

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL  
-EPSIGAL-



## TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“DISEÑO DE UN SISTEMA CON HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO  
DE LAS AGUAS RESIDUALES COLECTADAS EN SECTOR LA FLORESTA, NUEVO  
PROGRESO, SAN MARCOS”**

**Trabajo presentado a las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente –  
CUNSUROC- de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-**

**Por:**

**RUDY ALEXANDER GALINDO GARCÍA**

**CARNÉ: 200942114**

**Previo a conferírsele el título que la acredita como:**

**Ingeniero en Gestión Ambiental Local**

**En el grado académico de Licenciado**

Mazatenango, Noviembre de 2014.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE  
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL  
-EPSIGAL-



## TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“DISEÑO DE UN SISTEMA CON HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO  
DE LAS AGUAS RESIDUALES COLECTADAS EN SECTOR LA FLORESTA, NUEVO  
PROGRESO, SAN MARCOS”**

**Trabajo presentado a las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente –  
CUNSUROC- de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-**

**Por:**

**RUDY ALEXANDER GALINDO GARCÍA**

**CARNÉ: 200942114**

**Previo a conferírsele el título que la acredita como:**

**Ingeniero en Gestión Ambiental Local**

**En el grado académico de Licenciado**

Mazatenango, Noviembre de 2014

**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Centro Universitario del Suroccidente**

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario General

**Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario del Suroccidente**

Dra. Alba Ruth Maldonado de León

Presidenta

**Representantes de Profesores**

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

Secretario

**Representante Graduado del CUNSUROC**

Lic. Ángel Estuardo López Mejía

Vocal

**Representantes Estudiantiles**

Br. Cristian Ernesto Castillo Sandoval

Vocal

PEM. Carlos Enrique Jalel de los Santos

Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

### **Coordinador Académico**

MSc. Carlos Antonio Barrera Arenales

### **Coordinador Carrera de Licenciatura en Administración de Empresas**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

### **Coordinador Área Social Humanista**

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

### **Coordinador Carrera Licenciatura en Trabajo social**

Lic. Edin Aníbal Ortíz Lara

### **Coordinador Carreras de Licenciatura en Pedagogía**

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

### **Coordinadora Carrera de Ingeniería en Alimentos**

Dr. Marco Antonio del Cid Flores

### **Coordinador Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical**

MSc. Erick Alexander España Miranda

### **Encargada Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y sociales, Abogado y Notario**

Licda. Tania María Cabrera Ovalle

### **Encargado Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local**

MSc. Celso González Morales

## **CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA DEL CUNSUROC**

### **Encargado de las carreras de Licenciatura en Pedagogía**

Lic. Manuel Antonio Gamboa Gutiérrez

### **Encargada Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la Comunicación**

MSc. Paola Marisol Rabanales

Mazatenango Suchitepéquez, 17 de noviembre de 2014.

Señores

Honorable Consejo Directivo

Centro Universitario de Suroccidente

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Señores:

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el Trabajo de Graduación titulado: "Diseño de un sistema con humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales colectadas en sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos".

Trabajo presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciado, con la madrina: Licda. Heidy Vela Armas de Moreno, por lo cual solicito me sea concedido fijar fecha de graduación para el día 20 de noviembre de los corrientes a las 12:00 hrs.

Esperando que el trabajo de graduación merezca su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente,



Rudy Alexander Galindo Garcia  
Carné: 200942114

# Agradecimientos

*Al amor puro, en todas sus modalidades; por ser quien hace florecer, desde el origen, donde principia la sencillez y perseverancia orientada por madre y padre, de quienes hoy soy producto; en la amplitud... A la sucesión de los hechos, por los kilómetros recorridos que desembocaron al pie de mis botas, fluyendo paralelos a la gratitud hacia el dador de vida en este globo, ¡el agua!, por maravillarme con su complejidad y belleza, ordenando la vida y la muerte en la naturaleza, por ser quien terminó de educarme en este lapsus, en la búsqueda e investigación.*

*A la necesidad, por mover al mundo*

*A la mujer, del lado izquierdo*

*Al ser, por no creer a primera mano*

*Al tiempo, por permitirme responder*

*A la música, por ser el aroma que atrae como el desayuno de una madre*

*A la cuna propia, a la muestra viva e inocua del primer verso...*

*Dedicado a: Familia Galindo García.*

Rudy Moisés

Floralma

María José

Henry Moisés

Edwin Estuardo

Karla Yohana

Mireiki Estefany

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	3
1. General .....	3
2. Específicos.....	3
III. MARCO REFERENCIAL.....	3
3.1. Generalidades del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos .....	4
3.1.1. Ubicación, extensión territorial y límites del municipio de Nuevo Progreso .....	4
3.1.2. Hidrografía .....	6
3.1.3. Orografía.....	6
3.1.4. Uso actual del suelo.....	6
3.1.5. Temperatura .....	8
3.1.6. Precipitación .....	8
3.2. Situación general de los Recursos Hídricos en Guatemala .....	9
3.2.1. Oferta hídrica de Guatemala.....	9
3.2.2. Usos del agua en Guatemala.....	9
a. Agua Potable y Saneamiento.....	9
3.3. Antecedes de la utilización de plantas acuáticas para la remediación de aguas residuales en Guatemala .....	13
IV. MARCO CONCEPTUAL .....	16
4.1. Tipos de aguas residuales .....	16
4.1.1. Aguas residuales domésticas .....	16
4.1.2. Aguas residuales municipales.....	20
4.2. Tratamiento de aguas residuales (Fernández, et al., 2008).....	23
4.2.1. Tecnologías convencionales para el tratamiento de aguas residuales .....	23
4.2.2. Tecnologías alternativas de tratamiento de aguas residuales .....	30

V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
1.	Materiales y recursos.....	46
2.	Métodos.....	47
2.1.	Descripción del sector donde se ubicará el humedal.....	47
2.1.1.	Topografía.....	48
2.1.2.	Suelo y uso del terreno de posible ubicación.....	48
2.1.3.	Riesgo de inundación.....	48
2.1.4.	Clima.....	48
2.2.	Proyección de la población a la que atenderá el sistema de tratamiento de aguas residuales.....	49
2.3.	Medición y cálculo de caudal.....	51
2.4.	Caracterización de las aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso.....	51
2.4.1.	Muestreo de aguas residuales.....	52
2.5.	Diseño del sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso.....	54
2.5.1.	Pre tratamiento.....	54
2.5.2.	Laguna anaeróbica.....	54
2.5.3.	Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial.....	55
2.5.4.	Laguna de maduración.....	58
2.6.	Selección de la vegetación a implementar.....	59
VI.	RESULTADOS.....	61
1.	Descripción del sitio propuesto para la construcción del sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.....	61

2.	Proyección de la población a la que atenderá el sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos .....	63
3.	Medición y cálculo del caudal vertido hacia el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.....	65
4.	Caracterización de las aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso .....	68
5.	Diseño del sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso .....	69
5.1.	Lagunas anaeróbicas.....	74
5.2.	Humedal Artificial .....	78
5.3.	Lagunas de maduración.....	84
6.	Selección de la vegetación a implementar en el sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso .....	84
7.	Estimación de costos .....	86
VII.	CONCLUSIONES .....	88
VIII.	RECOMENDACIONES .....	89
IX.	BIBLIOGRAFÍA .....	90
X.	ANEXOS .....	96
	ANEXO 1: Mapas de las características biofísicas del municipio de Nuevo Progreso, san Marcos.....	97
	ANEXO 2: Glosario de la investigación.....	104
	ANEXO 3. Diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el punto de descarga de aguas residuales domésticas ubicado en la calle “El Chorro”, Aldea Buena Vista, Nuevo Progreso.....	108

ANEXO 4. Plantas de uso potencial para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Nuevo Progreso, San Marcos .....	113
ANEXO 5. Evaluación ambiental inicial del proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales para el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.....	128
ANEXO 6. Análisis de aguas residuales del punto de descarga ubicada en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos; realizados por la mancomunidad de municipios de la cuenca del río el naranjo.....	142
ANEXO 7. Resultados de análisis de aguas residuales del punto de descarga ubicada en el sector La Floresta, observados en estudio técnico realizado por la municipalidad de Nuevo progreso, San Marcos. ....	145

## INDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>Pág.</b>
1. Características principales de los suelos del municipio de Nuevo Progreso, según clasificación USDA. ....	7
2. Ríos de mayor caudal de la república de Guatemala. ....	9
3. Porcentaje de cobertura de agua y saneamiento en Guatemala durante el año 2000. ....	10
4. Uso actual y potencial (2025) de agua en Guatemala (Millones de m <sup>3</sup> ). ....	10
5. Distribución porcentual por tipos de contaminación en Guatemala. ....	11
6. Indicadores-señal de la situación de los recursos hídricos y su desempeño en Guatemala. ....	12
7. Demanda de agua para actividades domésticas. ....	18
8. Composición típica de las aguas residuales domésticas. ....	19
9. Escala de fluctuaciones de las aguas residuales municipales ....	21
10. Cantidad y composición de las aguas residuales y demanda de agua en viviendas particulares (Por persona al día). ....	22
11. Cargas superficiales para sedimentación química ....	25
12. Ventajas y desventajas de un sistema de tratamiento de aguas residuales por lagunaje. ....	32
13. Parámetros referenciales de diseño, desarrollados para lagunas de estabilización en climas cálidos. ....	33
14. Ventajas y desventajas de un sistema de humedal de flujo subsuperficial. ....	37
15. Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales. ....	41
16. Parámetros normados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, aplicable para el ente generador: municipalidad de Nuevo Progreso, San Marcos. ....	52
17. Ecuaciones para el dimensionamiento de lagunas anaeróbicas. ....	55
18. Características del material de soporte para el llenado de humedales artificiales de flujo subsuperficial. ....	57
19. Modelo empleado para el diseño de lagunas de pulimiento ....	58

20.	Recursos necesarios y costos unitarios estimados para el diseño de un sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales del punto de descarga del sector La Floresta, Nuevo Progreso. ....	60
21.	Población servida por drenajes que se conducen al punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.....	64
22.	Datos del aforo del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	66
23.	Resultados de análisis de laboratorio del agua residual descargada en el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	69
24.	Valores generales utilizados para el dimensionamiento del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.....	74
25.	Valores obtenidos del dimensionamiento de lagunas anaeróbicas para el tratamiento de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	75
26.	Valores obtenidos del dimensionamiento de cada humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	78
27.	Estimación de costos implícitos en la construcción del sistema de tratamiento de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	86
28.	Valores para el cálculo del área hidráulica de un humedal artificial de flujo subsuperficial por población equivalente. ....	110
29.	Valores para el cálculo del área transversal del lecho de un humedal artificial de flujo subsuperficial por población equivalente.....	111
30.	Costos estimados en la construcción del humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del punto de descarga ubicado en aldea Buena Vista, Nuevo Progreso, San Marcos.....	111

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
1. Localización y colindancias del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos. ....	5
2. Proceso de tratamiento aerobio por fangos activados .....	27
3. Esquema de la ruta de degradación anaerobia .....	29
4. Esquema de un sistema de tratamiento por lagunas. ....	31
5. Mecanismos de remoción de contaminantes en un humedal .....	34
6. Esquema general de un sistema de humedal artificial de flujo libre (HFS). ....	36
7. Esquema general de un sistema de humedal artificial de flujo horizontal sub superficial (HFSS).....	36
8. Área servida por el drenaje que descarga al punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	50
9. Levantamiento topográfico del sitio sugerido para la ubicación del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	61
10. Topografía del sitio sugerido para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	62
11. Aforo de las aguas residuales en la última caja de registro previa descarga, en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.....	67
12. Entrega de muestra de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso al gerente de infraestructura de MANCUERNA, San Marcos, San Marcos.....	68
13. Planta del desarenador del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga del sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	70
14. Corte en sección del canal desarenador del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	71
15. Vista en planta de la trampa de grasas del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	72

16.	Corte en sección de trampa de grasas del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta. ....	73
17.	Corte en planta de laguna anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	76
18.	Corte en sección de laguna anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	77
19.	Vista en planta del humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales vertidas en el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	79
20.	Corte en sección de humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales descargadas al sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	80
21.	Planta conjunto del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	81
22.	Sección del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	82
23.	Conjunto en corte sección, del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. ....	83
24.	Caminamientos realizados en las riberas del río San Luis, Nuevo Progreso, San Marcos; para el muestreo de macrófitas con potencialidades de remediación de aguas residuales. ....	85
25.	Subcuencas del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos. ....	98
26.	Representación de la orografía del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos. ....	99
27.	Capacidad de uso de la tierra del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos. ....	100
28.	Temperaturas medias registradas en el municipio de Nuevo Progreso, San Marcos. ....	101
29.	Precipitaciones medias anuales del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos. ....	102

30. Zonas de vida del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos..... 103

## **RESUMEN**

### **DISEÑO DE UN SISTEMA CON HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COLECTADAS EN SECTOR LA FLORESTA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS**

El centro urbano del municipio de Nuevo Progreso, departamento de San Marcos registra tres puntos de descarga de aguas residuales hacia el río San Luis, vertidos que son producto del aprovechamiento de recursos hídricos por parte de las viviendas y comercios de la localidad para el desarrollo de sus labores cotidianas. Durante la presente investigación se propone un diseño de una planta de tratamiento por humedales artificiales para los vertidos líquidos que se descargan en el sitio denominado como Sector La Floresta al oeste de la localidad, debido particularmente a que este atiende a un estimado del 48% de la población.

