

*Book of*

# Water Engineering



*Special edition on*  
*“Constructed Wetlands”*

*Year*  
*2023*





# WATER ENGINEERING

VOLUME II

Special edition on  
*“Constructed Wetlands “*

JANUARY 2023

ISBN: 978-99939-0-827-2



**This book is protected by copyright**

ISBN: 978-99939-0-827-2



# **Water Engineering**

**This Book is Part in English and part in Spanish. Not translations**



## About the Authors

**Andrea Barrera;** Mechanical engineer, researcher in Eranet Lac SludgeTec projects on sustainable sludge management. DIGIRES and cWetlands Data, in projects Fodecyt 07-2018, InterCti 01-2021, constructed wetlands for wastewater treatment, InterCti 02-2021 digitalization of water infrastructure for the sustainable management of water resources, Managed recharge of aquifers. Sustainability projects, Master's studies in management of hydrogeological resources. Electric vehicles, nanotechnology and hydrogen. Researcher of the Research Unit of the School of Mechanical Engineering, of the Faculty of Engineering, University of San Carlos of Guatemala. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0828-2351>

**Jorge Ivan Cifuentes ;** Mechanical Engineer. Master in Mechanical and Nanotechnology at Kyung Hee University, South Korea. CNC course at ETHZ, Zurich Polytechnic Institute. Researcher in Eranet Lac SludgeTec projects on sustainable sludge management. DIGIRES and cWetlands Data, in projects Fodecyt 07-2018, InterCti 01-2021, constructed wetlands for wastewater treatment, InterCti 02-2021 Digitalization of water infrastructure for the sustainable management of water resources, Managed recharge of aquifers. Sustainability projects. Nano membranes and Nano filtration . Electric vehicles-hydrogen-water-nanotechnology research. Doctoral studies in climate change and Complex Systems. PhD student Internship in biomaterials and titanium at Silesian University of Technology, Poland. Undergraduate and postgraduate teacher. Principal Researcher of the Research Unit of the School of Mechanical Engineering, of the Faculty of Engineering, University of San Carlos of Guatemala. Consultant and project manager at Kavic Engineerig (Energy & Water Technologies). PE # 3413. ASME Member # 6569115. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8735-1182>

**Jennyfer Paiz ;** Chemical engineer, researcher in Eranet Lac SludgeTec projects on sustainable sludge management. cWetlands Data, in projects Fodecyt 07-2018, InterCti 01-2021. Constructed wetlands for wastewater treatment. Studies in Environmental Engineering and at the Master's level in Sanitary Engineering at ERIS-USAC. Scientific Researcher and environmental consultant. PE # 2542 ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4828-4914>

**Jose Cortez;** Mechanical Engineer, research on Uv Vis spectrophotometry to detect metal content in water, researcher in the Eranet lact cWetlands Data and InterCTi 01-2021 project on constructed wetlands for wastewater treatment. Nanomembranes and nanofiltration to remove organic and inorganic material in water. Researcher in the research unit of the School of Mechanical Engineering of the Faculty of Engineering of the University of San Carlos of Guatemala .

**Paris Rivera** ; Civil Engineer, Master's degree in water resources from ERIS-USAC, PhD in climate change and sustainability. researcher in the constructed wetlands project Eranet lact c Wetlands Data and InterCTi 01-2021 ; Wetlands for wastewater treatment. Professor and researcher at Mariano Galvez University. Climatologist. Graduate professor at the University of San Carlos de Guatemala. PE 5774 ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7259-5152>



## Introduction

Untreated wastewater is an environmental problem that has worsened in recent years in Latin American countries; it is the product of liquid waste derived from domestic, industrial, and agricultural activities. The vast majority of these waters are discharged into rivers and soils directly and without any type of treatment, contributing to environmental deterioration of soil and water (Escobar, 2002). The environmental alteration due to contaminants in wastewater depends on the process or activity that generates them, but among these may be organic matter, nutrients, pathogenic microorganisms and in some cases, dangerous substances such as heavy metals (García et al, 2002).

The greater interaction between people and the environment require greater attention, mainly in the relationship between ecosystems and human well-being (Sunkel, 1980). Therefore, it must be recognized that there is not adequate knowledge in Latin American countries and World in general about the relationships that exist between the well-being of people and the quality of their environment.

One of the main polluting activities in the region of Latin America is Agriculture (Garzona and Marcos, 1999) which has changed in recent years. The discharges from this activity, mainly the sugarcane, banana and coffee industry in the country, contain a high amount of organic matter and nutrients. These mix with rainwater contaminating other places and even groundwater.

This problem has created a public awareness about the environment and pressured the government to legislate laws that protect the environment, but in the current economic conditions and political interests, they limit the resources to operate complete municipal treatment systems.

In the search for options, it draws attention to natural systems and try to replicate them artificially, thus the constructed wetlands are born, also known as artificial wetlands for wastewater treatment, these compared to conventional treatment systems do not require electricity or expensive equipment to function. In addition, as will be seen later in this book, constructed wetlands have proven to be as efficient a pollutant removal system as other more expensive systems.

Going into the matter, it can be said that a constructed wetland is an area flooded by water with a frequency, duration or depth sufficient to maintain plant species that take advantage of interactions with microorganisms and the atmosphere to remove organic matter (Sierra, 2018). In addition, constructed wetlands offer various environmental benefits such as the creation of ecological niches, their restoration, landscape improvement; with respect to climate change, carbon sequestration and climate regulators (Delgadillo, 2010). Constructed wetlands are non-mechanical systems that depend on nature to carry out their work, they are simple and low-velocity systems, but they incorporate complex processes such as precipitation, adsorption, absorption,

chemical reactions, bacterial growth, fluid mechanics and plant biology (Herrera & Florentina Zurita Martínez, Jaime Lara-Borrero, 2018).

The use and application of constructed wetlands for the improvement of the environment and mainly for the sanitation of wastewater is increasingly used in different parts of the world. Subsurface flow wetlands are one of the most common in different European countries such as France, England, Germany, Italy and others. This technology is appropriate for Latin American countries, only a greater socialization of the technology is necessary, a little training for the construction and use of the same and they will be able to benefit in the future.

It is estimated that the country's population will increase over the years and this process will cause a greater amount of liquid waste to be generated, so it is necessary to have effective alternatives to mitigate the impact on the environment. Due to the characteristics of the discharges from different activities in the Mesoamerican and South American region, constructed wetlands represent an applicable technology for their treatment, since the load of pollutants such as organic matter, suspended solids, nitrogen is mainly reduced and total phosphorus in general terms. In this argument, this document contains information on the applicability of constructed wetlands in the treatment of wastewater, based on several sampling and analysis of wetlands in the country, evaluating their performance in the analysis of the efficiency in removal of contaminants.

The authors are professional researchers at the University of San Carlos of Guatemala on issues related to the sustainability of water resources, circular economy and related topics. They are also independent professionals and consulting engineers in government and private companies' projects. Among the projects developed are Sustainability of residual sludge SlugeTec; Eranet Lac Constructed Wetlands Data. Managed aquifers recharge of EranetLac DIGIRES . Nanomembranes among others.

## **LIST OF ARTICLES**

About the Authors

Introduction

List of Articles

Acknowledgement /Agradecimientos

Efficiency of Removal of Pollutants in Wastewater Through Constructed Wetlands

Comparison of Contaminant Removal Efficiencies in Wastewater using artificial wetlands of one and two stages.

### **INGENIERIA DEL AGUA**

“Uso de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales en Guatemala”

Comparación de Eficiencias de Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales de Una y dos Etapas.

Humedales Artificiales como Solución Basada en la Naturaleza para la Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales

Compendio del Taller “Plataforma de Conocimientos sobre Humedales Construidos para el Desarrollo Sostenible”

2nd Constructed Wetlands Consortium Meeting - Towards the constructed Wetlands Knowledge Platform for Sustainable Development -Workshop

Folleto Humedales Artificiales Aplicados a Nivel Residencial Doméstico

Humedales Construidos para Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Caso de estudio; Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Enrique Pazos, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. ERIS-USAC.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Humedal Construido . Caso de Estudio EMAPET PTAR

## **ACKNOWLEDGEMENT**

The authors wish to express their gratitude to the international partner of the EranetLac project, Constructed Wetlands Data. To The National Secretary of Science and Technology, SENACYT, EMAPET, ERIS-USAC, AMPI, AMSCLAE, the staff of these institutions, as well as various people and professionals from Germany, Peru, Brazil, Mexico, Poland, Uruguay, Guatemala, the United States and others for their comments during the development of research and engineering projects. To the University of San Carlos of Guatemala, to researchers from other projects related to the sustainability of water resources.





## EFICIENCY OF REMOVAL OF POLLUTANTS IN WASTEWATER THROUGH CONSTRUCTED WETLANDS

Jorge I. Cifuentes<sup>a,b</sup>, Paris Rivera<sup>a</sup>, Jennyfer Paiz<sup>a,b</sup>, José Cortéz<sup>a,b</sup>, Andrea Barrera<sup>a,b</sup>, Wally Cabrera<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Faculty of Engineering, University of San Carlos de Guatemala 11 Avenida, Cdad. from Guatemala 01012

<sup>b</sup>Research Laboratory of the School of Mechanical Engineering, Universidad de San Carlos de Guatemala 01012

### SUMMARY

Constructed wetlands are green technologies, nature-based solutions, that develop a better alternative for treating wastewater from small communities, an ideal answer given that 90% of the water is contaminated by human waste in most countries. This study presents the test of a double-stage artificial wetland compared to a single-stage wetland, verifying the pollutant removal efficiency of each one. Field measurements of pH, conductivity and color showed a significant improvement of up to 57% with no apparent increase for the double stage plant. Operating conditions are considered stable most of the time where each wetland continues to maintain satisfactory efficiency. The results of removal of COD, BOD, phosphorus, fat, nitrogen, solids and others, showed similar efficiencies for each plant, with removal ranges between 30% to 95%. As a complement, the concentration of chromium VI, cadmium and total iron was determined through the spectrophotometric method uv-vis, from three absorbance tests for each metal, with wavelengths of 540 nm, 228.8 nm and 510 nm respectively; the calibration curves that relate the absorbance with the concentration were consulted from previous works, finding efficiencies of 62% and 85% for removal of chromium VI; 43% and 53% removal for cadmium; of 37% and 53% removal for total iron, results according to one stage and two stages.

**Keywords:** constructed wetlands, removal efficiency, heavy metals, uv-vis spectrophotometry, domestic wastewater, water analysis.

### INTRODUCTION

A pollutant element (organic or inorganic) in one whose levels are above any natural environmental parameter. High concentrations of heavy metals in raw wastewater, such as iron, chromium, nickel, mercury, zinc, vanadium, and cadmium give radical reactive results; especially superoxides, lipid peroxides and hydrogen peroxides, which damage DNA by forming toxic compounds with proteins and amino acids. [1]. Pollutants accumulate in biological beings through absorption by dermal contact and ingestion and inhalation by water or food. If the sewage lining is not adequate, they are a potential risk to aquifers and vegetables near the area; uncontrolled

leachate leakage creates a potential risk to the environment [2]. So any organism composed of cells can be affected at the DNA level with direct consequences in the mitochondria, lysosomes, membranes and enzymes, they are inhibitory mechanisms of cell repair.

The most common contamination by metallic elements, specifically those with a density greater than 5-6 g / cm<sup>3</sup>, are elements with high density and high atomic mass; the real danger is that even at low concentrations they are not biodegradable [3,4]. Given the toxic and carcinogenic effects, chromium and cadmium are the most worrying

The main pollutants of this century arose, without a doubt, during our anthropogenic activity, mainly due to their exploitation and human application. The pollutants that come from wastewater, such as grease and sludge, can produce negative effects on the flora and fauna at the place of discharge; decrease in germination and enzymatic activity, inhibition of photosynthesis, reduction of chlorophyll production and death by lead. In aquatic species they decrease the number of living organisms causing biological alterations due to the non-metabolization of these metals. The contamination of wastewater in aquifers produces a high concentration of the biochemical oxygen demand (BOD), ammonia and hydrogen sulfide [5]. According to models, they establish that most countries have residual water contamination by fecal viruses, added to that, this is accompanied by endocrine disruptors, pharmaceuticals and pathogens. When nature and sewage meet biological beings are severely affected [6].

### **Phytodepuration**

Artificial wetlands are processing plants based on the purification processes of natural wetlands, these have the ability to remove pollutants and nutrients present in the water. These plants are low in construction and maintenance costs, require less energy and can be implemented both on a small and large scale [7]. Constructed wetlands carry out physicochemical and biological processes through the absorption and sedimentation of pollutants. Plants in their rhizospheric system create microbial communities used for the removal of contaminants and plant development. Organisms and plants associate and create an endophyte system [8].

In phytodepuration, plants, as the cornerstone of this technology, decompose pollutants through the root, leaves, stomata and the cell wall. The most common phytoremediation is: rhizofiltration, phytostabilization, phytoextraction, phytovolatilization, phytodepuration, phytodegradation and rhizodegradation; are the processes for the elimination of contaminants in wastewater. [9]. The plants applied in artificial wetlands have the capacity to absorb pollutants in the roots, mobilize by xylem and sequester in the rhizosphere part to be eliminated by means of the vegetal residue (biomass); the main pathways are apoplastic (passive diffusion) and symplastic pathway. In summary, the filtration of pollutants occurs by adsorption and / or transport to intracellular space. For the removal of heavy metals, there are specialized transporters

or proteins with H<sup>+</sup> between the cell membranes that interact with the metal ions present in the wastewater, the metal transporters identified, until now, have been classified into several families, such as ZIP, HMA, MTP and NRAMP [10].

There are not many references on the pollutant removal rate, wastewater can be around 200 to 2000 million cubic meters per day. Given human development, various techniques for wastewater treatment were born, among which can be listed: membrane filtration, electrodialysis, nanofiltration, ultrafiltration, reverse osmosis, ion exchange, activated carbon, chemical precipitation, electrofluctuation, sulfide precipitation and hydroxides, photocatalysis [11].

### **Artificial wetlands**

Wetlands, under natural conditions, provide significant removal of pollutants from stormwater, wastewater and industrial tributaries. The basic process is the oxidation of organic matter, sequestration of pollutants and transport from plants that grow and thrive in wetlands hydroponically. The efficiency of heavy metal removal by constructed wetlands has been reported up to 100% and 90% for organic pathogens [12]. A critical disadvantage of these green technologies, and perhaps their greatest challenge, is their relatively large area needed for wastewater flow control, which is limited to small communities. It requires a basin with a waterproof floor with a slight incline for continuous flow control.



Figure 1. 4-day retention pools for wastewater, about 700 m<sup>2</sup> each. ERIS-USAC plant zone 13 in Guatemala City.

The study of wetlands began in the 50s with the initial work of Käthe Seidel, the most used plants are floating, submerged and emerging macrophytes. Wetland systems respond to other divisions according to the type of construction: surface flow (HFS), horizontal flow (HFSS), vertical flow (HFV) and hybrid systems (SH) [13].

The metal removal efficiency is ideal, data reported with removal rates for Zn, Cr, Ni and Pb are up to 97% [14], while COD, BOD and suspended solids were removed at a rate between 70 and 80%. Similarly, the remission of organic pathogens is

extremely successful, with reports of up to 57% reduction in total coliforms, 62% in fecal coliforms. [15,16]

Commonly, plants applied in artificial wetlands are known as saprophytes, given the conditions of their environment, this plant, like *Phragmites australis*, have the ability to thrive in saturated soils. Most of the wetlands in Europe use plants of the type *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea*, *pseudacorus*, *Thypha spp* and *Cyperus spp*. [17].

## **MATERIALS AND METHODS**

The heavy metal analysis was carried out in the laboratory of the Research Unit of the School of Mechanical Engineering of the University of San Carlos de Guatemala. The equipment used consists of a VW-R Uv 1600 PC spectrophotometer, 10 mm glass-quartz cuvettes, pipettes, test tubes, distilled water and equipment in general. The metals studied were: hexavalent chromium, cadmium and total iron. The analysis of the physical and chemical elements were made by a certified laboratory, the results are shown in tables 2 and 3.

For metals, the sample reagents used were: ChromaVer3 reagent from the diphenyl carbohydrazide method, TNTplus reagent from the cation method, FerroVer reagent from the 1.10 phenanthroline method; for chromium VI, cadmium and total iron respectively. The standard consulted belongs to the American Public Health Association [18]. For the determination of metal concentration in the sample, calibration curves are used according to previous tests strongly adapted to this study [19,20], with the standard addition method at known concentrations. The selected wavelengths were 540 nm, 228.8 nm and 510 nm for chromium VI, cadmium and total iron respectively. The samples were collected in polyethylene bottles for analysis of metals, glass and amber for the physical and chemical analysis (fats, oils and others) and plastic bottles for analysis of color, BOD and solids.

### **Brief relate**

In order to pursue research and explore solutions for caring for the environment, the Regional School of Sanitary Engineering and Hydraulic Resources (ERIS) of the University of San Carlos de Guatemala in 1974 created a system for the treatment of wastewater, the which is composed of trickling filters, an upward flow anaerobic reactor, stabilization ponds and artificial wetlands.

### **Operating conditions**

The ERIS pilot plant, parallel to an artificial wetland belonging to the cement industry, is located within the Aurora II military colony, zone 13 of Guatemala City, being its location north latitude  $14^{\circ} 34' 41.6''$  and west longitude  $90^{\circ} 32' 11.8''$ , between levels 1520 and 1550 meters above sea level. The relative humidity of the air

varies from 85% to 64% during 24 hours, the dew point is 12 ° C. The temperature varies from 25.5 to 13.5 per year and the precipitation responds to an average of 1274 mm / year.

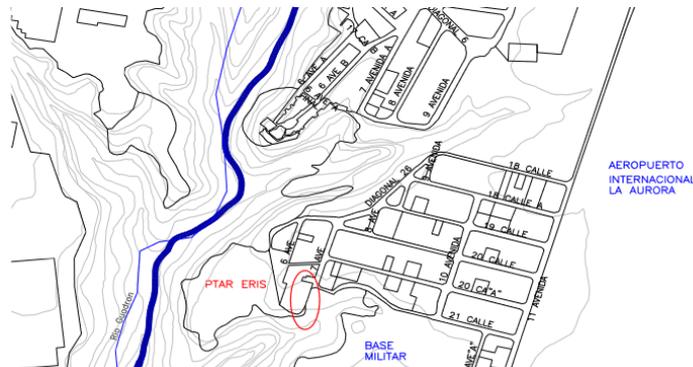


Figure 2. Place of testing and sampling of the ERIS-USAC plant, zone 13 City of Guatemala.

### Operation design

Both designs respond to an impermeable bottom, inlet channel, grids, sand trap, grease trap, and underground flow wetland units, with their filter medium; They work under a surface and sub-surface flow process, with a hydraulic retention period of 4 days. The ERIS plant uses *Thypha* spp, which rests on a 3 "to 4" diameter stone bed. The plant managed by the cement industry uses a combination of *Thypha* spp and *Nymphaea*. ERIS pilot plant tests single-stage design, cement industry pilot plant tests double-stage design; both by phytodepuration. The design flow is 0.014 lt / s.

