser análisis.

3.6.6. Elección de las plantas acuáticas

Phragmites Australis, (carrizo) pertenece a la familia Poaceae, llega a tener una altura de 1.5 a 3 m con una profundidad radical de 0.7 – 0.8 m, absorbe contaminantes tales como plomo y zinc, contiene rizomas que penetran vertical y profundamente, en el sustrato o fango del humedal, por ello el efecto oxigenador es potencialmente mayor, germinan en aproximadamente 5 días en condiciones de humedad a 20- 24°C, el carrizo es una planta que produce mucha biomasa, y tiene un pH entre 2 – 8. (Izaguirre 2006) señala que los resultados de un estudio realizado en México en el cual se utilizó Phragmites australis como sustrato, tuvo una efectividad de remoción del 88,5% para DBO5, 87,4 % DQO, 89% sólidos suspendidos, 73,6% nitrógeno orgánico y 99% coliformes fecales, cabe resaltar que pesar de su efectividad uno de los factores más importantes que hay que tener en cuenta con este tipo de especies es que no elimina al fosforo, pues no produce adsorción. (Hidalgo y Montano 2005).

La *Schonoplectus Californicus* (totora) en general es ancestro directo de los denominados “vegetales vasculares”. Tienen epidermis muy delgadas a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes y tejidos; grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno. Esto permite la transferencia de oxígeno desde el aire y órganos fotosintéticos, y desde ahí hacia las raíces (Fernández et al. 2004).

En función a los estudios nombrados anteriormente, para la presente investigación se tomaron como plantas el carrizo y la totora, debido a su eficiencia en la remoción de DBO, DQO, coliformes fecales y sólidos totales para un mejor resultado en la obtención de aguas tratadas, así mismo poseen un buen margen de pH y temperatura.

3.7. Técnicas de Investigación

3.7.1. Procedimientos de Comprobación de la validez y confiabilidad de los instrumentos.

Los datos serán emitidos por el laboratorio, son válidos debido a que son realizados con equipos confiables y estándares vigentes.

3.8. Técnicas de análisis de datos (estadísticas)

Los datos obtenidos como resultado de las muestras serán procesados en un software (Excel), IBM SPS y ANOVA

Para la evaluación de la eficiencia de cada una de las plantas se utilizará las pruebas estadísticas de ANOVA (análisis de varianza) para comparar la eficiencia de cada una.

Según lo publicado en la página de Minitab describe que:

“Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente”. (MINITAB, 2019).

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

4.1.1. ANALISIS DE DATOS FISICOQUIMICOS

Tabla 9: Se muestran los tratamientos estudiados

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
TRATAMIENTO	1	INICIAL	3
	2	TOTORA	3
	3	CARRIZO	3
	4	LCM	3

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 10: Se muestran los estadísticos descriptivos para cada variable del análisis fisicoquímico

Estadísticos descriptivos				
	TRATAMIENTO	Media	Desviación estándar	N
Fluoruro	INICIAL	,03800	,000000	3
	TOTORA	,16700	,159258	3
	CARRIZO	,09800	,079373	3
	LCM	,03800	,000000	3
	Total	,08525	,094030	12
Cloruro	INICIAL	76,01000	,000000	3
	TOTORA	154,36667	48,724156	3
	CARRIZO	108,74000	21,406139	3
	LCM	,06500	,000000	3
	Total	84,79542	63,011052	12
Nitrito	INICIAL	,05000	,000000	3
	TOTORA	1,31733	1,368243	3
	CARRIZO	,35667	,531162	3
	LCM	,05000	,000000	3
	Total	,44350	,828519	12

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Nitrato	INICIAL	,06400	,000000	3
	TOTORA	3,85800	3,945891	3
	CARRIZO	,63333	,494677	3
	LCM	,06400	,000000	3
	Total	1,15483	2,364630	12
Sulfato	INICIAL	386,20000	,000000	3
	TOTORA	261,13333	26,988393	3
	CARRIZO	120,71667	58,539353	3
	LCM	,07000	,000000	3
	Total	192,03000	154,197316	12
Fosfato	INICIAL	36,83000	,000000	3
	TOTORA	2,90800	4,981378	3
	CARRIZO	3,20200	5,400785	3
	LCM	,03200	,000000	3
	Total	10,74300	16,092060	12

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 11: Pruebas multivariante

Efecto		Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.
TRATAMIEN	Traza de Pillai	1,592	1,979	12,000	21,000	,082
TO	Lambda de Wilks	,010	5,316	12,000	13,520	,002
	Traza de Hotelling	45,053	13,766	12,000	11,000	,000
	Raíz mayor de Roy	43,945	76,903 ^c	4,000	7,000	,000

Fuente: Elaborado por los autores

En todas las pruebas, excepto para la Traza de Pillai la diferencia es estadísticamente significativa a un nivel del 95% de confianza. Esto significa que al menos el valor de la media de un grupo de una variable es diferente de las otras.

A. Determinación de homocedasticidad de varianzas

Tabla 12: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

	F	df1	df2	Sig.
Fluoruro	7,549	3	8	,010
Cloruro	11,148	3	8	,003
Nitrito	5,028	3	8	,030
Nitrato	4,584	3	8	,038
Sulfato	4,553	3	8	,038
Fosfato	10,679	3	8	,004

Fuente: Elaborado por los autores

No se demuestra la homocedasticidad de las varianzas.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Tabla 13: Pruebas univariadas

Variable dependiente		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada
Fluoruro	Contra	,034	3	,011	1,429	,304	,349	4,287	,250
	ste	,063	8	,008					
	Error								
Cloruro	Contra	38009,78	3	12669,92	17,89	,001	,870	53,681	,999
	ste	7	8	9	4				
	Error	5664,532		708,067					
Nitrito	Contra	3,242	3	1,081	2,007	,192	,429	6,021	,340
	ste	4,308	8	,539					
	Error								
Nitrat	Contra	29,877	3	9,959	2,519	,132	,486	7,557	,418
	ste	31,630	8	3,954					
	Error								
Sulfato	Contra	253234,4	3	84411,49	81,25	,000	,968	243,774	1,000
	ste	78	8	3	8				
	Error	8310,458		1038,807					
Fosfato	Contra	2740,533	3	913,511	67,68	,000	,962	203,068	1,000
	ste	107,965	8	13,496	9				
	Error								

Fuente: Elaborado por los autores

En el cuadro se observa que, si se hubiera aplicado el ANOVA de un factor, para cada variable, la diferencia sería estadísticamente significativa a un nivel del 95% de confianza para la media, de al menos, un grupo de las variables Cloruro, Sulfato y Fosfato.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

B. Prueba Post hoc: Prueba C de Dunnett

Tabla 14: Comparaciones por parejas

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
						Límite inferior	Límite superior
						Fluoruro	INICIAL
		CARRIZO	-,060	,073	1,000	-,313	,193
		LCM	-5,551E-17	,073	1,000	-,253	,253
	TOTORA	INICIAL	,129	,073	,682	-,124	,382
		CARRIZO	,069	,073	1,000	-,184	,322
		LCM	,129	,073	,682	-,124	,382
	CARRIZO	INICIAL	,060	,073	1,000	-,193	,313
		TOTORA	-,069	,073	1,000	-,322	,184
		LCM	,060	,073	1,000	-,193	,313
	LCM	INICIAL	5,551E-17	,073	1,000	-,253	,253
		TOTORA	-,129	,073	,682	-,382	,124
		CARRIZO	-,060	,073	1,000	-,313	,193
Cloruro	INICIAL	TOTORA	-78,357*	21,727	,042	-153,941	-2,773
		CARRIZO	-32,730	21,727	1,000	-108,314	42,854
		LCM	75,945*	21,727	,049	,361	151,529

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

	TOTORA	INICIAL	78,357*	21,727	,042	2,773	153,941
		CARRIZO	45,627	21,727	,414	-29,957	121,211
		LCM	154,302*	21,727	,001	78,718	229,886
	CARRIZO	INICIAL	32,730	21,727	1,000	-42,854	108,314
		TOTORA	-45,627	21,727	,414	-121,211	29,957
		LCM	108,675*	21,727	,006	33,091	184,259
	LCM	INICIAL	-75,945*	21,727	,049	-151,529	-,361
		TOTORA	-154,302*	21,727	,001	-229,886	-78,718
		CARRIZO	-108,675*	21,727	,006	-184,259	-33,091
Nitrito	INICIAL	TOTORA	-1,267	,599	,404	-3,352	,817
		CARRIZO	-,307	,599	1,000	-2,391	1,778
		LCM	5,551E-16	,599	1,000	-2,085	2,085
	TOTORA	INICIAL	1,267	,599	,404	-,817	3,352
		CARRIZO	,961	,599	,885	-1,124	3,045
		LCM	1,267	,599	,404	-,817	3,352
	CARRIZO	INICIAL	,307	,599	1,000	-1,778	2,391
		TOTORA	-,961	,599	,885	-3,045	1,124
		LCM	,307	,599	1,000	-1,778	2,391
	LCM	INICIAL	-5,551E-16	,599	1,000	-2,085	2,085
		TOTORA	-1,267	,599	,404	-3,352	,817
		CARRIZO	-,307	,599	1,000	-2,391	1,778
Nitrato	INICIAL	TOTORA	-3,794	1,624	,286	-9,442	1,854
		CARRIZO	-,569	1,624	1,000	-6,217	5,079
		LCM	5,551E-17	1,624	1,000	-5,648	5,648

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

	TOTORA	INICIAL	3,794	1,624	,286	-1,854	9,442
		CARRIZO	3,225	1,624	,494	-2,423	8,873
		LCM	3,794	1,624	,286	-1,854	9,442
	CARRIZO	INICIAL	,569	1,624	1,000	-5,079	6,217
		TOTORA	-3,225	1,624	,494	-8,873	2,423
		LCM	,569	1,624	1,000	-5,079	6,217
	LCM	INICIAL	-5,551E-17	1,624	1,000	-5,648	5,648
		TOTORA	-3,794	1,624	,286	-9,442	1,854
		CARRIZO	-,569	1,624	1,000	-6,217	5,079
Sulfato	INICIAL	TOTORA	125,067*	26,316	,009	33,516	216,617
		CARRIZO	265,483*	26,316	,000	173,933	357,034
		LCM	386,130*	26,316	,000	294,579	477,681
	TOTORA	INICIAL	-125,067*	26,316	,009	-216,617	-33,516
		CARRIZO	140,417*	26,316	,004	48,866	231,967
		LCM	261,063*	26,316	,000	169,513	352,614
	CARRIZO	INICIAL	-265,483*	26,316	,000	-357,034	-173,933
		TOTORA	-140,417*	26,316	,004	-231,967	-48,866
		LCM	120,647*	26,316	,011	29,096	212,197
	LCM	INICIAL	-386,130*	26,316	,000	-477,681	-294,579
		TOTORA	-261,063*	26,316	,000	-352,614	-169,513
		CARRIZO	-120,647*	26,316	,011	-212,197	-29,096

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

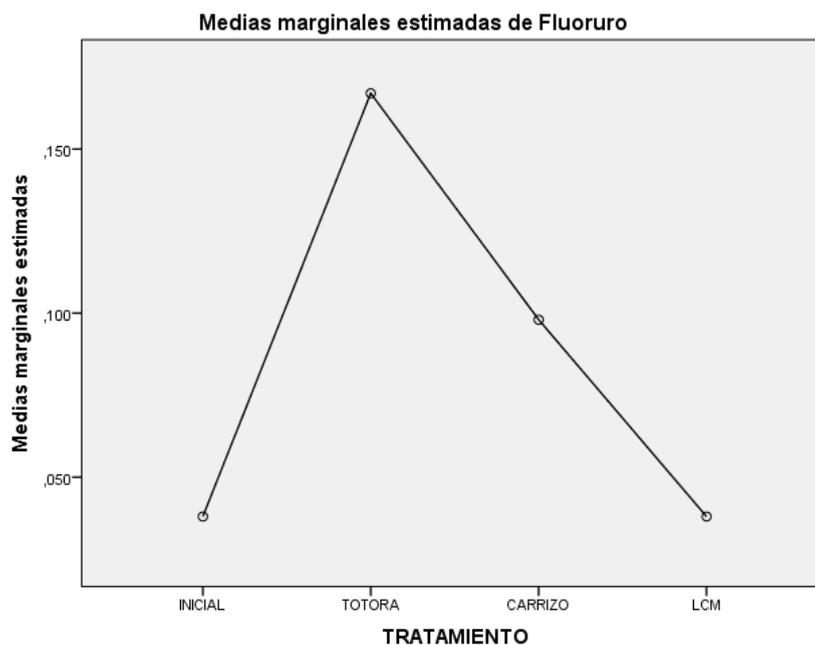
FACULTAD DE INGENIERIA

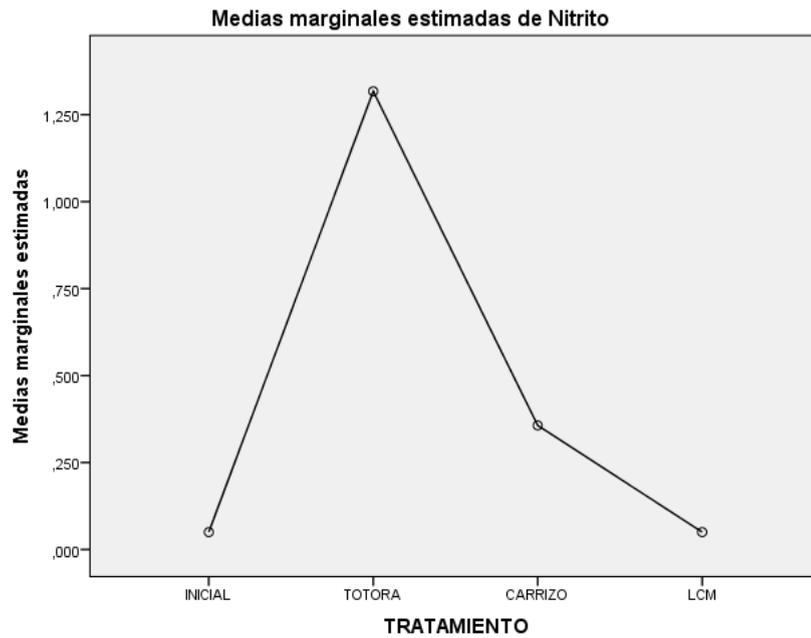
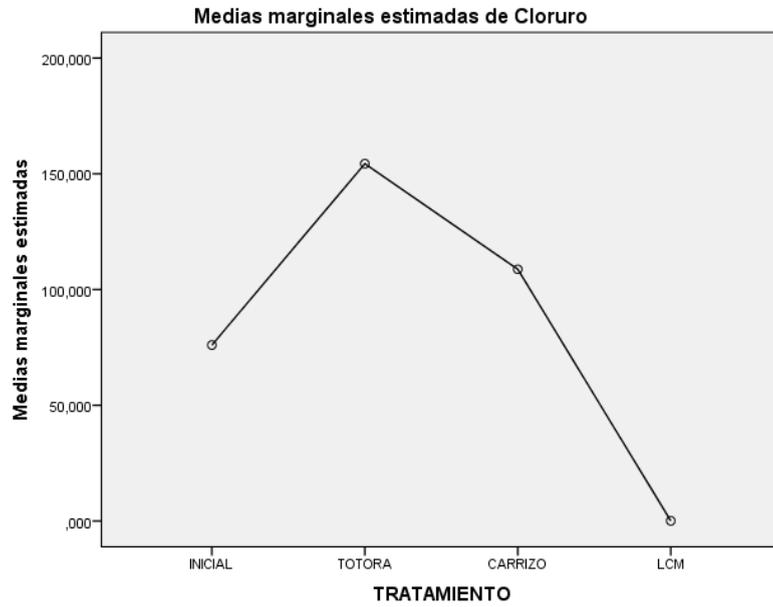
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