El conjunto depurador para los vertidos residuales mencionados, está diseñado para un caudal proyectado al año 2029 en 33.26 L/s y se compone de un canal desarenador y trampas de grasas, seguidas de lagunas anaeróbicas, concluyendo con humedales artificiales. Es sobresaliente acotar que se opta por un sistema natural, debido a considerarse menos costoso de construir y mantener que los sistemas tradicionales por aireación extendida. Específicamente se presenta en este documento la estimación del área superficial requerida para la depuración de las aguas residuales mencionadas, caracterizar el agua residual, evaluar los impactos ambientales derivados de la ejecución del proyecto sanitario de aguas municipales y valorar económicamente la construcción del sistema.

Metodológicamente, para realizar el diseño se debe reconocer el caudal y caracterizar la carga orgánica presente en el agua residual descargada por medio de análisis de laboratorio, expresándose el valor por medio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), siendo sobresaliente dicho parámetro, debido a que se utiliza como indicador para el dimensionamiento del área superficial por medio de modelos matemáticos, lo que permite la estimación de materiales requeridos para la construcción del sistema de

tratamiento, y consecuentemente la valoración de los costos implícitos para la adquisición de los mismos, y la cotización del proyecto. En el caso de los impactos ambientales identificados, se utiliza por normativa nacional vigente el formato del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para una evaluación ambiental inicial.

Habiendo realizado el ejercicio de muestreo y análisis de agua se concluye una concentración de 110 mg/L de DBO, colocando al ente generador a 10 mg de dar cumplimiento a la cuarta etapa de la normativa nacional vigente para el año 2024 (Acuerdo Gubernativo 236-2006), para ello se deriva la necesidad de contar con 678 metros cuadrados de superficie de terreno para llevar la carga orgánica hasta una concentración teórica de 30 mg/L. Lo anterior da paso a la cotización de materiales para la construcción del proyecto por un costo de Q 665,648.68.

Los principales impactos ambientales negativos identificados demuestran la importancia significativa del movimiento de tierra requerido, debido a la topografía con pendiente pronunciada en el sitio de descarga actual, además de darse modificaciones del paisaje por la eliminación parcial del actual sistema agroforestal del sitio sugerido para la construcción del sistema de tratamiento, sin embargo las compensaciones son positivas en el aspecto social, al contribuirse a la salubridad de los pobladores, reduciendo indirectamente la incidencia de enfermedades de origen hídrico.

Teniendo en consideración el desarrollo de la investigación descrita, es recomendable mantener las condiciones de diseño propuestas para garantizar la obtención de la calidad del agua esperada en la descarga hacia el río San Luis (cuerpo receptor), así como utilizar la tierra movida durante la construcción del proyecto para la nivelación del mismo terreno, para mitigar los impactos derivados del mismo. En el caso de los costos estimados, cabe adherir la importancia de ejecutar el proyecto a la brevedad, para evitar la inflación del mismo en el tiempo. Finalmente, es sobresaliente mantener un monitoreo de la calidad del agua descargada hacia el cuerpo receptor mencionado, por lo que se deben realizar monitoreos anuales de los parámetros aplicables.

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF A CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM FOR TREATING WASTEWATER COLLECTED IN THE SECTOR LA FLORESTA**

The center of the town of Nuevo Progreso, San Marcos department records three points of sewage discharge into the St. Louis River discharges are the result of water resource use by households and businesses in the town to develop their daily work. During this research a design of a treatment plant constructed wetlands for wastewater discharges which are downloaded at the site referred to as Sector La Floresta to the west of the town is proposed, particularly because this serves an estimated 48% of population.

The debugger set for the mentioned wastewater discharges, is designed for a projected year 2029 at 33.26 L/s flow consists of a grit channel and grease traps, followed by anaerobic lagoons, concluding with artificial wetlands. It is remarkable to note that opting for a natural system because considered less expensive to build and maintain than traditional extended aeration systems. Specifically estimating the surface area required for the purification of said wastewater is presented in this paper, we characterize the wastewater, evaluate the environmental impacts of the implementation of municipal water sanitation project and economically evaluate the system construction.

Methodologically, to realize the design flow must recognize and characterize this organic load in wastewater discharged through laboratory analysis, the value expressed by the biochemical oxygen demand (BOD), the parameter being outstanding due it is used as an indicator for the design of the surface area by means of mathematical models, enabling the estimation of materials required for construction of the treatment system, and consequently the assessment of the costs involved for the purchase thereof, and the price of the project. For the identified environmental impacts, is used by national legislation in force format the Ministry of Environment and Natural Resources (MARN) for an initial environmental assessment.

Having conducted the exercise in sampling and analysis of water a concentration of 110 mg/L BOD, placing the generator body 10 mg of implementing the fourth stage of the current national regulations for the year 2024 (Government Decision concludes 236-2006), for this the need for 678 square meters of land to bring the organic load to a theoretical concentration of 30 mg / L is derived. This leads to the price of materials for construction of the project at a cost of Q 665,648.68.

The main negative environmental impacts identified demonstrate the significance of the movement of land required, due to the steep topography in the current download site, besides landscape modifications given by the partial removal of the current agroforestry system suggested for the construction site treatment system, however the offsets are positive in the social aspect, to be contributed to the health of local residents, indirectly reducing the incidence of waterborne diseases.

Taking into consideration the development of the research described, it is advisable to keep the conditions proposed to ensure the achievement of the expected water quality in the river discharge at San Luis (receiving body) design and use the earth moved during construction project for leveling the grounds, to mitigate the impacts thereof. For the cost estimates, it is important to adhere to execute the project as soon as possible, to avoid inflation of the same in time. Finally, it is remarkable to keep monitoring the quality of water discharged into said receiver body, so it must conduct annual monitoring of relevant parameters.

## I. INTRODUCCIÓN

Según datos expresados por la SEGEPLAN (2005), de la totalidad de la contaminación de origen orgánico descargada a los ríos del país el 40% es aportado por aguas residuales del tipo doméstico, siendo este último tipo de vertido el principal tributario a los drenajes del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos, acompañado de porciones menores vertidas por talleres, servicios y comercios locales tipificadas como especiales. Estos residuos líquidos producidos en el centro urbano se dividen en tres puntos de descarga, mismos que no reciben actualmente tratamiento para la estabilización de los contaminantes presentes.

Los efluentes de agua residual mencionados están ubicados en los sectores conocidos como Ramírez I, Barranco de “Los Chuchos” y sector La Floresta. Este último sitio de vertido de aguas municipales es el único que en la actualidad posee el documento de estudio técnico normado en la legislación aplicable (Acuerdo Gubernativo 236-2006) en poder de la Unidad Municipal de Gestión Ambiental y Reducción de Riesgos (UMGARR), recibiendo especial atención por parte de la municipalidad debido a que este atiende a un estimado del 48% de la población del centro urbano, generando un caudal en la actualidad de 20.92L/s, mismo que al no depurarse, deriva en riesgos para la salud humana y el equilibrio ecológico del cuerpo receptor, río San Luis.

Para brindar una solución a la problemática descrita se propuso el diseño de un sistema por humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales municipales descargadas al cauce del río San Luis, a la altura del sector La Floresta de Nuevo Progreso, siendo esta una tecnología que reproduce un ecosistema natural en el que participan plantas macrófitas, microorganismos, bacterias y animales (principalmente invertebrados) y sustrato. Conjunto depurador en que la interacción de los mismos se da en el medio acuoso nutritivo (agua residual).

El diseño del sistema de tratamiento parte de una concentración de carga orgánica expresada en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) medida durante la presente

investigación en análisis realizados por la Mancomunidad de municipios de la Cuenca del río El Naranjo (MANCUERNA), en 110 mg/L y prevé un pretratamiento que utiliza rejillas de desbaste y un canal desarenador, seguido del tratamiento primario previsto por dos lagunas anaeróbicas, del que se drenarán los residuos líquidos hacia dos humedales artificiales, últimos que cumplen las funciones de un tratamiento secundario, para obtener un efluente; con una DBO remanente de 20 mg/L.

Para el diseño, se procedió describiendo las características fisiográficas del sitio sugerido para la ubicación; ubicado a 200 metros del actual punto de descarga, para lo que se realizó un levantamiento topográfico obteniéndose curvas a nivel a 0.5 metros. Seguidamente se realizaron las estimaciones de la población a la que deberá atender el sistema para el 2029, año en el que se prevé se concluya la vida útil de 15 años para el proyecto de tratamiento de aguas residuales. Partiendo de la tasa de crecimiento de 2.25 registrada por el INE para el municipio de Nuevo Progreso, se proyectó un total de 2,455 personas. Posteriormente, se realizaron aforos del efluente descargado para obtener un caudal promedio que se prevé alcance los 33.26 L/s para el cierre del proyecto en el año 2029.

Para el dimensionamiento de los distintos componentes se utilizaron modelos matemáticos preestablecidos por diversos autores, mismos que consideran constantes de remoción contaminante, periodos de retención, temperatura del agua residual, concentración afluente, y efluente deseado, entre otros. Continuando el método de diseño planteado, se contó con asesoría profesional en biología por parte de las Reservas Naturales Privadas de Guatemala (RNPG), realizándose caminamientos en las riveras del cuerpo receptor (río San Luis), con la finalidad de determinar el tipo de macrófita recomendable para la utilización en humedales artificiales para el municipio de Nuevo Progreso, San Marcos, considerando las encontradas en el sitio como las más recomendables a evaluar, debido a la adaptación inherente a las condiciones climáticas de la región.

## II. OBJETIVOS

### 1. General

- 1.1. Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales por humedal artificial, para la descarga ubicada en el sector La Floresta, municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.

### 2. Específicos

- 2.1. Estimar el área superficial requerida para el tratamiento de las aguas residuales del punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.
- 2.2. Realizar la evaluación ambiental inicial (EAI) para el proyecto de tratamiento de aguas residuales por humedal artificial del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso.
- 2.3. Valorar económicamente la construcción de un sistema de tratamiento por humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales municipales de la descarga ubicada en el sector La Floresta, municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.
- 2.4. Caracterizar agua residual del punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta; para su análisis en laboratorio, con la finalidad de determinar la de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

### **III. MARCO REFERENCIAL**

#### **3.1. Generalidades del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos**

##### **3.1.1. Ubicación, extensión territorial y límites del municipio de Nuevo Progreso**

Según la Dirección Municipal de Planificación (DMP, 2014), el municipio de Nuevo Progreso cuenta con una extensión territorial de 140 km<sup>2</sup>, se ubica en el sur Occidente del departamento de San Marcos, en la región de la boca costa, con una distancia de 90 kilómetros vía El Tumbador y San José El Rodeo a la Cabecera Departamental de San Marcos y a 260 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala por la carretera internacional del pacífico, tiene una extensión superficial de 140 kilómetros cuadrados.