Both plants share domestic type feed wastewater at their inlets, made up of around 200 houses. Among the main phases is a pretreatment for the removal of coarse solids by means of a grid with an angle of inclination connected to a collection basket, the flow passes to a desander and afterwards to the grease trap. The primary treatment consists of an upward concave structure to improve solids sedimentation efficiency, with a height to settle sludge. The main treatment is the two units of underground flow and surface flow of each plant.



Figure 3. Artificial wetland plant belonging to the cement industry. Left stage 1, right stage 2.



Figure 4. ERIS artificial wetland plant, single stage.

The geographical position allows stable conditions in the pilot plants. In situ pH measurements determined an increase from 7.14 to 7.36 for the ERIS pilot plant and from 7.19 to 7.58 for the cement industry pilot plant, representing removal efficiencies of -3% and -5% respectively; in situ conductivity measurements decreased from 18.7 k $\Omega$  to 10.2 k $\Omega$  for ERIS and from 18.1 k $\Omega$  to 7.7 k $\Omega$  for the cement industry plant, representing removal efficiencies of 45.5% and 57.5% respectively. The analyzes of the internal control of the feed wastewater report stable conditions around the average values of Table 1.

### **Inlet wastewater monitoring**

Given the eating habits of the resident population, consistent with the majority of the region, it is based mainly on legumes, chicken and bread, the input wastewater test according to physical and chemical parameters determines an average according to the data presented in table 1.

Table 1. Typical feed wastewater conditions for both pilot plants.

<b>Parameter</b>	<b>Value</b>
BOD5 (mg /l)	264
COD (mg /l)	495
Total coliforms (MPN / 100 ml)	9.80E+14
Fecal coliforms (MPN / 100 ml)	1.00E+14
Appearance	Turbia
Color (Units)	104
Turbidity (NTU)	107
pH	6.80
Temperature (° C)	22.6
Electrical conductivity (S/m)	660
N-NH3 (mg /l)	43
N-NO2 (mg /l)	0.05
N-NO3 (mg /l)	10.80
Total nitrogen (mg l)	53.85
Sedimentary solids (cm3 /l)	5.00
Suspended solids (mg /l)	30
Dissolved solids (mg /l)	330
Hydroxides (mg /l)	0
Carbonates (mg /l)	0
Bicarbonates (mg /l)	342
Total alkalinity (mg /l)	342

## RESULTS AND DISCUSSION

Tables 2 and 3 show the physical and chemical results of the certified laboratory executed during the last quarter of the current year; for the ERIS single-stage pilot plant and the double-stage cement industry plant.

Table 2. Conditions at entry and exit of wastewater, ERIS plant

<b>Analysis</b>	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Efficiency</b>
<b>Color (Platinum-Cobalt Units)</b>	137	62	55%
<b>Biochemical oxygen demand (mg / l)</b>	140	14	90%
<b>Chemical oxygen demand (mg / l)</b>	339	36	89%
<b>COD / BOD ratio</b>	2.4	2.6	--
<b>Total phosphorus (mg / l)</b>	5.3	4.45	16%
<b>Fats and oils (mg / l)</b>	36	<6.94	81%
<b>Floating matter</b>	Ausente	Ausente	--
<b>Total nitrogen (mg / l)</b>	27.8	10.80	61%
<b>Sedimentary solids (mg / l)</b>	0.5	1.0	-100%
<b>Suspended solids (mg / l)</b>	55.00	7.33	87%

Table 3. Conditions at entry and exit of wastewater, cement industry plant

<b>Analysis</b>	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Efficiency</b>
<b>Color (Platinum-Cobalt Units)</b>	171	79	54%
<b>Biochemical oxygen demand (mg / l)</b>	139	18	87%
<b>Chemical oxygen demand (mg / l)</b>	367	48	87%
<b>COD / BOD ratio</b>	2.6	2.7	--
<b>Total phosphorus (mg / l)</b>	5.10	3.3	35%
<b>Fats and oils (mg / l)</b>	33	<6.94	79%
<b>Floating matter</b>	Ausente	Ausente	--
<b>Total nitrogen (mg / l)</b>	31.80	14.4	55%
<b>Sedimentary solids (mg / l)</b>	2.0	<0.1	95%
<b>Suspended solids (mg / l)</b>	61.25	<2.97	95%

The analysis of chromium VI, cadmium and total iron was done through the atomic absorption spectrophotometric technique, the absorbance measurements presented in table 4 were used to calculate the concentration of each metal according to the selected calibration curves. The samples obtained were at the entrance and exit of each wetland, 3 independent absorbance measurements were carried out for each metal.

Figure 5 presents the calculations obtained for the concentrations of each metal according to each measured absorbance. The removal efficiency of each wetland is also shown.

Table 4. Absorbance measured at the inlet and outlet of each pilot plant

	<b>ERIS wetland</b>		<b>Cement company wetland</b>	
	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Input</b>	<b>Output</b>
<b>Cr VI</b>	0.097	0.037	0.077	0.012
<b>Cd</b>	1.203	0.681	1.244	0.581
<b>Fe</b>	0.027	0.015	0.047	0.019

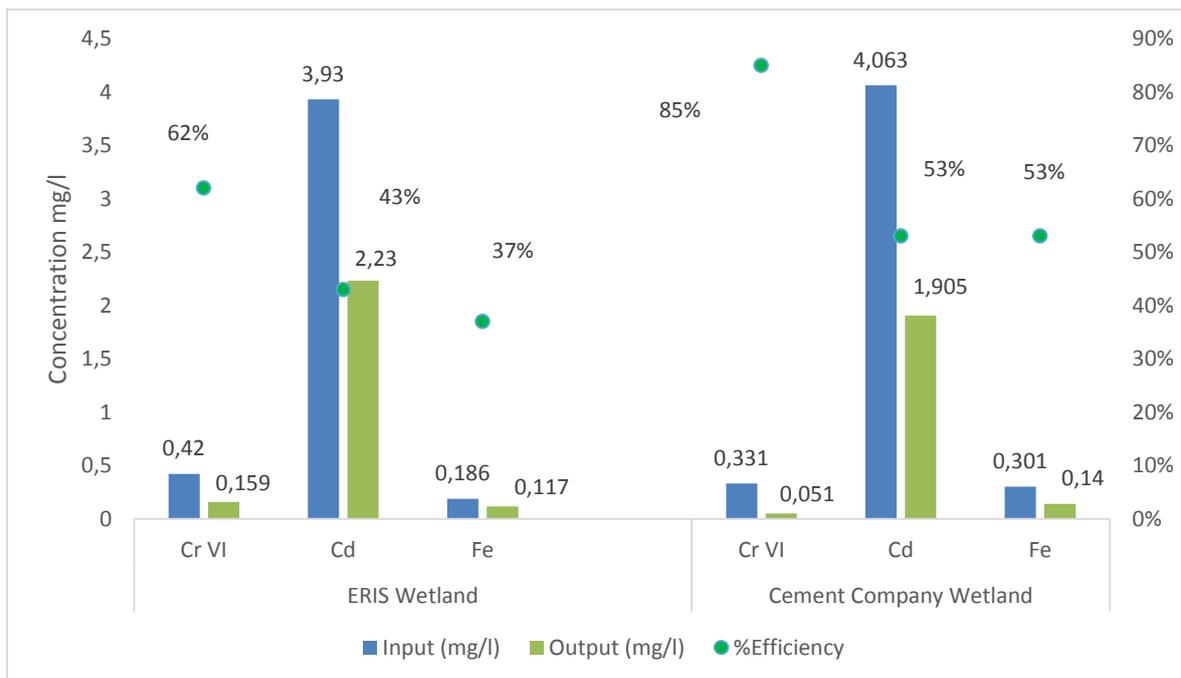


Figure 5. Comparison of results, ERIS wetland left; right of the cement company wetland

The regulations of the region have specified goals on the maximum limits of the elements that make up wastewater, for the year 2020 the maximums are established as shown in table 5.

Table 5. Maximum limits of wastewater elements

<b>Maximum allowable concentration</b>		
<b>Parameters</b>	<b>Maximum allowable</b>	<b>Status</b>
Color (Platinum-Cobalt Units)	500	fulfill
Biochemical oxygen demand (mg / l)	100	fulfill
Chemical oxygen demand (mg / l)	100	fulfill
COD / BOD ratio	--	--
Total phosphorus (mg / l)	10	fulfill
Fats and oils (mg / l)	10	fulfill
Floating matter	Ausente	fulfill
Total nitrogen (mg / l)	20	fulfill
Sedimentary solids (mg / l)	--	--
Suspended solids (mg / l)	100	fulfill
pH	6-9	fulfill
Chromium VI (mg / l)	0.1	fulfill
Cadmium (mg / l)	0.1	No fulfill
Iron (mg / l)	--	--

## Discussion

Although the region has a large natural hydrological resource that makes it possible to supply the population generally, the lack of compliance with existing regulations for the protection of water has caused 90% of surface waters to be contaminated with feces and other wastes. harmful to health. In recent years, monitoring and private studies have shown that heavy metals are common in wastewater. Drinking contaminated water increases the cases of diarrheal diseases, it also has a great influence on the appearance of nutritional problems, especially in children under five years of age.

The fundamental role of the efficiency of pollutant elimination, for both plants, is possessed by the plant species *Thypha* spp and *Nymphaea*, through the capture and transport of the polluting elements in their rhizospheric system and cell space; These elements are not consumed by the plant, but stored in its bioresidual system, also treated in the form of absorption, volatilization, filtration and sedimentation, in addition, microbiological elements also influence the efficiency of each wetland. Plants and microorganisms have a symbiotic role, an abundance of proteobacteria of the genera *Alishewanella* has been demonstrated. The effectiveness of constructed wetlands is verifiable; Previous studies of this nitrogen show that there are removal efficiencies in verifiable ranges, for example, 88%, metals up to 90%, and removal of physical elements up to 70%; In summary, the data sent in this study are 61% nitrogen removal, metals up to 85% and physical parameters up to 95%; Satisfactory data showing the great utility of these technologies; if tables 2, 3 and 4 are compared with the legal regulations established in table 5; When analyzing the incoming wastewater, it is evident that it does not comply with what is specified in the law, if not that it is at the outlet of each wetland that the parameters are below the permissible limits.

Despite their profitable use, artificial wetlands are vulnerable but constant systems, since they depend to a great extent on climatic conditions and the ex situ systems that exist; the feed wastewater is subject to relatively stable parameters that depend on the eating habits of each family, as well as the amount of solids and sludge contained within the wastewater.

The main objective of this work was to evaluate a second stage of the constructed wetland and since the conditions are relatively stable and have the same for each pilot plant, the efficiencies of the single-stage ERIS plant seem to be barely surpassed by the double-stage plant. From the cement industry, the physicochemical analysis shows that the efficiencies of the double-stage plant are within the range of 1% to 20% higher than the single-stage plant; the maximum metal removal is up to 20% more for a double stage wetland. Therefore, it can be concluded that the efficiency of a wetland depends solely on the primary treatment (grease trap, sludge removal, etc.), the level that may affect weather conditions and the maintenance given. On the other hand, the conditions of the feed wastewater and the number of stages seem to have little influence on the efficiency for removal of microbiological and physicochemical elements.

In the elimination of heavy metals, Cd, Cr VI and Fe, the absorbance measurements are satisfactory, the measurement deviations are between 0.1 to 0.3%, to determine the linearity of the data a coefficient of variation (CV%) was calculated that presents a maximum of 12,372 which indicates the little variability of the data and therefore its linearity is correct; thus it is also considered that the instrument meets precision standards. The removal percentage is identical to those described above, with an efficiency improvement of between 10% to 23% for the double-stage wetland. Both share the same operating conditions.

Since wetlands share the entry of wastewater, the conditions at the beginning of each one vary remarkably, in that sense it is to be assumed that the conditions of the treatment before phytodepuration, talk about the grease trap and sludge trap, is important for the proper functioning of the wetlands, although they share similar designs, the physical conditions of the cement industry plant are in better condition. It can be summarized that the detection of pollutants is relatively consistent in both, although during the measurement it was not considered where to find the maximum possible concentrations, such as occurs in the accumulation of sludge. The dual-stage wetland plant has the best pollutant removal efficiencies, up to 85% chromium removal compared to 62% for the ERIS plant.

## **CONCLUSION**

Although the treatment of wastewater through artificial wetlands is not a novelty for countries that have already begun to solve the problem of contamination of surface water, in less developed places the problem persists and surface water does not only contain wastewater domestic if not industrial and agricultural because there are no separate disposal systems for liquid waste from these activities. In this sense, the productive characteristics of the country make it necessary to evaluate economic technologies for the treatment of wastewater and characterize its potential removal of pollutants such as heavy metals originated by agricultural and industrial activities in the country.

The application of green technologies such as constructed wetlands in small communities can represent a significant improvement to the preservation, especially of aquatic resources; since the pollutant removals, of an organic or inorganic nature, occur in percentages of up to 90%; Although it is a technology that requires a large area for its operation, its automated operation, its maintenance costs and construction costs make it attractive for its application. Long-term performance and operational sustainability are the great challenges of constructed wetlands, where operating times, hydraulic retention, flow mode, and pretreatment design affect plant stability.

## **ACKNOWLEDGMENT**

To the National Secretary of Science, Technology and Innovation (SENACYT) for the financing granted through the InterCti project 01-2021

## REFERENCES

1. Jessica Briffa, Emmanuel Sinagra and Renald Blundell. (2020). *Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans*. Heliyon Journal. DOI: [10.1016/J.HELIYON.2020.E04691](https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04691).
2. Ahmad, W., Alharthy, R.D., Zubair, M. et al. (2021). *Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk*. Sci Rep 11, 17006. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94616-4>
3. Madiha ZaynabRashid Al-YahyaiAyesha AmeenYasir SharifLiaqat AliMahpara FatimaKhalid Ali KhanShuangfei Li. (2021). *Health and environmental effects of heavy metals*. Journal of King Saud University – Science. Volume 34, Issue 1, January 2022, 101653. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101653>
4. S. E. Pabón, R. Benítez, R. A. Sarria-Villa and J. A. Gallo. (2020). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión*. Entre Ciencia e Ingeniería Journal. DOI: 10.31908/19098367.1734
5. Suchowska-Kisielewicz, M., Nowogoński, I. (2021). Influence of storms on the emission of pollutants from sewage into waters. Sci Rep 11, 18788. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97536-5>
6. Stephanie L.Wear, Vicenc Acuña, Rob McDonald, Carme Font. (2020). *Sewage pollution, declining ecosystem health, and cross-sector collaboration*. Biological Conservation Journal. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109010>
7. Valentina Riva, Francesco Riva, Lorenzo Vergani, Elena Crotti, Sara Borin and Francesca Mapelli. (2020). *Microbial assisted phytodepuration for water reclamation: Environmental benefits and threat*. Chemosphere Journal, vol 24. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124843>
8. Alberto Vassallo, Elisangela Miceli, Camilla Fagorzi, Lara Mitia Castronovo, Sara Del Duca et al. (2020). *Temporal Evolution of Bacterial Endophytes Associated to the Roots of Phragmites australis Exploited in Phytodepuration of Wastewater*. Front. Microbiol.. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01652>
9. Andhika Puspito Nugroho, Erni Saurmalinda Butar Butar, Ekaputra Agung Priantoro, Mentiras Sriwuryandari et al. (2021). *Phytoremediation of electroplating wastewater by vetiver grass (Chrysopogon zizanoides L.)*. Sci Rep 11, 14482 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93923-0>
10. An Yan, Yamin Wang, Swee Ngin Tan, Mohamed Lokman Mohd Yusof, Subhadip Ghosh, and Zhong Chen. (2020). *Phytoremediation: A Promising Approach for*

11. Ravindra k. Gautam, Suresh mahiya, Sanjay k. Sharma, and mahesh c. Chattopadhyaya. (2014). *Contamination of Heavy Metals in Aquatic Media: Transport, Toxicity and Technologies for Remediation.* Royal Society of Chemistry. DOI:10.1039/9781782620174-00001
12. Shokoufeh Salimi, Miklas Scholz. (2021). *Impact of future climate scenarios on peatland and constructed wetland water quality: A mesocosm experiment within climate chambers.* Journal of Environmental Management Vol. 289. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112459>
13. K. Rambabu, Fawzi Banat, Quan Minh Pham, Shih-Hsin Ho, Nan-Qi Ren and Pau Loke. (2020). *Biological remediation of acid mine drainage: Review of past trends and current Outlook.* Environmental Science and Ecotechnology. <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100024>.
14. Tanveer Saeed, Md Kawser Alam, Md Jihad Miah and Nehreen Majed. (2021). *Removal of heavy metals in subsurface flow constructed wetlands: Application of effluent recirculation.* Environmental and Sustainability Indicators Vol 12, 100146. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100146>
15. Shukla, R., Gupta, D., Singh, G. et al. (2021) *Performance of horizontal flow constructed wetland for secondary treatment of domestic wastewater in a remote tribal area of Central India.* Sustain Environ Res 31, 13. <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00087-7>
16. Antonina Torrens, Montserrat Folch and Miquel Salgot. (2021). *Design and Performance of an Innovative Hybrid Constructed Wetland for Sustainable Pig Slurry Treatment in Small Farms.* Front. Environ. Sci. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.577186>
17. Stefanakis, Alexandros I. (2020). *Constructed Wetlands for Sustainable Wastewater Treatment in Hot and Arid Climates: Opportunities, Challenges and Case Studies in the Middle East.* Water 12, no. 6: 1665. <https://doi.org/10.3390/w12061665>
18. Baird, B. Roger et al. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater.* Washington, DC. American Public Health Association. 23 Ed
19. Arnaud Sanchez-Hachair and Annette Hofmann. (2018). *Hexavalent chromium quantification in solution: Comparing direct UV-visible spectrometry with 1,5-*

20. Edwards, Paula Kay. (2010). *The Correlation of the Concentration of Selected Metals Determined in Water and Fish Samples from a Public Pond*. Electronic Theses and Dissertations. Paper 1774. <https://dc.etsu.edu/etd/1774>. Consulta 10 de septiembre de 2021.