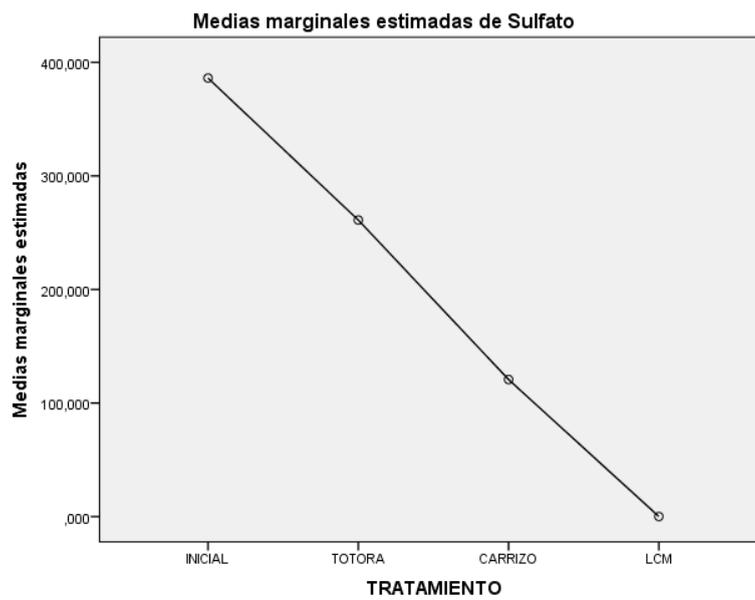
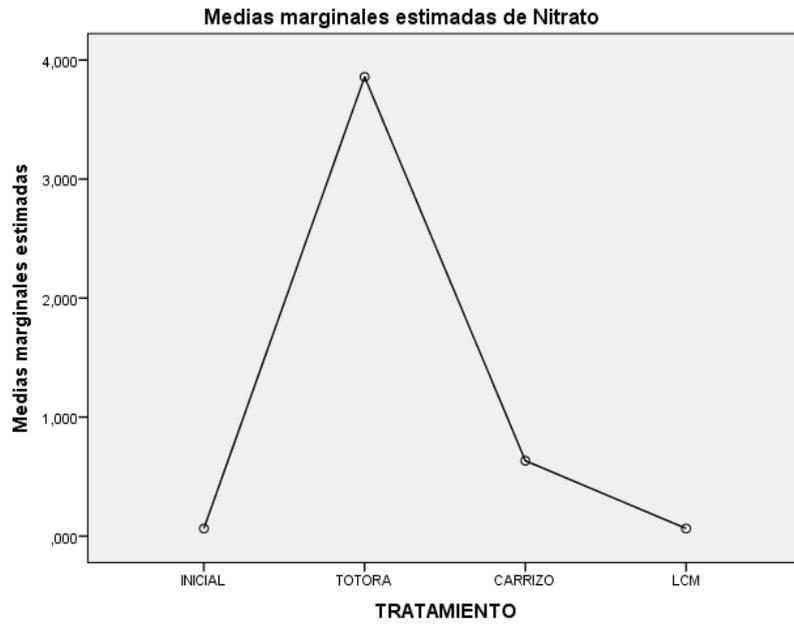
Fosfato	INICIAL	TOTORA	33,922*	3,000	,000	23,487	44,357
		CARRIZO	33,628*	3,000	,000	23,193	44,063
		LCM	36,798*	3,000	,000	26,363	47,233
	TOTORA	INICIAL	-33,922*	3,000	,000	-44,357	-23,487
		CARRIZO	-,294	3,000	1,000	-10,729	10,141
		LCM	2,876	3,000	1,000	-7,559	13,311
	CARRIZO	INICIAL	-33,628*	3,000	,000	-44,063	-23,193
		TOTORA	,294	3,000	1,000	-10,141	10,729
		LCM	3,170	3,000	1,000	-7,265	13,605
	LCM	INICIAL	-36,798*	3,000	,000	-47,233	-26,363
		TOTORA	-2,876	3,000	1,000	-13,311	7,559
		CARRIZO	-3,170	3,000	1,000	-13,605	7,265

Fuente: Elaborado por los auto

Interpretación: Como no se pudo demostrar la homocedasticidad de varianzas aplicamos la prueba C de Dunnett, con la que inferimos que el valor de la media del cloruro aumentó significativamente respecto al valor inicial en el tratamiento del agua con la totora, no siendo lo mismo para con el carrizo, con el que no hubo diferencia significativa entre su media con el valor inicial. El valor medio del sulfato disminuyó significativamente, comparándolo con el valor inicial (386,20000), para los tratamientos tanto para la totora (261,13333), con una eficiencia del 30.38%, como para el carrizo (120,71667) con una eficiencia del 68.74%, demostrando el carrizo ser más eficiente que la totora. El valor de la media de los fosfatos disminuyó significativamente, comparándolo con el valor inicial (36,83000), para los tratamientos del agua tanto para la totora (2,90800) con una eficiencia del 92.1 %, como para el carrizo (3,20200) con una eficiencia del 91.3%, siendo ambos valores estadísticamente iguales.







UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

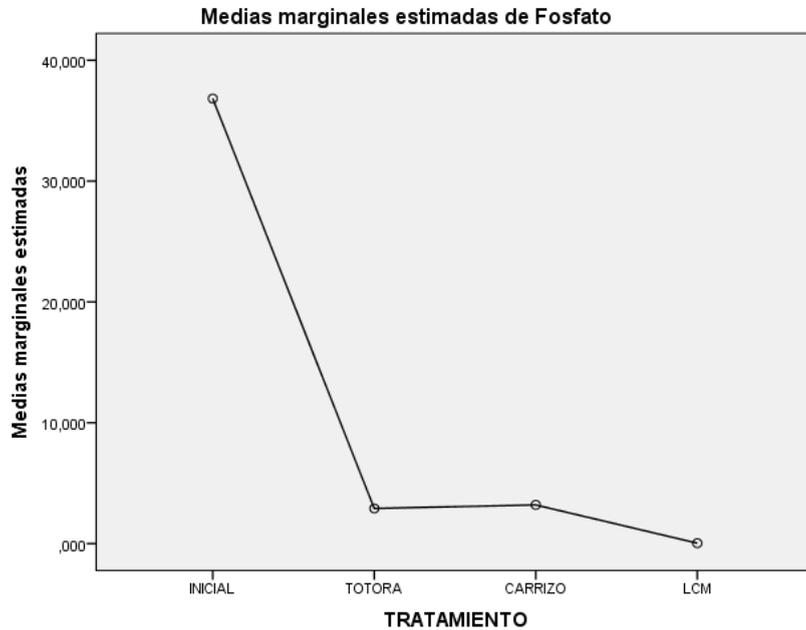


Tabla 15: Estadísticos descriptivos

	TRATAMIENTO	Media	Desviación estándar	N
Turbidez	INICIAL	151,00000	,000000	3
	TOTORA	8,26500	3,372899	2
	CARRIZO	57,90000	72,973420	2
	LCM	,09000	,000000	3
	Total	58,56000	71,715662	10
SST	INICIAL	322,50000	,000000	3
	TOTORA	9,15000	7,424621	2
	CARRIZO	57,55000	71,347074	2
	LCM	2,50000	,000000	3
	Total	110,84000	149,487801	10
SDT	INICIAL	1138,00000	,000000	3
	TOTORA	1180,50000	62,932504	2
	CARRIZO	1190,75000	63,286057	2
	LCM	2,50000	,000000	3
	Total	816,40000	562,826044	10
NA	INICIAL	37,30000	,000000	3

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

	TOTORA	1,71850	1,359766	2
	CARRIZO	9,57000	7,396337	2
	LCM	,02800	,000000	3
	Total	13,45610	17,025592	10
NT	INICIAL	163,40000	,000000	3
	TOTORA	6,55000	2,220315	2
	CARRIZO	28,91500	24,303260	2
	LCM	,01400	,000000	3
	Total	56,11720	75,248342	10
DBO_5	INICIAL	174,00000	,000000	3
	TOTORA	11,40000	6,222540	2
	CARRIZO	51,00000	10,606602	2
	LCM	2,60000	,000000	3
	Total	65,46000	77,180383	10
DQO	INICIAL	691,60000	,000000	3
	TOTORA	46,00000	9,192388	2
	CARRIZO	139,55000	30,900566	2
	LCM	8,30000	,000000	3
	Total	247,08000	310,711162	10

Fuente: Elaborado por los autores

Se muestran los estadísticos descriptivos para cada variable del análisis fisicoquímico

Tabla 16: Pruebas multivariante

	Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada ^c
Traza de Pillai	1,456	5,348	6,000	12,000	,007	,728	32,090	,933
Lambda de Wilks	,000	135,824 ^a	6,000	10,000	,000	,988	814,946	1,000
Traza de Hotelling	3702,39	2468,264	6,000	8,000	,000	,999	14809,582	1,000
Raíz mayor de Roy	3701,55	7403,115 ^b	3,000	6,000	,000	1,000	22209,344	1,000

Fuente: Elaborado por los autores

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

En todas las pruebas la diferencia es estadísticamente significativa a un nivel del 95% de confianza. Esto significa que al menos el valor de la media de un grupo de una variable es diferente de las otras.

Tabla 17: Pruebas univariadas

Variable dependiente		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial cuadrado	Parámetro de centralidad	Potencia observada ^a
Turbidez	Contraste	40951,729	3	13650,576	15,348	,003	,885	46,043	,986
	Error	5336,496	6	889,416					
SST	Contraste	195973,894	3	65324,631	76,172	,000	,974	228,517	1,000
	Error	5145,530	6	857,588					
SDT	Contraste	2842992,775	3	947664,258	713,815	,000	,997	2141,446	1,000
	Error	7965,625	6	1327,604					
NA	Contraste	2552,282	3	850,761	90,259	,000	,978	270,776	1,000
	Error	56,555	6	9,426					
NT	Contraste	50365,239	3	16788,413	169,131	,000	,988	507,392	1,000
	Error	595,578	6	99,263					
DBO_5	Contraste	53460,084	3	17820,028	707,050	,000	,997	2121,151	1,000
	Error	151,220	6	25,203					
DQO	Contraste	867833,491	3	289277,830	1669,962	,000	,999	5009,887	1,000
	Error	1039,345	6	173,224					

Fuente: Elaborado por los autores

En el cuadro se observa que si se hubiera aplicado el ANOVA de un factor para cada variable la media al menos de un grupo sería diferencia estadísticamente significativa del resto, a un nivel del 95% de confianza.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Tabla 18: Comparaciones por parejas

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
						Límite inferior	Límite superior
Turbidez	INICIAL	TOTORA	142,735*	27,225	,012	37,567	247,903
		CARRIZO	93,100	27,225	,085	-12,068	198,268
		LCM	150,910*	24,350	,005	56,844	244,976
	TOTORA	INICIAL	-142,735*	27,225	,012	-247,903	-37,567
		CARRIZO	-49,635	29,823	,883	-164,841	65,571
		LCM	8,175	27,225	1,000	-96,993	113,343
	CARRIZO	INICIAL	-93,100	27,225	,085	-198,268	12,068
		TOTORA	49,635	29,823	,883	-65,571	164,841
		LCM	57,810	27,225	,467	-47,358	162,978
	LCM	INICIAL	-150,910*	24,350	,005	-244,976	-56,844
		TOTORA	-8,175	27,225	1,000	-113,343	96,993
		CARRIZO	-57,810	27,225	,467	-162,978	47,358
SST	INICIAL	TOTORA	313,350*	26,733	,000	210,080	416,620
		CARRIZO	264,950*	26,733	,000	161,680	368,220
		LCM	320,000*	23,911	,000	227,633	412,367
	TOTORA	INICIAL	-313,350*	26,733	,000	-416,620	-210,080
		CARRIZO	-48,400	29,285	,897	-161,526	64,726
		LCM	6,650	26,733	1,000	-96,620	109,920
	CARRIZO	INICIAL	-264,950*	26,733	,000	-368,220	-161,680
		TOTORA	48,400	29,285	,897	-64,726	161,526
		LCM	55,050	26,733	,511	-48,220	158,320
	LCM	INICIAL	-320,000*	23,911	,000	-412,367	-227,633
		TOTORA	-6,650	26,733	1,000	-109,920	96,620
		CARRIZO	-55,050	26,733	,511	-158,320	48,220

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

SDT	INICIAL	TOTORA	-42,500	33,262	1,00	-170,989	85,989
						0	
		CARRIZO	-52,750	33,262	,983	-181,239	75,739
		LCM	1135,50	29,750	,000	1020,57	1250,42
			0*			6	4
		TOTORA	42,500	33,262	1,00	-85,989	170,989
		INICIAL				0	
		CARRIZO	-10,250	36,436	1,00	-151,003	130,503
						0	
		LCM	1178,00	33,262	,000	1049,51	1306,48
			0*			1	9
		CARRIZO	52,750	33,262	,983	-75,739	181,239
		TOTORA	10,250	36,436	1,00	-130,503	151,003
						0	
		LCM	1188,25	33,262	,000	1059,76	1316,73
			0*			1	9
		INICIAL	-	29,750	,000	-	-
			1135,50			1250,42	1020,57
		0*			4	6	
	TOTORA	-	33,262	,000	-	-	
		1178,00			1306,48	1049,51	
		0*			9	1	
	CARRIZO	-	33,262	,000	-	-	
		1188,25			1316,73	1059,76	
		0*			9	1	
	INICIAL						
	TOTORA	35,582*	2,803	,000	24,755	46,408	
	CARRIZO	27,730*	2,803	,000	16,903	38,557	
	LCM	37,272*	2,507	,000	27,588	46,956	
	TOTORA						
	INICIAL	-35,582*	2,803	,000	-46,408	-24,755	
	CARRIZO	-7,852	3,070	,258	-19,711	4,008	
	LCM	1,691	2,803	1,00	-9,136	12,517	
					0		
	CARRIZO						
	INICIAL	-27,730*	2,803	,000	-38,557	-16,903	
	TOTORA	7,852	3,070	,258	-4,008	19,711	
	LCM	9,542	2,803	,086	-1,285	20,369	
	INICIAL						
	TOTORA	-37,272*	2,507	,000	-46,956	-27,588	
	TOTORA	-1,691	2,803	1,00	-12,517	9,136	
					0		
	CARRIZO						
		-9,542	2,803	,086	-20,369	1,285	

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

NT	INICIAL	TOTORA	156,850*	9,095	,000	121,716	191,984
		CARRIZO	134,485*	9,095	,000	99,351	169,619
		LCM	163,386*	8,135	,000	131,961	194,811
	TOTORA	INICIAL	-	9,095	,000	-191,984	-121,716
			156,850*				
		CARRIZO	-22,365	9,963	,395	-60,852	16,122
		LCM	6,536	9,095	1,00	-28,598	41,670
					0		
	CARRIZO	INICIAL	-	9,095	,000	-169,619	-99,351
			134,485*				
		TOTORA	22,365	9,963	,395	-16,122	60,852
		LCM	28,901	9,095	,115	-6,233	64,035
	LCM	INICIAL	-	8,135	,000	-194,811	-131,961
			163,386*				
		TOTORA	-6,536	9,095	1,00	-41,670	28,598
				0			
	CARRIZO	-28,901	9,095	,115	-64,035	6,233	
DBO_5	INICIAL	TOTORA	162,600*	4,583	,000	144,896	180,304
		CARRIZO	123,000*	4,583	,000	105,296	140,704
		LCM	171,400*	4,099	,000	155,565	187,235
	TOTORA	INICIAL	-	4,583	,000	-180,304	-144,896
			162,600*				
		CARRIZO	-39,600*	5,020	,001	-58,993	-20,207
		LCM	8,800	4,583	,619	-8,904	26,504
	CARRIZO	INICIAL	-	4,583	,000	-140,704	-105,296
			123,000*				
		TOTORA	39,600*	5,020	,001	20,207	58,993
		LCM	48,400*	4,583	,000	30,696	66,104
	LCM	INICIAL	-	4,099	,000	-187,235	-155,565
			171,400*				
		TOTORA	-8,800	4,583	,619	-26,504	8,904
		CARRIZO	-48,400*	4,583	,000	-66,104	-30,696
DQO	INICIAL	TOTORA	645,600*	12,015	,000	599,187	692,013
		CARRIZO	552,050*	12,015	,000	505,637	598,463
		LCM	683,300*	10,746	,000	641,787	724,813
	TOTORA	INICIAL	-	12,015	,000	-692,013	-599,187
			645,600*				
		CARRIZO	-93,550*	13,161	,002	-144,393	-42,707
	LCM	37,700	12,015	,121	-8,713	84,113	