Limita al norte con el Municipio de San Pedro Sacatepéquez, al este con el Municipio de La Reforma, al sur con los Municipios de Pajapita y Coatepeque (Quetzaltenango), río Naranjo de por medio en una sección y al oeste con el Municipio de El Tumbador, río Pajapa de por medio (DMP, 2014).

Según la Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN, 2010), al territorio de Nuevo Progreso y cabecera municipal, se ingresa por el sur, vía carretera asfaltada que conduce al centro urbano del municipio de Pajapita del departamento de San Marcos, la vía tiene una longitud de 16.5 kilómetros.

Por el noreste del municipio se comunica con el Municipio de La Reforma y de allí al municipio de Coatepeque, Quetzaltenango. La distancia al municipio de La Reforma es de 25 km, la vía pasa por la aldea Pueblo Viejo y la Finca Verapaz, siendo utilizada básicamente durante la época seca por las comunidades cercanas al municipio de Coatepeque, Quetzaltenango. Durante 2012 se mejoraron las condiciones del camino de terracería para comunicar a Nuevo Progreso con el municipio de San Pedro Sacatepéquez, este atraviesa las comunidades San Ignacio (Nuevo Progreso), El Tablero y Sacuchún (San Pedro Sacatepéquez.), su longitud es de 40 Km (SEGEPLAN, 2010).

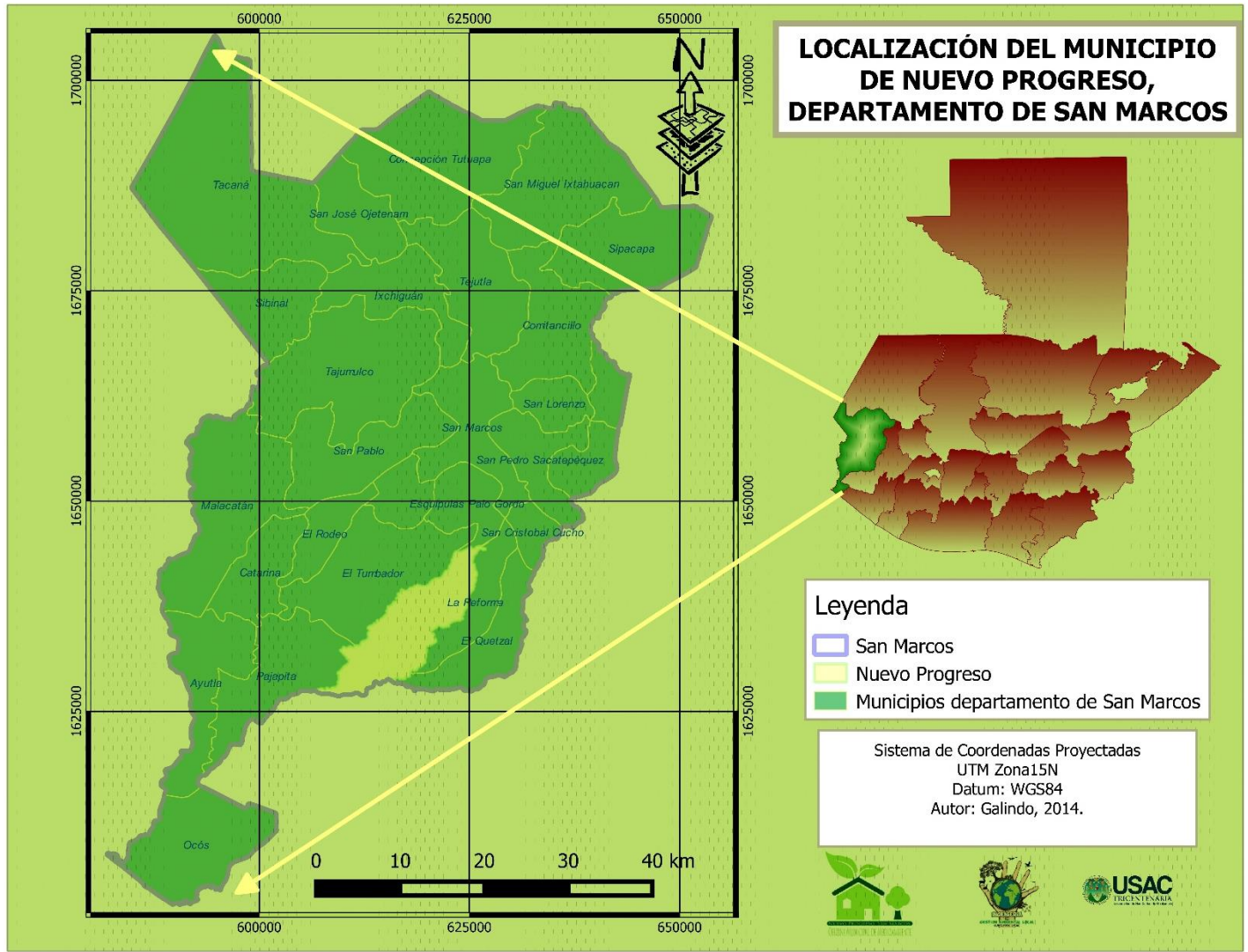


Figura 1. Localización y colindancias del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.

Fuente. El autor, 2014; en base a MAGA, 2006 .

Dada la predominancia en el territorio por fincas de propiedad privada, el mantenimiento de las vías terrestres que conectan a estas con la cabecera municipal son responsabilidad de los propietarios, por lo que se reduce la movilidad hacia el área indicada; debido a la posición central de la cabecera en el territorio, para el traslado de personas y productos hacia el norte y/o el sur es necesario pasar por la cabecera municipal (SEGEPLAN, 2010).

### **3.1.2. Hidrografía**

Según MAGA (2006), el área de captación hídrica del municipio de Nuevo Progreso pertenece principalmente a la cuenca del Río Naranjo; sin embargo, aproximadamente un 1% del territorio municipal aporta escorrentía a la del río Suchiate. El 15.20% del territorio posee zonas con recarga hídrica y tienen cobertura boscosa; mientras que el 84.80% esta deforestada (SEGEPLAN, 2010).

Este territorio se comprende hidrográficamente por cuatro sub cuencas (ver figura 25) que son: Río Ixtal (límite territorial con el municipio de La Reforma), Melendres, Cabus (cuenca río suchiate) y el Naranjo, de las que se pueden mencionar algunos otros ríos importantes como: Ixtalito, San Ramón, San Luís, Pajapa, Chisná, La Unión, Zarco, Entre ríos, Veremos, Ixcahuín, todos afluentes del río Naranjo. Entre los Manantiales están: El Chichicaste, El Sombrero, San Agustín y Manila (MAGA, 2006).

### **3.1.3. Orografía**

Según MAGA (2006), el 59.28% del territorio presenta pendientes de entre un 5 a 12%. Por su parte, las que presentan características desde un 32% a más de 45% se encuentran presentes en el 40.72% de los límites administrativos de Nuevo Progreso (figura 26).

### **3.1.4. Uso actual del suelo**

#### **a. Uso potencial del suelo**

Según la clasificación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) citada por MAGA (2006), se describe el uso potencial de los suelos del municipio de

nuevo progreso. En dicha ponderación se observa una predominancia de suelos quebrados, considerados como no cultivables y de vocación forestal tal como se observa en la figura 27 y se detalla en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Características principales de los suelos del municipio de Nuevo Progreso, según clasificación USDA.**

<b>Clase</b>	<b>Características</b>
III	Importantes limitaciones para su cultivo.
	Riesgos de deterioro por erosión.
	Pueden cultivarse regularmente aplicando rotación de cultivos.
	Pendientes moderadas.
	Baja fertilidad.
	Requieren medidas de conservación de suelos.
	24.7% del territorio de Nuevo Progreso que colinda con el municipio de Pajapita.
VI	No cultivable, salvo cultivos perennes (forestales y pastos)
	Limitados por la topografía irregular, profundidad pobre y rocosidad elevada.
	Drenaje deficiente.
	Ocupa el 15.41% de la parte media del territorio de Nuevo Progreso y porciones colindantes con los municipios del Tumbador y La Reforma, San Marcos.
VII	No cultivable, excepto para explotaciones forestales.
	Topografía y pendientes irregulares.
	Suelos poco profundos, textura y drenaje deficiente.
	Ocupa el 37.75% del territorio ubicado en la sección media alta.
VIII	Aptos solo para parques nacionales, recreación, vida silvestre y protección de cuencas hidrográficas.
	Topografía escarpada.
	Serios problemas de erosión y drenaje.
	Indispensable efectuar prácticas intensivas de conservación de suelos.
	Ocupa el 22.78% del territorio ubicado al norte del municipio de Nuevo Progreso.

**Fuente. El autor (2014), en base a MAGA (2006).**

## **b. Intensidad de uso de la tierra**

Según MAGA (2006), el 56% de la tierra del municipio de Nuevo Progreso se encuentra sobre utilizada, mientras que únicamente el 14.72% de la misma es utilizada de forma correcta. El centro urbano se ubica en el medio del municipio y representa el 0.19% del territorio, mientras que el 29% se encuentra subutilizado.

### **3.1.5. Temperatura**

Las temperaturas presentadas a continuación se basan en el mapa cobertura del suelo y uso de la tierra de la República de Guatemala, MAGA (2006), mismo en donde el municipio de Nuevo Progreso, reporta temperaturas en el rango de los 14 a 27 °C. Esta variabilidad responde a las diferencias de altura que van desde los 100 hasta los 2200 msnm (ver figura 28).

### **3.1.6. Precipitación**

Según MAGA (2006) las precipitaciones en la zona son relativamente intensas, el centro urbano del municipio presenta lluvias sobre los 4000 mm anuales, característica que avala la ubicación del mismo en la boca costa del departamento San Marcos. Los registros más altos reportan los 4600 mm, mientras que las de menor intensidad los 3000 mm/año (ver figura 29).

### **3.1.7. Zonas de Vida**

Según la zonificación de Holdridge, se ubican dos tipos de zona de vida en el territorio del municipio de Nuevo Progreso: Bosque Muy Húmedo Montano bajo Subtropical (bmh-MB) (ver figura 30): Ocupa el 16.42% del territorio, el nombre común de las especies indicadoras son Cipresillo, nogal de montaña, majagua y mano de león. Las características de la zona le confieren potencial para refugio del Quetzal. Bosque muy Húmedo Sub tropical Cálido Sur (bmh-S) (Sur): ocupa el 83.58% del territorio (MAGA, 2006).

### 3.2. Situación general de los Recursos Hídricos en Guatemala

#### 3.2.1. Oferta hídrica de Guatemala

Según IARNA-URL (2005), el 55% de los entre 55.66 y 100.67 miles de millones de metros cúbicos de agua que escurren sobre el territorio nacional producto de la precipitación; tributan a cuencas internacionales, dándose esta oferta principalmente durante cuatro meses en las regiones secas y observándose una distribución más uniforme en las zonas húmedas, los ríos más caudalosos del país se presentan en el cuadro dos. Se estima que el volumen de las aguas subterráneas es de 33,699 millones de metros cúbicos por año.

**Cuadro 2. Ríos de mayor caudal de la república de Guatemala.**

<b>Río</b>	<b>Caudal promedio (m<sup>3</sup>/s)</b>
Usumacinta	1800
Motagua	240
Polochic	161
Sarstún	172
Ixcán	165
Suchiate	28

**Fuente. IARNA-URL, 2005.**

#### 3.2.2. Usos del agua en Guatemala

##### a. Agua Potable y Saneamiento

Según el IARNA-URL (2005), para el año 2000 el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), basado en datos del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), se estima un consumo de agua de 60 y 125 lts.hab/día para zonas rural y urbana, respectivamente. De lo anterior, se considera que en poblaciones urbanas (más de 2,000 habitantes), el 80% regresa en forma de residuos líquidos y aporta un caudal de 6m<sup>3</sup>/s. Cabe resaltar que la mayor demanda de agua potable se da en zonas donde su disponibilidad es limitada. Normalmente en la parte alta de las cuencas, en el sector altiplano de las sierra madre, donde se concentra

la población (sobre los 1,000 msnm) y se localizan las cabeceras departamentales más densamente pobladas y la capital de la República.