## COMPARISON OF CONTAMINANT REMOVAL EFFICIENCIES IN WASTEWATER USING ARTIFICIAL WETLANDS OF ONE AND TWO STAGES.

**Jorge I. Cifuentes**<sup>1,2\*</sup> Paris Rivera<sup>1</sup> **Jennyfer Paiz**<sup>1</sup> José Cortéz<sup>1,2</sup> **Andrea Barrera**<sup>1,2</sup>

### *Abstract*

*Constructed wetlands are green technologies, nature-based solutions, that use phytoremediation for the treatment of wastewater studied in domestic, industrial, agricultural waters and products such as hydrocarbons and some emerging pollutants. This study presents the results of contaminant removal from two types of artificial wetlands; single-stage and double-stage, which determine its efficiency. In situ measurements of the percentage of hydrogen pH, electrical conductivity, and color in the outlet stages showed removals close to 60% with minimal changes between the two wetlands. The removal of COD, BOD, phosphorus, fats, nitrogen, solids, and others, showed similar efficiencies for each plant, with removal ranges between 16% and 95% relative to each pollutant analyzed. As a complement, the concentration of heavy chromium VI, cadmium, and total iron will be reduced through the uv-vis spectrophotometric method, which from three absorbance measurements for each metal, with wavelengths of 540 nm, 228, 8 nm, and 510 nm, respectively, efficiencies of 62% and 85% were found for chromium VI removal; 43% and 53% removal for cadmium; 37% and 53% removal for total iron, results according to one-stage and two-stage plants. The high contaminant removal capacity of the artificial wetlands evaluated presents a solid basis for their application as a substitute for traditional wastewater treatment plants for cheap and environmentally friendly technology.*

---

<sup>1</sup> University of San Carlos of Guatemala 01012



# **INGENIERIA DEL AGUA**

**“ Humedales construidos para sistemas de tratamiento de aguas  
residuales “**

## Introducción

Las aguas residuales no tratadas son un problema ambiental que se ha agudizado en los últimos años en la región de Latinoamérica, son el producto de desechos líquidos derivados de actividades domésticas, industriales y agrícolas. En su gran mayoría, estas aguas se descargan a los ríos y suelos directamente y sin ningún tipo de tratamiento, contribuyendo al deterioro ambiental del suelo y el agua (Escobar, 2002). La alteración ambiental debido a los contaminantes de las aguas residuales depende del proceso o actividad que las genera, pero entre estos se pueden presentar materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos y, en algunos casos sustancias peligrosas como metales pesados (García et al, 2002).

La mayor interacción entre las personas y el ambiente requieren de una mayor atención, principalmente en la relación entre los ecosistemas y el bienestar humano (Sunkel, 1980). Por lo que hay que reconocer que no se tiene un conocimiento adecuado en Latinoamérica sobre las relaciones que existen entre el bienestar de las personas y la calidad de su entorno.

Una de las principales actividades contaminantes en la región de Latinoamérica es la Agricultura (Garzona y Marcos, 1999) lo cual con ha cambiado en los años actuales. Las descargas de esta actividad, principalmente la industria cañera, bananera y cafetalera del país, contienen una alta cantidad de materia orgánica y nutrientes. Estos se mezclan con el agua de lluvia contaminando otros lugares e incluso aguas subterráneas.

Esta problemática a creado una conciencia pública sobre el medio ambiente y presionado al gobierno a legislar leyes que protejan al medio ambiente, pero en las condiciones actuales económicas e interesa políticos, limitan los recursos para operar sistemas de tratamiento completos municipales.

En la búsqueda de opciones, llama la atención a los sistemas naturales e intentar replicarlos de forma artificial, así nacen los humedales construidos, también conocidos como humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, estos en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales no requieren de energía eléctrica ni de equipos de alto costo para funcionar. Además, como se verá a continuación en este libro los humedales construidos han demostrado ser sistema de remoción de contaminantes tan eficientes como otros sistemas más costosos.

Entrando en materia, se puede decir que un humedal construido es un área inundada por agua con una frecuencia, duración o profundidad suficiente para mantener especies de plantas que aprovechan las interacciones con los microorganismos y la atmosfera para remover la materia orgánica (Sierra, 2018). Además, los humedales construidos ofrecen varios beneficios ambientales como, la creación de nichos ecológicos, la restauración de estos, el mejoramiento del paisaje y respecto al cambio climático la captura de carbono y reguladores del clima (Delgadillo, 2010). Los humedales construidos son sistemas no -mecánicos que dependen de la naturaleza para realizar su trabajo, son

sistemas simples y de baja velocidad, pero incorporan procesos complejos como la precipitación, la adsorción, la absorción, reacciones químicas, crecimiento bacteriano, mecánica de fluidos y biología de las plantas (Herrera & Florentina Zurita Martínez, Jaime Lara-Borrero, 2018).

El uso y aplicación de los humedales construidos para el mejoramiento del ambiente y principalmente para el saneamiento de las aguas residuales es cada vez más usado en diferentes partes de mundo. Los humedales de flujo subsuperficial son de los más comunes en diferentes países de Europa como Francia, Inglaterra, Alemania, Italia y otros. Esta tecnología es apropiada para países de Latinoamérica, solo es necesario una mayor socialización de la tecnología una pequeña capacitación para la construcción y uso de los mismo y el país podrá verse beneficiado a futuro.

Se estima que la población del país aumente con el transcurso de los años y este proceso ocasionará que se genere una mayor cantidad de residuos líquidos, por lo que es necesario contar alternativas efectivas para mitigar el impacto al ambiente. Debido a las características que presentan las descargas de distintas actividades en la región de Mesoamérica y Sudamérica, los humedales construidos representan una tecnología aplicable para el tratamiento de estos, ya que se reduce principalmente la carga de contaminantes como materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno y fósforo total en términos generales. En este argumento, el presente documento contiene información sobre la aplicabilidad de humedales construidos en el tratamiento de aguas residuales, fundamentando en varias tomas de muestra y análisis de humedales en el país, evaluando su desempeño en el análisis de la eficiencia en remoción de contaminantes.

Los autores son profesionales investigadores en la Universidad de San Carlos de Guatemala en temas relacionados con la sostenibilidad del recurso hídrico, economía circular y tópicos relacionados. También son profesionales independientes e ingenieros consultores en empresas gubernamentales y proyectos de empresas privadas. Entre los proyectos desarrollados están Sostenibilidad de lodos residuales SlugeTec. Eranet Lac Constructed Wetlands Data. Recarga gestionada de acuíferos ErnaetLac DIGIRES. Nanomembranas entre otros.

## **Agradecimientos**

Los autores desean expresar su agradecimiento a los socios internacionales del proyecto EranetLac, Constructed Wetlands Data. A La Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT. a EMAPET, a ERIS-USAC, AMPI, AMSCLAE, al personal de estas instituciones, también a varias personas y profesionales de Alemania, Perú, Brasil, México, Polonia, Uruguay, Guatemala, Estados Unidos y otros por sus comentarios durante el desarrollo de los proyectos de investigación e ingeniería. A la Universidad de San Carlos de Guatemala, a investigadores de otros proyectos relacionados con la sostenibilidad de los recursos hídricos.



PROYECTO DE LIBRO PARA ANÁLISIS REGIONAL  
“Uso de humedales artificiales para el tratamiento  
de aguas residuales en Guatemala”

Jorge I. Cifuentes <sup>a</sup>, Jennyfer Paiz <sup>a</sup>, Andrea Barrera<sup>a</sup>, Paris Rivera<sup>a</sup>, José Cortéz <sup>a</sup>, Wally Cabrera <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 01012

**Correspondence author:** jicifuentes@ing.usac.edu.gt (Jorge Cifuentes)

## 1. Introducción:

La contaminación del recurso hídrico es un grave problema a nivel mundial, y Guatemala no es la excepción. Sin embargo, al ser un país donde la producción agrícola es un eje importante de la economía nacional, los recursos naturales cobran más relevancia. Una de las principales problemáticas ambientales en Guatemala es el alto nivel de contaminación del agua que ocasiona enfermedades y pérdidas económicas a la población por la escasez de este recurso debido a su mal uso y manejo y la carencia de medidas adecuadas para su regulación.

Guatemala posee 38 cuencas hidrográficas, distribuidas en tres vertientes hidrográficas: la vertiente del Pacífico, con 18 ríos; la vertiente del Atlántico, con 10, y la vertiente del Golfo de México, con 10; más de 300 lagos y lagunas y una red de 2 mil 700 kilómetros con un volumen de escorrentía de 100 millones de metros cúbicos por año, de los cuales el 90% está contaminado, principalmente debido a la presencia de coliformes fecales (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar [IARNA-URL], 2006).

La contaminación de los cuerpos acuíferos en Guatemala es resultado del vertido descontrolado de aguas residuales de los centros urbanos, provenientes de las viviendas y de la actividad comercial, industrial, agroindustrial y agropecuaria (IARNA-URL, 2006). Según IARNA-URL (2006) este tipo de descargas son ricas en nutrientes, bacterias y patógenos, lo que favorece la proliferación de algas en los cuerpos receptores, factores de riesgo para la salud humana.

En Guatemala para el año 2019 se estimó la existencia de 405 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, de las cuales 118 plantas están ubicadas en el departamento de Guatemala, 44 en Chimaltenango, 33 en Retalhuleu, 21 en Suchitepéquez, 20 en Jutiapa y 18 entre Sololá y en Sacatepéquez. En las cuales los principales procesos de tratamiento son: lagunas facultativas, anaeróbicas, aeróbicas; sistemas de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) y sistemas de lodos activados.

En su gran mayoría, los humedales artificiales en Guatemala son utilizados como tratamiento secundario o terciario en el tratamiento de aguas residuales

pre-tratadas, y en el tratamiento de aguas grises. Estos sistemas de tratamiento tienen aplicación en tratamiento de efluentes industriales, saneamiento de ecosistemas y sistemas de tratamiento en comunidades rurales.

*COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE UNA Y DOS ETAPAS.*

**Jorge I. Cifuentes**<sup>1,2\*</sup> **Paris Rivera**<sup>1</sup> **Jennyfer Paiz**<sup>1</sup> **José Cortéz**<sup>1,2</sup> **Andrea Barrera**<sup>1,2</sup>

**Resumen**

Los humedales artificiales son tecnologías verdes, soluciones basadas en la naturaleza, que utilizan la fitorremediación para el tratamiento de aguas residuales estudiados en aguas domésticas, industriales, agrícolas y productos tales como hidrocarburos y algunos contaminantes emergentes. Se presentan en este estudio resultados de remoción de contaminantes de dos tipos de humedales artificiales; de una etapa y de doble etapa, los cuales determinan su eficiencia. Las mediciones in situ de porcentaje de hidrogeno pH, conductividad eléctrica y color en las etapas de salida mostraron remociones cercanas al 60% con cambios mínimos entre los dos humedales. Los resultados de remoción de DQO, DBO, fosforo, grasas, nitrógeno, sólidos y demás, arrojaron eficiencias similares para cada planta, con rangos de remoción entre 16% a 95% relativos a cada contaminante analizado. Como complemento, se determinó la concentración de los metales pesados cromo VI, cadmio y hierro total a través del método espectrofotométrico uv-vis, que, a partir tres mediciones de absorbancia para cada metal, con longitudes de onda de 540 nm, 228.8 nm y 510 nm respectivamente, se encontraron eficiencias de 62% y 85% para remoción de cromo VI; de 43% y 53% de remoción para cadmio; de 37% y 53% de remoción para hierro total, resultados según las plantas una etapa y dos etapas. La alta capacidad de remoción de contaminantes de los humedales artificiales evaluados, presentan una sólida base para su aplicación como sustituto de las tradicionales plantas de tratamiento de aguas residuales aparte que es una tecnología barata y amigable con el ambiente.

**Palabras clave:** contaminación del agua, espectrofotometría, fitorremediación, metales pesados.

# HUMEDALES ARTIFICIALES COMO SOLUCIÓN BASADA EN LA NATURALEZA PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES

Jennyfer Paiz, Andrea Barrera, Jorge Cifuentes, José Cortéz, Paris Rivera  
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

## Resumen

Las tecnologías verdes o basadas en la naturaleza, como los humedales artificiales (HA), ayudan a conservar y proteger los cuerpos de agua, desarrollando una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Este estudio presenta el resultado de los análisis realizados a dos humedales para el tratamiento de aguas residuales construidos en la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) en la ciudad de Guatemala. Se obtuvieron muestras en la entrada y salida de cada humedal para determinar las concentraciones, a partir ensayos de absorbancia para los metales cromo VI, cadmio y hierro total; se utilizó la técnica espectrofotometría con longitudes de onda de 540 nm, 228.8 nm y 510 nm respectivamente. Se determinaron las eficiencias de remoción de los metales para ambos humedales, encontrándose valores de 62% y 85% para remoción de cromo VI; de 43% y 53% de remoción para cadmio; de 37% y 53% de remoción para hierro total.

**Palabras clave:** Humedales artificiales, aguas residuales, metales pesados, espectrofotometría UV-VIS, análisis de agua.

## Introducción

Para el tratamiento de aguas residuales es necesario el uso de tecnologías adecuadas basadas en la naturaleza, y así aprovechar sus componentes como microorganismos y especies vegetales. Los humedales artificiales son sistemas construidos para el tratamiento de aguas residuales, donde se aumentan las capacidades depuradoras de la vegetación y con ello la eficiencia del sistema, optimizando así, los procesos físicos, químicos y biológicos que se dan en los ecosistemas de humedales naturales.

Un elemento contaminante (orgánico o inorgánico) es aquel que sus niveles están por encima de cualquier parámetro ambiental natural. Las altas concentraciones de metales pesados en aguas residuales sin tratar, tales como hierro cromo, níquel, mercurio, zinc, vanadio y cadmio dan resultados radicales reactivos; como superóxidos, peróxidos de lípidos y peróxidos de hidrógeno, que deterioran el ADN de los seres vivos al formar compuestos tóxicos con proteínas y aminoácidos. [1]

La contaminación por elementos metálicos más comunes, específicamente por aquellos con una densidad mayor que  $5-6 \text{ g/cm}^3$ , como el hierro, cadmio, cromo, cobre, zinc y níquel [3]. Dado los efectos tóxicos y cancerígenos, el cromo y el cadmio son los más preocupantes. De igual forma, metales pesados que provienen de aguas residuales pueden producir efectos negativos en la flora y fauna el lugar de desembalse; disminución de germinación y de la actividad enzimática, inhibición de fotosíntesis, reducción de producción de clorofila y la muerte por plomo. En especies acuáticas disminuyen el número de organismos vivos provocando alteraciones biológicas por la no metabolización de estos metales.

Existen dos procesos ecológicos para el control de aguas residuales: microbiológicos y por fitorremediación, esta última como una tecnología descrita como “emergente verde” que utilizando vegetación para la eliminación de contaminantes. En la fitorremediación las plantas, descomponen los contaminantes a través de la raíz, hojas, estomas y pared celular.

Una grave preocupación es la contaminación de tierras agrícolas por el riego con aguas residuales, los metales tienden a ser absorbidos por los cultivos destinados a la alimentación. Se ha encontrado un aumento en la concentración de mercurio, arsénico, plomo, cadmio, zinc, níquel y cromo en cultivos como lechuga, repollo, calabaza. La tasa de contaminación del agua puede rondar cerca de los 200 a 2000 millones de metros cúbicos diarios [4,5].

Los humedales, en condiciones naturales proporcionan una remoción significativa de contaminantes provenientes de afluentes de aguas pluviales, residuales e industriales. El proceso básico es la oxidación de materia orgánica, actividad metabólica por microorganismos y fotólisis provenientes de las plantas que crecen en los humedales de forma hidropónica. La eficiencia de remoción de metales pesados por humedales artificiales se ha informado de hasta un 100% y de 90% para patógenos orgánicos [7].

Una desventaja crítica de estas tecnologías verdes, y quizá su mayor desafío, es la mayor área necesaria para el control de flujo de aguas residuales. Requiere de una cuenca con suelo impermeable con una leve inclinación para un control de flujo continuo [8].

Los sistemas de humedales artificiales responden a divisiones según el tipo de construcción: Flujo superficial (HFS), flujo horizontal (HFSS), flujo vertical (HFV) y sistemas híbridos (SH). [9, 10]

La eficiencia de remoción de metales es ideal para plantas de tratamiento de aguas residuales según datos reportados son 75-99% cadmio, 26% de plomo, 76% de plata y 67% de zinc, mientras que DQO, DBO y sólidos en suspensión son eliminados a una tasa entre el 75 y el 80%. De igual forma, la eliminación de patógenos orgánicos es

por demás exitosa, con reportes de hasta un 57% de reducción de coliformes totales, 62% de coliformes fecales, 98% de reducción de especies de Giardia, 87% de Cryptosporidium spp. y 38% de colifagos. [7,11,12]

# COMPENDIO DEL TALLER “PLATAFORMA DE CONOCIMIENTOS SOBRE HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE”

## 2nd Constructed Wetlands Consortium Meeting - Towards the Constructed Wetlands Knowledge Platform for Sustainable Development

### **1. Fecha del taller:**

Del 13 de noviembre al 19 de noviembre de 2022.

### **2. Lugar del taller:**

Llevado a cabo en Perú, en las ciudades de Lima, Huaraz, Ancash.

### **3. Título del proyecto:**

“Humedales Naturales para Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales”.

### **4. Número de Proyecto:**

InterCti 01-2021

### **5. Objetivo General del taller**

Fortalecer las capacidades internacionales de los países miembros del consorcio del proyecto CWetlands para ampliar las líneas de investigación, obtener nuevas fuentes de financiamiento internacional para continuidad del proyecto y conocer la data generada por todos los miembros del proyecto en materia de humedales construidos.

### **6. Resumen**

Durante el taller titulado “Plataforma de conocimientos sobre humedales construidos para el desarrollo sostenible” llevado a cabo en las ciudades de Lima y Huaraz, Perú, del 13 de noviembre al 19 de noviembre del 2022. En donde se llevaron a cabo varias reuniones con el consorcio internacional del proyecto CWetlands, para darle continuidad del proyecto a largo plazo, planteamiento de nuevos proyectos, seguimiento al sitio web Cwetlands Data, tuvo lugar asimismo una serie de ponencias por parte de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Perú. Entre las visitas técnicas realizadas durante el taller su tuvo el acceso a la planta de tratamiento de aguas residuales con

humedales construidos en la empresa de cemento UNACEM, Perú; visita a proyectos de humedales construidos para el tratamiento de aguas de drenaje ácido de roca y de mina en las montañas de Huaraz, Ancash, Perú y visita a humedales naturales en Huaraz.

## DESGLOSE DE ACTIVIDADES

### Día #01 – 13 de noviembre de 2022

Se tuvo una reunión con el consorcio internacional donde se presentó la agenda detallada a desarrollar durante la semana del taller en Perú, se presentaron los miembros del consorcio internacional presentes. Se trató sobre la agenda general del proyecto internacional CWetlands, y los tiempos de cumplimiento para cada país.

### Día #02 – 14 de noviembre de 2022

Se realizó un taller con los miembros del consorcio internacional para definir nuevas líneas de investigación para aplicar a nuevos fondos internacionales. Se trató el tema de la plataforma de conocimiento en línea sobre humedales construidos CWKP (Constructed Wetlands Knowledge Platform), sobre su construcción y generación de nueva data, y las vías de cómo hacer que está llegue a más usuarios, sobre todo su popularización en Europa y América Latina. Se dio a conocer los avances generales de cada país dentro del marco del proyecto y toma de acciones en función de la línea actual de trabajo. Entre las principales líneas de acción planteadas para entregables a corto y mediano plazo son:

- Determinar usuarios para la plataforma de conocimiento en línea sobre humedales construidos CWKP.
- Desarrollar pruebas y encuestas de opinión sobre el uso de la plataforma de conocimiento en línea sobre humedales construidos CWKP.
- Desarrollar metodologías y una documentación de la data construida en la plataforma de conocimiento en línea sobre humedales construidos CWKP.
- Explorar el potencial y la relevancia de las fuentes de datos de los usuarios.