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

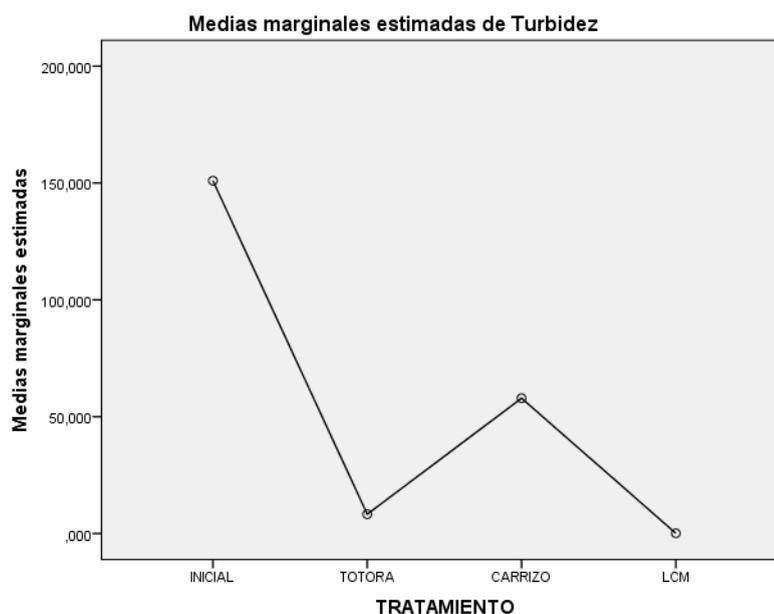
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

CARRIZO	INICIAL	-	12,015	,000	-598,463	-505,637
		552,050*				
	TOTORA	93,550*	13,161	,002	42,707	144,393
	LCM	131,250*	12,015	,000	84,837	177,663
LCM	INICIAL	-	10,746	,000	-724,813	-641,787
		683,300*				
	TOTORA	-37,700	12,015	,121	-84,113	8,713
	CARRIZO	-	12,015	,000	-177,663	-84,837
		131,250*				

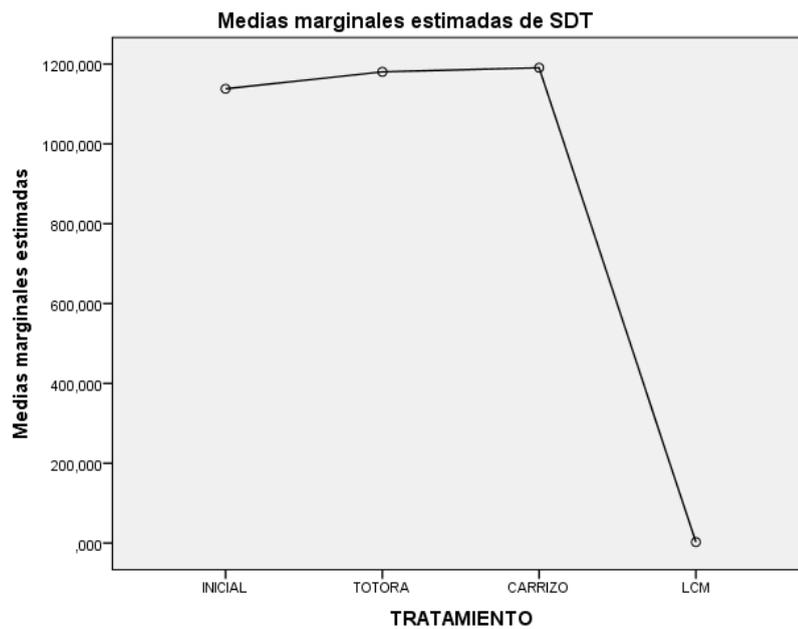
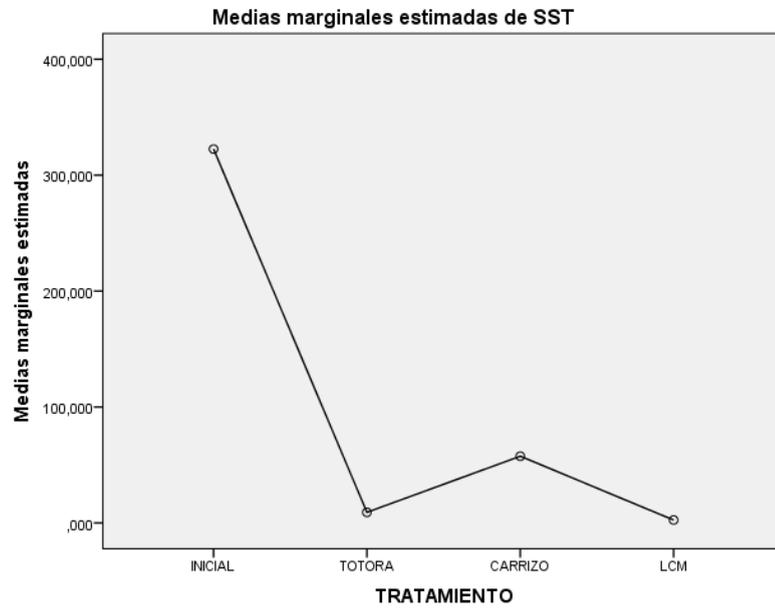
Fuente: Elaborado por los autores

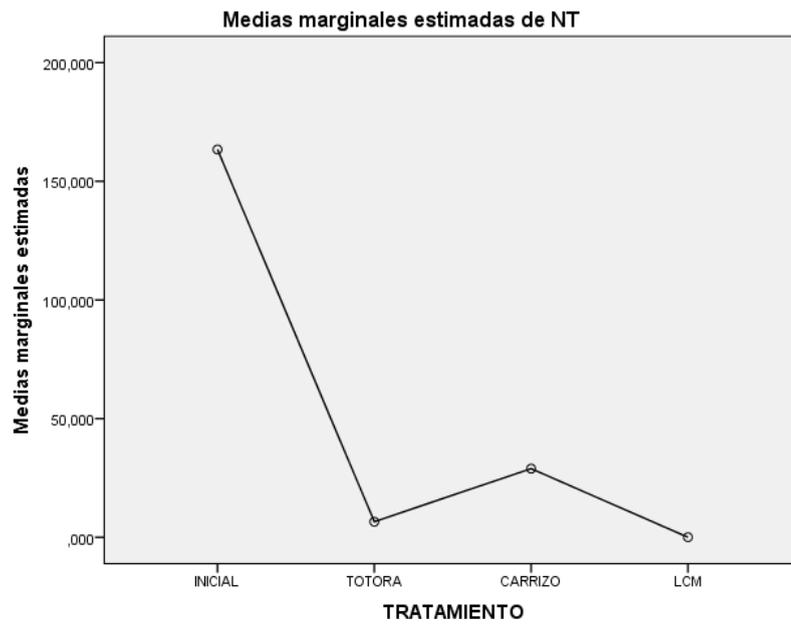
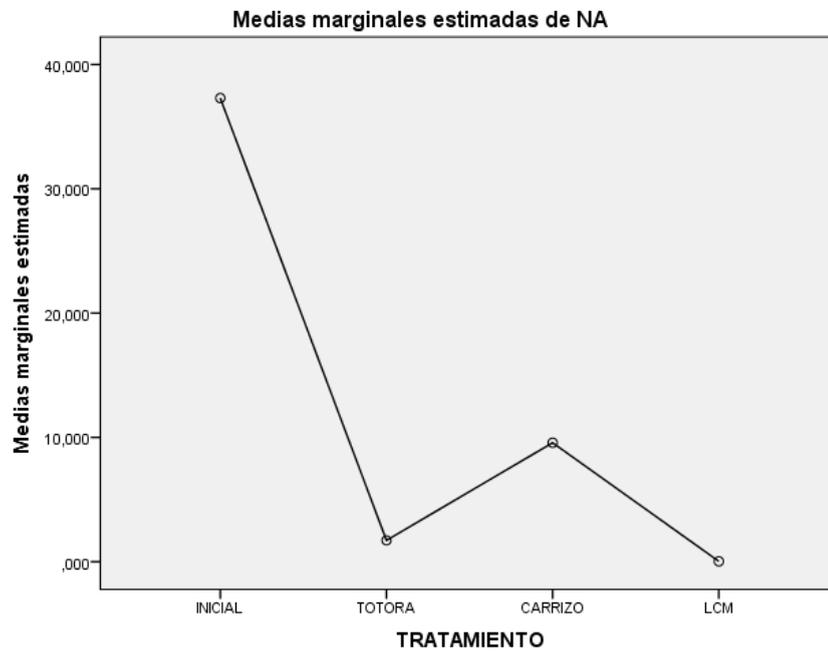
Interpretación: Como no se puede demostrar la homocedasticidad de varianzas aplicamos la prueba C de Dunnett, con la que inferimos que la turbidez disminuyó significativamente con el tratamiento del agua con la totora, respecto al valor inicial, no siendo lo mismo para con el tratamiento con el carrizo. Los valores de las variables sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno amoniacal (NA), nitrógeno total (NT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) disminuyeron

Significativamente, comparándolo con el valor inicial, para los tratamientos de agua tanto para la totora como para el carrizo.

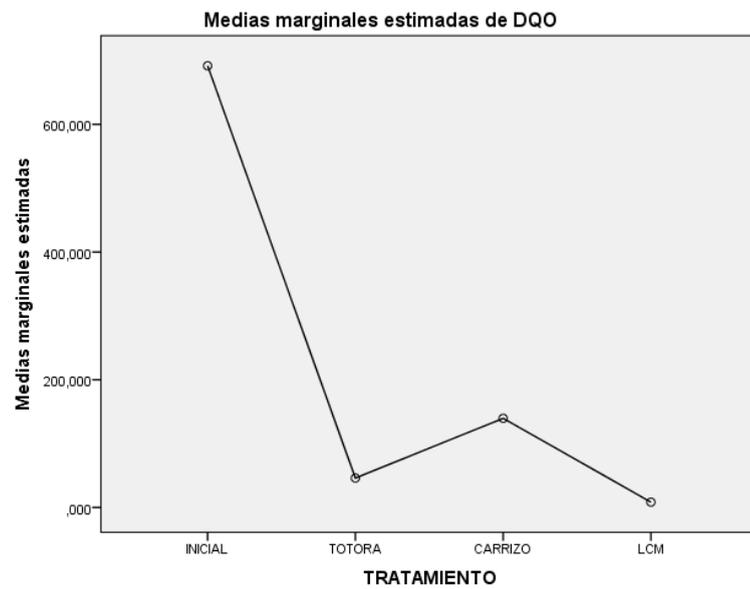
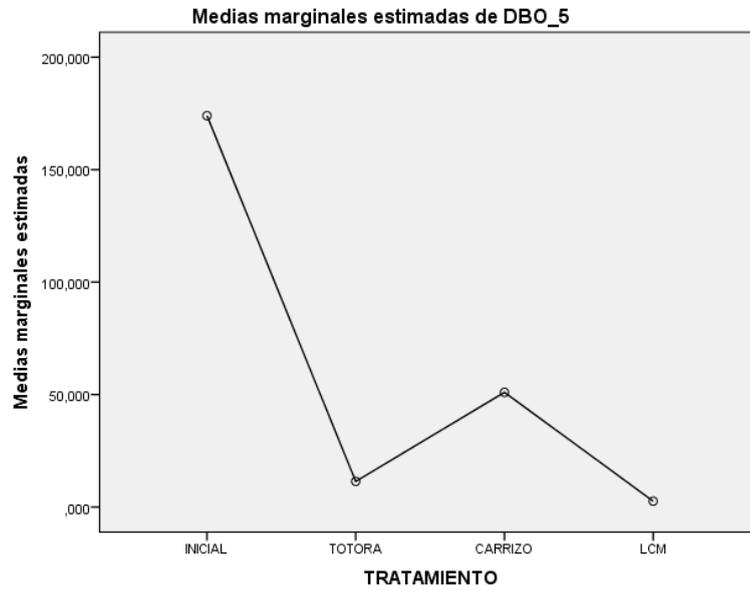


UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS





UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



4.1.2. ANALISIS DE VARIABLES QUIMICAS

Tabla 19: Factores inter-sujetos

		Etiqueta de valor	N
TRATAMIENTO	1	INICIAL	3
	2	TOTORA	3
	3	CARRIZO	3
	4	LCM	3

Fuente: Elaborado por los autores

Se muestran los tratamientos estudiados

Tabla 20: Estadísticos descriptivos

	TRATAMIENTO	Media	Desviación estándar	N
Aluminio	INICIAL	10,65000	,000000	3
	TOTORA	,11100	,059271	3
	CARRIZO	,10900	,016643	3
	LCM	,02300	,000000	3
	Total	2,72325	4,780226	12
Arsénico	INICIAL	,00500	,000000	3
	TOTORA	,00500	,000000	3
	CARRIZO	,02833	,013317	3
	LCM	,00500	,000000	3
	Total	,01083	,011984	12
Boro	INICIAL	,03000	,000000	3
	TOTORA	,02967	,006351	3
	CARRIZO	,22300	,167311	3
	LCM	,02600	,000000	3
	Total	,07717	,113284	12
Bario	INICIAL	,14100	,000000	3
	TOTORA	,06900	,019519	3
	CARRIZO	,10100	,013454	3
	LCM	,00400	,000000	3
	Total	,07875	,053328	12

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**FACULTAD DE INGENIERIA****CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS**

Calcio	INICIAL	127,10000	,000000	3
	TOTORA	168,30000	28,775163	3
	CARRIZO	150,00000	41,588099	3
	LCM	,12400	,000000	3
	Total	111,38100	72,101179	12
Hierro	INICIAL	9,55700	,000000	3
	TOTORA	,50767	,471642	3
	CARRIZO	,23133	,225755	3
	LCM	,02300	,000000	3
	Total	2,57975	4,217168	12
Potasio	INICIAL	17,59000	,000000	3
	TOTORA	34,78667	8,087214	3
	CARRIZO	64,38667	1,174067	3
	LCM	,05100	,000000	3
	Total	29,20358	25,036099	12
Litio	INICIAL	,00900	,000000	3
	TOTORA	,00567	,001155	3
	CARRIZO	,00800	,003000	3
	LCM	,00500	,000000	3
	Total	,00692	,002193	12
Magnesio	INICIAL	10,67000	,000000	3
	TOTORA	15,47333	3,280874	3
	CARRIZO	14,87833	4,920169	3
	LCM	,01900	,000000	3
	Total	10,26017	6,945283	12
Manganeso	INICIAL	,53800	,000000	3
	TOTORA	,63900	,311578	3
	CARRIZO	,90633	,724955	3
	LCM	,00300	,000000	3
	Total	,52158	,480372	12
Sodio	INICIAL	158,60000	,000000	3
	TOTORA	129,12333	33,746580	3
	CARRIZO	108,51000	58,835349	3
	LCM	,02600	,000000	3
	Total	99,06483	68,912602	12
Fósforo	INICIAL	20,19000	,000000	3
	TOTORA	2,43533	1,535182	3
	CARRIZO	3,77600	2,110836	3
	LCM	,02400	,000000	3

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

	Total	6,60633	8,384934	12
Asufre	INICIAL	133,60000	,000000	3
	TOTORA	96,54000	13,093559	3
	CARRIZO	42,30333	25,427366	3
	LCM	,09100	,000000	3
	Total	68,13358	54,610437	12
Silicio	INICIAL	34,06000	,000000	3
	TOTORA	7,47533	6,706575	3
	CARRIZO	7,37767	5,977130	3
	LCM	,10400	,000000	3
	Total	12,25425	14,047399	12
Estroncio	INICIAL	,68400	,000000	3
	TOTORA	,94100	,140471	3
	CARRIZO	,96000	,238648	3
	LCM	,00300	,000000	3
	Total	,64700	,421566	12

Fuente: Elaborado por los autores

Se muestran los estadísticos descriptivos para cada variable del análisis físicoquímico

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Tabla 21: Pruebas multivariante

	Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada^b
Traza de Pillai	2,855	34,532	12,000	21,000	,000	,952	414,385	1,000
Lambda de Wilks	,000	2486,762	12,000	13,520	,000	,999	12012,994	1,000
Traza de Hotelling	374321,647	114376,059	12,000	11,000	,000	1,000	1372512,706	1,000
Raíz mayor de Roy	374051,383	654589,920 ^a	4,000	7,000	,000	1,000	2618359,681	1,000

Fuente: Elaborado por los autores

En todas las pruebas, la diferencia es estadísticamente significativa a un nivel del 95% de confianza. Esto significa que al menos el valor de la media de un grupo de una variable es diferente de las otras.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Tabla 22: Pruebas univariadas

Variable dependiente		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada ^a
Aluminio	Contraste	251,349	3	83,783	88425,191	,000	1,000	265275,574	1,000
	Error	,008	8	,001					
Arsénico	Contraste	,001	3	,000	9,211	,006	,775	27,632	,941
	Error	,000	8	4,433E-5					
Boro	Contraste	,085	3	,028	4,048	,051	,603	12,143	,621
	Error	,056	8	,007					
Bario	Contraste	,030	3	,010	71,550	,000	,964	214,649	1,000
	Error	,001	8	,000					
Calcio	Contraste	52069,220	3	17356,407	27,145	,000	,911	81,435	1,000
	Error	5115,160	8	639,395					
Hierro	Contraste	195,083	3	65,028	951,350	,000	,997	2854,051	1,000
	Error	,547	8	,068					
Potasio	Contraste	6761,306	3	2253,769	134,994	,000	,981	404,981	1,000
	Error	133,563	8	16,695					
Litio	Contraste	3,225E-5	3	1,075E-5	4,161	,047	,609	12,484	,634
	Error	2,067E-5	8	2,583E-6					
Magnesio	Contraste	460,662	3	153,554	17,563	,001	,868	52,689	,999
	Error	69,944	8	8,743					

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Manganeso	Contraste	1,293	3	,431	2,769	,111	,509	8,307	,454
	Error	1,245	8	,156					
Sodio	Contraste	43037,554	3	14345,851	12,473	,002	,824	37,420	,985
	Error	9200,860	8	1150,107					
Fósforo	Contraste	759,753	3	253,251	148,700	,000	,982	446,099	1,000
	Error	13,625	8	1,703					
Azufre	Contraste	31169,314	3	10389,771	50,806	,000	,950	152,419	1,000
	Error	1635,984	8	204,498					
Silicio	Contraste	2009,215	3	669,738	33,195	,000	,926	99,584	1,000
	Error	161,408	8	20,176					
Estroncio	Contraste	1,802	3	,601	31,323	,000	,922	93,970	1,000
	Error	,153	8	,019					

Fuente: Elaborado por los autores

En el cuadro se observa que, si se hubiera aplicado el ANOVA de un factor, para cada variable, la diferencia sería estadísticamente significativa a un nivel del 95% de confianza para la media, de al menos, un grupo de todas las variables, excepto para las variables Boro y Manganeso.