**Cuadro 3. Porcentaje de cobertura de agua y saneamiento en Guatemala durante el año 2000.**

<b>AGUA POTABLE</b>	<b>Conexión</b>	<b>Fácil Acceso</b>	<b>Sin conexión</b>
Urbana	87.34	11.42	1.24
Rural	47.91	22.39	29.70
Total	61.71	18.55	19.74
<b>SANEAMIENTO</b>	<b>Conexión</b>	<b>In situ (fosa/letrina)</b>	<b>Sin conexión</b>
Urbana	92.68	2.68	5.28
Rural	14.97	56.33	28.7
Total	42.15	37.74	20.51

**Fuente. IARNA-URL, 2005.**

Según SEGEPLAN (2012), otros aprovechamientos importantes de los recursos hídricos nacionales se dan en el riego (40%), generación de energía y uso industrial (3%; incluye otros). Estimaciones indican que para el año 2025 (ver cuadro 4) se requerirán aproximadamente de 1,210 millones de metros cúbicos de agua para cubrir la demanda de la población nacional, las proyecciones realizadas por el autor citado indican una tasa de crecimiento en el consumo de recursos hídricos en 2.64%, en una escena en la que existen dos habitantes rurales por uno urbano, proyectándose el gasto a 125 y 180 lts.hab/día para los estratos referidos a futuro (IARNA-URL, 2005).

**Cuadro 4. Uso actual y potencial (2025) de agua en Guatemala (Millones de m<sup>3</sup>).**

<b>USO DEL AGUA</b>	<b>Uso actual</b>	<b>Uso potencial</b>
Oferta Hídrica Bruta (Incluye agua superficial y subterránea)	84,991	84,991
Caudal Ecológico	21,248	21,248
Agua contaminada por descargas	33,996	33,996
Oferta Hídrica Neta	29,747	29,747
Agua Potable	284	1,211

Continuación cuadro 4.

<b>USO DEL AGUA</b>	<b>Uso actual</b>	<b>Uso potencial</b>
Riego	2,200	10,200
Industria	850	3,625
Energía	2,883	15,000
Uso total	6,217	30,036
Excedente Hídrico	23,530	(289)

**Fuente. IARNA-URL, 2005.**

Por su parte, en la porción que termina en forma de vertidos, la contaminación es generalizada en el país; de las 331 municipalidades registradas en el país durante 2005, solamente 24 contaban con plantas de tratamiento (IARNA-URL, 2005). De forma general se estima que anualmente se producen 1,660 millones de metros cúbicos de aguas residuales, de las que solo el 5% recibe algún tratamiento previa disposición en el ambiente. La contaminación de estas aguas se caracteriza como se muestra en el cuadro cinco (SEGEPLAN, 2012).

**Cuadro 5. Distribución porcentual por tipos de contaminación en Guatemala.**

<b>TIPO DE CONTAMINANTE</b>	<b>Porcentaje</b>
Contaminación orgánica, aguas residuales domésticas.	40
Efluentes industriales, puntual (tóxicos, metales, colorantes, orgánica)	13
Agroindustria, puntual (agroquímicos)	17
Agropecuaria no puntual	40

**Fuente. SEGEPLAN, 2012.**

#### **b. Indicadores señal de la situación de los recursos hídricos en Guatemala**

Según URL-IARNA (2012), se describen a continuación una serie de indicadores-señal de la situación de los recursos hídricos para el país, mismo del que se cita a continuación lo concerniente a demanda, contaminación de cuerpos e incidencia de enfermedades relacionadas con la calidad del agua, considerando estos tres como la cadena relacionada con la producción de agua residual.

**Cuadro 6. Indicadores-señal de la situación de los recursos hídricos y su desempeño en Guatemala.**

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>	<b>Desempeño</b>
Demandas de agua.	Más de 20,000 millones de m <sup>3</sup> utilizados anualmente en el período 2007-2010, con un enfoque extractivo.	IARNA-URL (2011)	Con un escaso manejo de la oferta, la demanda de agua se incrementa en el país conforme crecen la economía y la población. Los datos más recientes.
	Cobertura de servicio de agua potable a 2011: 75.27% de las familias a nivel nacional: 90.46% de las familias en el área urbana; 58.16% de las familias en el área rural.	INE (2011)	
	Cobertura de servicio de saneamiento a 2011: 90.11% de las familias a nivel nacional. 96.97% de las familias en el área urbana; 85.27% de las familias en el área rural.	INE (2011)	
Contaminación de cuerpos de agua.	14 de los 38 ríos principales de Guatemala están altamente contaminados.	MARN, (2009).	Muestran retrocesos en cuanto a la cobertura de los servicios de agua y saneamiento en el país. La abundancia relativa del recurso no redundará en acceso para todos

Continuación cuadro 6.

Indicador	Descripción	Fuente	Desempeño
Contaminación de cuerpos de agua.	Los cuatro lagos más importantes de Guatemala están altamente contaminados y muestran evidencias de procesos de eutrofización.	MARN, IARNA-URL Y PNUMA (2009)	La calidad del agua en ríos y lagos sigue deteriorándose. No hay evidencia de mejoras sustantivas ni de mecanismos que estén siendo eficientes para la protección y mejoramiento de las aguas del país.
Incidencia de enfermedades asociadas a la calidad del agua.	Incidencia de enfermedades de origen hídrico (2010): 37.22/1000 habitantes.	MSPAS (2011, enero)	Entre 2003 y 2010 la mortalidad infantil por causas de origen hídrico se redujo en 90%, y la incidencia de casos mortales por enfermedades de origen hídrico en un 67%.
	Incidencia de casos mortales por enfermedades de origen hídrico (2010): 0.75 casos/10,000 habitantes.	MSPAS (2011, enero)	
	Mortalidad infantil por enfermedades de origen hídrico (2010): 236 casos.	MSPAS (2011, enero)	

Fuente. IARNA-URL (2012).

### 3.3. Antecedes de la utilización de plantas acuáticas para la remediación de aguas residuales en Guatemala

El funcionamiento de los humedales artificiales tiene como uno de sus componentes característicos la utilización de plantas macrófitas. Por lo que a continuación se citan los antecedentes de la materia existentes en el territorio Guatemalteco, donde se registran estudios realizados con ninfa (*Eichhornia cassipes*) y Vetiver (*Vetiveria zizanoides*) en remoción de metales pesados (Zelada, Arreola, Herrera y Ariza, 2011), quienes en los mejores casos obtuvieron porcentajes de remoción de arsénico sobre el 60%-100% y

70%-75% respectivamente para cada planta, realizando un muestreo cada siete días durante dos semanas y contando con agua a una concentración adherida de una parte por millón de contaminante.

Zelada, Arreola, Herrera y Ariza (2011), mencionan que la ninfa tiene capacidad de acumulación de metales pesados en sus tejidos, formando complejos entre metal y aminoácidos. Además, existen microorganismos asociados a las raíces que favorecen la acción depuradora. Por su parte el vetiver es capaz de absorber metales por su sistema radicular denso y profundo, este produce peroxidasa, catalasa y superóxido dismutasa que permite limpiar al organismo de químicos tóxicos. Es importante mencionar que aumenta la producción de ácido abscísico que permite tolerar condiciones adversas.

En lo correspondiente a remoción de nutrientes y puntualmente fósforo, Camarero (2013) utilizó *Eichhornia crassipes* en agua del lago Atitlán almacenada en pilas, de lo que obtuvo un 77% de extracción total de ortofosfatos, sin embargo; esta se subdividió en los resultados en un 61% fijado por la planta y un 15% sedimentado. Es importante mencionar que en las conclusiones de dicha investigación se menciona que para esta especie la funcionalidad es óptima hasta la tercer semana de permanencia en el medio, debiéndose cosechar después de este período para evitar la muerte de las mismas y la devolución del nutriente absorbido al agua.

Por su parte Casasola (2012) en estudio realizado con *E. crassipes* evaluó la ubicación de los contaminantes absorbidos por esta planta en tallos, hojas y raíces con la finalidad de concluir la viabilidad de utilizarse como materia prima en la producción de compost, las muestras se extrajeron de plantas presentes en el lago Atitlán, municipio de Sololá y se evaluó la presencia de calcio (Ca), cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn), potasio (K), zinc (Zn), arsénico (As), cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), fósforo (P), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y nitrógeno (N). Las mayores concentraciones de metales pesados se ubicaron en las raíces, por lo que en la investigación se concluye que esta parte no pueden ser utilizadas para producir abono

orgánico debido particularmente a la presencia de arsénico que alcanzó los 20.55 mg/Kg en las muestras provenientes de la desembocadura del río Villalobos, ciudad de Guatemala.

Los estudios citados con anterioridad han sido ejecutados en general a escala de laboratorio, sin embargo según López (2013) existen experiencias exitosas como la operación de una planta de tratamiento que utiliza fitorremediación como etapa terciaria, esta se encuentra ubicada en el municipio de Amatitlán, atiende un 40% del caudal del río Villalobos, (ciudad de Guatemala) y la descarga de drenaje aéreo de Villa Canales; en general se conforma por una serie de lagunas; aerobias, anaerobias y facultativas, desembocando a un refinamiento por medio de (en orden de ubicación) ninfa (*Eichhornia crassipes*), Tul (*Typha latifolia*) y lemna (*Lemna minor*), dicho sistema en conjunto mantiene en almacenamiento un volumen total de 120,155.24 m<sup>3</sup>. Los porcentajes de remoción monitoreados se ubican sobre el 95% en DQO, 97% para DBO<sub>5</sub>, 75% para nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y 26% en el caso de fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>).

Así mismo es importante mencionar que para los fines de este documento es sobresaliente lo relacionado a la utilización de plantas con acción depuradora sembradas sobre un sustrato como medio de apoyo, en lo que se denomina un humedal artificial, tecnología que no ha sido ampliamente estudiada y explotada en Guatemala, y únicamente existe una experiencia en el ramo, en la empresa Cementos Progreso (Rosse, 2013), quienes en la actualidad operan una estructura de este tipo con buenos resultados iniciales y algunos problemas de colmatación del material filtrante después de diez años de su implementación, además de lo anterior, cabe señalar la implementación de un humedal para tratamiento de aguas mieles de beneficiado de café, en finca Pampojilá-Agropecuaria Atitlán S.A., complejo agrícola ocalizado en el municipio de San Lucas Tolimán, Sololá..

## IV. MARCO CONCEPTUAL

### 4.1. Tipos de aguas residuales

#### 4.1.1. Aguas residuales domésticas (CEPIS, 1991)

Según, las aguas residuales frescas de origen doméstico emergen como un líquido turbio, de color gris o amarillento, con olor séptico, en el cual van suspendidas partículas de sedimentos, heces, residuos vegetales, tiras de papel y materiales sintéticos. Cuanto más largo sea el colector que los conduce y más turbulento el flujo en la alcantarilla, más pequeñas serán las partículas presentes en el agua residual.

##### a. Origen y tipos de aguas residuales domésticas

Los diversos usos que da el hombre al agua generan aguas residuales que se presentan en forma aislada o mezcladas en diferentes concentraciones. Las aguas residuales domésticas se originan:

En las viviendas familiares por:

- La preparación de alimentos, el lavado de platos, la limpieza de la casa, el lavado de la ropa e higiene personal.
- El uso del inodoro.
- El lavado de superficies pavimentadas externas y de automóviles;

En los edificios públicos por:

- La limpieza del edificio, la higiene personal, la preparación de alimentos y el lavado de vajilla en la cafetería (cuando existe).
- El uso de baños públicos.
- El lavado de superficies pavimentadas externas y de automóviles;

En los pequeños establecimientos comerciales por:

- La preparación de alimentos, el lavado de platos, la limpieza del local, el lavado de ropa e higiene personal.
- El uso de los inodoros.
- El lavado de superficies pavimentadas externas y automóviles.