Se visitó las Instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina, la planta piloto de tratamiento de aguas residuales, donde se pudo acceder a una serie de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Dicha planta de tratamiento de aguas residuales consta de varias unidades de tratamiento, como tanque séptico, tanque baffled, humedal de celda francesa, humedal subsuperficial de flujo horizontal y vertical.

La Planta modelo para el tratamiento de aguas residuales domésticas por medio de humedales artificiales es un sistema implementado con la finalidad de estudiar las diferentes alternativas de tratamiento en una escala piloto dentro de La Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), cuya profesora gestora del proyecto es la Ing. Rosa Miglio Toledo. El proyecto ha sido diseñado para captar aguas residuales domésticas a través de un buzón que permite tomar el caudal necesario para las líneas de tratamiento y el sobrante lo devuelve al alcantarillado. El sistema de tratamiento está diseñado idealmente para 30 Personas Equivalentes o aproximadamente 6 m<sup>3</sup>. La línea está compuesta por un humedal de grava de flujo vertical seguido por dos humedales artificiales también de flujo vertical. Este sistema permite tratar aguas negras después de su pretratamiento que tiene por finalidad la separación de sólidos suspendidos. Con una operación adecuada el efluente final es transparente, sin olor y principalmente puede ser reutilizado para el riego de áreas verdes y árboles.

También se pudo acceder a otras tecnologías para el tratamiento de desechos sólidos y líquidos como lo es el sanitario de pozo seco.

#### Día #03 – 15 de noviembre de 2022

Se realizó una visita a la planta de Cemento UNACEM del Perú, donde se pudo acceder a la planta de tratamiento de aguas residuales la cual hace el uso de la tecnología de humedales construidos.

UNACEM S.A. posee una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas, la cual se implementó para reaprovechar los efluentes domésticos generados y así disminuir la extracción de agua de pozo. Este efluente tratado es destinado al riego de áreas verdes y sistema contra incendio.

Dicha planta consta de un separador de sólidos o canal de rejillas como pretratamiento, una serie de tanques sedimentadores y de floculación como tratamiento primario, una serie de humedales construidos de flujo subsuperficial. Como tratamiento terciario una unidad de desinfección con cloro. Tratamiento cuaternario una serie de filtros de tecnología israelí.

#### Día #04 – 16 de noviembre de 2022

Se tuvo el Taller “Plataforma De Conocimientos Sobre Humedales Construidos Para El Desarrollo Sostenible” donde tuvo lugar una serie de talleres donde se intercambiaron experiencias de aplicaciones de humedales, tecnologías y normativas para el tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica y Europa. Entre las ponencias presentadas dicho día cabe mencionar:

- Marco normativo peruano respecto al tratamiento de aguas residuales y su influencia en la implementación de humedales construidos por Guillermo León (PERÚ)
- Aplicación de humedales construidos en el tratamiento de aguas residuales: Estudio de caso en Polonia por Tomasz Bergier - AGH University of Science and Technology (POLONIA)
- Humedales Construidos: Estudio de caso en Guatemala por Jorge Cifuentes Universidad de San Carlos (GUATEMALA)
- Presentación de la plataforma CWETLANDS por Ariel Turcios - Leibniz University Hannover (ALEMANIA)

También se dio a conocer al público presente de la universidad UNALM (estudiantes y profesores) la plataforma CWetlands construida bajo la colaboración del consorcio internacional.

Se viajó al departamento de Ancash, Huaraz, Perú donde se pudieron visitar una serie de humedales naturales y construidos.

Se visitó en Huaraz un humedal construido para remediar drenajes ácidos, los drenajes ácidos contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y un alto contenido de sulfatos y metales disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, etc.), los humedales construidos como un método eficiente, fácil y económico que no requiere un mantenimiento continuo para su funcionamiento. Estos humedales de depuración de aguas ácidas son amigables con el ambiente; se basan en la acción sinérgica de plantas, bacterias, hongos y sustrato orgánico para recuperar el pH e inmovilizar los metales de los drenajes ácidos a través de la estabilización, sedimentación, adhesión, acumulación, transformación y precipitación

Los humedales altoandinos disponen de una importante capacidad de acumulación de agua además de un rol purificador del agua que los atraviesa. Estos funcionan como un filtro de agua gracias a la reacción sinérgica entre vegetación, bacterias y suelo. Las partículas ácidas y/o metales pesados son secuestrados en las partes vegetativas y rizosfera del ecosistema a través de la acumulación, transformación y precipitación de estos. En la flora andina hay muchas plantas con potencial biorremediador, capaces de acumular metales. Gracias a esa aptitud, estas especies han sido utilizadas con éxito en sistemas de humedales artificiales para tratar drenajes de relaves, desmontes mineros y vertidos domésticos cercanos al río Santa.

También se visitó otro humedal construido para el tratamiento de drenaje ácido de mina en Recuay, Huaraz, los humedales construidos para el tratamiento de drenajes ácidos de mina demuestran resultados satisfactorios en la reducción de la cantidad de metales pesados y acidez. Los procesos aeróbicos y anaeróbicos apuntan a quitar este agente contaminante, pero principalmente los procesos anaerobios tales como reducción bacteriana del sulfato muestran un mejor funcionamiento. La presencia de plantas, microorganismos y sustancias orgánicas es esencial para alcanzar un tratamiento acertado. Las plantas sirven como hábitat para poblaciones microbianas que actúan en el

proceso de remoción y las sustancias orgánicas proporcionan una fuente de carbón para plantas y microorganismos.

#### Día #06 – 18 de noviembre de 2022

Se visitó la reserva natural Huaraz, Laguna Parón, en la región de Ancash, donde se pudieron visitar varios sitios de humedales naturales del área, ubicados en el interior del Parque Nacional Huascarán. El Parque Nacional Huascarán (PNH), se ubica en el Departamento de Ancash (Perú), y abarca aproximadamente 340 mil hectáreas, entre los 2400 y 6768 msnm. Estos humedales son del tipo altoandinos, muchos humedales son reconocidos como importantes fuentes de agua para la población actual. Pero también lo eran para las poblaciones precolombinas, ya que se han encontrado construcciones hechas para regar y mantener las áreas con humedales. Sin embargo, estos mismos usos, si no son bien manejados (sobrepastoreo o extracción excesiva de turba), se convierten en importantes amenazas para estas áreas. Estos se consideran ecosistemas frágiles por su lenta capacidad de respuesta, y cualquier alteración en su funcionamiento, especialmente en su hidrología, genera fuertes impactos y degradación.

Los humedales altoandinos son ecosistemas únicos, frágiles y que brindan importantes servicios ecosistémicos para la población local. Sin embargo, en el Perú, es muy poco lo que se conoce sobre su funcionamiento y estructura. Sólo entendiendo mejor la relación que existe entre los diferentes componentes de estos ecosistemas, y los impactos que generan los diferentes usos a los que son sujetos, se pueden plantear alternativas de manejo, conservación y/o restauración.

#### Día #07 – 19 de noviembre de 2022

Se realizó el viaje de retorno de la ciudad de Huaraz a la ciudad de Lima. En donde se tuvo el cierre del taller, entrega de diplomas a los participantes. Proceso de retorno de los participantes a sus países de origen.

## **1. Humedales naturales**

Los humedales son medios semiterrestres con un alto grado de humedad y vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial autodepurador. Los humedales ocupan el espacio que hay entre los medios húmedos y los medios, generalmente, secos y de que poseen características de ambos, por lo que no pueden ser clasificados categóricamente como acuáticos ni terrestres (Hammer y Bastian, 1989).

Estos ecosistemas pueden llegar a alcanzar gran complejidad con mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente, fauna asociada a la vegetación, fauna acuática, componentes bióticos y abióticos y las interacciones entre ellos. (Ramsar, 1971)

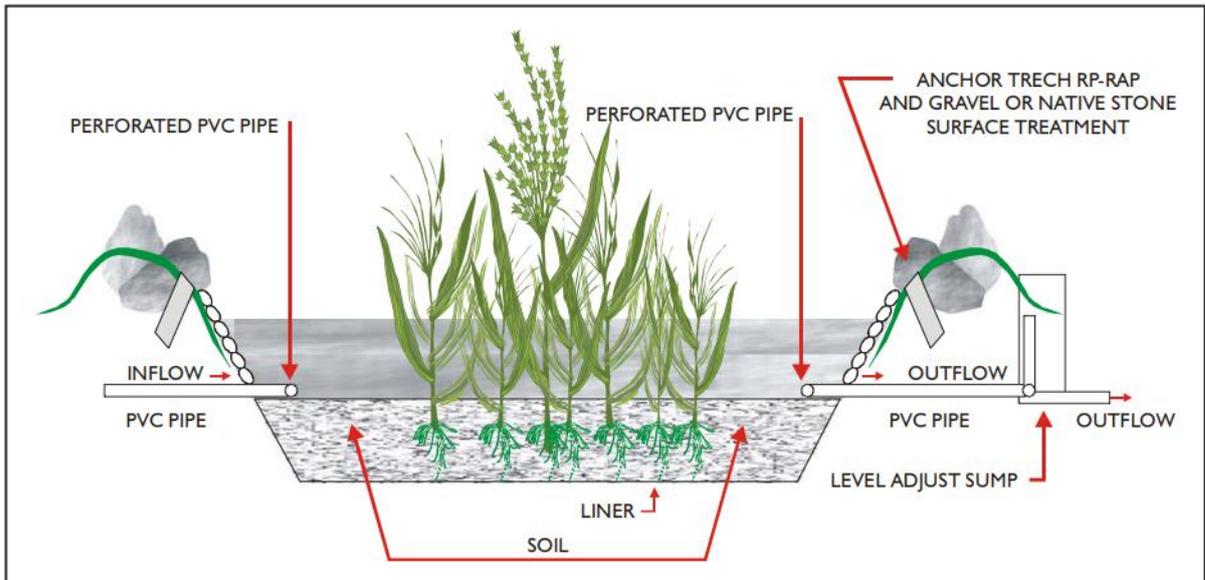
Lo característico de un humedal es la presencia de agua durante períodos bastante prolongados como para alterar los suelos, sus microorganismos y las comunidades de flora y fauna hasta el punto de que el suelo no actúa como en los hábitat acuáticos o terrestres.

## **2. Humedales artificiales (generalidades, tipos)**

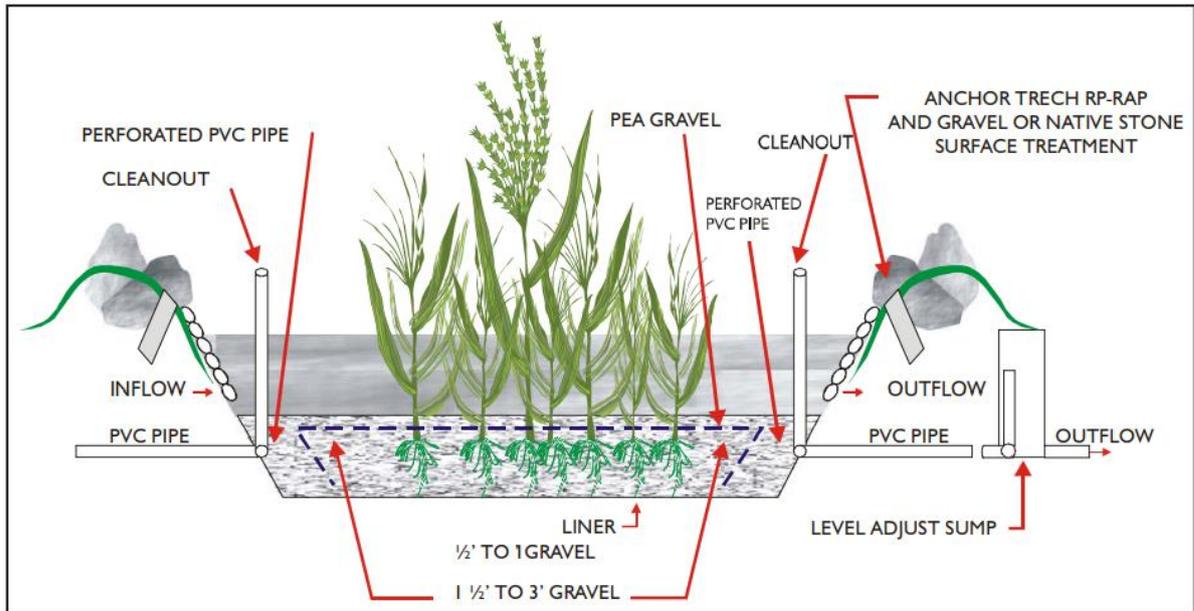
Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los wetlands construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los wetlands de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los wetlands proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

- Sistema de agua superficial libre (SASL) Estos sistemas consisten típicamente de estanques o canales, con alguna clase de barrera subterránea para prevenir la filtración, suelo u otro medio conveniente a fin de soportar la vegetación emergente, y agua en una profundidad relativamente baja (0,1 a 0,6 m) que atraviesa la unidad. La profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo, y

la presencia de tallos de planta y basura regulan el flujo del agua. Se aplica agua residual pretratada sa estos sistemas, y el tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente (ver figura)

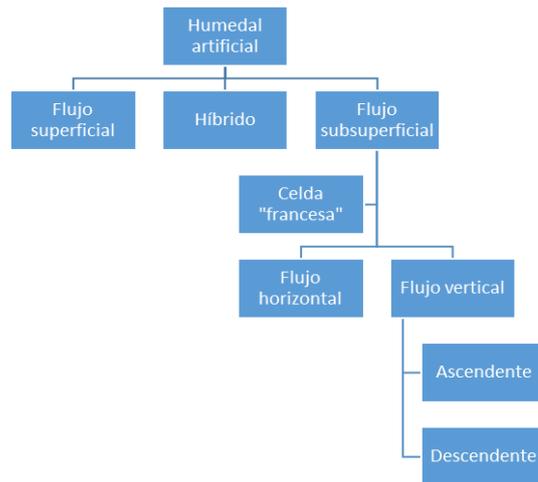


- Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS) Estos sistemas son similares a los filtros horizontales por goteo en las plantas de tratamiento convencionales. Se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes usando el suelo, grava o piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del canal. Dentro del lecho los microbios facultativos atacan al medio y las raíces de las plantas, contactando de este modo el agua residual que fluye horizontalmente a través del lecho; mientras que el sobrante baja a la superficie del medio (Kadlec et al., 1993). Estos sistemas de flujo bajo superficie son diseñados con el propósito de obtener niveles de tratamiento secundarios, son llamados «la zona de raíces» o «filtros de piedras de junco y caña» desarrollado en Alemania Oriental (ver Fig.)



Según Tang y sus colegas (2021) se determinó que menos del 10% de los humedales aplicables son tipo superficiales, los humedales de tipo horizontes subsuperficiales y verticales subsuperficiales corresponden a un 31% y 35% respectivamente y un 25% para sistemas híbridos. Los humedales de tipo subsuperficiales son preferente aplicación debido a características implícitas en el movimiento relativo del agua residual. El flujo horizontal provoca una limitación el oxígeno disuelto (aguas anóxicas) ayudando a la desnitrificación (reducción de nitratos y nitritos); el flujo vertical favorece el sistema aeróbico y son más eficientes en eliminar sólidos suspendidos.

**Figura.** Clasificación de humedales artificiales



### 3. Componentes principales (Plantas, microorganismos, agua residual doméstica)

La remoción de contaminantes en los humedales artificiales se da principalmente por medio de tres mecanismos: plantas, microorganismos y sus relaciones mutuamente dependientes.

Plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales Los sistemas de plantas acuáticas están en los estanques poco profundos como plantas acuáticas flotantes o sumergidas. Los sistemas más completamente estudiados son aquellos que usan el jacinto de agua o lenteja de agua. Estos sistemas incluyen dos tipos basados en tipos de plantas dominantes. El primer tipo usa plantas flotantes y se distingue por la habilidad de estas plantas para derivar el dióxido carbono y las necesidades de oxígeno de la atmósfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua. El segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas, se distingue por la habilidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la alta turbidez en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua.

Las raíces de las plantas pueden actuar como filtros físicos eliminando las partículas más grandes, estos posteriormente se pueden eliminar a través de la biomasa, además modifica los parámetros fisicoquímicos, al aumentar el contenido de ácido húmico logran equilibrar el pH dando como resultado la fácil precipitación de los diferentes contaminantes ayudando a la fácil absorción de metales dentro de las raíces de las plantas. De igual forma el oxígeno importante para los microorganismos que viven en la parte rizosférica de la raíz es dado por la misma planta. Parte de la materia orgánica es degradada a través de microorganismos tales como algunas bacterias endófitas que trabajan incluso al desechar la biomasa. La selección de las plantas depende en gran

medida del clima de la zona, especies endémicas del lugar y la naturaleza de los contaminantes, es importante tener en cuenta que la planta debe ser: nativa del lugar, alta disponibilidad y no invasiva. (Shahid, M. J. et al. 2020)

**Tabla. Principales plantas de los H.A. en Guatemala**

<p>Nombre científico: <i>thypa</i></p> <p>Nombre común: tul</p>	
<p>Nombre científico: <i>Eichhornia crassipes</i></p> <p>Nombre común: Jacinto de agua</p>	
<p>Nombre científico: <i>Chrysopogon</i> sp</p> <p>Nombre común: vetiver</p>	

Las tres partes principales de un humedal artificial son la construcción (suelo), plantas y los microorganismos; estos últimos poseen una relación simbiótica ya que el rizoma de las plantas crea un ambiente ideal para el crecimiento y desarrollo de los microbios. Cabe resaltar que los tres procesos generales de eliminación de contaminantes de humedales artificiales son: adsorción, sedimentación y biodegradación (Nawas, 2020).

De manera general, se puede resumir que las raíces de las plantas crean filtros físicos que eliminan las partículas presentes en el agua residual, además debido a la absorción de las raíces estas son capaces de capturar incluso metales pesados; por su parte los microorganismos degradan los contaminantes orgánicos modificando así las características del agua residual que también favorece la adsorción de los contaminantes. Por ejemplo, el pH que inducen las plantas ayuda a la precipitación de los sólidos suspendidos.

Las plantas inyectan oxígeno y regulan las condiciones para el crecimiento de los microbios, y algunas bacterias rizosféricas favorecen la supervivencia, protección y el crecimiento de las plantas.

Dentro de los humedales artificiales existen dos grandes categorías microbianas: endófitos (dentro de la raíz) y rizosféricas (fuera de la raíz). Los endófitos que residen dentro de las paredes y tejidos de las plantas contribuyen principalmente a la adsorción de contaminantes, favorecen la degradación de elementos orgánicos e inorgánicos, proporcionan nutrientes y movilizan los iones metálicos. Los microorganismos rizosféricos ayudan al desarrollo de las plantas, la creación de biomasa, degradación de materia orgánica, protección ante sustancias y ayudan a la toxicidad por metales pesados. Dentro del papel específico que se ha logrado determinar, los microorganismos para la eliminación de los contaminantes se pueden enlistar:

- Fijación del nitrógeno
- Degradación de contaminantes orgánicos
- Remoción de metales pesados
- Bioacumulación de metales pesados

Es importante también mencionar que los hongos (fungi) pueden llegar a desempeñar un papel importante en la transformación de metales pesados dado que algunas especies tienen la particularidad de adsorción de estos elementos, además poseen altas tolerancias, favorecen la desnitrificación y la detoxificación de las raíces de la planta; por lo cual cumplen una función importante dentro de los humedales artificiales (Shahid, 2020).