A. Determinación de homocedasticidad de varianzas

Tabla 23: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a

	F	df1	df2	Sig.
Aluminio	5,939	3	8	,020
Arsénico	8,454	3	8	,007
Boro	8,110	3	8	,008
Bario	3,899	3	8	,055
Calcio	6,535	3	8	,015
Hierro	7,095	3	8	,012
Potasio	10,417	3	8	,004
Litio	3,435	3	8	,072
Magnesio	5,003	3	8	,031
Manganeso	6,495	3	8	,015
Sodio	4,064	3	8	,050
Fósforo	4,714	3	8	,035
Azufre	3,377	3	8	,075
Silicio	3,815	3	8	,058
Estroncio	6,023	3	8	,019

Fuente: Elaborado por los autores

No se demuestra la homocedasticidad de las varianzas, excepto para las variables Bario, Litio, Azufre y silicio

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

B. Prueba Post hoc: Prueba C de Dunnett

Tabla 24: Comparaciones por parejas

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
						Límite inferior	Límite superior
Aluminio	INICIAL	TOTORA	10,539*	,025	,000	10,452	10,626
		CARRIZO	10,541*	,025	,000	10,454	10,628
		LCM	10,627*	,025	,000	10,540	10,714
	TOTORA	INICIAL	-10,539*	,025	,000	-10,626	-10,452
		CARRIZO	,002	,025	1,000	-,085	,089
		LCM	,088*	,025	,048	,001	,175
	CARRIZO	INICIAL	-10,541*	,025	,000	-10,628	-10,454
		TOTORA	-,002	,025	1,000	-,089	,085
		LCM	,086	,025	,054	-,001	,173
	LCM	INICIAL	-10,627*	,025	,000	-10,714	-10,540
		TOTORA	-,088*	,025	,048	-,175	-,001
		CARRIZO	-,086	,025	,054	-,173	,001
Arsénico	INICIAL	TOTORA	,000	,005	1,000	-,019	,019
		CARRIZO	-,023*	,005	,016	-,042	-,004
		LCM	,000	,005	1,000	-,019	,019
	TOTORA	INICIAL	,000	,005	1,000	-,019	,019
		CARRIZO	-,023*	,005	,016	-,042	-,004

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

		LCM	,000	,005	1,000	-,019	,019
	CARRIZO	INICIAL	,023*	,005	,016	,004	,042
		TOTORA	,023*	,005	,016	,004	,042
		LCM	,023*	,005	,016	,004	,042
	LCM	INICIAL	,000	,005	1,000	-,019	,019
		TOTORA	,000	,005	1,000	-,019	,019
		CARRIZO	-,023*	,005	,016	-,042	-,004
Boro	INICIAL	TOTORA	,000	,068	1,000	-,237	,238
		CARRIZO	-,193	,068	,134	-,431	,045
		LCM	,004	,068	1,000	-,234	,242
	TOTORA	INICIAL	,000	,068	1,000	-,238	,237
		CARRIZO	-,193	,068	,133	-,431	,044
		LCM	,004	,068	1,000	-,234	,241
	CARRIZO	INICIAL	,193	,068	,134	-,045	,431
		TOTORA	,193	,068	,133	-,044	,431
		LCM	,197	,068	,123	-,041	,435
	LCM	INICIAL	-,004	,068	1,000	-,242	,234
		TOTORA	-,004	,068	1,000	-,241	,234
		CARRIZO	-,197	,068	,123	-,435	,041
Bario	INICIAL	TOTORA	,072*	,010	,000	,038	,106
		CARRIZO	,040*	,010	,020	,006	,074
		LCM	,137*	,010	,000	,103	,171
	TOTORA	INICIAL	-,072*	,010	,000	-,106	-,038

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

		CARRIZO	-,032	,010	,065	-,066	,002
		LCM	,065*	,010	,001	,031	,099
	CARRIZO	INICIAL	-,040*	,010	,020	-,074	-,006
		TOTORA	,032	,010	,065	-,002	,066
		LCM	,097*	,010	,000	,063	,131
	LCM	INICIAL	-,137*	,010	,000	-,171	-,103
		TOTORA	-,065*	,010	,001	-,099	-,031
		CARRIZO	-,097*	,010	,000	-,131	-,063
Calcio	INICIAL	TOTORA	-41,200	20,646	,486	-113,025	30,625
		CARRIZO	-22,900	20,646	1,000	-94,725	48,925
		LCM	126,976*	20,646	,002	55,151	198,801
	TOTORA	INICIAL	41,200	20,646	,486	-30,625	113,025
		CARRIZO	18,300	20,646	1,000	-53,525	90,125
		LCM	168,176*	20,646	,000	96,351	240,001
	CARRIZO	INICIAL	22,900	20,646	1,000	-48,925	94,725
		TOTORA	-18,300	20,646	1,000	-90,125	53,525
		LCM	149,876*	20,646	,001	78,051	221,701
	LCM	INICIAL	-126,976*	20,646	,002	-198,801	-55,151
		TOTORA	-168,176*	20,646	,000	-240,001	-96,351
		CARRIZO	-149,876*	20,646	,001	-221,701	-78,051
Hierro	INICIAL	TOTORA	9,049*	,213	,000	8,307	9,792
		CARRIZO	9,326*	,213	,000	8,583	10,068
		LCM	9,534*	,213	,000	8,791	10,277

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

	TOTORA	INICIAL	-9,049*	,213	,000	-9,792	-8,307
		CARRIZO	,276	,213	1,000	-,466	1,019
		LCM	,485	,213	,317	-,258	1,227
	CARRIZO	INICIAL	-9,326*	,213	,000	-10,068	-8,583
		TOTORA	-,276	,213	1,000	-1,019	,466
		LCM	,208	,213	1,000	-,534	,951
	LCM	INICIAL	-9,534*	,213	,000	-10,277	-8,791
		TOTORA	-,485	,213	,317	-1,227	,258
		CARRIZO	-,208	,213	1,000	-,951	,534
Potasio	INICIAL	TOTORA	-17,197*	3,336	,005	-28,803	-5,590
		CARRIZO	-46,797*	3,336	,000	-58,403	-35,190
		LCM	17,539*	3,336	,005	5,933	29,145
	TOTORA	INICIAL	17,197*	3,336	,005	5,590	28,803
		CARRIZO	-29,600*	3,336	,000	-41,206	-17,994
		LCM	34,736*	3,336	,000	23,129	46,342
	CARRIZO	INICIAL	46,797*	3,336	,000	35,190	58,403
		TOTORA	29,600*	3,336	,000	17,994	41,206
		LCM	64,336*	3,336	,000	52,729	75,942
	LCM	INICIAL	-17,539*	3,336	,005	-29,145	-5,933
		TOTORA	-34,736*	3,336	,000	-46,342	-23,129
		CARRIZO	-64,336*	3,336	,000	-75,942	-52,729
Litio	INICIAL	TOTORA	,003	,001	,208	-,001	,008

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

		CARRIZO	,001	,001	1,000	-,004	,006
		LCM	,004	,001	,095	-,001	,009
TOTORA		INICIAL	-,003	,001	,208	-,008	,001
		CARRIZO	-,002	,001	,680	-,007	,002
		LCM	,001	,001	1,000	-,004	,005
CARRIZO		INICIAL	-,001	,001	1,000	-,006	,004
		TOTORA	,002	,001	,680	-,002	,007
		LCM	,003	,001	,310	-,002	,008
LCM		INICIAL	-,004	,001	,095	-,009	,001
		TOTORA	-,001	,001	1,000	-,005	,004
		CARRIZO	-,003	,001	,310	-,008	,002
Magnesio	INICIAL	TOTORA	-4,803	2,414	,491	-13,202	3,596
		CARRIZO	-4,208	2,414	,717	-12,607	4,191
		LCM	10,651*	2,414	,014	2,252	19,050
TOTORA		INICIAL	4,803	2,414	,491	-3,596	13,202
		CARRIZO	,595	2,414	1,000	-7,804	8,994
		LCM	15,454*	2,414	,001	7,055	23,853
CARRIZO		INICIAL	4,208	2,414	,717	-4,191	12,607
		TOTORA	-,595	2,414	1,000	-8,994	7,804
		LCM	14,859*	2,414	,002	6,460	23,258
LCM		INICIAL	-10,651*	2,414	,014	-19,050	-2,252
		TOTORA	-15,454*	2,414	,001	-23,853	-7,055
		CARRIZO	-14,859*	2,414	,002	-23,258	-6,460

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Manganeso	INICIAL	TOTORA	-,101	,322	1,000	-1,222	1,020
		CARRIZO	-,368	,322	1,000	-1,489	,752
		LCM	,535	,322	,812	-,586	1,656
	TOTORA	INICIAL	,101	,322	1,000	-1,020	1,222
		CARRIZO	-,267	,322	1,000	-1,388	,853
		LCM	,636	,322	,503	-,485	1,757
	CARRIZO	INICIAL	,368	,322	1,000	-,752	1,489
		TOTORA	,267	,322	1,000	-,853	1,388
		LCM	,903	,322	,138	-,217	2,024
	LCM	INICIAL	-,535	,322	,812	-1,656	,586
		TOTORA	-,636	,322	,503	-1,757	,485
		CARRIZO	-,903	,322	,138	-2,024	,217
Sodio	INICIAL	TOTORA	29,477	27,690	1,000	-66,854	125,807
		CARRIZO	50,090	27,690	,648	-46,240	146,420
		LCM	158,574*	27,690	,003	62,244	254,904
	TOTORA	INICIAL	-29,477	27,690	1,000	-125,807	66,854
		CARRIZO	20,613	27,690	1,000	-75,717	116,944
		LCM	129,097*	27,690	,010	32,767	225,428
	CARRIZO	INICIAL	-50,090	27,690	,648	-146,420	46,240
		TOTORA	-20,613	27,690	1,000	-116,944	75,717
		LCM	108,484*	27,690	,027	12,154	204,814
	LCM	INICIAL	-158,574*	27,690	,003	-254,904	-62,244
		TOTORA	-129,097*	27,690	,010	-225,428	-32,767

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

		CARRIZO	-108,484*	27,690	,027	-204,814	-12,154
Fósforo	INICIAL	TOTORA	17,755*	1,066	,000	14,048	21,462
		CARRIZO	16,414*	1,066	,000	12,707	20,121
		LCM	20,166*	1,066	,000	16,459	23,873
	TOTORA	INICIAL	-17,755*	1,066	,000	-21,462	-14,048
		CARRIZO	-1,341	1,066	1,000	-5,048	2,366
		LCM	2,411	1,066	,321	-1,296	6,118
	CARRIZO	INICIAL	-16,414*	1,066	,000	-20,121	-12,707
		TOTORA	1,341	1,066	1,000	-2,366	5,048
		LCM	3,752*	1,066	,047	,045	7,459
	LCM	INICIAL	-20,166*	1,066	,000	-23,873	-16,459
		TOTORA	-2,411	1,066	,321	-6,118	1,296
		CARRIZO	-3,752*	1,066	,047	-7,459	-,045
Azufre	INICIAL	TOTORA	37,060	11,676	,079	-3,560	77,680
		CARRIZO	91,297*	11,676	,000	50,677	131,917
		LCM	133,509*	11,676	,000	92,889	174,129
	TOTORA	INICIAL	-37,060	11,676	,079	-77,680	3,560
		CARRIZO	54,237*	11,676	,010	13,617	94,857
		LCM	96,449*	11,676	,000	55,829	137,069
	CARRIZO	INICIAL	-91,297*	11,676	,000	-131,917	-50,677
		TOTORA	-54,237*	11,676	,010	-94,857	-13,617
		LCM	42,212*	11,676	,041	1,592	82,832
	LCM	INICIAL	-133,509*	11,676	,000	-174,129	-92,889

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

		TOTORA	-96,449*	11,676	,000	-137,069	-55,829
		CARRIZO	-42,212*	11,676	,041	-82,832	-1,592
Silicio	INICIAL	TOTORA	26,585*	3,668	,001	13,826	39,344
		CARRIZO	26,682*	3,668	,001	13,923	39,441
		LCM	33,956*	3,668	,000	21,197	46,715
	TOTORA	INICIAL	-26,585*	3,668	,001	-39,344	-13,826
		CARRIZO	,098	3,668	1,000	-12,661	12,857
		LCM	7,371	3,668	,476	-5,388	20,130
	CARRIZO	INICIAL	-26,682*	3,668	,001	-39,441	-13,923
		TOTORA	-,098	3,668	1,000	-12,857	12,661
		LCM	7,274	3,668	,496	-5,485	20,033
	LCM	INICIAL	-33,956*	3,668	,000	-46,715	-21,197
		TOTORA	-7,371	3,668	,476	-20,130	5,388
		CARRIZO	-7,274	3,668	,496	-20,033	5,485
Estroncio	INICIAL	TOTORA	-,257	,113	,316	-,650	,136
		CARRIZO	-,276	,113	,243	-,669	,117
		LCM	,681*	,113	,002	,288	1,074
	TOTORA	INICIAL	,257	,113	,316	-,136	,650
		CARRIZO	-,019	,113	1,000	-,412	,374
		LCM	,938*	,113	,000	,545	1,331
	CARRIZO	INICIAL	,276	,113	,243	-,117	,669
		TOTORA	,019	,113	1,000	-,374	,412
		LCM	,957*	,113	,000	,564	1,350