### **b. Cantidad de aguas residuales domésticas**

La cantidad de aguas residuales domésticas es igual al agua consumida del sistema de abastecimiento menos el agua utilizada para cocinar, beber y regar. Siendo esto cercano al 80% de lo aprovechado en las viviendas. Las disposiciones fecales y otros desechos que se añaden a los vertidos aportan 1.4 kg por persona al día (kg/P.d). El volumen generado sufre variaciones horarias, diarias y anuales. Según CEPIS (1991), quien citó a Imhoff (1973), se observa un incremento en la producción de residuos líquidos al comienzo de la semana, procedente del lavado de ropa, y al final de la misma por la limpieza de los hogares. En forma contraria los días domingos y asuetos disminuyen el efluente.

La cantidad de aguas residuales y concentración contaminante de carga orgánica (DBO) de las mismas; son paralelas en general, mostrando una curva durante el día, misma en la que los caudales mínimos ocurren en las primeras horas de la mañana, entre las 2:00 y 5:30, observándose en este período un flujo conformado básicamente por infiltración y aportes mínimos de agua residual. El máximo se da entre las 7:00 y 10:00 de la mañana, presentándose un segundo pico entre las 15:00 y 16:00 horas (Romero, 1999).

Las condiciones de vida, guardan una relación intrínseca con la generación de residuos, cuando estas mejoran; se incrementan considerablemente los valores de la demanda de agua, y por consiguiente las que son vertidas como residuos. Esto se ve reflejado especialmente en el caso de baños, limpieza de apartamentos grandes, funcionamiento de nuevos artefactos domésticos, riego de jardines y lavado de automóviles, así como de ambientes exteriores. Sin embargo, cabe resaltar que la carga presente en las aguas residuales aumentará sólo en forma mínima y, así, al aumentar el consumo de agua, descenderá la concentración de contaminantes. A manera de referencia se observan en el cuadro siete valores de demanda de agua promedio en consumo doméstico, según lo estimado por CEPIS (1991).

**Cuadro 7. Demanda de agua para actividades domésticas.**

Actividad	Litros por actividad y/o por vez
<b>Lavado de platos</b> (Para una comida de 4-6 personas)	
• Manual	10-25
• Con lavaplatos automático	20-45
<b>Lavado de ropa</b>	
• Manual	250-300
• Con lavadora	100-180
<b>Limpieza de la casa</b>	
• Con cubos de agua	8-10
<b>Higiene personal</b>	
• Lavado de manos	2-5
• Ducha rápida	40-80
• Baño en ducha	80-140
• Baño en tina pequeña	200-250
• Baño en tina grande	30-50
• Baño de niños	30-40
<b>Inodoro</b>	
• Con tanque alto	8-12
• Con tanque integrado	12-15
• Con conexión directa al sistema de abastecimiento de agua	6-14
<b>Disposición de basura por ciclo</b>	4-5
<b>Lavado de automóviles</b>	
• Con cubo	20-40
Riego de césped, de ser necesario	1/m <sup>2</sup> /a 5-10
<b>Abastecimiento de agua para los animales</b>	
• Para ganado vacuno	50-200/día/animal
• Para becerros	10-40/día/animal
• Para aves de corral	0.3/día/animal

**Fuente. CEPIS, 1991.**

### c. Composición de las aguas residuales domésticas

Según CEPIS (1991), las aguas residuales domésticas son peligrosas debido a la posible presencia de microorganismos patógenos. Contienen sobre todo como grupo indicador de contaminación fecal, bacterias *Escherichia coli*, las que generalmente son inocuas y suelen estar presentes en los intestinos del hombre y de los animales de sangre caliente. Los microorganismos están presentes en las aguas residuales en forma de virus, bacterias y parásitos. Estos microorganismos provienen de hospitales, de viviendas con personas infectadas, de portadores de enfermedades, etc. El agua residual tratada no es bacteriológicamente pura y, en algunos casos, es necesario esterilizarla, además de aplicarle un tratamiento mecánico-biológico. Aparte de organismos patógenos, en las aguas residuales domésticas están presentes bacterias no patógenas que descomponen la materia orgánica mediante procesos de hidrólisis, reducción y oxidación. En esta descomposición también participan fermentadores y enzimas.

Sin embargo; cabe resaltar que según Romero, (1999), en la práctica, cada agua residual es única en sus características y en lo posible, los parámetros de polución deben evaluarse en laboratorio para cada agua residual específica. Como medida de referencia se presentan la composición típica de las aguas residuales domésticas en el cuadro ocho.

**Cuadro 8. Composición típica de las aguas residuales domésticas.**

Parámetro	Magnitud
Sólidos totales	720 mg/L
Sólidos disueltos	500 mg/L
Sólidos disueltos volátiles	200 mg/L
Sólidos suspendidos	220 mg/L
Sólidos suspendidos volátiles	165 mg/L
Sólidos sedimentables	10 mg/L
DBO	220 mg/L
DQO	500 mg/L
Nitrógeno total	40 mg/L
Nitrógeno orgánico	15 mg/L

Continuación cuadro 8.

<b>Parámetro</b>	<b>Magnitud</b>
Nitrógeno amoniacal	25 mg/L
Nitritos	0 mg/L
Nitragos	0 mg/L
Fósforo total	8 mg/L
Fósforo orgánico	3 mg/L
Fósforo inorgánico	5 mg/L
Cloruros	50 mg/L
Alcalinidad	100 mg/L
Grasas	100 mg/L

**Fuente. Romero, 1999.**

#### **4.1.2. Aguas residuales municipales**

Según Crites y Tchobanoglous (2000), estos son residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población que en forma general se componen por distintos tipos de vertidos líquidos que se encuentran en los sistemas públicos. Las cantidades producidas se muestran en el cuadro 10 para diferentes tipos de aguas residuales municipales.

##### **a. Fluctuaciones en la cantidad de aguas residuales municipales**

Según CEPIS (1991) se observan variaciones en la cantidad de aguas residuales debido a los hábitos de vida de la población, los procesos de fabricación industrial, los servicios comerciales y públicos y las variaciones climáticas. La existencia de aguas residuales depende más de la frecuencia y la cantidad de las precipitaciones que de la temperatura atmosférica. Tanto en sistemas de recolección combinados como separados, cuando el clima es húmedo llega a la planta de tratamiento una mayor cantidad de agua y en los meses de lluvia el promedio también aumenta. Sin embargo, en los climas secos se presentan igualmente fluctuaciones diarias que dependen del tamaño del área de drenaje (residentes con conexiones) y de su estructura (grado de industrialización) (CEPIS, 1991).

El gasto máximo que se supone al dimensionar plantas de tratamiento y sistemas de alcantarillado es diferente para áreas de drenaje del mismo tamaño pero con

comunidades de tamaños diferentes. En el caso de sistemas de alcantarillado, el caudal máximo por segundo sirve como base para el cálculo. Al dimensionar plantas de tratamiento, se considera el promedio de 12 horas durante el día (8 a.m. a 8 p.m.) y también el promedio de 24 horas, aparte del gasto máximo por hora. Para estimar la dimensión hidráulica de una estructura, se usa generalmente el gasto máximo por hora. En el caudal de aguas residuales municipales, los máximos horarios y los promedios diarios dependerán también de las dimensiones de las conexiones (tamaño de la comunidad o población equivalente) (CEPIS, 1991).

**Cuadro 9. Escala de fluctuaciones de las aguas residuales municipales**

Tamaño de la comunidad en miles de personas	Valores por hora (Qh) para		
	Picos diarios	Promedio durante horas diurnas	Promedio durante horas nocturnas
>300	18	20....23	30....27
100....300	16....18	18....20	36....30
20....100	14....16	16....18	48....36
5....20	12....14	14....16	84....48
< 5	10....12	12....14	≥ 84

**Fuente. CEPIS, 1988.**

Los cálculos se fijan bajo el supuesto de que los picos por hora cubren un período de 24 o más horas. Por lo tanto, el caudal diario de aguas residuales, puesto que está en función del tamaño de la comunidad, deberá ser dividido entre los valores por hora que aparecen en el cuadro 10.

**Cuadro 10. Cantidad y composición de las aguas residuales y demanda de agua en viviendas particulares (Por persona al día).**

Tipo	Cantidad en l/(P.d)		Contaminación en g/(P.d)						
	Demanda de agua	Descarga de agua	Total sólidos	Sólidos inorgánicos	Sólidos orgánicos	DBO5	Co	N	P
Comida y bebida	3	-					8	0.2	
Lavado de platos	4	4							
Lavado de ropa	20	19							
Higiene personal	10	10					7		
Ducha	20	20						-	
Limpieza de viviendas	3	3							
Inodoro	Heces	20	22	27			17	1.5	0.6
	Orina			55	15	40	5	12.2	0.8
<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>78</b>	<b>190</b>	<b>80</b>	<b>110</b>	<b>54</b>	<b>37</b>	<b>13.9</b>	<b>2.3</b>

Fuente. CEPIS (2011).

## **4.2. Tratamiento de aguas residuales (Fernández, *et al.*, 2008)**

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente, siendo para el caso de Guatemala el Acuerdo Gubernativo 236-2006. El nivel máximo admisible de contaminante puede alcanzarse mediante la utilización de diversas técnicas tanto destructivas como no destructivas.

### **4.2.1. Tecnologías convencionales para el tratamiento de aguas residuales**

#### **a. Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión**

La materia en suspensión puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas (normalmente inorgánicas), hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros (normalmente de naturaleza orgánica). También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar como en el agua una vez tratada, juega un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente. Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento. La eliminación de esta materia suspendida se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en algunos casos, y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos, denominándose en este caso tratamientos químicos-físicos.

#### **i. Cribado**

Según Romero (1999), el cribado es la operación utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. Esta estructura puede ser de cualquier material agujereado ordenadamente de forma redonda, cuadrada o de cualquier forma geométrica. De acuerdo al método de limpieza, la remoción de sólidos puede darse de forma manual o mecánica, mientras que pueden clasificarse también como gruesas o finas, según la abertura de la criba, siendo los valores típicos  $>1/4$ " para el primer caso y menores para la segunda posibilidad mencionada.

## **ii. Sedimentación**

Según Crites y Tchobanoglous (2000), el objeto de esta operación unitaria es remover rápidamente los residuos sólidos sedimentables y material flotante; para así disminuir la concentración de sólidos suspendidos. La sedimentación primaria se emplea como parte del pretratamiento dentro del procesamiento integral de las aguas residuales. Los Sedimentadores primarios, diseñados y operados pacientemente, remueven entre 50 y 70% de sólidos suspendidos y entre 25 y 50% de DBO.

## **iii. Filtración**

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa (Fernández, *et al.* 2008).

## **iv. Flotación**

Se utiliza para separar las emulsiones y las partículas sólidas presentes en una fase líquida, mediante burbujas diminutas de un gas, generalmente aire. La separación no depende tanto del tamaño y densidad relativa de las partículas como de aquellas propiedades superficiales que permiten la adherencia de las burbujas a la estructura de las partículas. Gracias a este mecanismo es posible separar partículas más densas que el líquido en el cual se encuentran, ya que el sistema partícula-burbuja, de menor densidad que la partícula original, asciende y puede separarse. La fuerza de empuje de las burbujas gaseosas facilita, también, la separación de emulsiones y suspensiones (Romero, 1999).

## v. Coagulación-floculación

Según Fernández, *et al.* (2008), una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa como el hierro y el aluminio ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación.

**Cuadro 11. Cargas superficiales para sedimentación química.**

Suspensión	Carga superficial, m/d
Floculación de alumbre	20-24
	24-49
Floculación de hierro	28-33
	24-49
Floculación de cal	57rrrrr-65
	31-61

**Fuente. Romero, 1999.**

Las cargas superficiales típicas para dimensionar tanques en los que se utilizan sales floculantes de aluminio, hierro y cal, se incluyen en el cuadro 11, de lo que cabe resaltar la menor distancia requerida para la formación de flóculos por parte de floculación con alumbre, mientras que la de cal, presenta los resultados menos favorables en el espacio requerido (Romero, 1999).

## b. Tratamientos biológicos

Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo

la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales (Fernández, *et al.*, 2008).