#### **4. Funcionamiento (mecanismos de remoción, diagrama de procesos, pretratamiento) (remoción físico, químico y biológico; eficiencia)**

- Proceso de remoción físico Los wetlands son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los wetlands, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los sólidos

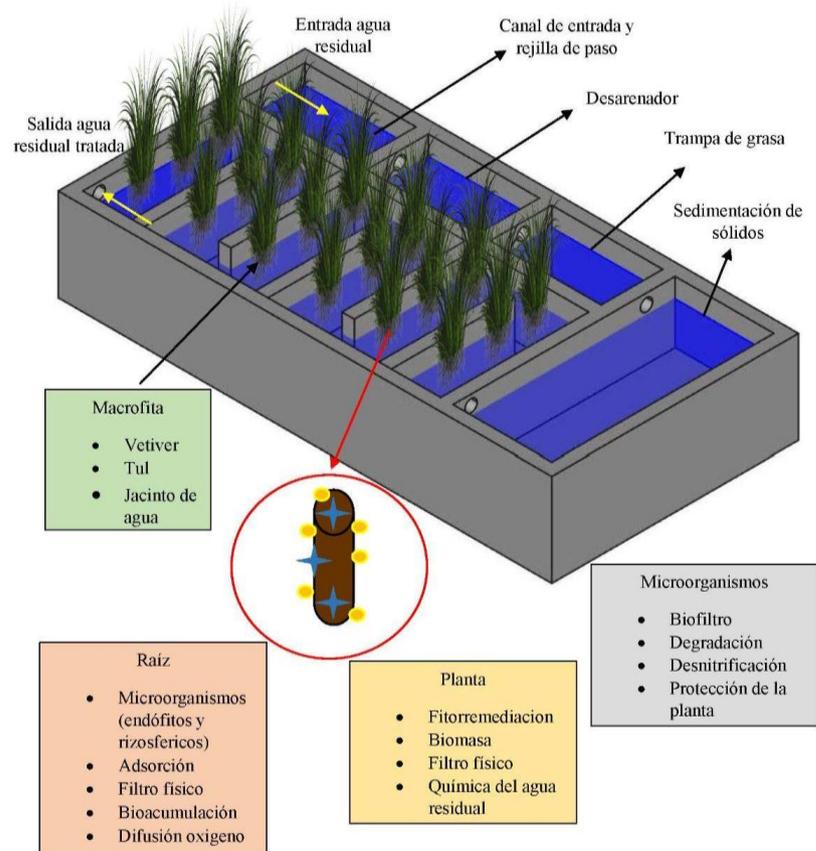
suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar en los wetlands. Las esteras de plantas en los wetlands pueden servir como trampas de sedimentos, pero su rol primario es la remoción de sólidos suspendidos para limitar la resuspensión de material particulado. La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos es proporcional a la velocidad de particulado fijo y la longitud del wetland. Para propósitos prácticos, la sedimentación es usualmente considerada como un proceso irreversible, resultando en acumulación de sólidos y contaminantes asociados sobre la superficie del suelo del wetland. Sin embargo, la resuspensión de sedimento puede resultar en la exportación de sólidos suspendidos y reducir algo más bajo la eficiencia de remoción. Algo de resuspensión podría ocurrir durante periodos de velocidad de flujo alta en el wetland. Mas comúnmente la resuspensión es el resultado de la turbulencia de la dirección del viento, bioturbación (perturbación por animales y humanos) y desprendimiento de gas. El desprendimiento de gas resulta a partir de gases como el oxígeno, a partir de la fotosíntesis del agua, metano y dióxido de carbono, producido por los microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica (Benefield, L.D. and C.W. Randall, 1980).

- Proceso de remoción biológico La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los wetlands. Extensamente reconocido para la remoción de contaminantes en los wetlands es la captación de la planta. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas del wetland. Sin embargo, muchas especies de plantas del wetland son capaces de captar, e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como cadmio y plomo. La velocidad de remoción de contaminante por las plantas varía extensamente, dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la concentración del contaminante en tejido de planta. Las plantas leñosas, es decir, árboles y arbustos, proporcionan un almacenamiento a largo plazo de contaminantes, comparado con las plantas herbáceas. Sin embargo, la velocidad de captación de la contaminante unidad de área de tierra es, a menudo, mucho más alta para las plantas herbáceas, o los macrophytes, tales como cattail. Las algas pueden también proporcionar una cantidad significativa de nutrientes captados, pero son más susceptibles a los efectos tóxicos de metales pesados. El almacenaje de alimentos en algas es relativamente a corto plazo, debido al rápido ciclo de rotación (corto ciclo de vida) de algas. Las bacterias y otros microorganismos en el suelo también proveen, captan y almacenan nutrientes a corto plazo, y algunos otros contaminantes. En los wetlands, el material de la planta muerta, conocido como detritus o basura, se acumula en la superficie del suelo. Algunos de los nutrientes, metales u otros elementos eliminados previamente del agua por captación de la planta son pérdidas del detritus de la planta por la lixiviación y descomposición, y reciclados nuevamente dentro del agua y del suelo. La lixiviación de contaminantes solubles en agua puede ocurrir rápidamente en la muerte de la planta o del tejido de planta, mientras que una

pérdida más gradual de contaminantes ocurre durante la descomposición del detritus por las bacterias y otros organismos. En la mayoría de los wetlands, hay una acumulación significativa del detritus de la planta, porque la velocidad de descomposición disminuye substancialmente bajo condiciones anaerobias que prevalecen, generalmente, en suelo del wetland. Si, sobre un período extenso de tiempo, la velocidad de descomposición de la materia orgánica es más baja que la velocidad de deposición de la materia orgánica en el suelo, la formación de turba ocurre en el wetland. De esta manera, algunos de los contaminantes captados originalmente por las plantas se pueden atrapar y almacenar como turba. La turba se puede acumular a grandes profundidades en los wetlands, y puede proporcionar el almacenamiento de larga duración para los contaminantes. Sin embargo, la turba es también susceptible a la descomposición si el wetland se drena. Cuando sucede eso, los contaminantes incorporados en la turba se pueden liberar y/o reciclar o limpiar con un chorro de agua del wetland. Aunque los microorganismos pueden proporcionar una cantidad medible de contaminante captado y almacenado en sus procesos metabólicos, que desempeñan el papel más significativo en la remoción de compuestos orgánicos. Los descompuestos microbianos, sobre todo bacterias del suelo, utilizan el carbono (C) de la materia orgánica como fuente de energía, convirtiéndola a gases de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) o metano ( $\text{CH}_4$ ). Esto proporciona un mecanismo biológico importante para la remoción de una amplia variedad de compuestos orgánicos, incluyendo éstos encontrados en aguas residuales municipales, aguas residuales de procesamiento de alimentos, plaguicidas y productos de petróleo. La eficiencia y la velocidad de degradación orgánica de C por los microorganismos es altamente variable para los diversos tipos de compuestos orgánicos. El metabolismo microbiano también produce la remoción de nitrógeno inorgánico, es decir, nitrato y amonio, en los wetlands. Bacterias especializadas (*pseudomonas* sp.) transforman metabólicamente el nitrato en gas nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), un proceso conocido como desnitrificación. El  $\text{N}_2$  se pierde posteriormente a la atmósfera (Benefield, L.D. and C.W. Randall, 1980).

- **Proceso de remoción químico** El proceso químico más importante de la remoción de suelos del wetland es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. La absorción es un término ampliamente definido para la transferencia de los iones (moléculas con cargas positivas o negativas) a partir de la fase de la solución (agua) a la fase sólida (suelo). La absorción describe realmente un grupo de procesos, que incluye reacciones de adsorción y de precipitación. La adsorción se refiere a la unión de iones a las partículas del suelo, por intercambio catiónico o absorción química. El intercambio catiónico implica la unión física de los cationes (iones positivamente cargados) a las superficies de las partículas de la arcilla y de la materia orgánica en el suelo. Esto es una unión mucho más débil que la unión química, por lo tanto, los

cationes no se inmovilizan permanentemente en el suelo. Muchos componentes de las aguas residuales y de escurrimiento existen como cationes, incluyendo el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y la mayoría de trazas de metales, tales como cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) La capacidad de los suelos para la retención de cationes, expresada como capacidad de intercambio catiónico (CEC), aumenta generalmente con el aumento de contenido de la arcilla y de la materia orgánica. La absorción química representa una forma más fuerte y más permanente de vinculación que el intercambio catiónico. Un número de metales y de compuestos orgánicos se puede inmovilizar en el suelo vía la absorción química de las arcillas, y los óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al), y materia orgánica. El fosfato también puede unirse con la arcilla y los óxidos de Fe y Al a través de la absorción química. El fosfato puede también precipitarse con los óxidos de hierro y aluminio para formar un nuevo mineral compuesto (fosfatos de Fe y Al), que son potencialmente muy estables en el suelo, produciendo el almacenamiento de fósforo a largo plazo. Otra reacción importante de precipitación que ocurre en los suelos del wetland es la formación de sulfuros de metales. Tales compuestos son altamente insolubles y representan los medios eficaces para inmovilizar muchos metales tóxicos en wetlands. La volatilización, que implica la difusión de un compuesto disuelto desde el agua en la atmósfera, es otro mecanismo potencial de la remoción del contaminante en los wetlands. La volatilización del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) puede dar lugar a la remoción significativa de nitrógeno, si el pH del agua es alto (mayor que 8,5). Sin embargo, a pH más bajo cerca de 8,5, el nitrógeno del amoníaco existe casi exclusivamente en forma ionizada (amonio,  $\text{NH}_4^+$ ), que no es volátil. Muchos tipos de compuestos orgánicos son volátiles, y se pierden fácilmente a la atmósfera desde los wetlands y de otras aguas superficiales. Aunque la volatilización puede remover con eficacia ciertos contaminantes del agua, puede demostrar ser indeseable en algunos casos, debido al potencial para contaminar el aire con los mismos contaminantes. (Benefield, L.D. & C.W. Randall, 1980).



## Referencias

1. Benefield, L.D. & C.W. Randall (1980). Biological process design for wastewater treatment. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.
2. EPA (1983). Environmental protection agency wetlands and aquatic plants systems for municipal wastewater treatment. 625/1-88/022. US EPA.
3. Hammer, D.A. & R. K. Bastian (1989). «Wetlands ecosystems: natural water purifiers», Chapter 2 in Constructed wetland for wastewater treatment, ed by D.A. Hammer, Lewis Publishers, Chelsea, MI.
4. Kadlec, R. H. W. Bastian, & D. T. Urban (1993). «Hydrological design of free water surface treatment wetlands». In G. Moshiri (ed). Constructed wetlands for water quality improvement; Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. 77-86.
5. Knight, Robert L. (1994). Treatment wetlands data base now available. Water environment & technology. Vol. 6, 2: 31-33 for water quality treatment, U.S. Environmental protection agency, risk reduction environmental laboratory; Cincinnati, OH.

6. Palomino Zevallos Johnny (1996). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química.
  7. Reed, S. C., J. Miledlebrooks & R. W., Crites (1995). Natural systems for waste management & treatment. First edition. Mc Graw Hill, New York.
  8. Reed, S. C., J Miledlebrooks & R. W., Crites (1988). Natural Systems for Waste Management and Treatment, First edition. Mc Graw Hill, New York.
  9. Russell, R.C. (1999). Natural systems for waste management and treatment wetlands. McGraw Hill, New York. Constructed wetlands and mosquitoes health hazards.
  10. Tchobanoglous, G. and E. D., Schorodoeder (1985) Water quality: Characteristics, modeling, modification. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Shahid, M. J., Ameena A., AL-Surhanee., Kouadri, F. et al. (2020). Role of microorganisms in the Remediation of wastewater in floating treatment wetlands: A Review. *Sustainability* 12, 5559. DOI:10.3390/su12145559.
- Tang, Z.; Wood, J.; Smith, D.; Thapa, A.; Aryal, N. 2021. A Review on Constructed Treatment Wetlands for Removal of Pollutants in the Agricultural Runoff. *Sustainability* 2021 13, 13578. <https://doi.org/10.3390/su132413578>
- Munazzam Jawad Shahid; Ameena A. AL-surhanee; Fayza Kouadri et al. 2020. Role of microorganisms in the Remediation of wastewater in floating treatment wetlands: A Review. *Sustainability* 2020, 12, 5559. DOI:10.3390/su12145559
- Nawaz, N., Ali, S., Shabir, G., et al. (2020). Bacterial Augmented Floating Treatment Wetlands for Efficient Treatment of Synthetic Textile Dye Wastewater. *Sustainability* 12, 3731. DOI:10.3390/su12093731

# HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

## *Constructed Wetlands for wastewater treatment systems*

### **Resumen**

Los humedales artificiales plantean una mejor alternativa para el tratamiento de aguas residuales que puedan desembocar en los diferentes cuerpos de agua; un método que se ha desarrollado mundialmente desde inicios de siglo. Este artículo presenta el resultado de los análisis realizados a humedales en la región central y región norte del país, que según las características de cada uno, se compararon los parámetros de entrada y salida para determinar la eficiencia de cada humedal. Se destaca la medición de contaminantes básicos DBO5, DQO, fosforo total, nitrógeno total, sólidos suspendidos y algunos parámetros biológicos. Para el humedal de la planta EMAPET se encontraron eficiencia de remoción entre 2 y 68% con leves cambios durante los dos meses de medición; mientras que para la planta ERIS-USAC se presentaron variaciones significativas en la medición de los parámetros de salida del humedal para iguales cantidades de entrada. Según los datos presentados, los costos de operación son relativamente bajos para una satisfactoria remoción de contaminantes.

Palabras clave: Humedal, agua residual, parámetros químicos, análisis de agua, remoción de contaminantes

### **Abstract**

The artificial wetlands pose a better alternative for the treatment of wastewater that can flow into different bodies of water; a method that has been developed worldwide since the beginning of the century. This article presents the results of the analyzes carried out on wetlands in the central region and the northern region of the country, which according to the characteristics of each one, the input and output parameters were compared to determine the efficiency of each wetland. The measurement of basic pollutants BOD5, COD, total phosphorus, total nitrogen, suspended solids and some biological parameters are highlighted. For the wetland of the EMAPET plant, removal efficiencies between 2 and 68% were found with slight changes during the two months of measurement; while for the ERIS-USAC plant there were significant variations in the measurement of the output parameters of the wetland for the same input quantities. According to the data presented, the operating costs are relatively low for a satisfactory pollutant removal.

Keywords: Wetland, wastewater, chemical parameters, water analysis, pollutant removal

## Introducción

Los cuerpos acuáticos naturales y artificiales son altamente propensos a recibir aguas contaminadas con o sin tratamiento previo. En este sentido, los contaminantes asociados con el agua residual no tratada promueven el agotamiento de oxígeno disuelto medido como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), presentando Sólidos Suspendedos Totales (SST) desagradables a la vista y nutrientes de Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT) que provocan la eutrofización, además de químicos que ejercen toxicidad (Amoniaco, metales, orgánicos), químicos emergentes y patógenos (Acosta, 2016)

Un humedal artificial (HA) es una ecotecnología que, mediante procesos de biotransformación y mineralización, permite reducir la concentración de carbono, nitrógeno y fósforo, etc. Los principales componentes de un HA son el componente vegetal, representado por plantas vasculares terrestres y/o acuáticas, los microorganismos y el material de empaque o medio de soporte constituido por agregados pétreos (Luna-Pabello, 2014).

En general, los humedales tienen una alta producción pesquera, son refugio de flora y fauna silvestres y brindan una gran variedad de bienes, servicios y funciones de gran valor. Son fuente de agua para uso humano, recargan los mantos acuíferos, filtran el agua y mejoran su calidad, pueden ser utilizados como fuente de energía, barreras contra huracanes, vías de comunicación, etc. Ayudan a controlar las inundaciones y erosiones, y protegen las costas (Navarro-Frómeta, 2019).

Son muy diversas las clasificaciones que existen en la identificación de los humedales artificiales, se sugiere una clasificación de acuerdo con las características del material vegetal predominante en los lechos así: 1. Humedales construidos, basados en macrófitas flotantes. 2 humedales construidos, basados en macrófitas de hojas flotantes. 3 humedales construidos, con macrófitas sumergidas. 4 humedales construidos, con macrófitas emergentes. Para el tratamiento de aguas residuales preferiblemente se usan las plantas correspondientes al grupo de macrófitas emergentes. Una posible subdivisión de estos humedales artificiales plantados con macrófitas emergentes es según la dirección del flujo: sistemas a flujo libre, humedales de flujo superficial (HFS); sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS); sistemas con flujo vertical (HFV); sistemas híbridos (SH) (Arias, 2005).

Las diferentes especies de plantas acuáticas que se utilicen son importantes, debido a que difieren en su capacidad de depuración del agua residual, en la remoción de nutrimentos específicos, de elementos traza y de compuestos potencialmente tóxicos como los metales pesados. Se ha utilizado principalmente a la especie *Phragmites australis*, comúnmente llamada carrizo (Romero-Aguilar, 2009).

Los wetlands (humedales) operan casi a velocidades de flujo y caudal constante y están sujetos a drásticos cambios en la remoción de DBO, debido a los cambios en la temperatura del agua, por esta razón en zonas templadas estos sistemas de tratamiento

tienden a variar su eficiencia durante el año. En zonas cálidas y tropicales, los parámetros climatológicos: temperatura, radiación solar y evapotranspiración varían en un rango menor que en zonas templadas. Los efectos de la evapotranspiración no son notorios sobre una base diaria, pero pueden medirse en reducciones en el flujo de salida y un incremento en la concentración de DBO en el curso de una estación (Llagas, 2006).

## **Materiales y métodos**

CASO I. Planta Enrique Pazos, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. ERIS-USAC.

### **Descripción general**

Con fines de apoyar a la docencia e investigación de los programas de maestría, la ERIS en 1974 crea la planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa”. En la actualidad ésta opera con sistemas a través de filtros percoladores, reactor anaerobio de flujo ascendente y lagunas de estabilización, humedal, entre otros, para el tratamiento de aguas residuales domésticas, provenientes de la colonia Aurora II, zona 13 ciudad de Guatemala.