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

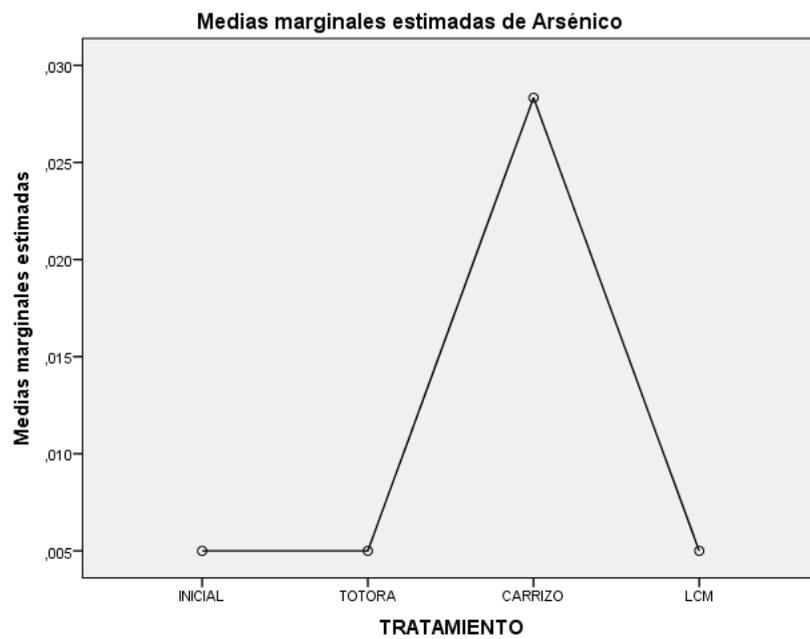
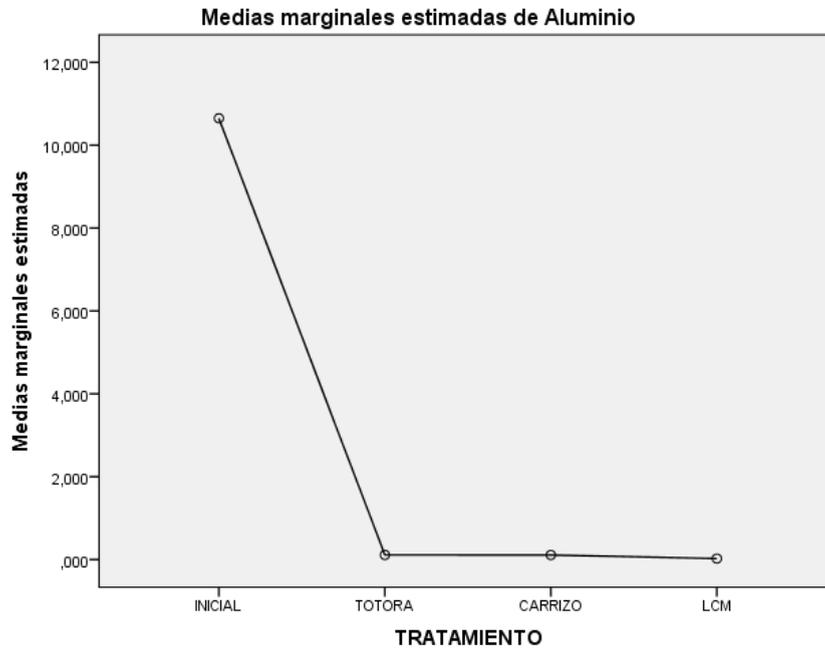
FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

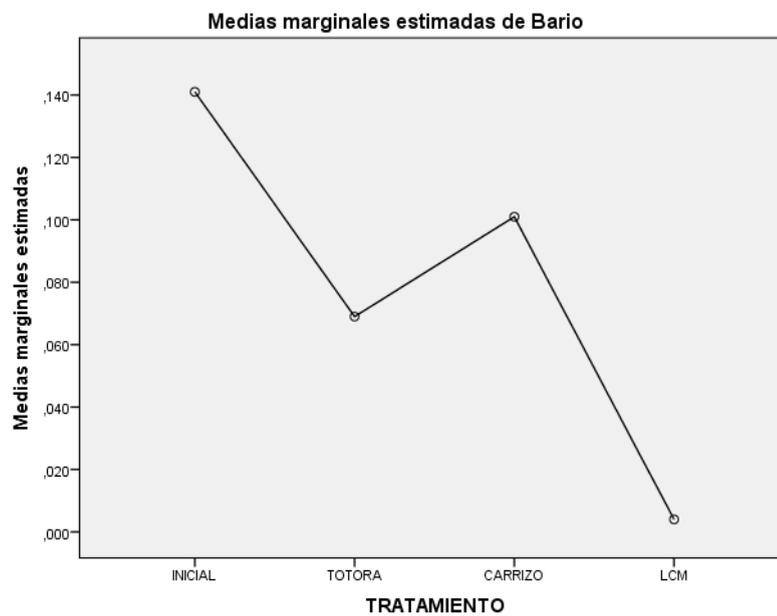
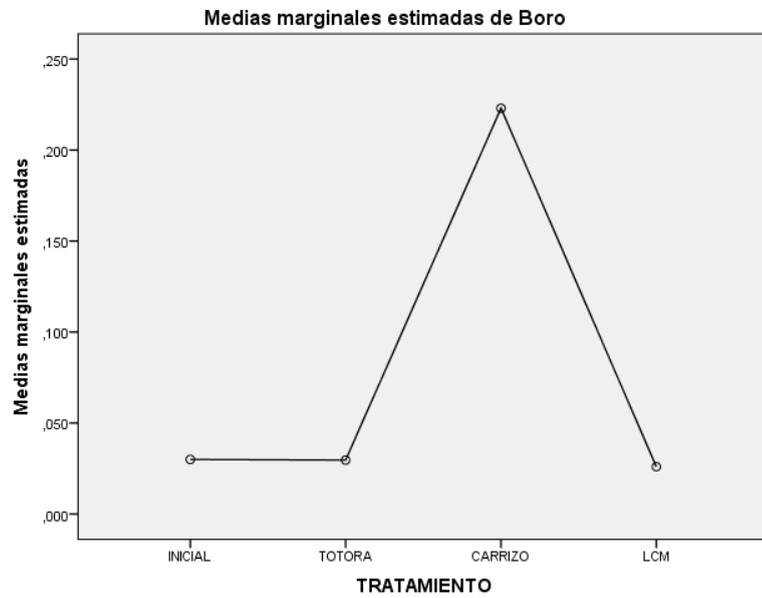
LCM	INICIAL	-,681*	,113	,002	-1,074	-,288
	TOTORA	-,938*	,113	,000	-1,331	-,545
	CARRIZO	-,957*	,113	,000	-1,350	-,564

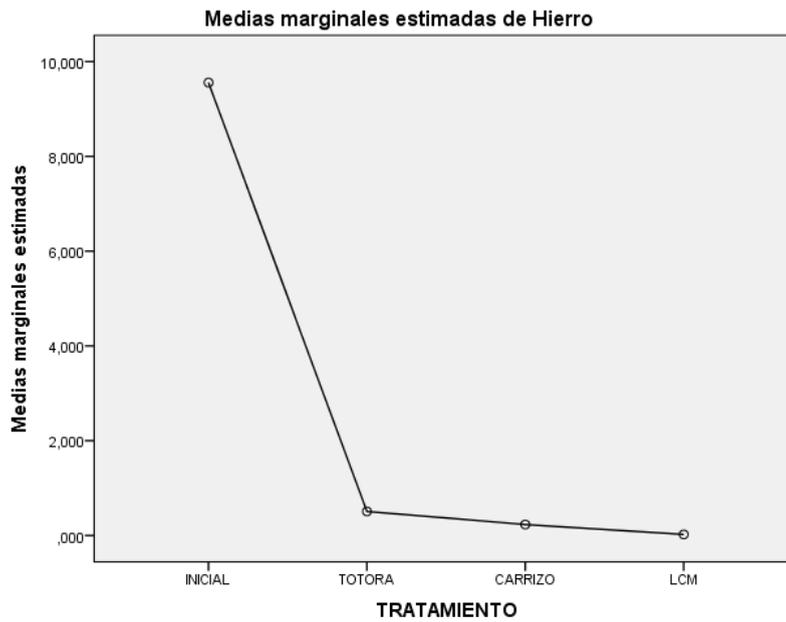
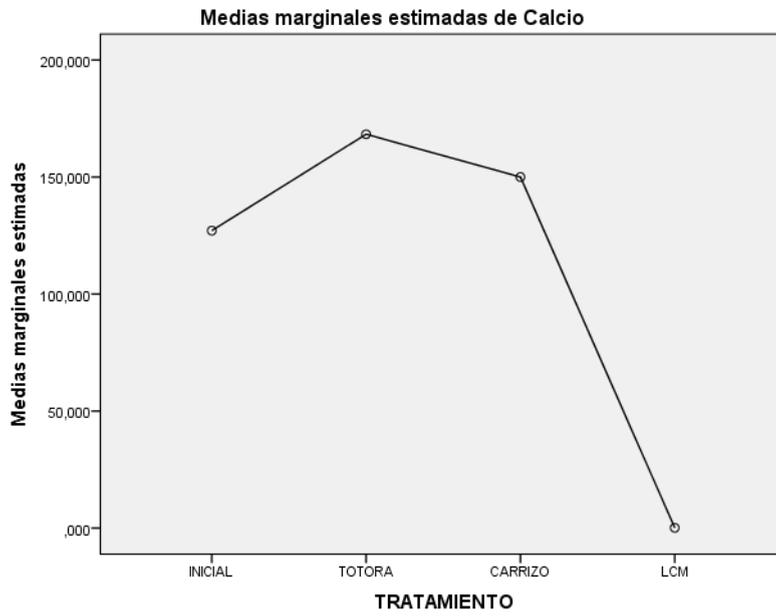
Fuente: Elaborado por los autores

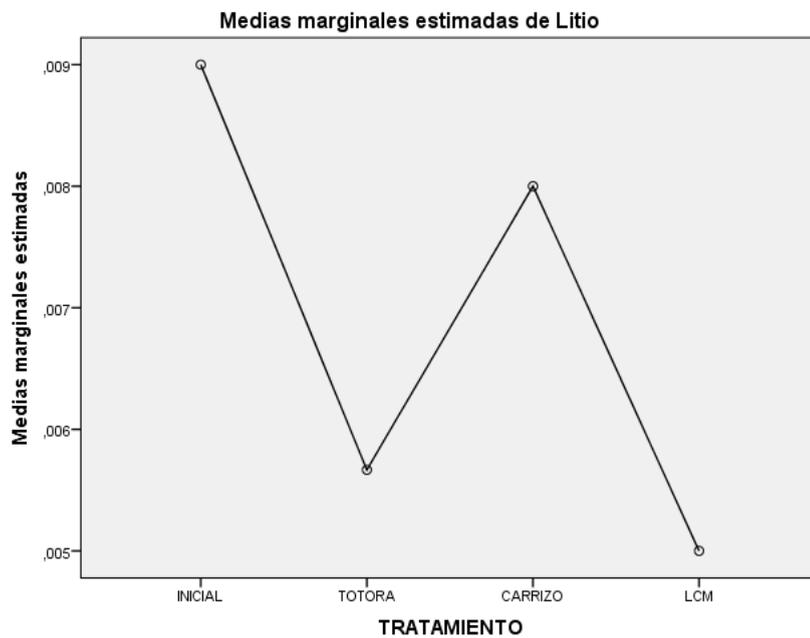
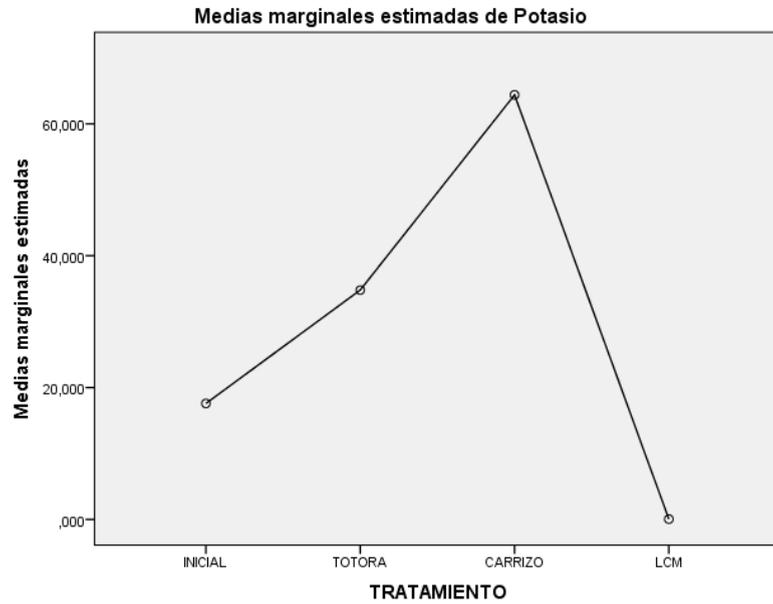
Interpretación: Como no se pudo demostrar la homocedasticidad de varianzas aplicamos la prueba C de Dunnett, con la que inferimos que el valor de la media del aluminio, bario, hierro, fósforo y silicio disminuyó significativamente, comparándolo con el valor inicial, para los tratamientos tanto para la totora como para el carrizo. El valor de las medias del boro, calcio, litio, magnesio, manganeso, sodio y estroncio no variaron respecto al valor inicial para los tratamientos del agua tanto para la totora como para el carrizo. El valor de la media del arsénico subió significativamente respecto al valor inicial para el tratamiento del agua para el carrizo. El valor de la media del azufre bajo significativamente respecto al valor inicial para el tratamiento del agua para el carrizo. El valor de la media del potasio subió significativamente respecto al valor inicial para los tratamientos del agua tanto para la totora como para el carrizo.

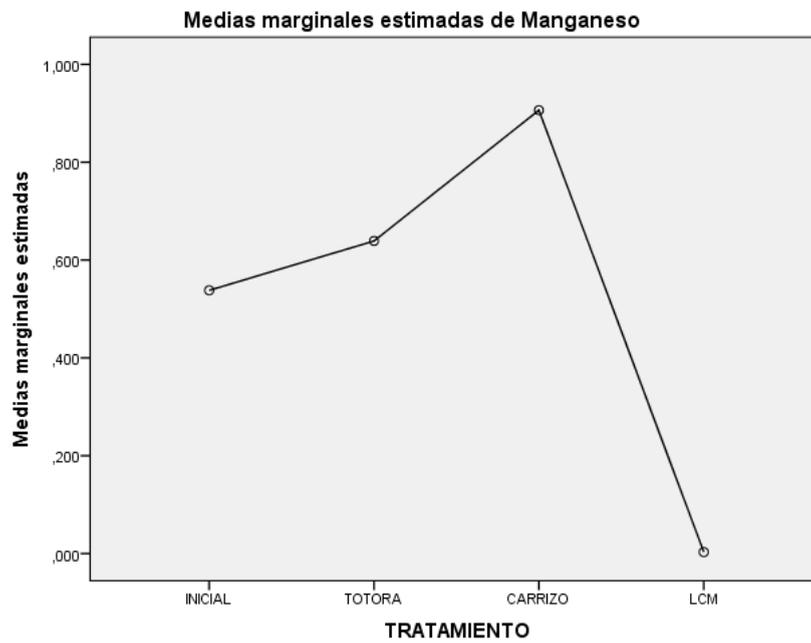
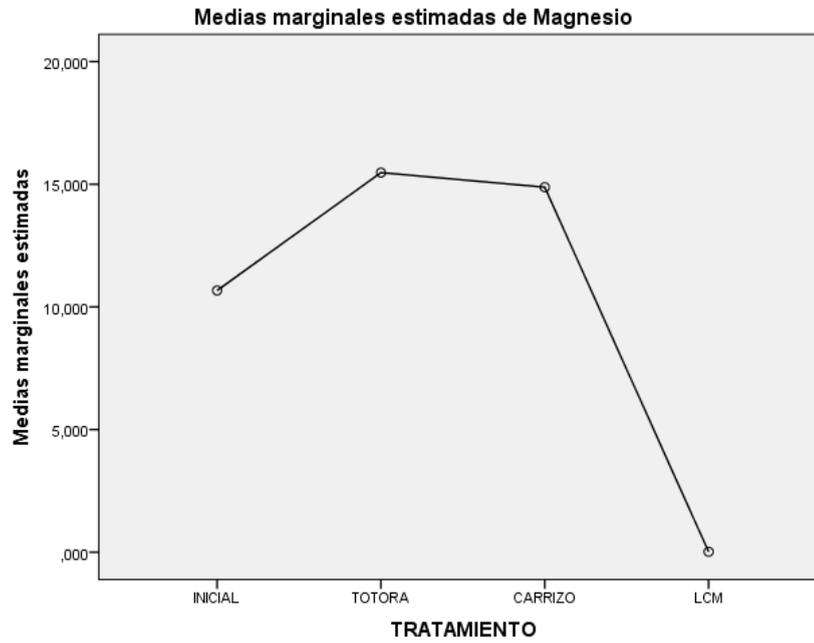