En el nivel más fundamental, el tratamiento biológico comprende tres etapas. Partiendo de la conversión de la materia orgánica carbonácea disuelta y en estado coloidal en diferentes gases y tejidos celulares, dando paso a la formación de copos biológicos compuestos de materia celular y de los coloides orgánicos presentes en las aguas residuales, para finalmente remover dichos grumos por medio de sedimentación por gravedad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que si el tejido celular producido no se retira por precipitación, éste ejercerá una DBO remanente (Crites y Tchobanoglous, 2000).

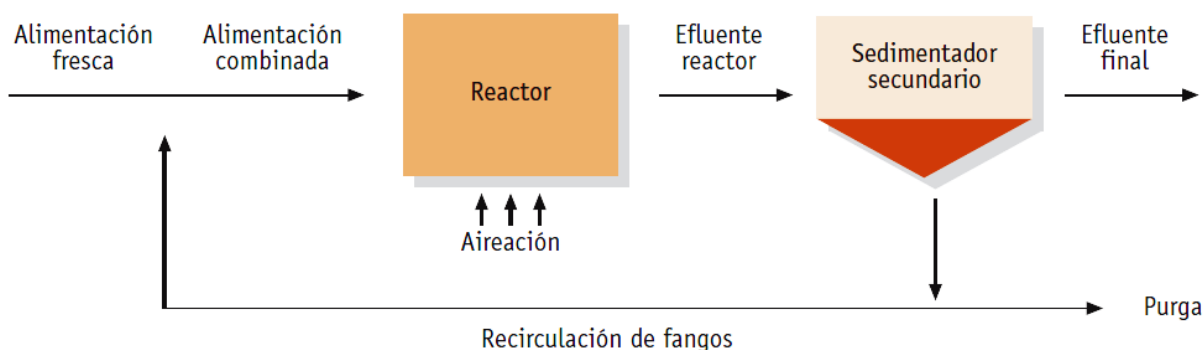
#### **i. Sistemas aerobios**

Según Fernández, *et al.* (2008), la presencia de oxígeno gaseoso ( $O_2$ ) en un medio acuoso hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las poblaciones de bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua. Sin embargo, en la actualidad las posibilidades de tratamiento biológico aerobio son diversas:

- **Cultivos en suspensión:** La principal modalidad para este caso, es la conocida como lodos activados, así como sus variantes. En este proceso, las aguas residuales tamizadas o tamizadas y sedimentadas se mezclan con cantidades variables (20 a 100%) del flujo interior del clarificador secundario. La mezcla entra

en el tanque de aireación, donde se mezclan los organismos y los vertidos con aire (Crites y Tchobanoglous, 2000) (ver figura 2).

Al colocar el agua residual en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, los flóculos biológicos previamente formados, absorben la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza una recirculación de parte de los fangos, para mantener elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos (Fernández, *et al.* 2008).



**Figura 2. Proceso de tratamiento aerobio por fangos activados**

**Fuente. Fernández, *et al.* (2008).**

- **Procesos aerobios con biomasa soportada**

Otra de las formas para conseguir concentraciones suficientes de microorganismos, sin necesidad de recirculación, es favoreciendo su crecimiento en la superficie de sólidos. Se evitan de esta forma los posibles problemas en la sedimentación y recirculación de fangos, frecuente en los procesos clásicos de fangos activados. Sin embargo el aporte de oxígeno será de nuevo un factor importante, consiguiéndose en este caso bien en la distribución del líquido, bien por movimiento del sistema (Fernández, *et al.* 2008).

- **Filtros percoladores**

Según Romero (1999), este tipo de biofiltro consiste en un lecho de piedras u otro medio natural o sintético. Se reconoce que este es un proceso ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales, mas no se concibe para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual, sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica, teniendo por objeto reducir la carga orgánica presente en los vertidos.

- **Contactores Biológicos Rotatorios (RBC): Biodiscos**

Proceso en el que se montan varios discos circulares de plástico sobre un eje central. Estos discos se sumergen (de 40 a 80%) y se hacen girar en un tanque que contiene el agua residual que va a ser tratada. Los microorganismos responsables del tratamiento se adhieren a los discos y giran entrando y saliendo del agua residual. El oxígeno que se necesita para la conversión de la materia orgánica que se va pegando al disco a medida que éste gira, se obtiene por adsorción desde el aire en el momento en que la capa bacterial rota fuera del líquido (Crites y Tchobanoglous, 2000).

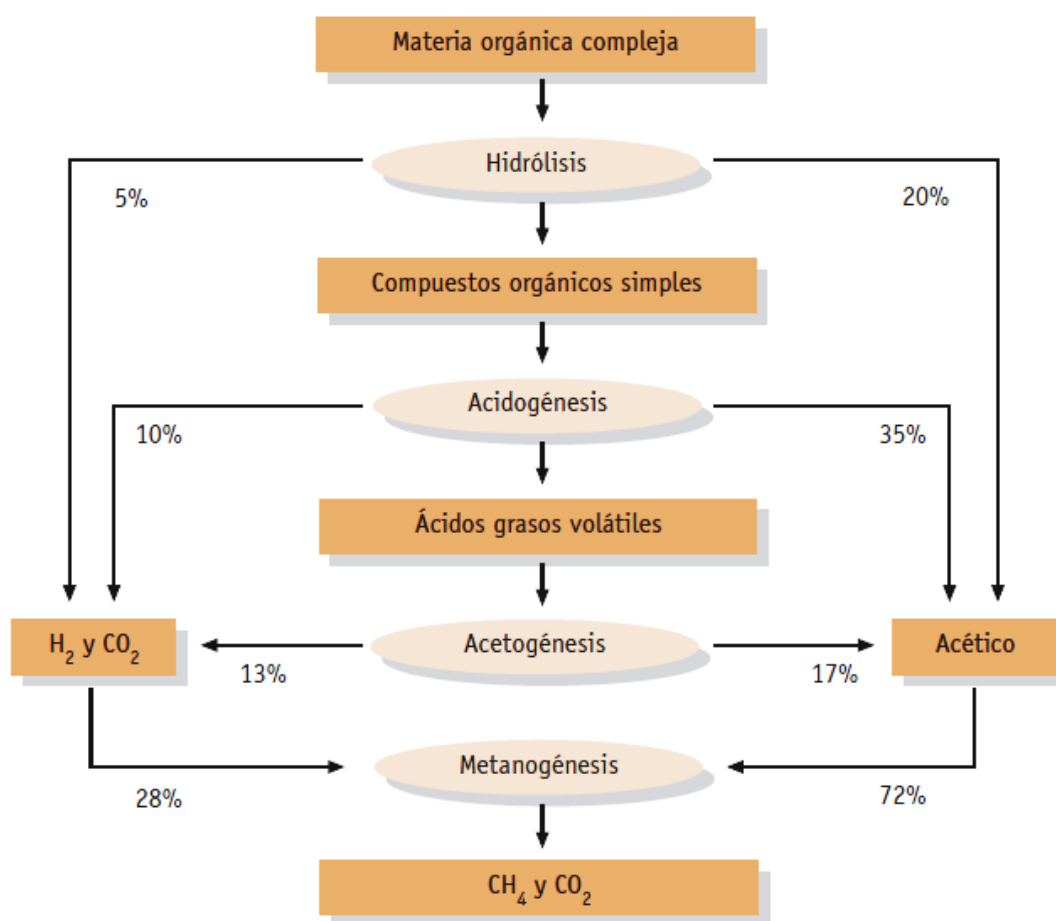
## ii. **Sistemas anaerobios**

Según Fernández *et al.* (2008), el tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos.

Los procesos de tratamiento anaerobio tienen aplicación principalmente en aguas residuales de concentración alta, con demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mayor de 1000 mg/L, donde los compuestos orgánicos y el dióxido de carbono se usan como

aceptadores finales de electrones, para que las bacterias metanogénicas produzcan metano (Romero, 1999).

El tratamiento biológico en condiciones anaerobias involucra la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular, los detalles del proceso se presentan en la figura 3. Cabe resaltar que en este sistema las bacterias presentes, serán las que han de estar en perfecto equilibrio para un funcionamiento óptimo (Rodríguez *et al.*, 2008)



**Figura 3. Esquema de la ruta de degradación anaerobia**  
**Fuente. Fernández *et al.*, (2008).**

Entre las ventajas más significativas del tratamiento anaerobia frente al aerobio cabe destacar la alta eficacia de los sistemas, incluso en aguas residuales de alta carga, el

bajo consumo de energía, pequeña producción de fangos y por tanto, pequeño requerimiento de nutrientes, así como su eficacia ante alteraciones importantes de carga y posibilidad de grandes periodos de parada sin alteración importante en la población bacteriana. Sin embargo, como desventajas caben destacar la baja efectividad en la eliminación de nutrientes y patógenos, generación de malos olores y la necesidad de un post-tratamiento, generalmente aerobio, para alcanzar los niveles de depuración demandados, así como los generalmente largos períodos de puesta en marcha (Fernández, *et al.* 2008).

- **Reactores anaeróbicos utilizados**

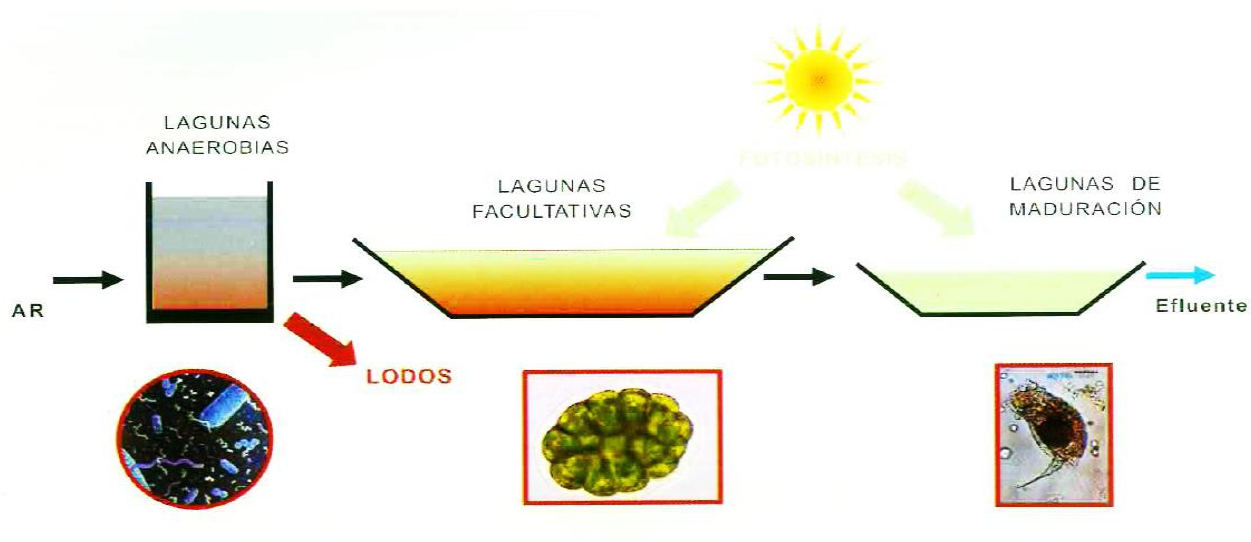
Dentro de los sistemas anaerobios utilizados en la actualidad, cabe resaltar el tanque Imhoff, siendo un sistema compuesto por dos pisos, siendo el compartimiento inferior para digestión de los sólidos sedimentados y la cámara superior de sedimentación. Así mismo es sobresaliente la importancia de los tanques sépticos, caracterizados porque la sedimentación y digestión ocurren dentro del mismo tanque; con lo que se evitan los problemas de complejidad de construcción y excavación profunda del tanque Imhoff (Romero, 1999).

#### **4.2.2. Tecnologías alternativas de tratamiento de aguas residuales**

##### **a. Lagunas de estabilización**

Según el Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe PAS-LAC (2007), son estanques de cierta profundidad, construidos en tierra, con un revestimiento, principalmente de arcilla, en los taludes y el fondo; a fin de evitar la contaminación de las aguas freáticas. El funcionamiento de las lagunas se sustenta en dos formas primitivas de vida: algas y bacterias.