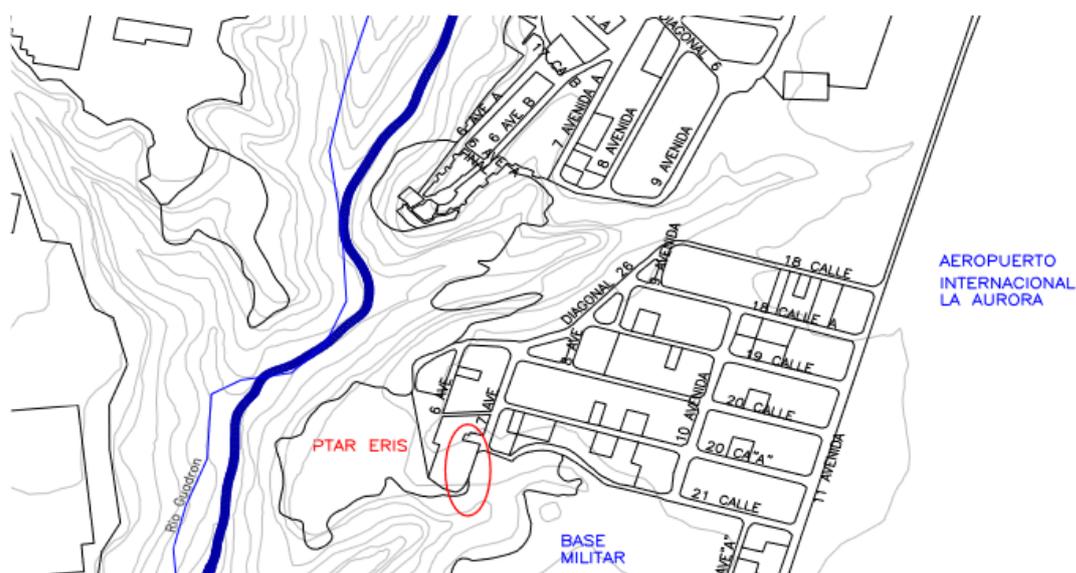
La planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa inició operaciones en el año de 1974, originalmente tratando las aguas residuales de las colonias Aurora I y Aurora II, posteriormente los caudales de la colonia Aurora I fueron desviados, por ello son tratados únicamente las aguas residuales de la colonia Aurora II.

En la actualidad la planta de tratamiento de aguas residuales consta de varios sistemas de tratamiento, funcionando en paralelo y serie de acuerdo al diseño de estas.

### **Ubicación y población atendida**

La planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) está ubicada en la colonia militar Aurora II, zona 13. Limitada al norte con el Observatorio Nacional y colonia Aurora II, al este con el aeropuerto internacional La Aurora y colonia Aurora II y al sur oeste con depresiones geomorfológicas. Siendo su ubicación latitud norte 14° 34' 37.25" y longitud oeste 90° 32' 12.42", entre las cotas 1520 y 1550 msnm.

Figura 1  
*Planta ERIS*



Fuente: Adaptación de hojas cartográficas IGN.

### **Características geográficas**

El territorio de Guatemala se caracteriza por un accidentado relieve y la influencia oceánica a través de tres vertientes (Pacífico, atlántico o caribe y golfo de México); el componente oceánico es determinante en la variabilidad del clima e impacta de manera diferente según las características fisiográficas de las distintas regiones (SGCCC, 2019).

Guatemala tiene un clima tropical debido a su ubicación en el istmo Centroamericano entre los paralelos 13 ° 44' y 18°30' de latitud norte y los meridianos 87 °30' y 92 °13' de longitud oeste, dentro de la zona tropical del hemisferio norte. Las temperaturas y la precipitación pueden variar significativamente dependiendo de la región en el país, ya que los diferentes patrones del estado del tiempo están determinados principalmente por la altitud y orografía del país, la cual varía desde 0 a más de 4000 metros sobre el nivel del mar, lo cual crea varios ambientes donde se tiene presencia de aproximadamente 360 microclimas según (Melgar, 2003).

El país recibe influencia fuerte de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) durante el verano boreal (hemisferio norte) generando precipitación. En la estación de verano del hemisferio norte la ZCI se desplaza al norte, lo cual provoca la mayor parte del desplazamiento de vientos húmedos hacia Guatemala, abriendo paso a las lluvias, y por tanto a la época lluviosa (MARN, 2007).

Respecto a la estación o época lluviosa se puede mencionar que su temporalidad puede variar en las distintas regiones del país, pero en términos generales persiste hasta marzo en la parte norte del país por la presencia de sistemas frontales fríos. La estación o época seca se extiende desde noviembre hasta abril generalmente. Según datos del INSIVUMEH la precipitación anual en las regiones del noroeste y la costa sur supera

los 4,000 mm, mientras en la región de Oriente la precipitación anual es inferior a los 800 mm.

En Guatemala, el fenómeno de El Niño se puede manifestar con altas temperaturas antes del inicio de la temporada de lluvias, canículas severas, fuerte déficit o exceso de lluvias en las vertientes del Caribe y Pacífico, e irregularidad en el establecimiento, distribución y terminación de la temporada de lluvias. Por el contrario, el fenómeno de La Niña se encuentra más relacionado con excesos de lluvias y eventos hidrometeorológicos extremos (SGCCC, 2019). Es importante mencionar que Mesoamérica se encuentra bajo la influencia de otros fenómenos como la Oscilación Sur de El Niño y la Zona de Alta Presión del Atlántico Norte que controlan la precipitación y otros factores en la región tropical del hemisferio norte (IARNA/URL, 2011).

Los fenómenos meteorológicos que ocurren generalmente en Guatemala dependen de la estación y de las características climáticas en la región centroamericana. Entre estos fenómenos se pueden mencionar los siguientes; sistemas de baja presión atmosférica, vaguadas, sistemas de alta presión, dorsales, ondas tropicales del este, ciclones tropicales y Sistemas Frontales.

La humedad relativa media por la mañana: 84%; por la noche, 64%. El promedio de punto de rocío es de 12°C. Humedad relativa: 65%. Precipitación: 20%

### **Características climatológicas y topográficas**

De acuerdo a datos recabados en el periodo del año 1990 al 2011 en la estación meteorológica central del Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), características climatológicas son las siguientes:

- Temperatura media anual: 19.6 °C
- Temperatura máxima media anual: 25.5 °C
- Temperatura mínima media anual: 13.5 °C
- Precipitación media anual: 1274 mm/año
- Días de lluvia durante el año 125 días/año.

El predio consta de un área llana y otra de alta pendiente, lo que permite la conducción de las aguas residuales a las distintas unidades de tratamiento por métodos gravitacionales. Las elevaciones del sitio varían desde 1502 msnm a 1455 msnm.

## Caracterización del afluente

En la Evaluación del tratamiento primario, secundario e investigación del tratamiento terciario por fitodepuración en la remoción de nutrientes y descarga microbiológica en la planta piloto de tratamiento de agua residual doméstica Aurora II, “Ingeniero Arturo Pazos Sosa” posterior a la rehabilitación, se determinaron los parámetros característicos del afluente y efluentes de las unidades de tratamiento, de donde se extrajeron los parámetros del agua cruda (sin tratamiento) y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1

*Parámetros característicos del agua sin tratamiento, planta “ingeniero Arturo Pazos Sosa” (Ortiz, 2003)*

Parámetro	Unidades	Valor
DBO5	mg/l	264
DQO	mg/l	495
Coliformes totales	NMP/100 ml	9.80E+14
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1.00E+14
Aspecto		Turbia
Color	Unidades	104
Turbiedad	UNT	107
pH	Unidades pH	6.80
Temperatura	°C	22.6
Conductividad eléctrica	Um	660
N-NH3	mg/l	43
N-NO2	mg/l	0.05
N-NO3	mg/l	10.80
Nitrógeno total	mg/l	53.85
Sólidos sedimentables	Cm3/l	5.00
Sólidos en suspensión	mg/l	30
Sólidos disueltos	mg/l	330
Hidróxidos	mg/l	0
Carbonatos	mg/l	0
Bicarbonatos	mg/l	342
Alcalinidad total	mg/l	342

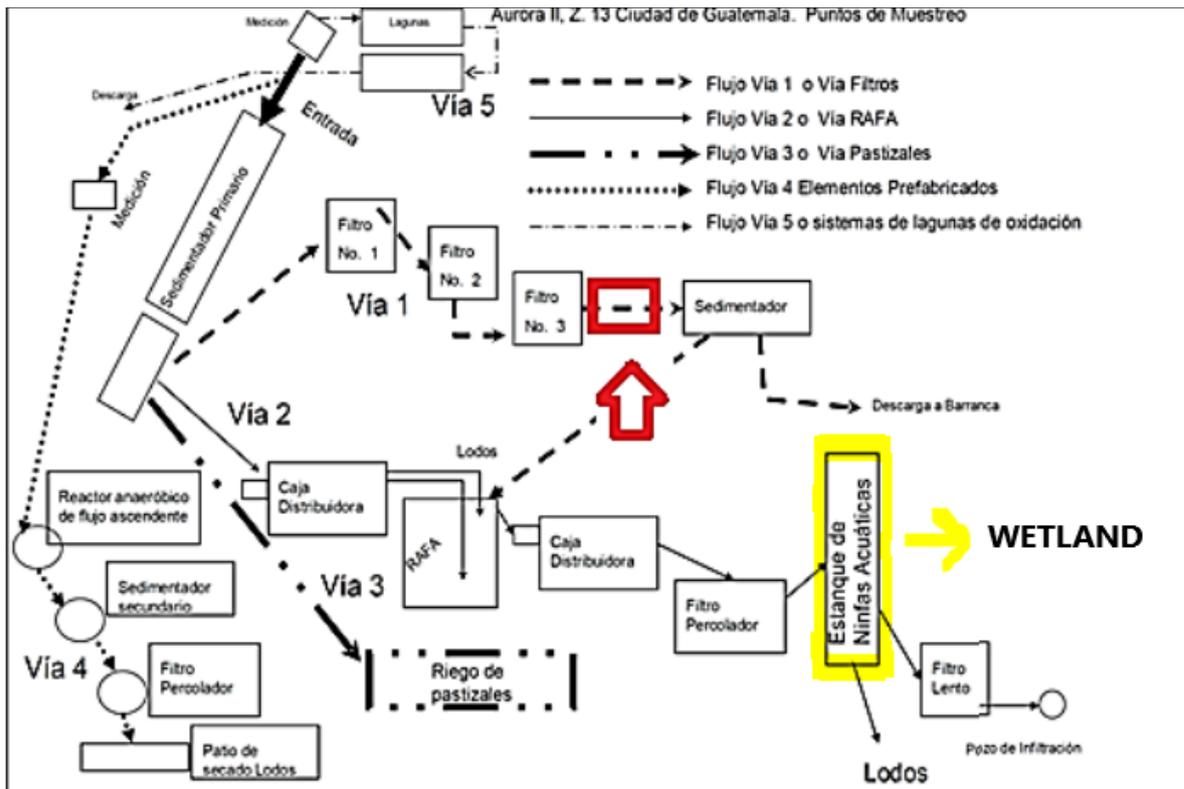
## Humedal

La planta piloto Aurora II cuenta con varias unidades experimentales, las cuales han sido utilizadas para la investigación de procesos de tratamiento de aguas residuales para los estudiantes de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS).

Una de estas unidades es el humedal artificial, que está hecho para trabajar con dos tipos de flujo: superficial y subterráneo, y tiene la capacidad de eliminar una cierta cantidad de bacterias. Este humedal fue construido por el Ing. Jeovany Miranda Castañón

El humedal artificial está ubicado al inicio de la planta piloto Aurora II, actualmente recibe directamente el vertido, sin ningún tratamiento previo.

Figura 2  
Planta piloto "Aurora II"



El diseño y construcción del humedal consideró la impermeabilización del suelo para evitar la contaminación del subsuelo o aguas subterráneas con aguas residuales y vegetación, utilizando plantas locales adaptadas a las condiciones del sitio.

Trabaja bajo un proceso de flujo superficial y sub-superficial, con un período de retención hidráulica de 4 días y el material vegetal utilizado es el tul (*Thypha spp*), el cual descansa sobre un lecho de piedra de diámetro entre 3 "y 4".

Las cámaras de humedales tienen una superficie de 4 m<sup>2</sup>, para un total de 12 m<sup>2</sup>, manteniendo una relación de 4: 1 según diseño.

El sistema fue diseñado y construido con un canal de entrada, rejillas, trampa de arena, trampa de grasa, tratamiento primario y dos unidades de humedal de flujo subterráneo, con su medio filtrante, y se utilizó tul como medio de purificación natural.

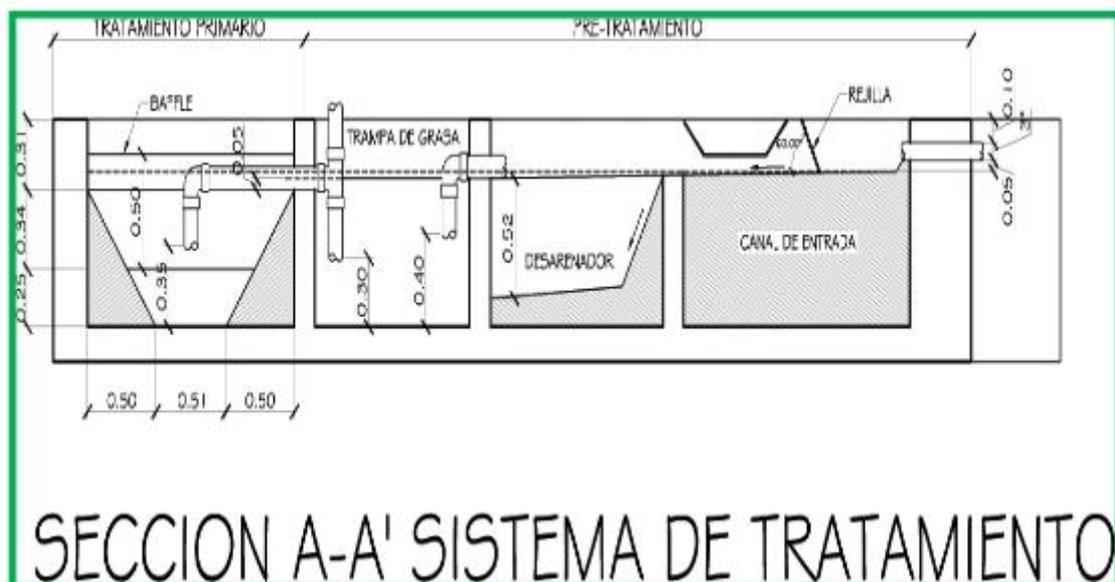
Su funcionamiento se compone de los siguientes procesos:

- Pretratamiento: su función principal es la remoción de sólidos gruesos, por medio de la rejilla que tiene un ángulo de inclinación, que se conecta a la canasta de recolección, luego el flujo pasa a la zona del desarenador, luego a una trampa de grasas y se lleva a cabo hacia el tratamiento primario.
- Tratamiento primario: cuenta con decantador de estructura cónica con su respectiva pantalla, lo que permite una mayor eficiencia en la sedimentación de sólidos, con altura para sedimentar lodos.
- Tratamiento secundario: dos unidades de flujo subterráneo y una unidad de flujo superficial
- Patio de lodos.

Unidades de pre-tratamiento y tratamiento primario. La estructura del tratamiento primario posee estructura cónica con su respectivo Baffle pantalla que permite mayor eficiencia en la sedimentación de sólidos.

Figura 3

*Planta piloto "Aurora II", tratamiento primario y pre-tratamiento*



Unidades de tratamiento secundario. Este proceso de tratamiento se efectúa por medio de dos unidades construidas en paralelo con humedales de flujo subsuperficial; se considera su pendiente hidráulica, el nivel de agua y la altura de la materia orgánica, así como la altura del medio filtrante del área.

Figura 4

Planta piloto "Aurora II", humedal



## Resultados

Las siguientes tablas presentan los resultados de las mediciones realizadas. La tabla 2 y 3 presentan un resumen de las condiciones de medición y el resultado de la planta piloto Aurora II. La tabla 4 presenta la eficiencia de remoción de cada medición. La tabla 5 muestra los resultados de la planta EMAPET

Tabla 2

Parámetros de entrada, datos de laboratorio planta "Aurora II"

AÑO	2011			2012				
MES	JUN	SEP	NOV	ENE	FEB	MAR	JUN	AGO
FECHA	02-jun-11	12-sep-11	15-nov-11	23-ene-12	28-feb-12	30-mar-12	12-jun-12	20-ago-12
HORA	9:00 am	11:30 am	8:00 am	8:30 am	9:30 am	11:45 am	8:00 am	8:30 am
	Entrada							
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	372.00	350.00	380.00	390.00	375.00	390.00	360.00	370.00
Demanda química de oxígeno DQO	592.00	450.00	470.00	525.00	580.00	620.00	595.00	580.00
Sólidos suspendidos	160.00	140.00	175.00	168.00	162.00	170.00	155.00	150.00
Nitrógeno total	45.00	40.00	50.00	55.00	52.00	58.00	42.00	45.00
Fosforo Total	7.80	8.60	7.70	7.80	7.60	8.50	7.70	7.50
Zinc Zn	0.11	0.10	0.12	0.11	0.14	0.15	0.11	0.10

Tabla 3

*Parámetros de salida, datos de laboratorio planta "Aurora II"*

AÑO	2011			2012				
MES	JUN	SEP	NOV	ENE	FEB	MAR	JUN	AGO
	Salida							
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	135.00	115.00	150.00	118.00	90.00	65.00	50.00	55.00
Demanda química de oxígeno DQO	207.00	180.00	207.00	202.00	125.00	90.00	85.00	88.00
Sólidos suspendidos	63.00	40.00	63.00	55.00	35.00	20.00	18.00	20.00
Nitrógeno total	28.00	15.00	22.00	14.00	8.00	5.00	4.00	5.00
Fosforo Total	5.40	3.00	4.00	2.40	4.00	4.50	4.40	5.00
Zinc Zn	0.05	0.06	0.06	0.04	0.08	0.07	0.06	0.06

Tabla 4

*Análisis de eficiencia de las tablas 2 y 3*

AÑO	2011			2012				
MES	JUN	SEP	NOV	ENE	FEB	MAR	JUN	AGO
	Eficiencia							
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	64%	67%	61%	70%	76%	83%	86%	85%
Demanda química de oxígeno DQO	65%	60%	56%	61%	78%	85%	86%	85%
Sólidos suspendidos	61%	71%	64%	67%	78%	88%	88%	87%
Nitrógeno total	38%	63%	56%	74%	85%	91%	90%	89%
Fosforo Total	31%	65%	48%	69%	47%	47%	43%	33%
Zinc Zn	54%	40%	50%	63%	43%	53%	45%	40%

CASO 2. Empresa Municipal de Agua de Peten. EMAPET

Tabla 5

*Resultados de laboratorio de agua de entrada y salida, planta EMAPET*

Humedal experimental EMAPET, Q=1.5 m <sup>3</sup> /día. 8 mt <sup>2</sup> y 1 mt profundidad				
Resultados análisis noviembre 2020				
Parámetros	Unidad	Entrada	Salida	Eficiencia
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l DBO5	25	8	68%

DBO5				
Demanda química de oxígeno DQO	mg/l DQO	191	159	17%
Fosfora total	mg/l P	11.4	8.6	25%
Nitrógeno total	mg/l N	21.7	20.6	5%
Color	Unidades Pt-Co	401	350	13%
Solidos en suspensión	mg/l	120	87	28%
Aceites y grasas	mg/l	53.9	48	11%
pH	Unidades pH	8.14	7.94	2%
Temperatura	°C	21.7	20.5	6%
Materia flotante	Presente/ausente	Ausente	Ausente	
Coliformes fecales	NMP/100 ml	4.5	4	11%
Coliformes totales	NMP/100 ml	4.5	4	11%
Resultados análisis enero 2020				
Parámetros	Unidad	Entrada	Salida	Eficiencia
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	mg/l DBO5	32	16	50%
Demanda química de oxígeno DQO	mg/l DQO	200	120	40%
Fosfora total	mg/l P	3.8	3	21%
Nitrógeno total	mg/l N	28	20	29%
Color	Unidades Pt-Co	1025	485	53%
Solidos en suspensión	mg/l	70	5	93%
Aceites y grasas	mg/l	2	1	50%
pH	Unidades pH	7.4	7.4	0%
Temperatura	°C	20	20	0%
Materia flotante	Presente/ausente	Ausente	Ausente	
Coliformes fecales	NMP/100 ml	20000	15000	25%
Coliformes totales	NMP/100 ml	20000	15000	25%

Datos proporcionados por Ingeniero Carlos Montoya, Consultor en EMAPET

### Discusión

Según se analizaron la eficiencia de remoción de cada planta, determinando datos satisfactorios para cada parámetro. La planta ERIS-USAC y la planta EMAPET presenta una mejor eficiencia respecto a la demanda bioquímica de oxígeno, mayores al 60%, seguido por la demanda química de oxígeno mayores que 60%; aunque en este sentido la eficiencia es mejor para la planta ERIS. Cabe resaltar que los datos, como ya se ha explicado, presenta cambios respecto a la eficiencia debido a las variaciones de temperatura en agua, sobre todo en países con clima tropical como el de Guatemala, por ello los cambios de la eficiencia de remoción están sujetos a la época del año, la temperatura y la posición geográfica. Analizando los meses de noviembre y enero de cada planta, se nota una disminución de la eficiencia para un clima con alta temperatura, para el mes de noviembre se presenta un aumento general de la eficiencia para un clima más frío. Respecto a la remoción de metales, la eficiencia de cada planta presenta un alta para los meses finales del año; aunque son las mediciones que mayor cambio experimentan. Cabe resaltar que, dado que el humedal funciona a flujo constantes, a medida que los parámetros poseen una tendencia a subir con el paso de los meses, la

remoción de los contaminantes sigue siendo exitosa, que en algunos casos (como la remoción de coliformes) incluso es de mayor eficacia que con parámetros de entrada bajos.