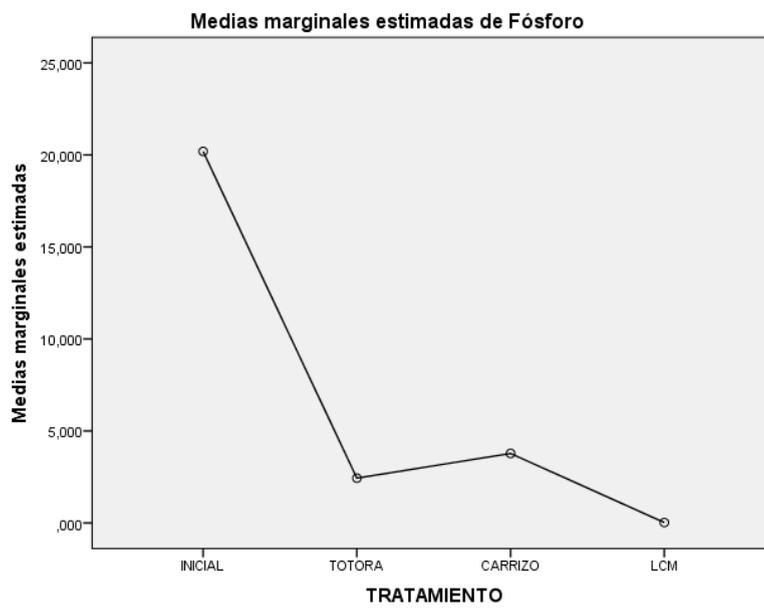
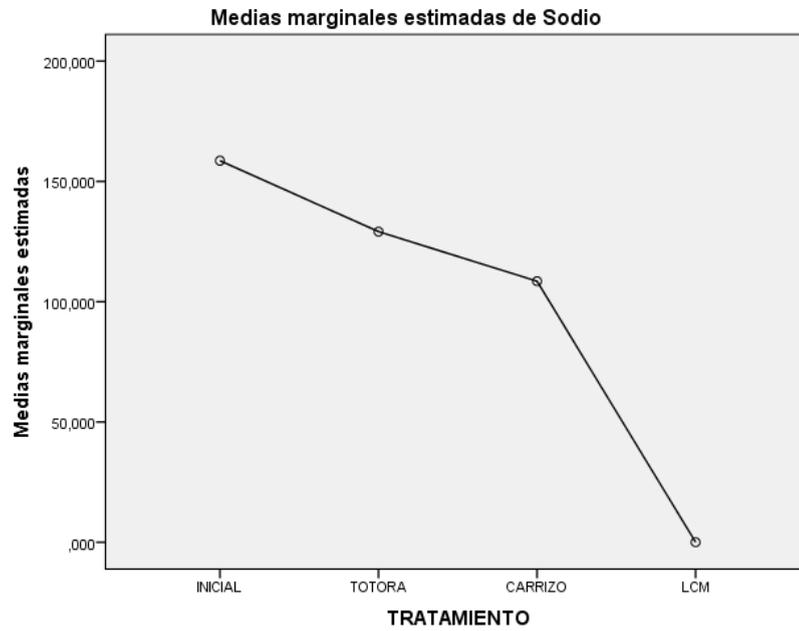
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



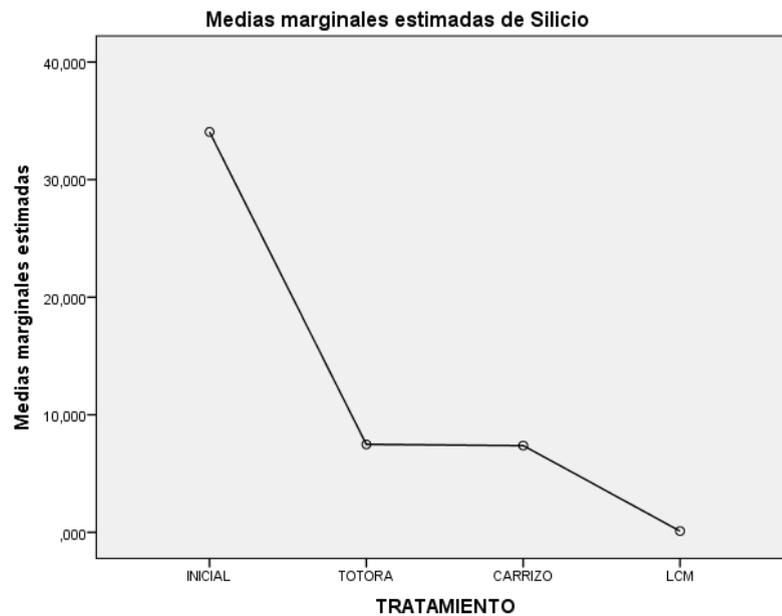
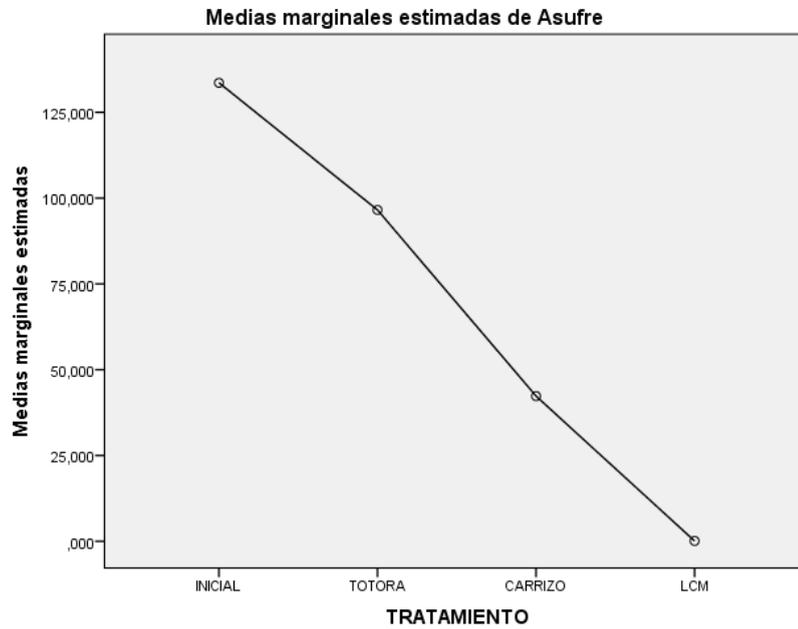




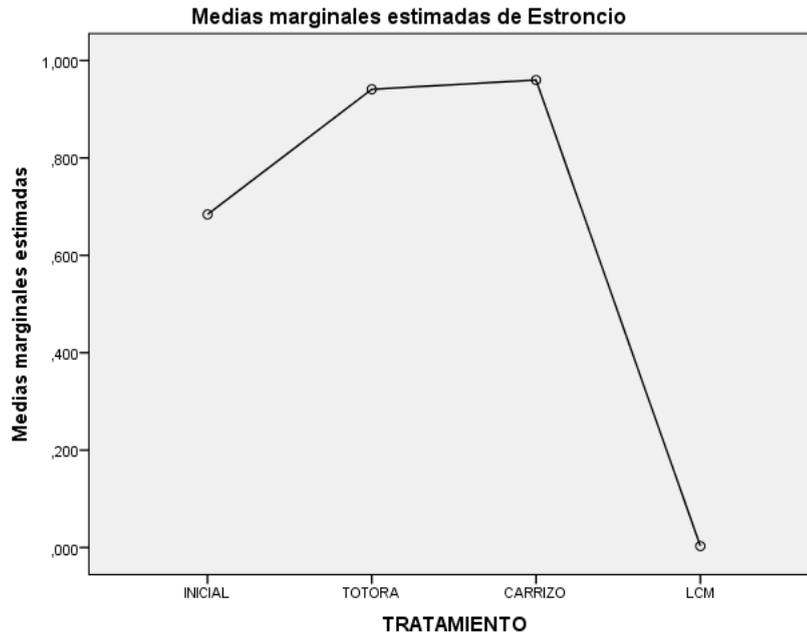




UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



4.1.3. ANALISIS DE DATOS MICROBILÓGICOS

Tabla 25: Factores inter-sujetos

		Etiqueta de valor	N
TRATAMIENT	1	INICIAL	3
O	2	TOTORA	3
	3	CARRIZO	2
	4	LCM	3

Fuente: Elaborado por los autores

Se muestran los tratamientos estudiados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Tabla 26: Factores inter-sujetos

	TRATAMIENTO	Media	Desviación estándar	N
Colif_Totales	INICIAL	1600000,000	,0000	3
	TOTORA	935266,667	1614908,3730	3
	CARRIZO	128800,000	192300,0780	3
	LCM	1,800	,0000	3
	Total	4266017,117	7119607,5722	12
Colif_Termotolerantes	INICIAL	350000,000	,0000	3
	TOTORA	116755,333	201995,8254	3
	CARRIZO	18446,667	30793,0923	3
	LCM	1,800	,0000	3
	Total	121300,950	169585,1281	12
E_Coli	INICIAL	350000,000	,0000	3
	TOTORA	116755,333	201995,8254	3
	CARRIZO	18446,667	30793,0923	3
	LCM	1,800	,0000	3
	Total	121300,950	169585,1281	12

Fuente: Elaborado por los autores

Se muestran los estadísticos descriptivos para cada variable del análisis microbiológico.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Tabla 27: Pruebas multivariante

	Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada ^c
Traza de Pillai	1,220	4,168	6,000	16,000	,010	,610	25,007	,895
Lambda de Wilks	,000	663,406 ^a	6,000	14,000	,000	,996	3980,439	1,000
Traza de Hotelling	63523,526	63523,526	6,000	12,000	,000	1,000	381141,158	1,000
Raíz mayor de Roy	63523,245	169395,319 ^b	3,000	8,000	,000	1,000	508185,958	1,000

Fuente: Elaborado por los autores

En todas las pruebas, la diferencia es estadísticamente significativa a un nivel del 95% de confianza. Esto significa que al menos el valor de la media de un grupo de una variable es diferente de las otras.

Tabla 28: Pruebas univariadas

Variable dependiente		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada ^a
Colif_Totales	Contraste	55228711505702	3	18409570501900	278,415	,000	,991	835,246	1,000
		7,250		9,100					
	Error	5289816746666,	8	661227093333,3					
		666		33					

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Colif_Termotolerantes	Contraste	232849216477,5	3	77616405492,51	7,436	,011	,736	22,309	,882
		57		9					
	Error	83501055997,33	8	10437631999,66					
		3		7					
E_Coli	Contraste	232849216477,5	3	77616405492,51	7,436	,011	,736	22,309	,882
		57		9					
	Error	83501055997,33	8	10437631999,66					
		3		7					

Fuente: Elaborado por los autores

En el cuadro se observa que, si se hubiera aplicado el ANOVA de un factor, para cada variable, la diferencia seria estadísticamente significativa a un nivel del 95% de confianza para la media, de al menos, un grupo de todas las variables.

A. Determinación de homocedasticidad de varianzas

Tabla 29: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a

	F	df1	df2	Sig.
Colif_Totales	12,879	3	7	,003
Colif_Termotolerantes	12,716	3	7	,003
E_Coli	13,557	3	7	,003

Fuente: Elaborado por los autores

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

No se demuestra la homocedasticidad de las varianzas.

B. Prueba Post hoc: Prueba C de Dunnett

Tabla 30: Comparaciones por parejas

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
						Límite inferior	Límite superior
Colif_Totales	INICIAL	TOTORA	15064733,333 *	663941,30 9	,000	12754961,729	17374504,938
		CARRIZO	15871200,000 *	663941,30 9	,000	13561428,396	18180971,604
		LCM	15999998,200 *	663941,30 9	,000	13690226,596	18309769,804
	TOTORA	INICIAL	- 15064733,333 *	663941,30 9	,000	- 17374504,938	- 12754961,729
		CARRIZO	806466,667	663941,30 9	1,00 0	-1503304,938	3116238,271
		LCM	935264,867	663941,30 9	1,00 0	-1374506,738	3245036,471

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

CARRIZO	INICIAL		-	663941,30	,000	-	-
			15871200,000	9		18180971,604	13561428,396
			*				
	TOTORA		-806466,667	663941,30	1,00	-3116238,271	1503304,938
				9	0		
	LCM		128798,200	663941,30	1,00	-2180973,404	2438569,804
			9	0			
LCM	INICIAL		-	663941,30	,000	-	-
			15999998,200	9		18309769,804	13690226,596
			*				
	TOTORA		-935264,867	663941,30	1,00	-3245036,471	1374506,738
			9	0			
	CARRIZO		-128798,200	663941,30	1,00	-2438569,804	2180973,404
				9	0		
Colif_Termoto lerantes	INICIAL	TOTORA	233244,667	83417,153	,140	-56953,529	523442,863
		CARRIZO	331553,333*	83417,153	,025	41355,137	621751,529
		LCM	349998,200*	83417,153	,018	59800,004	640196,396
	TOTORA	INICIAL	-233244,667	83417,153	,140	-523442,863	56953,529
		CARRIZO	98308,667	83417,153	1,00	-191889,529	388506,863
					0		
		LCM	116753,533	83417,153	1,00	-173444,663	406951,729
				0			
CARRIZO	INICIAL		-331553,333*	83417,153	,025	-621751,529	-41355,137

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

		TOTORA	-98308,667	83417,153	1,00	-388506,863	191889,529
					0		
		LCM	18444,867	83417,153	1,00	-271753,329	308643,063
					0		
	LCM	INICIAL	-349998,200*	83417,153	,018	-640196,396	-59800,004
		TOTORA	-116753,533	83417,153	1,00	-406951,729	173444,663
					0		
		CARRIZO	-18444,867	83417,153	1,00	-308643,063	271753,329
					0		
E_Coli	INICIAL	TOTORA	233244,667	83417,153	,140	-56953,529	523442,863
		CARRIZO	331553,333*	83417,153	,025	41355,137	621751,529
		LCM	349998,200*	83417,153	,018	59800,004	640196,396
	TOTORA	INICIAL	-233244,667	83417,153	,140	-523442,863	56953,529
		CARRIZO	98308,667	83417,153	1,00	-191889,529	388506,863
					0		
		LCM	116753,533	83417,153	1,00	-173444,663	406951,729
					0		
	CARRIZO	INICIAL	-331553,333*	83417,153	,025	-621751,529	-41355,137
		TOTORA	-98308,667	83417,153	1,00	-388506,863	191889,529
					0		
		LCM	18444,867	83417,153	1,00	-271753,329	308643,063
					0		
	LCM	INICIAL	-349998,200*	83417,153	,018	-640196,396	-59800,004

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

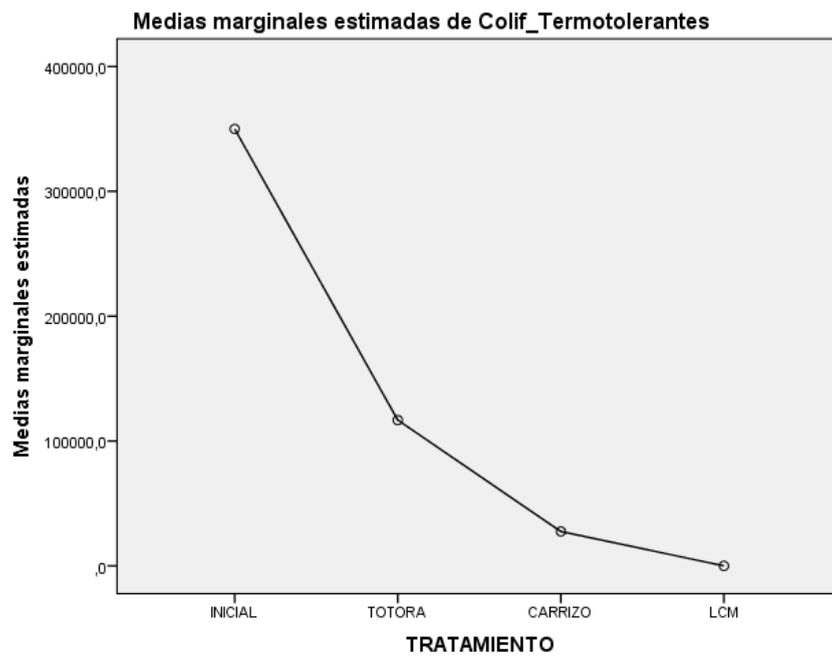
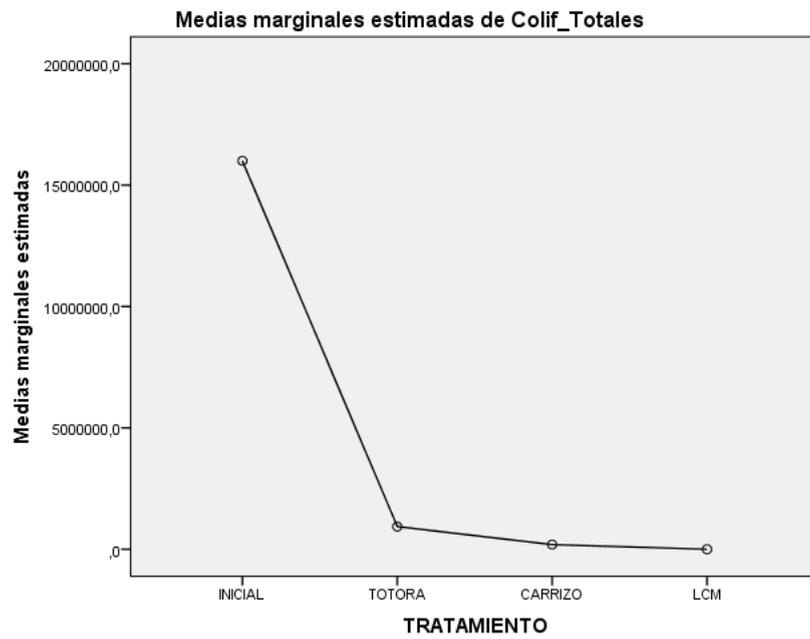
FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