Las lagunas usadas en el tratamiento de aguas residuales poseen una profundidad variable, estas se clasifican teniendo en cuenta la concentración de oxígeno disuelto (nivel de aerobividad), y la fuente que suministra el oxígeno necesario para la asimilación bacteriana de compuestos orgánicos presentes en los residuos líquidos (Crites y Tchobanoglous, 2000).



**Figura 4. Esquema de un sistema de tratamiento por lagunas.**

**Fuente. PAS-LAC, 2007.**

Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología preferente, en los países en desarrollo, principalmente en aquellos que cuentan con climas cálidos y dónde el costo de la tierra no es elevado. Esta tecnología ha sido ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas residuales de ciudades grandes así como pequeñas localidades en América Latina, las principales ventajas y desventajas de esta modalidad de tratamiento se presentan en el cuadro 12 (PAS-LAC, 2007).

Según Crites y Tchobanoglous (2000), la tecnología de tratamiento con lagunas se utiliza principalmente en comunidades pequeñas, sin embargo las lagunas aireadas y facultativas son de uso frecuente en comunidades medianas. Las principales ventajas de esta modalidad de tratamiento son la reducción en costos de capital, baja capacitación técnica a personal operativo, evacuación de lodos en intervalos de 10 a 20 años. Presentando como principales desventajas las amplias extensiones de terreno requeridas y la presencia de algas en el efluente, los detalles se observan en el cuadro 12.

**Cuadro 12. Ventajas y desventajas de un sistema de tratamiento de aguas residuales por lagunaje.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
El sistema puede operar sin ningún costo energético	Requiere amplias áreas de terreno para su implantación
No existen desperfectos de carácter electromecánico	Estrecha dependencia de las condiciones climáticas
Sencillez operativa	En el caso de las lagunas anaerobias pueden desprenderse olores desagradables
Gran estabilidad de operación, lo que permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica.	Pérdidas de aguas por evaporación
Escasa producción de fangos ya estabilizados	Se observan elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el efluente.
Alto poder de reducción de microorganismos patógenos (permite la reutilización de las aguas depuradas)	Existe riesgo de contaminación

**Fuente. PAS-LAC, 2007.**

**i. Lagunas anaerobias**

Según Crites y Tchobanoglous (2000), las lagunas anaerobias se diseñan para el tratamiento de residuos líquidos con un alto contenido de materia orgánica, generalmente aguas residuales de industrias ubicadas en zonas rurales apartadas. Estas lagunas no cuentan con zonas aerobias, su profundidad oscila entre 5 y 10 metros y su tiempo de retención va de 20 a 50 días.

**ii. Lagunas facultativas**

Son lagunas con profundidades de uno a dos metros, con capacidad para reducir tanto la materia orgánica como la contaminación bacteriológica del agua. Estas lagunas son usualmente recomendadas para pequeñas localidades (PAS-LAC, 2007).

### iii. Lagunas de maduración

Las lagunas aerobias varían en profundidades entre los 0.3 y 0.6 metros, característica que permite la penetración de la luz del sol en toda la columna de agua. Como resultado, este tipo de tratamiento se caracteriza por tener actividad fotosintética durante las horas de luz. El oxígeno producido por las algas permite a las bacterias degradar en forma aerobia los compuestos orgánicos presentes en el agua residual (Crites y Tchobanoglous, 2000), los parámetros de referencia para el diseño se observan en el cuadro 13.

**Cuadro 13. Parámetros referenciales de diseño, desarrollados para lagunas de estabilización en climas cálidos.**

Tipo de laguna	Profundidad	Carga	Tiempo de retención hidráulica
Lagunas anaerobias	4.0 a 5.0 metros	Volumétrica: 150 a 200 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> día	2 a 3 días
Lagunas facultativas	1.5 a 2.0 metros	Superficial: 200 a 250 kg DBO <sub>5</sub> /ha.día	7 a 15 días
Lagunas de maduración	Profundidad: 0.8 a 1.0 metros	Superficial: ~75 kg DBO <sub>5</sub>	Hidráulica mayor a 5 días
Superficie requerida: 5m <sup>2</sup> de lámina de agua por habitante			

**Fuente. PAS-LAC, 2007.**

## b. Humedales

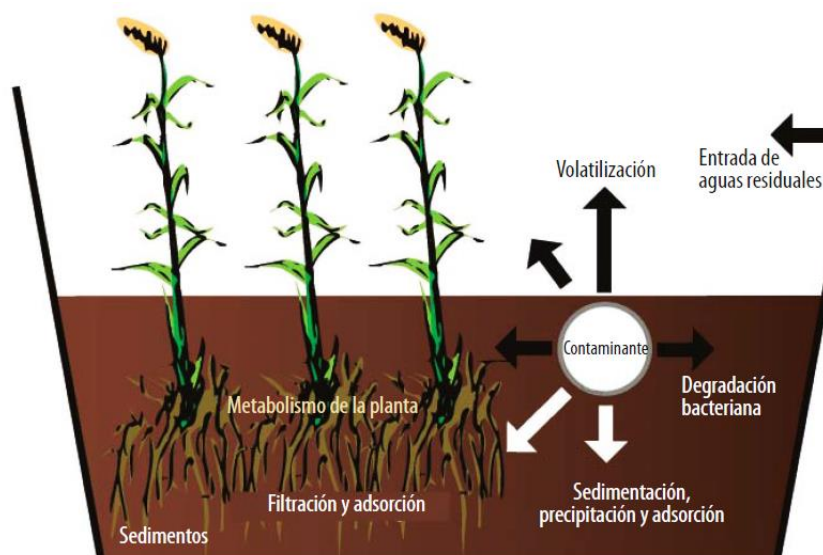
### i. Humedales naturales

Según Llagas y Guadalupe (2006), quienes citaron a Hammer y Bastian (1989), los humedales son medios semiterrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial auto depurador. Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad, con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie.

Estos ocupan el espacio que hay entre los medios húmedos y los medios, generalmente, secos y que poseen características de ambos, por lo que no pueden ser clasificados categóricamente como acuáticos ni terrestres. Lo característico de un humedal es la presencia de agua durante períodos lo 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. Las profundidades típicas de estas extensiones de tierras son menores a 0,60 m donde crecen plantas emergentes como juncos, typha, que contribuye a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación (Llagas y Guadalupe, 2006).

## ii. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales

Según Romero (1999), los humedales, son sistemas de tratamiento acuático en los cuales se usan plantas y animales para tratamiento de aguas residuales. Esta tecnología ha sido utilizada en el tratamiento de aguas residuales municipales, para tratamiento secundario y avanzado, en el tratamiento de aguas de irrigación, para tratar lixiviados de rellenos sanitarios, en el tratamiento de residuos de tanques sépticos y para otros propósitos como desarrollar hábitats para crecimientos de valor ambiental, los procesos dados en los humedales artificiales se observan en la figura cinco.



**Figura 5. Mecanismos de remoción de contaminantes en un humedal**

**Fuente. ONU-HABITAT (2008).**

- **Tipos de Humedales para el tratamiento de aguas residuales**

- **Según el material vegetativo**

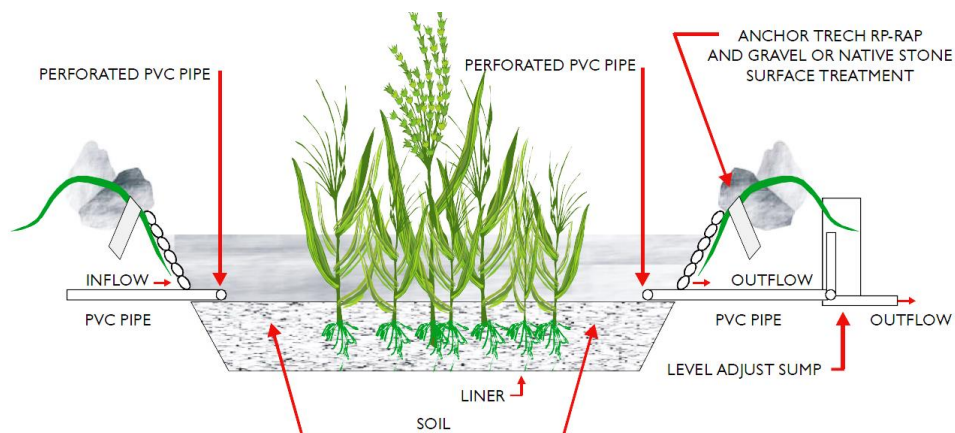
Según Arias y Brix (2003), los humedales se clasifican según las características del material vegetal predominante en los lechos:

- Humedales construidos, basados en macrófitas flotantes. Ej. *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*.
- Humedales construidos, basados en macrófitas de hojas flotantes. Ej.: *Nymphaea alba*, *Potamogeton gramineus*.
- Humedales construidos, con macrofitas sumergidas. Ej.: *Littorella uniflora*, *Potamogeton crispus*.
- Humedales construidos, con macrófitas emergentes. Ej.: *Thypha latifolia*, *Phragmites australis*, *Vetiveria zizanoides*.

Según Arias y Brix (2003), el criterio más importante al momento de elegir el tipo de material vegetativo a utilizar es la adaptabilidad a las condiciones ambientales de la región donde se pretende implementar el sistema de tratamiento, sin embargo los autores mencionan que son los del tipo que posee macrófitas emergentes los que han demostrado mayor adaptación a condiciones adversas, otro criterio para la clasificación de estas estructuras de tratamiento, es el movimiento del agua en los lechos:

- **Sistemas de flujo libre/Humedales de flujo superficial (HFS).**

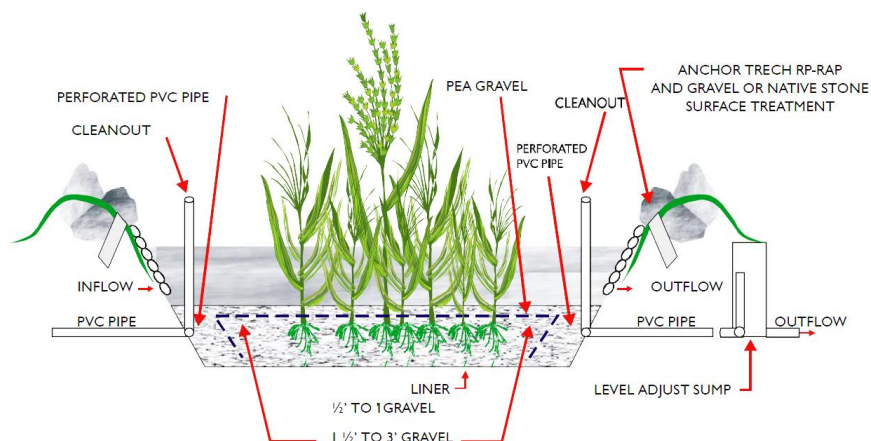
Estos sistemas consisten típicamente en estanques o canales, con alguna clase de barrera subterránea para prevenir la filtración, suelo u otro medio conveniente a fin de soportar la vegetación emergente, y agua en una profundidad relativamente baja (0.1 a 0.6 m) que atraviesa la unidad (ver figura 6). La profundidad baja del agua, e igual condición de velocidad de flujo, presencia de tallos de plantas y basura regulan el flujo del agua. Se aplica agua residual pretratada a estos sistemas, y el tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente (Llagas y Guadalupe, 2006).



**Figura 6. Esquema general de un sistema de humedal artificial de flujo libre (HFS). Fuente. Llagas y Guadalupe (2006).**

- **Sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS).**

Según Romero (1999), en este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio es comúnmente grava gruesa y arena en espesores de 0.45 a un metro y con pendiente de 0 a 0.5% (ver figura 7). Este sistema tiene la ventaja de necesitar áreas de terreno menores y evitar los problemas de olores y mosquitos, en comparación con los sistemas de flujo libre. Las desventajas son el incremento del costo debido al medio de grava y la obstrucción potencial del medio, los detalles de lo descrito se presentan en el cuadro 14 (Crites y Tchobanoglous, 2000).