### **Agradecimientos**

A la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación por el financiamiento otorgado a través del proyecto InterCti 01-2021

### **Referencias**

1. Luna-Pabello, V. Castañeda, S. (2015). Sistema de humedales artificiales para el control de eutroficación del lago del bosque de San Juan de Aragón. México: Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 17(1):32-55
2. Acosta, C et al. (2016). Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. ISSN 2007 – 9990. Vol. 5, Núm. 10
3. Navarro-Frómeta, A. Durán-Domínguez, M. (2019). El tratamiento descentralizado del agua residual de pequeñas localidades rurales y suburbanas: los humedales construidos, una tecnología a considerar. Cuba: Revista cubana de química. ISSN 2224 – 5421. Vol 31.
4. Arias Isaza, C. (2005). Humedales Artificiales Para el Tratamiento de Aguas Residuales. Colombia: Revista Científica General José María Córdova. ISSN: 1900-6586. Vol. 3, núm. 3
5. Bedoya Pérez, J. Ardila Arias, A. Reyes Calle, J. (2014). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. ISSN: 0188-4999. Vol. 30, núm. 3
6. Romero-Aguilar, M. et al (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 25 (3) 157-167
7. García Hernández, J. (2011). Humedales artificiales como un método viable para el tratamiento de drenes agrícolas. México: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. ISSN 2007 – 0934. Vol. 2.
8. Llagas Chafloque, W. Gómez, E. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Perú: Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Vol. 15. 17, 85-96.

9. Blanco Fontalvo, E. Paz, N. et al. (2011). Uso de humedales construidos de flujo subsuperficial para la remoción de cobre y plomo de aguas de producción de petróleo. Venezuela: Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia. Vol. 34 no.3.
10. Marín, V. Delgado, L. et al. (2014). Regime shifts of Cruces River wetland ecosystem: current conditions, future uncertainties. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(1): 160-171
11. López, D. Sepúlveda, M. Vidal, G. (2016). *Phragmites australis* and *Schoenoplectus californicus* in constructed wetlands: Development and nutrient uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (3), 763-777
12. IARNA/URL. (2011). Cambio climático y biodiversidad. Elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico.
13. MARN. (2007). Guatemala: Compilación y síntesis de los estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. 37.
14. Melgar, W. (2003). Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala. FAO, Roma, 43. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Estado+de+la+diversidad+biológica+de+los+árboles+y+bosques+de+Honduras#0>
15. SGCCC. (2019). Primer Reporte de Evaluación del Conocimiento sobre Cambio Climático en Guatemala (Editorial Universitaria UVG. (ed.)). <https://sgccc.org.gt/category/reporte-de-cambio-climatico-guatemala/>
16. Santizo Barrios, Celestino F. Determinación del caudal de aguas servidas de la colonia Militar Aurora, zona 13. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990.
17. Ortiz Castillo, E. Evaluación del tratamiento primario, secundario e investigación del tratamiento terciario por fitodepuración en la remoción de nutrientes y descarga microbiológica en la planta piloto de tratamiento de agua residual doméstica Aurora II, “Ingeniero Arturo Pazos Sosa” posterior a la Rehabilitación. Estudio especial de Maestría en ingeniería Sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala: 2003,.
18. Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Datos meteorológicos de estación INSIVUMEH Guatemala zona 13, periodo de análisis 1990 – 2011. Guatemala: INSIVUMEH, 2012.

19. Palma, Oscar Alberto. Utilización de tilapia, *Oreochromis Niloticus*, como tratamiento terciario en efluentes de una laguna facultativa. *Revista Científica Agua, Saneamiento & Ambiente*, 2018, vol. 13, no 1.
  
20. Miranda Castañón, Jeovany R. Diseño y construcción de humedales de flujo subsuperficial en la Planta Piloto Aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Estudio Especial. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 50 p.

## Planta Piloto Ingeniero Arturo Pazos Sosa

### Descripción general

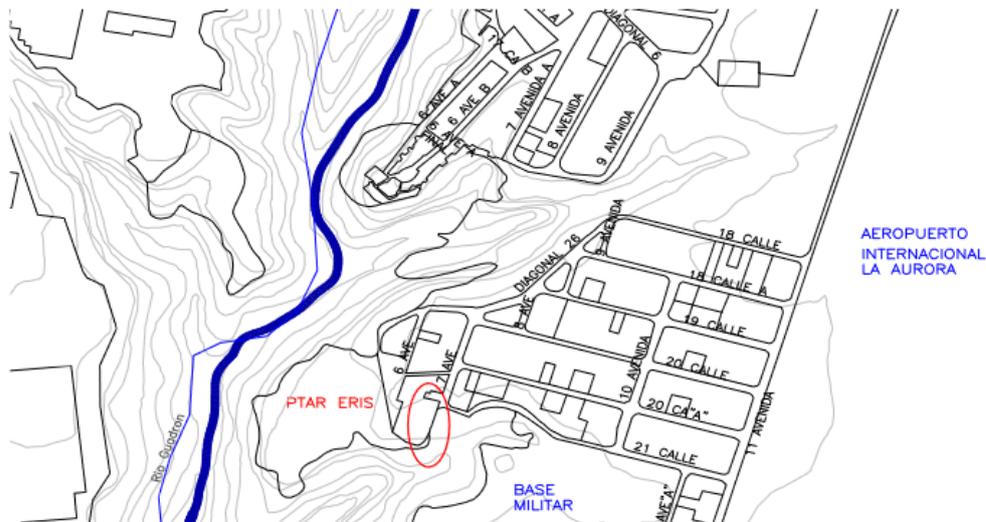
Con fines de apoyar a la docencia e investigación de los programas de maestría, la ERIS en 1974 crea la planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales “Ing. Arturo Pazos Sosa”. En la actualidad ésta opera con sistemas a través de filtros percoladores, reactor anaerobio de flujo ascendente y lagunas de estabilización, humedal, entre otros, para el tratamiento de aguas residuales domésticas, provenientes de la colonia Aurora II, zona 13 ciudad de Guatemala.

La planta piloto Ing. Arturo Pazos Sosa inició operaciones en el año de 1974, originalmente tratando las aguas residuales de las colonias Aurora I y Aurora II, posteriormente los caudales de la colonia Aurora I fueron desviados, por ello son tratados únicamente las aguas residuales de la colonia Aurora II.

En la actualidad la planta de tratamiento de aguas residuales consta de varios sistemas de tratamiento, funcionando en paralelo y serie de acuerdo al diseño de estas.

### Ubicación y población atendida

La planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) está ubicada en la colonia militar Aurora II, zona 13. Limitada al norte con el Observatorio Nacional y colonia Aurora II, al este con el aeropuerto internacional La Aurora y colonia Aurora II y al sur oeste con depresiones geomorfológicas. Siendo su ubicación latitud norte  $14^{\circ} 34' 37.25''$  y longitud oeste  $90^{\circ} 32' 12.42''$ , entre las cotas 1520 y 1550 msnm.



Fuente: Adaptación de hojas cartográficas IGN.

### Clima

El clima de Guatemala varía según su altitud; en el centro del país, entre los 700 y 1.800 metros de altura.

### Temperatura

El clima es templado, la temperatura media anual es de 19°C. En el invierno, de diciembre a abril, la temperatura oscila entre 21 y 5°C. En verano, de junio a septiembre, la temperatura oscila entre 25 y 16°C.

### Humedad

La humedad relativa media por la mañana: 84%; por la noche, 64%. El promedio de punto de rocío es de 12°C. Humedad relativa: 65%. Precipitación: 20%

### Características climatológicas y topográficas

De acuerdo a datos recabados en el periodo del año 1990 al 2011 en la estación meteorológica central del Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), características climatológicas son las siguientes:

- Temperatura media anual: 19.6 °C
- Temperatura máxima media anual: 25.5 °C
- Temperatura mínima media anual: 13.5 °C
- Precipitación media anual: 1274 mm/año
- Días de lluvia durante el año 125 días/año.

El predio consta de un área llana y otra de alta pendiente, lo que permite la conducción de las aguas residuales a las distintas unidades de tratamiento por métodos gravitacionales. Las elevaciones del sitio varían desde 1 502 msnm a 1455 msnm.

#### Caracterización del afluente

En la Evaluación del tratamiento primario, secundario e investigación del tratamiento terciario por fitodepuración en la remoción de nutrientes y descarga microbiológica en la planta piloto de tratamiento de agua residual doméstica Aurora II, “Ingeniero Arturo Pazos Sosa” posterior a la rehabilitación, se determinaron los parámetros característicos del afluente y efluentes de las unidades de tratamiento, de donde se extrajeron los parámetros del agua cruda (sin tratamiento) y se resumen en la siguiente tabla.

Parámetro	Unidades	Valor
DBO5	mg/l	264
DQO	mg/l	495
Coliformes totales	NMP/100ml	9.80E+14
Coliformes fecales	NMP/100ml	1.00E+14
Aspecto		Turbia
Color	Unidades	104
Turbiedad	UTN	107
pH	Unidades	6.80
Temperatura	° Celsius	22.6
Conductividad eléctrica	um	660
N-NH3	mg/l	43
N-NO2	mg/l	0.05
N-NO3	mg/l	10.80
N-Nitrógeno total	mg/l	53.85
Sólidos sedimentables	cm3/l	5.00
Sólidos en suspensión	mg/l	30
Sólidos disueltos	mg/l	330
Hidróxidos	mg/l	0
Carbonatos	mg/l	0
Bicarbonatos	mg/l	342
Alcalinidad total	mg/l	342

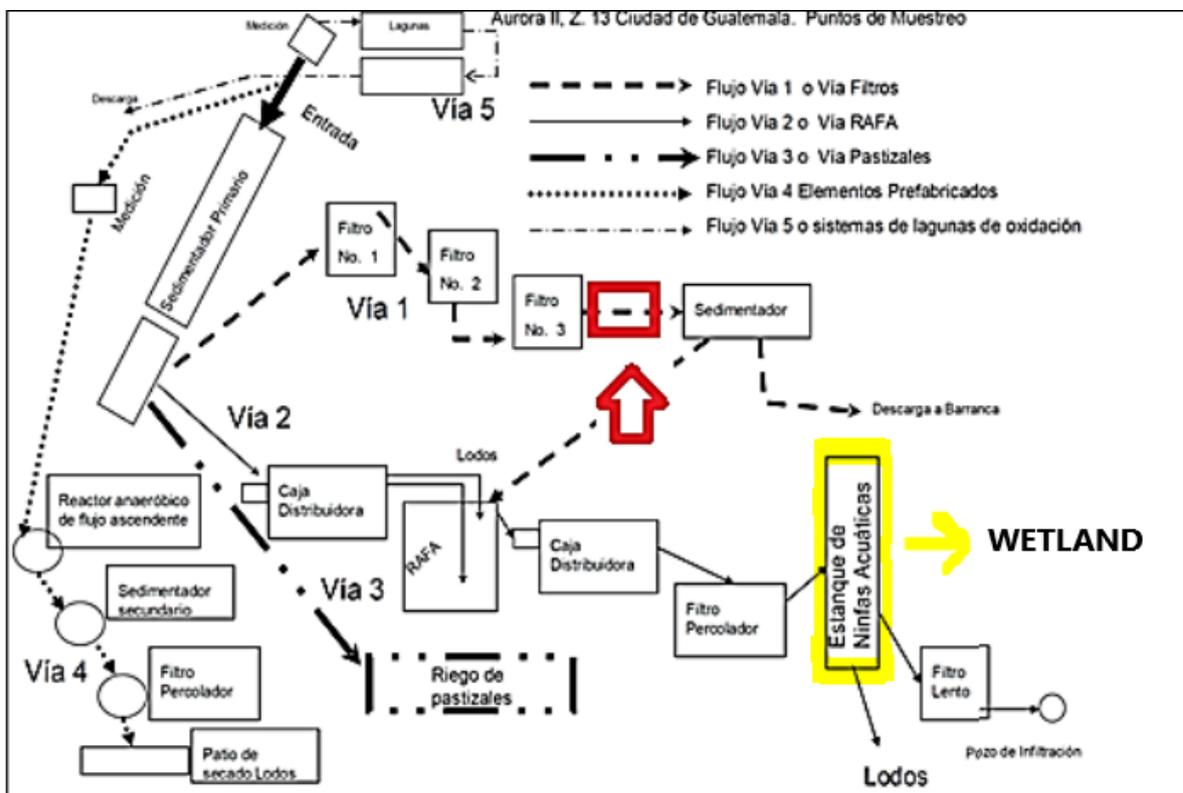
Fuente: ORTIZ CASTILLO, Edwin. *Evaluación del tratamiento primario, secundario e investigación del tratamiento terciario por fitodepuración en la remoción de nutrientes y descarga microbiológica en la planta piloto de tratamiento de agua residual doméstica Aurora II, “Ingeniero Arturo Pazos Sosa” posterior a la rehabilitación.* 12 p.

## Humedal

La planta piloto Aurora II cuenta con varias unidades experimentales, las cuales han sido utilizadas para la investigación de procesos de tratamiento de aguas residuales para los estudiantes de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS).

Una de estas unidades es el humedal artificial, que está hecho para trabajar con dos tipos de flujo: superficial y subterráneo, y tiene la capacidad de eliminar una cierta cantidad de bacterias. Este humedal fue construido por el Ing. Jeovany Miranda Castañón

El humedal artificial está ubicado al inicio de la planta piloto Aurora II, actualmente recibe directamente el vertido, sin ningún tratamiento previo.



El diseño y construcción del humedal consideró la impermeabilización del suelo para evitar la contaminación del subsuelo o aguas subterráneas con aguas residuales y vegetación, utilizando plantas locales adaptadas a las condiciones del sitio.

Trabaja bajo un proceso de flujo superficial y sub-superficial, con un período de retención hidráulica de 4 días y el material vegetal utilizado es el tul (*Thypha spp*), el cual descansa sobre un lecho de piedra de diámetro entre 3" y 4".

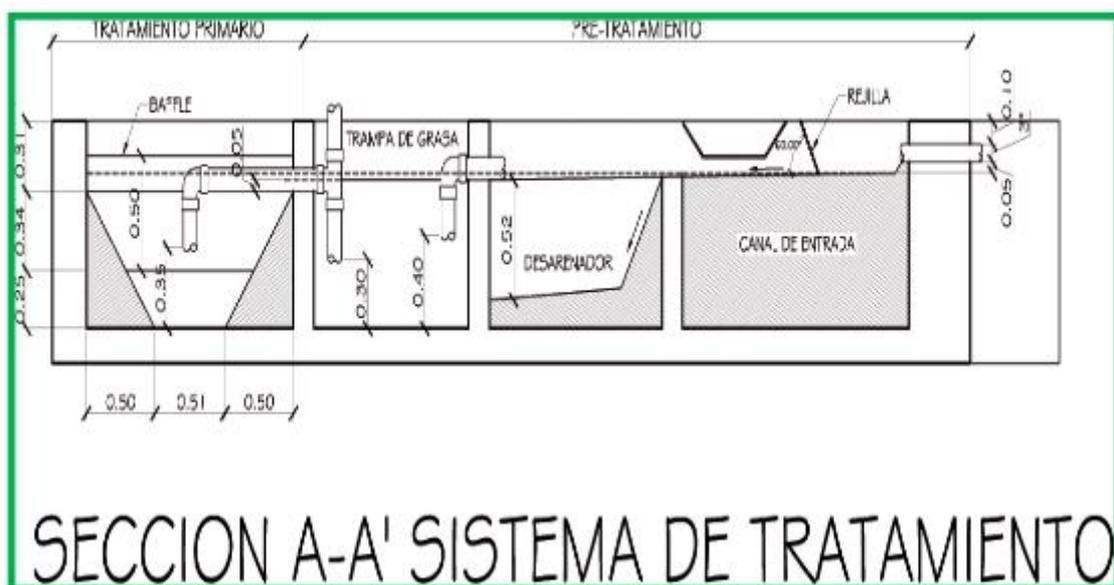
Las cámaras de humedales tienen una superficie de 4 m<sup>2</sup>, para un total de 12 m<sup>2</sup>, manteniendo una relación de 4: 1 según diseño.

El sistema fue diseñado y construido con un canal de entrada, rejillas, trampa de arena, trampa de grasa, tratamiento primario y dos unidades de humedal de flujo subterráneo, con su medio filtrante, y se utilizó tul como medio de purificación natural.