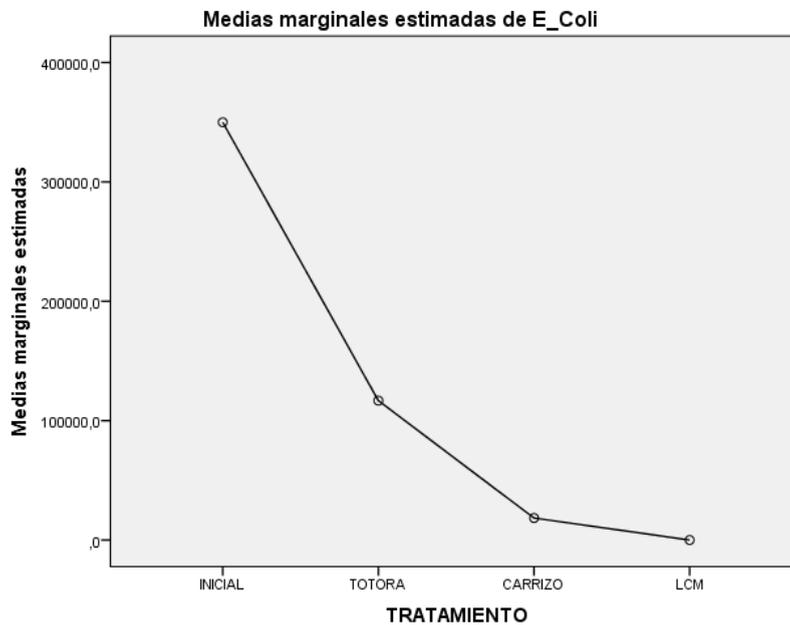
TOTORA	-116753,533	83417,153	1,00	-406951,729	173444,663
			0		
CARRIZO	-18444,867	83417,153	1,00	-308643,063	271753,329
			0		

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación: Como no se pudo demostrar la homocedasticidad de varianzas aplicamos la prueba C de Dunnett, con la que inferimos que el valor de la media de los coliformes totales disminuyó significativamente, comparándolo con el valor inicial, para los tratamientos tanto para la totora como para el carrizo. El valor de la media de los coliformes termo tolerantes varió significativamente respecto al valor inicial para el tratamiento del agua para la totora como para el carrizo. El valor de la media de los Escherichia colí no varió significativamente respecto al valor inicial para el tratamiento del agua con totora, mientras que para el tratamiento con carrizo disminuyó significativamente.



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



4.1.4. Análisis de la Temperatura del Tratamiento de agua residual.

Tabla 31: Estadística de grupo

	TRATAMIENTO	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Temperatura de cada tratamiento.	TOTORA	252	15,004	1,6262	,1024
	CARRIZO	252	15,212	1,6415	,1034

Fuente: Elaborado por los autores

En la tabla 31 se muestran los estadísticos de grupo donde se observan que se registraron 252 valores de temperatura, se observa además las medias de la temperatura de los dos tratamientos. Se sospecha que las dos temperaturas son diferentes.

Contrastación de la hipótesis:

Ho: Las medias de las temperaturas son iguales

Ha: Las medias de las temperaturas son distintas

Tabla 32: Prueba de muestras independientes.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Temperatura de la muestra	Se asumen varianzas iguales	.173	.678	-1.431	502	.153	-.2083	.1456	-.4943	.0776
	No se asumen varianzas iguales			-1.431	501.956	.153	-.2083	.1456	-.4943	.0776

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación: En la tabla 2 se muestra que los datos cumplen requisitos de la igualdad de varianzas para poder aplicar la prueba de t de Student para muestras independientes. Además, muestra la significancia bilateral del 0.153, lo que indica que se debe de aceptar la hipótesis nula que dice que las dos medias son iguales. En otras palabras, las temperaturas de tratamiento para la totora y el carrizo siempre fueron la misma.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que los valores determinados para cada variable son los siguientes:

	TRATAMIENTO	Media
Fluoruro	INICIAL	,03800
	TOTORA	,16700
	CARRIZO	,09800
Cloruro	INICIAL	76,01000
	TOTORA	154,36667
	CARRIZO	108,74000
Nitrito	INICIAL	,05000
	TOTORA	1,31733
	CARRIZO	,35667
Nitrato	INICIAL	,06400
	TOTORA	3,85800
	CARRIZO	,63333
Sulfato	INICIAL	386,20000
	TOTORA	261,13333
	CARRIZO	120,71667
Fosfato	INICIAL	36,83000
	TOTORA	2,90800
	CARRIZO	3,20200
<hr/>		
	TRATAMIENTO	Media
Turbidez	INICIAL	151,00000
	TOTORA	8,26500
	CARRIZO	57,90000
SST	INICIAL	322,50000
	TOTORA	9,15000
	CARRIZO	57,55000
SDT	INICIAL	1138,00000
	TOTORA	1180,50000
	CARRIZO	1190,75000
NA	INICIAL	37,30000

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

	TOTORA	1,71850
	CARRIZO	9,57000
NT	INICIAL	163,40000
	TOTORA	6,55000
	CARRIZO	28,91500
DBO_5	INICIAL	174,00000
	TOTORA	11,40000
	CARRIZO	51,00000
DQO	INICIAL	691,60000
	TOTORA	46,00000
	CARRIZO	139,55000

	TRATAMIENTO	Media
Aluminio	INICIAL	10,65000
	TOTORA	,11100
	CARRIZO	,10900
Bario	INICIAL	,14100
	TOTORA	,06900
	CARRIZO	,10100
Calcio	INICIAL	127,10000
	TOTORA	168,30000
	CARRIZO	150,00000
Hierro	INICIAL	9,55700
	TOTORA	,50767
	CARRIZO	,23133
Litio	INICIAL	,00900
	TOTORA	,00567
	CARRIZO	,00800
Sodio	INICIAL	158,60000
	TOTORA	129,12333
	CARRIZO	108,51000
Fósforo	INICIAL	20,19000
	TOTORA	2,43533
	CARRIZO	3,77600
Azufre	INICIAL	133,60000
	TOTORA	96,54000
	CARRIZO	42,30333
Silicio	INICIAL	34,06000

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

TOTORA	7,47533
CARRIZO	7,37767

	TRATAMIENTO	Media
Colif_Totales	INICIAL	1600000,000
	TOTORA	935266,667
	CARRIZO	128800,000
Colif_Termotolerantes	INICIAL	350000,000
	TOTORA	116755,333
	CARRIZO	18446,667
E_Coli	INICIAL	350000,000
	TOTORA	116755,333
	CARRIZO	18446,667

5.1.2. Realizado el análisis de los resultados, concluimos que, la especie vegetal Carrizo tuvo mayor capacidad depuradora del Sulfato con una eficiencia de 68.74% frente a la eficiencia de la totora de 30.38%, respecto a la remoción del Fosfato se pudo demostrar que tanto la totora como el carrizo tuvieron la misma capacidad depuradora con una eficiencia promedio de 91.7% que es el promedio de las eficiencias de ambos.

Se concluye que, con respecto a la Turbidez la especie vegetal totora tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 94.5% frente a la eficiencia del carrizo de 61.65%, respecto a la remoción de los SST se pudo demostrar que la totora tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 97.2% frente a la eficiencia del carrizo de 82.2%, respecto a la remoción del NA se pudo demostrar que la totora tuvo una eficiencia de 95.40% frente al carrizo de 74.34%, sobre la remoción del NT la especie vegetal totora tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 95.99% frente al carrizo de 82.30% y finalmente la

remoción del DBO -5 y el DQO se pudo demostrar que la totora tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 93.395% frente a la eficiencia del carrizo de 75.25% que es el promedio de la eficiencia de ambos.

Se concluye que, con respecto a la remoción del Aluminio se pudo demostrar que tanto la totora como el carrizo tuvieron la misma capacidad depuradora con una eficiencia promedio de 98.96% que es el promedio de las eficiencias de ambos, respecto a la remoción del Bario se pudo demostrar que la totora tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 51.06% frente a la eficiencia del carrizo de 28.36%, respecto a la remoción del Hierro se pudo demostrar que el carrizo tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 97.58% frente a la eficiencia de la totora de 94.68%, sobre la remoción del Fosforo y el Silicio se pudo demostrar que tanto la totora como el carrizo tuvieron la misma capacidad depuradora con una eficiencia promedio de 84.61% y 78.20% que es el promedio de las eficiencias de ambos y finalmente la remoción del Azufre se pudo demostrar que el carrizo tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 68.33% frente a la eficiencia de la totora de 27.74%.

Concluimos que, la especie vegetal Carrizo tuvo mayor capacidad depuradora de Coli- Totales con una eficiencia de 92% frente a la eficiencia de la totora de 41.55%, respecto a la remoción de Coli-Termotolerantes se pudo demostrar que el Carrizo tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 95% frente a la eficiencia del carrizo

de 66.6%, respecto a la remoción de E-Coli se pudo demostrar que el carrizo tuvo mayor capacidad depuradora con una eficiencia de 95.2% frente a la eficiencia de la totora de 66.63%

- 5.1.3.** Se concluye que la temperatura de tratamiento de agua con la totora y con el carrizo es la misma siendo de 15.108°C que viene a ser el promedio de las medias de ambos tratamientos tanto totora y carrizo.

5.2.RECOMENDACIONES

- 5.2.1.** Se recomienda hacer un estudio para determinar la utilidad del agua tratada si es apto para consumo humano, agricultura e industrial, de acuerdo a los valores LCM vigentes en la normativa peruana correspondiente.
- 5.2.2.** Preferentemente se recomienda la aplicación de *Scirpus californicus* (Totora) como un tratamiento terciario, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Namora, debido a que en esta investigación se evidenció su mejor adaptabilidad para este tipo de aguas, demostrando su mayor capacidad de remoción de contaminantes de los parámetros físicoquímicos y químicos a través del sistema de tratamiento Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.
- 5.2.3.** Se recomienda la aplicación de **Phragmites Australis** (carrizo) como un tratamiento terciario, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Namora, debido a que en esta investigación se evidenció su mejor adaptabilidad para este tipo de aguas, demostrando su mayor capacidad de remoción de contaminantes de los parámetros

microbiológicos a través del sistema de tratamiento Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.

- 5.2.4.** Al concluir que el establecimiento de bacterias en las raíces de las plantas, ayudan a la remoción de la carga orgánica y de nutrientes del agua residual, se recomienda que para complementar este trabajo de investigación se tenga en cuenta otros procesos involucrados, como el efecto del sustrato sobre la retención de materia orgánica, la biodiversidad de microorganismos, la distribución hidráulica, etc. Con la finalidad de lograr una mejor comprensión de los procesos fisicoquímicos y biológicos que se llevan a cabo.
- 5.2.5.** Se recomienda realizar estudios en otras épocas del año, para demostrar si la eficiencia de ambas plantas es similar o mejor en la remoción y absorción de nutrientes, determinando la influencia de la variación de la temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, O. (2004). *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Tesina.
- AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA (ANA). (Marzo, 2013). *Autoridad Nacional del Agua, Situación actual y perspectivas en el Sector Agua y Saneamiento en el Perú. Trabajo presentado en el Seminario de Tecnología alemana en el rubro de Agua y Saneamiento* Autoridad Nacional del Agua. Lima.
- Cano, L. (2004). Nelson Antequera.
- Crites, R y G. Tchobanoglous. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Santafé de Bogota: Mc. Graw Hill.
- Curt, M. (2009). *Manual de Fitodepuración, Filtros de Macrófitas en Flotación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Delgadillo et al.,. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba-Bolivia.
- Delgadillo, O., Pérez, L., Camacho, A., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba – Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS SEDACAJ.S.A, (EPS, SEDACAJ). (2012 - 2013). *Programa de inversiones E.P.S. SEDACAJ S.A, ficha tectica del proyecvto*. Cajamarca.
- EPA 832-F00-024. (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial*. Whashintong, D.C.
- Fernandez. (2004).
- García Serrano, J., y Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Barcelona: : Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- García, M. E. (2004). *“Are bacterial removal efficiencies enhanced by plants. An experimental study using Scirpus*. Avignon: Memoria del Congreso de Ingeniería Ambiental.

- GK Stearman, DB George, K Carlson. (2003). "Pesticide removal from container nursery runoff in constructed wetland cells". *Journal*, 1548-1556.
- González, J. F. (s.f.). *MANUAL DE Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación - Humedales artificiales para depuración CAP 6*. Madrid: EDITA.
- Govern de les Illes Balears. (2011). *Diseño e instalación de sistemas autónomos de depuración*.
- Hidalgo, C. M. (2005). *Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas*. Chile.
- Inga, A. (2004). "Botánica general".
- Izaguirre. (2006).
- Kadlec, R.H. y Wallace, S. (2009). *Treatment wetlands, Second edition*. CRC Press. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Langergraber, G. (2008). *Modeling of processes in subsurface flow constructed wetlands-a review*. Vadoze Zone Journal.
- Langergraber, G., Haberl, R. (2001). Constructed wetlands for water treatment. En G. H. Langergraber, *Constructed wetlands for water treatment* (págs. 123–134). Minerva Biotecnologica.
- Lara B., J. (1999). *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales*. Barcelona: Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña -Instituto Catalán de Tecnología.
- Málvarez, A. (1999). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados (disco compacto), Oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe*. Montevideo.
- MDN. (2017). *Municipalidad Distrital de Namora*. Obtenido de <http://www.muninamora.gob.pe/informacion-general/>
- Ministerio de Agricultura, A. (2010). *Protocolo de Monitoreo de la calidad de los Perú*.
- MINITAB. (2019). *Soporte de Minitab 19*. Obtenido de Soporte de Minitab 19: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>
- Morel A., Diener S . (2006). *Greywater Management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. . Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag): Dübendorf, Switzerland.

- Navas. (2001). “*Flora de la cuenca de Santiago*”. Obtenido de <http://mazinger.sisib.uchile.cl/.../navasl01/cap2/tribu10.html>: <http://mazinger.sisib.uchile.cl/.../navasl01/cap2/tribu10.html>
- Núñez, RA; Meas, Y; Ortega, R; Olgún, EJ. (18 de junio de 2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones* . Obtenido de www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- OEFA. (2014).
- OSCAR D., A. C. (2010). Depuración de Aguas Residuales. En *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES* (pág. 22). Cochabamba - Bolivia: Nelson Antequera Durán.
- Pidre JR., S. L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Capítulo IV: Humedales Artificiales*. Sevilla: Ed. CENTA. ISBN 13:978-84-611-6885-9.
- Pidre, J. (2010). *Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal*. Tesis Doctoral.
- Rolim, S. M. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización: Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas*. Santafé de Bogota: Mc. Graw Hill.
- RUIZ, O. A. (2017). *Planta para el análisis del rendimiento de la depuración de fecales mediante macrofitas* . Grupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA).
- Salas JJ., Pidre JR. y Sánchez L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Capítulo IV: Humedales Artificiales*. Sevilla: Ed. CENTA. ISBN 13:978-84-611-6885-9.
- Sánchez, D. (2013). *Diseño y modelización de humedales para el tratamiento de efluentes de depuradora. Aplicación en el entorno del parque nacional de Las Tablas de Daimiel*. Castilla: Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Soto, F. e. (1999). “Role of *Scirpus lacustris* in bacterial and nutrient removal from wastewater”. *Science Technology Water*, 241-247.
- Tchobanoglous, A. d. (1998). *Criterio de diseño típico de los HHAA FS y la calidad de efluentes esperados*.

The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team ITRC. (2003). *Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands*.

VILLEGAS, M. & VIDAL, E. (2009). *Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia-Colombia. 73 pp. Colombia.*

Vymazal, J. y Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Z. Ujang, E. S. (2004). *“Landfill leachate treatment by an experimental subsurface flow constructed wetland in*. Environmental & water resource management, University Teknologi Malaysia.

ANEXOS

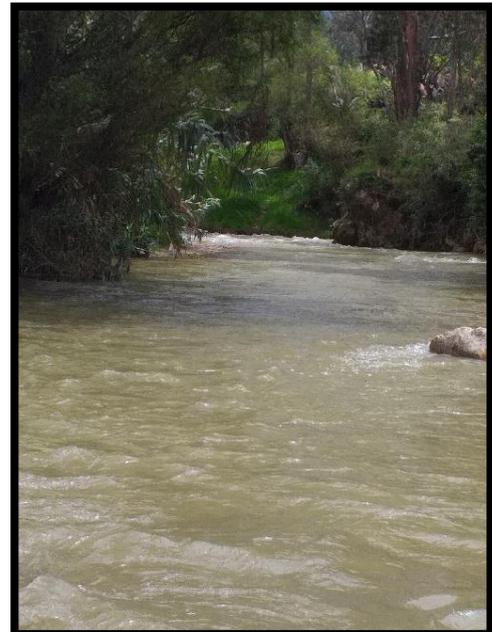
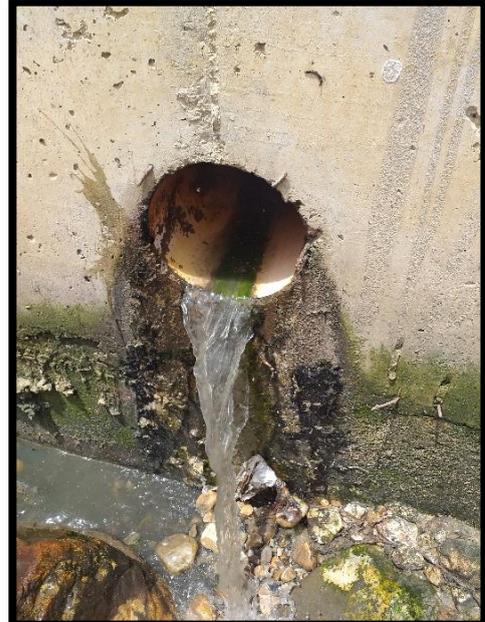
ANEXO A.

Trasplantar las plantas, *Phragmites Australis* (carrizo) del Distrito de Namora y *Scirpus californicus* (Totora) del distrito de baños del Inca



ANEXO B.

Recolección del agua residual domestica del distrito de Namora



ANEXO C.

Construcción de planta piloto de planta piloto para el tratamiento de agua residual domestica.



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

ANEXO D.

Toma de muestra del agua residual tratada con las plantas Totora y Carrizo



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

ANEXO E.

Informe de ensayo del agua residual doméstica en estado actual para su caracterización.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0820326

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **ROCÍO VERÁSTEGUI ORTIZ**
Dirección **Cajamarca**
Persona de contacto - Correo electrónico mardely0919@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **31.08.20** Hora de Muestreo **10:40**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **01**
Ensayos solicitados **Fisicoquímico y Microbiológico**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **NAMORA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 484** Cadena de Custodia **CC - 326 - 20**
Fecha y Hora de Recepción **31.08.20 11:06** Inicio de Ensayo **31.08.20 11:20**
Reporte Resultado **09.09.20 10:00**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198264

Erver Zulueta Santa Cruz
Especialista de Biología
CBP:9778

Cajamarca, 09 de Septiembre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0820326

ENSAYOS			QUIMICOS					
Código de la Muestra	NR		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0820326-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jr. Miguel Iglesias # 1036		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	10.65	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.026	0.030	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.141	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	127.1	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.006	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	0.006	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	0.047	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	9.557	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.051	17.59	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	0.009	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	10.67	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.538	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.026	158.6	-	-	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.006	0.007	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.024	20.19	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	0.022	-	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.091	133.6	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	0.005	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.018	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	34.06	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	0.684	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	0.084	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	0.023	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	0.535	-	-	-	-	-
Cerio	mg/L	0.0040	0.016	-	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-	-

Cajamarca, 09 de Septiembre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0820326

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS					
Código de la Muestra	NR		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0820326-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jr. Miguel Iglesias # 1036		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F)	mg/L	0.038	<LCM	-	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	76.01	-	-	-	-	-
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	-	-	-	-	-
Bromuro (Br)	mg/L	0.035	<LCM	-	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	-	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	386.2	-	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	36.83	-	-	-	-	-
Turbidez	NTU	0.09	151.0	-	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.63	-	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	1829.5	-	-	-	-	-
(*) Color Verdadero	UC	4.0	84.9	-	-	-	-	-
(*)Olor	TON	NA	200.0	-	-	-	-	-
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	322.5	-	-	-	-	-
(*)Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2.5	1138.0	-	-	-	-	-
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH3/L	0.028	37.3	-	-	-	-	-
(*)Nitrógeno Total	mg/L	0.014	163.4	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	174.0	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	691.6	-	-	-	-	-

Legenda: LCM: Limite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)



ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	16 x 10 ⁶	-	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	35 x 10 ⁴	-	-	-	-	-
(*)Escherichia coli	NMP/100mL	1.8	35 x 10 ⁴	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

Cajamarca, 09 de Septiembre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0820326

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Potencial de Hidrogeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Color Verdadero	UC	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed. 2017. Color. Spectrophotometric Single Wavelength Method (Proposed)
Olor	TON	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2150 B. 23rd Ed. 2017. Odor. Threshold Odor Test
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.C, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Nitrógeno Amoniacal, Amoniaco	mgN-NH ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
Nitrógeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C., 23rd Ed. 2017. Nitrogen. Persulfate Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C. 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes Totales	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G. 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.



NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la Informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 09 de Septiembre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

ANEXO F.

Informe de ensayo del agua residual domesticas tratada después de diseñar la planta de tratamiento.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0920337

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **ROCÍO VERÁSTEGUI ORTIZ**
Dirección **Cajamarca**
Persona de contacto - Correo electrónico marrdelv0319@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **02.09.20** Hora de Muestreo **08:40 a 08:42**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **02**
Ensayos solicitados **Fisicoquímico**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
Referencia de la Muestra: **NAMORA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 484** Cadena de Custodia **CC - 337 - 20**
Fecha y Hora de Recepción **02.09.20 10:00** Inicio de Ensayo **02.09.20 10:15**
Reporte Resultado **11.09.20 10:00**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198264

Cajamarca, 11 de Septiembre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0920337

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código de la Muestra	NR - T	NR - C	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0920337-01	0920337-02	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jr. Miguel Iglesias # 1036	Jr. Miguel Iglesias # 1036	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
pH a 25°C	pH	NA	7.61	7.23	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	2193.0	2105.5	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Potencial de Hidrogeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017, pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2510, B, 23rd Ed. 2017, Conductivity, Laboratory Method

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la Informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 11 de Septiembre de 2020.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0920347

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **ROCIO VERÁSTEGUI ORTIZ**
Dirección **Cajamarca**
Persona de contacto - Correo electrónico mardely0919@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **04.09.20** Hora de Muestreo **10:20 a 10:25**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **02**
Ensayos solicitados **Fisicoquímico**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
Referencia de la Muestra: **NAMORA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 484** Cadena de Custodia **CC - 347 - 20**
Fecha y Hora de Recepción **04.09.20 10:40** Inicio de Ensayo **04.09.20 10:55**
Reporte Resultado **14.09.20 10:00**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198264

Cajamarca, 14 de Septiembre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0920347

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	NR - T1	NR - C1	-	-	-	-
Código Laboratorio	0920347-01	0920347-02	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jr. Miguel Iglesias # 1036	Jr. Miguel Iglesias # 1036	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
pH a 25°C	pH	NA	7.57	7.28	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	2210.5	2081.0	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la Informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 14 de Septiembre de 2020.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0920348

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **ROCÍO VERÁSTEGUI ORTIZ**
Dirección **Cajamarca**
Persona de contacto - Correo electrónico mardely0919@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **07.09.20** Hora de Muestreo **09:50 a 10:00**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **02**
Ensayos solicitados **Fisicoquímico**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **NAMORA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 484** Cadena de Custodia **CC - 348 - 20**
Fecha y Hora de Recepción **07.09.20 10:34** Inicio de Ensayo **07.09.20 10:50**
Reporte Resultado **15.09.20 10:00**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198264

Cajamarca, 15 de Septiembre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0920348

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código de la Muestra	NR - T2		NR - C2	-	-	-	-
Código Laboratorio	0920348-01		0920348-02	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL		RESIDUAL	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		Doméstica	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jr. Miguel Iglesias # 1036		Jr. Miguel Iglesias # 1036	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
pH a 25°C	pH	NA	7.78	7.40	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	2268.5	1765.5	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-H+ B, 23rd Ed, 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2510, B, 23rd Ed, 2017. Conductivity: Laboratory Method

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este Informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este Informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este Informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la Informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este Informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 15 de Septiembre de 2020.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1020453

ENSAYOS			QUIMICOS					
Código de la Muestra			NR - T3	NR - C3	-	-	-	-
Código Laboratorio			1020453-01	1020453-02	-	-	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	Doméstica	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Jr. Miguel Iglesias 1036	Jr. Miguel Iglesias 1037	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	0.175	0.097	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	<LCM	0.043	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.026	0.037	0.407	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.070	0.105	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	170.7	168.3	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	1.030	0.490	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.051	37.73	64.63	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	0.007	0.011	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	16.68	19.41	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.798	1.700	-	-	-	-
Moibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.026	147.7	168.7	-	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.006	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.024	3.127	5.782	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.091	108.5	16.53	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	1.196	1.790	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	1.029	1.171	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	<LCM	0.006	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Estatio (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	-	-	-	-

Cajamarca, 14 de Octubre de 2020.



Printado digitalmente por LOPEZ
LEON Freddy Humberto PAU
20453144108 aut
Método: Day V° B°
Fecha: 14.10.2020 15:08:11 -05:00

DR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URS. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: lab.storiedelago@rgoncajamarca.gob.pe / lab.storiedelago@icrcmail.com FONC 510900 www: IHAJ

Página: 2 de 4

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1020453

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código de la Muestra	NR - T3	NR - C3	-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	1020453-01	1020453-02	-	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jr. Miguel Iglesias 1036	Jr. Miguel Iglesias 1037	-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	124.7	125.8	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	1.134	<LCM	-	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Nitrato (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	281.8	65.65	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Turbidez	NTU	0.09	10.65	109.5	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.72	7.62	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	1772.5	1894.5	-	-	-	-
(*) Color Verdadero	UC	4.0	49.7	172.3	-	-	-	-
(*) Clor	TCN	NA	4.0	140.0	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	14.4	108.0	-	-	-	-
(*) Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2.5	1136.0	1235.5	-	-	-	-
Nitrogeno Amomiacal	mgN-NH3/L	0.150	2.68	4.34	-	-	-	-
(*) Nitrogeno Total	mg/L	0.014	8.12	11.73	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	7.0	58.5	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	52.5	161.4	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es menor (traza)

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	28 x 10 ⁵	35 x 10 ⁴	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	35 x 10 ⁴	54 x 10 ³	-	-	-	-
(*) Escherichia coli	NMP/100mL	1.8	35 x 10 ⁴	54 x 10 ³	-	-	-	-

Nota: Los Resultados >1.0, >1.8, >1.7 y >1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado



Cajamarca, 14 de Octubre de 2020.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1020453

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Se, Si, Sn, Sr, Tl, Ti, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Arsenos (Platano, Cloruro, Nitrito, Sulfuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO2, N-NO3, P-PO4, N-NO2+H-NO3)	mg/L	EPA Method 200.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Arsenic in Drinking Water by Ion Chromatography.
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2130 B, 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrode Method.
Conductividad a 25°C	µS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2510 B, 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Color Verdadero	UC	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2120 C, 23rd Ed. 2017. Color. Spectrophotometric Single Wavelength Method (Proposed)
Olor	TOM	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2150 B, 23rd Ed. 2017. Odor. Threshold Odor Test
Sólidos Suspensos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2540 A,D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2540 A,C, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Nitrogeno Amoniacal, Amoniac	mg-NH ₂ -L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-NH ₂ D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
Nitrogeno total	mg N/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017. Nitrogen. Persulfate Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ -L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ -L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ -L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-O ₂ C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Method
Coliformes Totales	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 9221 A,B,C, 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 9221 A,B,C,E, 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 9221 A,B,C,E,C, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o emendadas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 14 de Octubre de 2020.



Firmado digitalmente por COLINA VENEZAGA Juan José FAU 25402744108.pdf Motivo: Day V B Fecha: 14. 10.2020 15:12:08 -05:00

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0121038

ENSAYOS			QUIMICOS			
Código de la Muestra		NR C5	NR T5	-	-	-
Código Laboratorio		0121038-01	0121038-02	-	-	-
Matriz		RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-
Descripción		Doméstica	Doméstica	-	-	-
Localización de la Muestra		Jr. Miguel Iglesias 1036	Jr. Miguel Iglesias 1036	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales			
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	0.102	0.100	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	0.017	<LCM	-	-
Boro (B)	mg/L	0.026	0.060	0.026	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.080	0.049	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	102.4	138.4	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	0.074	0.113	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.051	63.11	25.64	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	9.645	11.76	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.279	0.280	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.055	51.13	90.17	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.006	<LCM	<LCM	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.024	1.574	0.676	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.091	43.01	82.55	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	6.663	6.690	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	0.701	0.779	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	-	-
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	-	-

Cajamarca, 04 de Febrero de 2021.



Permiso digitalizado por NEVISA
JUSCO Coder Miguel PAU
20403744168 a08
Módulo Dos V B
Fecha: 04.02.2021 15:32:50 -05:00

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URS. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
www.laboratoriodelagua@gogon.gob.pe / laboratoriodelagua@icloud.com FONC 509000 ext: 1140

Página: 2 de 4

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0121038

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código de la Muestra			NR C5	NR T5	-	-	-	-
Código Laboratorio			0121038-01	0121038-02	-	-	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	Doméstica	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Jr. Miguel Iglesias 1038	Jr. Miguel Iglesias 1038	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	0.068	0.118	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	84.72	127.8	-	-	-	-
Nitrilo (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	0.054	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	0.958	3.570	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	114.3	230.6	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	0.136	<LCM	-	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2.5	711.5	804.0	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	5.5	2.7	-	-	-	-
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	0.150	15.8	<LCM	-	-	-	-
Nitrógeno Total	mg/L	0.014	43.6	5.4	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	19.7	7.1	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	62.4	19.5	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (traza)

ENSAYOS			MICROBIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Totales	NMP/100mL	1.8	14 x 10 ²	400	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	240	46	-	-	-	-
Escherichia coli	NMP/100mL	1.8	240	46	-	-	-	-

Nota: Los Resultados +1.0, +1.0, +1.1 y +1 significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado



Cajamarca, 04 de Febrero de 2021.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0121038

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr, Ti, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Acetic Emission Spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-POM, N-NO ₂ /N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2540 A,C, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 2540 A,D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Nitrogeno Amoniacal, Amoniac	mg/N-NH ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-NH ₂ D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
Nitrogeno total	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017. Nitrogen. Persulfate Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Coliformes Totales	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 9221 A,B,C, 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 9221 A,B,C,E, 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Rapid Coliform Procedure
Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEP Part 9221 A,B,C,E,G, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz, que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo, luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 05/07/2020

Cajamarca, 04 de Febrero de 2021.



Firmado digitalmente por COLINA VENEZAGA Juan Jose PAU 2043214168 and Mafico Day V B Fecha: 04.02.2021 14:52:58 -05:00