Su funcionamiento se compone de los siguientes procesos:

- Pretratamiento: su función principal es la remoción de sólidos gruesos, por medio de la rejilla que tiene un ángulo de inclinación, que se conecta a la canasta de recolección, luego el flujo pasa a la zona del desarenador, luego a una trampa de grasas y se lleva a cabo hacia el tratamiento primario.
- Tratamiento primario: cuenta con decantador de estructura cónica con su respectiva pantalla, lo que permite una mayor eficiencia en la sedimentación de sólidos, con altura para sedimentar lodos.
- Tratamiento secundario: dos unidades de flujo subterráneo y una unidad de flujo superficial
- Patio de lodos.

Unidades de pre-tratamiento y tratamiento primario La estructura del tratamiento primario posee estructura cónica con su respectivo Baffle pantalla que permite mayor eficiencia en la sedimentación de sólidos.



Unidades de tratamiento secundario. Este proceso de tratamiento se efectúa por medio de dos unidades construidas en paralelo con humedales de flujo subsuperficial; se considera su pendiente hidráulica, el nivel de agua y la altura de la materia orgánica, así como la altura del medio filtrante del área.



#### Bibliografía

21. SANTIZO BARRIOS, Celestino F. Determinación del caudal de aguas servidas de la colonia Militar Aurora, zona 13. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990.
22. ORTIZ CASTILLO, Edwin. Evaluación del tratamiento primario, secundario e investigación del tratamiento terciario por fitodepuración en la remoción de nutrientes y descarga microbiológica en la planta piloto de tratamiento de agua residual domestica Aurora II, “Ingeniero Arturo Pazos Sosa” posterior a la Rehabilitación. Estudio especial de Maestría en ingeniería Sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala: 2003,.
23. Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Datos meteorológicos de estación INSIVUMEH Guatemala zona 13, periodo de análisis 1990 – 2011. Guatemala: INSIVUMEH, 2012.
24. SALGADO, Ivis Nohelia Peralta. Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas en Guatemala. Revista Científica Agua, Saneamiento & Ambiente, 2016, vol. 11, no 1.
25. PALMA, Oscar Alberto Ordóñez. Utilización de tilapia, *Oreochromis Niloticus*, como tratamiento terciario en efluentes de una laguna facultativa. Revista Científica Agua, Saneamiento & Ambiente, 2018, vol. 13, no 1.
26. Miranda Castañón, Jeovany Rudaman. Diseño y construcción de humedales de flujo subsuperficial en la Planta Piloto Aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Estudio Especial. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 50 p.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
Caso de estudio EMAPET

WASTEWATER TREATMENT PLANT.  
Case of Study EMAPET.

Jorge Iván Cifuentes , Andrea Barrera, Jennyfer Paiz, Paris Rivera, Wally Cabera José  
Cortez

Guatemala,

PROYECTO INTER CTI 01-2021 – “HUMEDALES NATURALES PARA  
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

ERANET17/ICT2-0272 CWETLANDSDATA - “TOWARDS THE  
CONSTRUCTED WETLANDS KNOWLEDGE PLATFORM FOR  
SUSTAINABLE DEVELOPMENT”

Soluciones Basadas en la Naturaleza/NBS



**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE EMAPET**

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de EMAPET se ubica en el Barrio Vista Hermosa, San Benito, Petén. Esta es encargada del tratamiento de aguas residuales del Área Central ubicada en San Benito, Petén. El afluente de la PTAR tiene origen principalmente doméstico, sin embargo, tiene algunos afluentes de actividades comerciales que presentan importancia debido a su carácter especial (EMAPET, 2017).

La PTAR de EMAPET cuenta con un total de 12 lagunas y un humedal artificial. El primer proceso corresponde al tratamiento primario y está conformado por cuatro lagunas anaerobias, el tratamiento secundario compuesto por cuatro lagunas facultativas y el tratamiento terciario que consta de cuatro lagunas de maduración (Cordón, 2020). Esta PTAR también cuenta con un humedal artificial experimental, el cual fue instalado en el año 2019.

El proceso inicia con el tratamiento de las aguas residuales en un cámara de rejillas. Aquí se remueven los sólidos de mayor tamaño. Este es considerado como un pretratamiento. Una vez pretratada el agua esta es bombeada hacia el derivador de caudal. Este divide el caudal hacia las lagunas anaerobias.

Según Cordón (2020), en las lagunas anaerobias se utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica en un medio anóxico con el fin de remover entre 50 a 60% la DBO. El ingreso de las aguas residuales está sumergido con el fin de reducir el ingreso de oxígeno. Las lagunas anaerobias tienen un tiempo de retención de 5 días aproximadamente y profundidad de entre 3 a 5 metros.

En las lagunas facultativas se realiza en tratamiento secundario, en donde se desarrollan microorganismos aerobios y anaerobios que permiten reducir la contaminación mediante la estabilización de la materia orgánica. El oxígeno necesario en esta etapa ingresa a la laguna a través de la caída de una estructura de entrada y por el movimiento mismo del agua que provoca el caudal que ingresa, además del oleaje provocado por el viento de la superficie. La profundidad de estas lagunas debe ser menor, entre 1.5 a 2 metros y con mayor área superficial. El tiempo de retención en esta etapa es de 5 días y se logra la disminución de la DBO hasta en un 90% (EMAPET, s.f., citado por Cordón, 2020).

Por último, en las lagunas de maduración se lleva a cabo el tratamiento terciario a través de fotosíntesis, motivo por el cual estas lagunas son poco profundas (1.0-1.5 metros) y con extensa área superficial. En esta etapa se reducen el número de coliformes fecales, sin embargo, no se remueven completamente nutrientes como fósforo y nitrógeno que son los principales causantes de eutrofización en los cuerpos de agua. El tiempo de retención es mayor a dos días por laguna (Cordón, 2020).

En el año 2019 como parte de un estudio del tratamiento de aguas residuales para remoción de nitrógeno total y fósforo total se instala una laguna artificial o humedal artificial utilizando *Eichhornia crassipes*, en la PTAR de EMAPET. A esta macrófita se le conoce comúnmente como Jacinto de Agua o Ninfa.

La importancia de un tratamiento biológico con *Eichhornia crassipes* se debe a que en las lagunas de tratamiento de la PTAR de EMAPET no se remueven nutrientes como nitrógeno y fósforo, lo cual contribuye al aumento los niveles de eutrofización en el

lago Petén Itzá. Los niveles elevados de concentración de nitrógeno y fósforo provocan la proliferación de ciertas algas que utilizan estos nutrientes para su reproducción. La eutrofización afecta la calidad de las aguas y puede ocasionar problemas sanitarios, problemas a la salud humana y pérdidas económicas debido al impacto que se tiene en el cuerpo de agua receptor (Cordón, 2020).

La laguna experimental que se construyó para establecer el humedal es de 2.5 metros de ancho por 6 metros de largo y 1 metro de profundidad. Se le colocaron 40 centímetros de grava como sustrato y lona negra como impermeabilizante para evitar la infiltración de las aguas residuales. El caudal promedio fue de 1.5 m<sup>3</sup>/día con un tiempo de retención de 5 días para tratar el agua residual. Además se colocó un cerco perimetral con malla tipo gallinero para evitar el ingreso de animales a la laguna. La laguna experimental se cubrió con aproximadamente 150-200 plantas y adicional a esto, se colocó una rejilla en el tubo de salida de agua para evitar que el material vegetal se dirigiera hacia el efluente que desemboca en el arroyo Xucupó y de esta manera evitar la propagación del Jacinto de Agua en el arroyo (Cordón, 2020).

En la Tabla 1 se muestran los resultados de análisis realizados en enero y noviembre del año 2020.

**Tabla 1.**

*Resultados de análisis realizados en enero y noviembre del año 2020.*

Humedal experimental EMAPET, Q= 1.5m<sup>3</sup>/día. 8mts<sup>2</sup> y 1 mt prof.

Resultados de Análisis, noviembre 2020

		Entrada	Salida	Eficiencia
Demanda Bioquímica de oxígeno, DBO5	mg/L DBO5	25	8	68%
Demanda Química de oxígeno, DQO	mg/L DQO	191	159	17%
Fósforo total	mg/L P	11.4	8.6	25%
Nitrógeno Total	mg/L N	21.7	20.6	5%
Color	Unidades Pt-Co	401	350	13%
Sólidos en suspensión	mg/L	120	87	28%
Aceites y Grasas	mg/L	53.9	48	11%
PH	Unidades pH	8.14	7.94	2%
Temperatura	°C	21.7	20.5	6%
Materia Flotante	Presente/ausente	Ausente	Ausente	
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	4.5	4	11%
Coliformes Totales	NMP/100 mL	4.5	4	11%

Humedal experimental EMAPET, Q= 1.5m<sup>3</sup>/día. 8mts<sup>2</sup> y 1 mt prof.

Resultados de Análisis, enero 2020

		Entrada	Salida	Eficiencia
Demanda Bioquímica de oxígeno, DBO5	mg/L DBO5	32	16	50%
Demanda Química de oxígeno, DQO	mg/L DQO	200	120	40%
Fósforo total	mg/L P	3.8	3	21%
Nitrógeno Total	mg/L N	28	20	29%
Color	Unidades Pt-Co	1025	485	53%
Sólidos en suspensión	mg/L	70	5	93%
Aceites y Grasas	mg/L	2	1	50%
PH	Unidades pH	7.4	7.4	0%
Temperatura	°C	20	20	0%
Materia Flotante	Presente/ausente	Ausente	Ausente	
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	20000	15000	25%
Coliformes Totales	NMP/100 mL	20000	15000	25%

Nota. Datos proporcionados por el Ing. Carlos Montoya.

El humedal artificial construido para realizar el experimento corresponde a uno de tipo de flujo superficial. El uso de macrófitas se ha utilizado como tratamiento secundario o terciario alternativo para tratamiento de aguas residuales, demostrando ser un método económico y eficiente en la remoción de nutrientes como fósforo y nitrógeno (Fernández, s.f., citado por Cordón, 2020). La tabla anterior muestra resultados de análisis que confirman la eficiencia del humedal artificial construido.

**Figura 1.**

*Entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales de EMAPET.*



**Figura 2.**

*Distribución de la PTAR de EMAPET.*



Nota. Tomado de Tratamiento de Aguas Residuales para Remoción de Nitrógeno y Fósforo, Utilizando *Eichhornia crassipes* en EMAPET por Cordón, A., 2020.

**Figura 3.**

*Ing. Jorge Ivan Cifuentes y personal de la PTAR de EMAPET.*



**Figura 4.**

*Estación de bombeo.*



**Figura 5.**

*Derivador de caudal.*



**Figura 6.**

*Laguna anaerobia.*



**Figura 7.**

*Laguna facultativa.*



**Figura 8.**

*Estación de maduración.*



**Figura 9.**

*Aguas residuales que transicionan de una laguna a otra.*



**Figura 10.**

*Humedal artificial experimental.*



**Figura 11.**

*Humedal artificial experimental.*



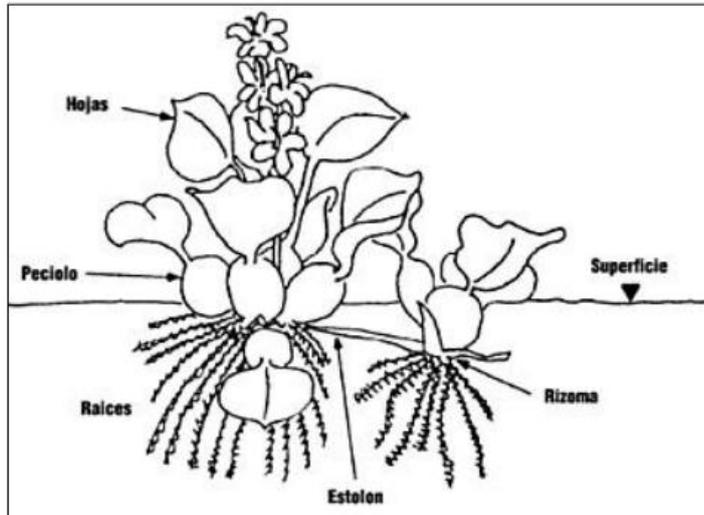
**Figura 12.**

*Jacinto de Agua.*



**Figura 13.**

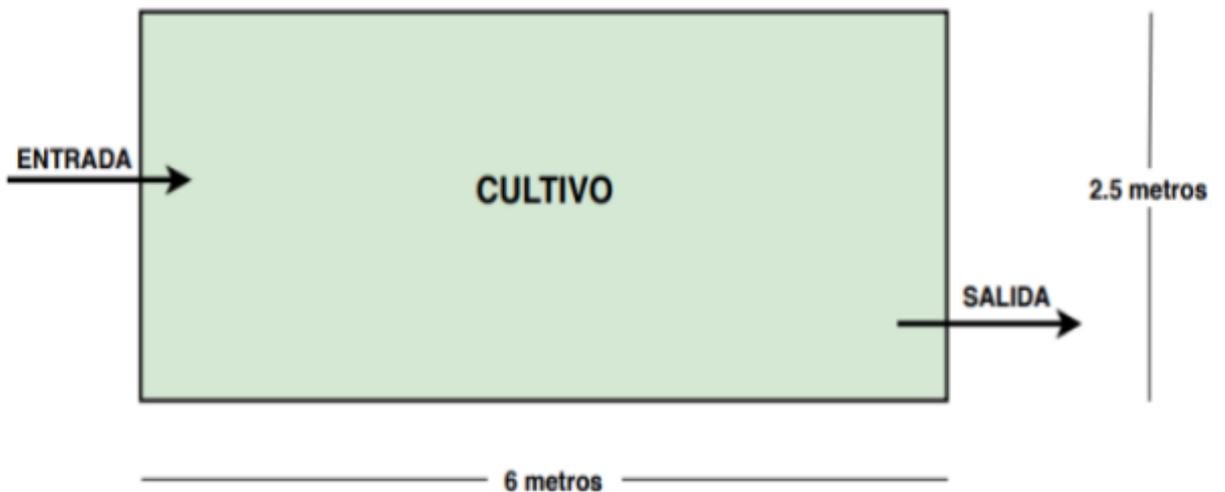
*Partes del Jacinto de Agua.*



Nota. Tomado Tratamiento de Aguas Residuales para Remoción de Nitrógeno y Fósforo, Utilizando *Eichhornia crassipes* en EMAPET por Cordón, A., 2020.

**Figura 14.**

*Croquis del cultivo dentro del humedal artificial experimental dentro de la PTAR de EMAPET.*



Nota. Tomado Tratamiento de Aguas Residuales para Remoción de Nitrógeno y Fósforo, Utilizando *Eichhornia crassipes* en EMAPET por Cordón, A., 2020.

**Figura 15.**

*Ing. Jorge Cifuentes e Ing. Carlos Montoya junto al humedal artificial experimental.*



**Figura 16.**

*Arroyo Xucupó.*



Agradecimientos al Ingeniero Carlos Montoya, Consultor en EMAPET, al personal, a AMPI (Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago Peten Itza)

## Referencias

Constanza, G. R. G. O. (2019). *Propuesta de plan de gestión de las aguas residuales en el área urbana de los municipios de San Benito y Flores, Petén, Guatemala*. *Revista científica de la Facultad de Agronomía Universidad de San Carlos de Guatemala*, 7.

CONSTANZA, G. R. G. O. Universidad San Carlos de Guatemala Facultad de Agronomía Escuela de Estudios de Postgrado Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental Local.

Cordón, A. (2020). *Tomado Tratamiento de Aguas Residuales para Remoción de Nitrógeno y Fósforo, Utilizando Eichhornia crassipes en EMAPET* (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

de Tejada, A. M. S. *Contaminación por micro plástico en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá*.

EMAPET . <https://emapet.org/>

Salguero Barahona, M. R. (2009). *Gobernabilidad del agua en Guatemala: El caso del lago Petén Itzá* (Doctoral dissertation, Utrecht University)

Zitomer, D. H., & Johnson, P. (2003). *International service learning in environmental engineering*. In *World Water & Environmental Resources Congress 2003* (pp. 1-8).

Este trabajo está publicado en Research Gate.

- DOI:
- [10.13140/RG.2.2.29710.28485](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29710.28485)

ANEXOS



YAXHA PETEN GUATEMALA RAMSAR SITE



EMAPET CONSTRUCTED WETLANDS



EMAPET CONSTRUCTED WETLANDS



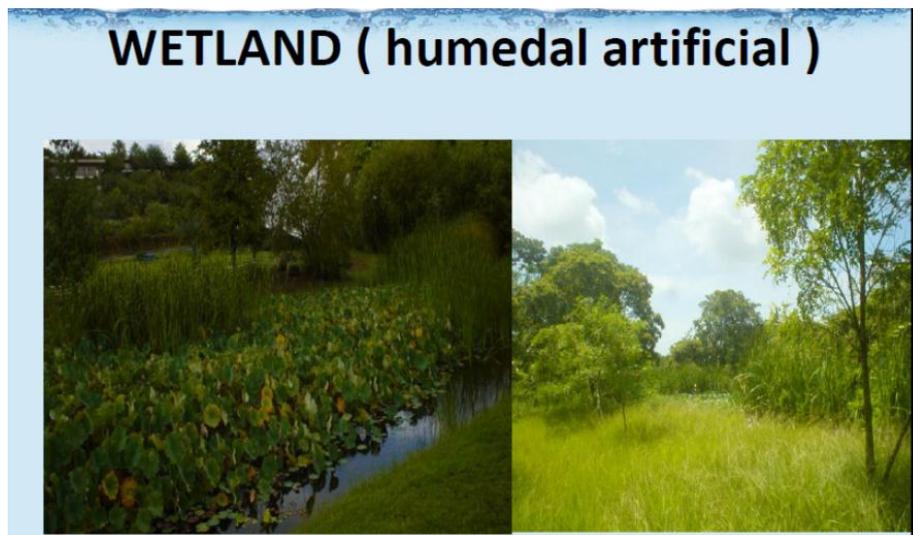
ERIS-USAC I AND II, GUATEMALA CITY, EXPERIMENTAL CONSTRUCTED WETLANDS



ERIS I AND ERIS II AT USAC, CONSTRUCTED WETLANDS

PROYECTOS DEL DOCTOR RODOLFO SPINOZA SMITH (RIP)

**Figure 4.** CWetlands, Photo Dr. Rodolfo Espinoza



**Figure .** Constructed Wetlands at Zacapa, Guatemala. Photo by Dr. Rodolfo Espinoza

## WETLAND ( humedal artificial )



**Figure .** Constructed Wetlands at Zacapa, Guatemala. Photo by Dr. Rodolfo Espinoza



Lacteos/Dairy Patulul, Guatemala, Constructed Wetlands by Dr, Rodolfo Espinoza

## Natural Wetlands



**Lake Peten Itzá, Guatemala**



**Lake Atitlan, Guatemala**



**Laguna Poron, Huascar, 4200 msnm Peru**



**Lago Poron, Peru**



**Laguna Yaxha, Ramsar Site, Peten Guatemala**





# Water Engineering

*Special edition on  
“Constructed Wetlands”*

ISBN: 978-99939-0-827-2



9 789993 908272