**Figura 7. Esquema general de un sistema de humedal artificial de flujo horizontal sub superficial (HFSS). Fuente. Llagas y Guadalupe (2006).**

**Cuadro 14. Ventajas y desventajas de un sistema de humedal de flujo subsuperficial.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores adiestrados.	El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
Pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento.	Requiere un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales de tratamiento.
La configuración de los humedales de flujo sub superficial proporcionan una mayor protección térmica que los de flujo superficial	La mayoría del agua contenida en los humedales es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco
No producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.	En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO, NH <sub>3</sub> Y NO <sub>3</sub> -.
La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles puede ser también efectiva con un tiempo de retención significativamente mayor.	No pueden ser diseñados para lograr una remoción completa de compuestos orgánicos, SST, nitrógeno o bacterias coliformes. Los ciclos ecológicos en estos humedales producen concentraciones naturales de esos compuestos en el efluente.
Los mosquitos y otros insectos vectores similares no son un problema mientras el sistema se opere adecuadamente y el nivel sub superficial de flujo se mantenga. También se elimina el riesgo de que niños y mascotas estén expuestos al agua residual parcialmente tratada.	Si bien, estos pueden ser de menor superficie que los de flujo libre para la remoción de la mayoría de los constituyentes del agua residual, el costo mayor del medio de grava en los humedales de flujo subsuperficial puede dar como resultado costos de construcción más altos para sistemas con una capacidad mayor a 227,000 litros por día (60,000 galones).

**Fuente. EPA, 2000.**

Se considera que las reacciones biológicas se deben a la actividad de los microorganismos adheridos a las superficies disponibles en el lecho y las raíces sumergidas, ya que estas últimas proporcionan también un sustrato para los procesos microbiológicos y dado que la mayoría de las macrófitas emergentes pueden transmitir oxígeno de las hojas a las raíces, se presentan micro zonas aeróbicas en la superficie de las raíces y los rizomas. El resto del medio sumergido de este tipo de humedal tiende a carecer de oxígeno lo que en general limita la remoción biológica de amoníaco por nitrificación, pero aun así el sistema es efectivo en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), metales y algunos contaminantes orgánicos prioritarios, dado que su tratamiento puede ocurrir bajo condiciones aeróbicas y anóxicas (EPA, 2000).

- **Componentes de un humedal**

- **Agua**

Los sistemas de tratamiento con humedales construidos han sido usados, generalmente para tratar aguas residuales municipales, sin embargo también han sido aplicados para la depuración de aguas residuales industriales, escorrentía de aguas agrícolas y de lluvia, lixiviados de vertederos, rebose de alcantarillados combinados, drenajes de minas y aguas residuales domésticas en pequeños humedales tras tanques sépticos convencionales (Lara, 1999).

La hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales, sin embargo difiere en aspectos relevantes como por ejemplo, pequeños cambios en esta característica pueden tener importancia en la efectividad del tratamiento, debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración. La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas, y luego bloqueando la exposición al viento y el sol (Osnaya, 2012).

### ○ **Substrato**

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas, el substrato, sedimentos y restos de la vegetación son de importancia por los siguientes motivos (Rodríguez, 2008):

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- El substrato sirve para que muchos contaminantes sean almacenados.
- Transformaciones químicas y biológicas (microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos y es una fuente de carbono.

Las características físicas y químicas del suelo y otros substratos se alteran cuando se inundan. En un substrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno atmosférico, puede darse lugar a condiciones anóxicas, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

### ○ **Vegetación**

Según Osnaya (2012), el principal beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

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

- **Microorganismos**

Según Rodríguez (2008), una de las principales características de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios, la biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes. La actividad microbiana transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad del proceso del humedal, además esta actividad está involucrada en el reciclaje de nutrientes. Algunas transformaciones microbianas requieren oxígeno libre y otras no. Sin embargo muchas especies funcionan en ambos casos (facultativas).

- **Mecanismos y rendimientos en la eliminación de contaminantes en un humedal artificial**

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Un amplio rango de procesos biológicos, físicos y químicos tienen lugar, por lo tanto la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja, los detalles de lo mencionado se describen en el cuadro 15 (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade 2010).

**Cuadro 15. Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales.**

<b>COMPONENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES</b>	<b>MECANISMOS DE REMOCIÓN</b>
<b>Sólidos en suspensión</b>	Sedimentación
	Filtración
<b>Orgánicos solubles</b>	Degradación microbiana aeróbica
	Degradación microbiana anaeróbica
<b>Fósforo</b>	Adsorción de la matriz
	Adsorción por la planta
<b>Nitrógeno</b>	Amonificación seguida por nitrificación microbiana
	Desnitrificación
<b>Nitrógeno</b>	Absorción por la planta
	Adsorción de la matriz
	Volatilización del amonio (principalmente en sistemas de flujo superficial).
<b>Metales</b>	Adsorción e intercambio catiónico
	Complexación
<b>Metales</b>	Precipitación
	Absorción por la planta
	Oxidación/reducción microbiana
<b>Patógenos</b>	Sedimentación
	Filtración
	Degradación natural
	Depredación
	Irradiación UV (sistemas de flujo superficial)
	Excreción de antibióticos por las raíces de los macrófitos

Fuente. Llagas y Guadalupe (2006).

- **Remoción de DBO<sup>5</sup>**

Según Crites y Tchobanoglous (2000), la remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se logra de forma biológica y física, principalmente bajo condiciones aerobias. Sin embargo, los microorganismos facultativos convierten una parte de la DBO. La tasa de remoción se relaciona con el tiempo de retención y la temperatura, estudios realizados en Kentucky, Nevada, California y Australia, demuestran tasas de remoción de 65, 68 y 88%, respectivamente, sin embargo es importante acotar que estos resultados fueron observados en concentraciones de carga orgánica que van de los 23 a los 118 mg/L.

- **Remoción de sólidos suspendidos**

Aunque la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes complementando la remoción. Las raíces de las macrófitas y el sustrato reducen la velocidad del agua favoreciendo los procesos de filtración y sedimentación. Es importante recordar que el tratamiento previo es importante para evitar obstrucciones así como la rápida colmatación del humedal (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade 2010).

La remoción de sólidos es muy efectiva en los dos tipos de humedales. La gran parte de la remoción ocurre en los primeros metros a la entrada, debido a las condiciones tranquilas y a la poca profundidad del agua en el sistema (Silva y Zamora, 2005).

El rendimiento de eliminación de la materia en suspensión tanto en sistemas de flujo libre como en sistemas subsuperficiales suele ser normalmente mayor del 90%, produciendo efluentes con concentraciones menores de 20 mg/l de forma sistemática (Osnaya, quien citó a García y Corzo, 2008).

- **Remoción de nitrógeno**

La remoción de nitrógeno puede ser muy efectiva en ambos tipos de sistemas de humedales artificiales y los principales mecanismos de eliminación son similares para los dos casos. Aunque ocurre la asimilación de nitrógeno por parte de las plantas, solo

una pequeña fracción del nitrógeno total puede ser eliminada por esta vía (aproximadamente 10% y solamente si hay poda de planta). La remoción general de nitrógeno en humedales puede alcanzar valores por encima del 80% (Rodríguez, 2008).

La nitrificación/desnitrificación es la principal vía para remover nitrógeno en estos sistemas. Los humedales artificiales alimentan el proceso de desnitrificación usando fuentes de carbón derivadas de la biomasa producida dentro del humedal, las remociones de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) menor a 10 mg/l (EPA, 1988).

La nitrificación es realizada por bacterias autótrofas aeróbicas que aprovechan el poder reductor del amonio y éste se convierte en nitrato. La nitrificación requiere de 4,6 mg de oxígeno por cada miligramo de amonio (Expresado como nitrógeno). La reacción de la desnitrificación permite eliminar el nitrato formado previamente por la nitrificación y convertirlo en nitrógeno gas. Esta reacción sólo ocurre en condiciones anóxicas y en presencia de materia orgánica, ya que es realizada por bacterias heterotróficas (Osnaya, quien citó a García y Corzo, 2008).

Debido a que en las aguas residuales la mayor parte del nitrógeno se encuentra en estado reducido, para que ocurra remoción de nitrógeno en forma de compuestos gaseosos, es necesario que ocurra la nitrificación primero y luego la desnitrificación. Por otra parte, para que ocurra la nitrificación se requiere que se haya removido la mayor parte de la DBO (a menos de 20 mg/L); sin embargo, para la desnitrificación se requiere que haya una cierta cantidad de materia orgánica, se estima que se requieren entre 5.9 mg/l de DBO para desnitrificar 1 g de  $\text{N-NO}_3^-$ . La mayor fuente de materia orgánica utilizada en los humedales para la desnitrificación son los detritos de plantas y otras fuentes naturales, es por esto que generalmente los sistemas con flujo libre son más eficientes que los sistemas con flujo subsuperficial en la remoción de nitrógeno (Rodríguez, 2008).

### ○ **Remoción de fósforo**

En muchos humedales la remoción no es muy efectiva porque el contacto entre el agua residual y el suelo (cuando el sistema está en contacto con la tierra) es limitada. Por lo tanto se puede diseñar lechos sumergidos que sirvan de material de soporte. La presencia de arcilla, hierro y aluminio aumenta el potencial para remover fósforo. El uso de tal medio, sin embargo, reduce la capacidad hidráulica y requiere un área más grande para el tratamiento (Rodríguez, 2008).

### ○ **Remoción de metales**

Hay pocos datos disponibles sobre la capacidad de remoción de los humedales de flujo superficial; porque el mecanismo de remoción es similar al descrito anteriormente para el fósforo, la respuesta no es muy efectiva. En sistemas de flujo subsuperficial la remoción de metales puede ser muy efectiva porque hay más oportunidad de contacto y absorción. El mecanismo de remoción predominante en el humedal artificial es atribuido al fenómeno de precipitación-absorción. La precipitación aumenta con el metabolismo del humedal el cual incrementa el pH del agua ácida del efluente para alcanzar la neutralización. La remoción de cobre, zinc y cadmio son del 99, 97 y 99% respectivamente, para un tiempo de detención de 5.5 días en humedales en Santee, California (EPA, 1988).

### ○ **Remoción de patógenos**

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales a tratar se eliminan en los humedales artificiales por diferentes mecanismos, destacando entre ellos (Osnaya, 2012, quien citó a Gómez, n/d).

- La absorción de los patógenos sobre las partículas del sustrato filtrante
- La toxicidad que sobre los organismo patógenos ejercen los antibióticos producidos por las raíces de las plantas
- La acción depredadora de bacteriófagos y protozoos

En el caso de los humedales con flujo libre, las radiaciones ultravioletas también pueden provocar la muerte de los patógenos (Rodríguez, 2008).

Según Osnaya (2012), quien citó a Gómez (n/d), generalmente los humedales pueden reducir coliformes fecales en uno o dos órdenes logarítmicos, en algunos casos se han obtenido 200 UFC/100 ml o menos. La eliminación de coliformes fecales se ajusta a modelos de cinética de primer orden, lográndose la mayor parte del abatimiento en los primeros tramos de los humedales de forma que hacia la mitad de los mismos ya se han removido cerca del 80% de estos microorganismos. Cuando se presentan eventos intensos de lluvia, los picos de caudal incluyen negativamente en la eficiencia de remoción de coliformes fecales. Por este motivo, la mayoría de los sistemas de humedal utilizan alguna forma de desinfección final.

- **Tratamiento preliminar**

Tanto para humedales de flujo superficial, como subsuperficial, se usa y se recomienda tratamiento preliminar. Este puede estar dado por tanques sépticos, tanques Imhoff, lagunas, tratamiento preliminar convencional o sistemas similares. (Escot, 2014).

Estas operaciones tienen por objeto reducir la concentración de los sólidos orgánicos difícilmente degradables que de otra manera se acumularían en la zona de entrada del humedal y que producirían atascamientos, posibles olores y efectos negativos en las plantas de esta zona. Un reactor anaeróbico preliminar podría ser útil para reducir la carga orgánica y el contenido de sólidos de una agua residual industrial muy concentrada (Osnaya, 2012).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Materiales y recursos

Para la realización de la presente investigación fue necesaria la utilización de los siguientes materiales.

- ✓ Cuatro costales.
- ✓ GPS.
- ✓ Un metro cúbico de tierra arcillosa.
- ✓ Una barreta de 1.5 metros de largo.
- ✓ Dos lazos de 2 metros de largo.
- ✓ Un cronómetro.
- ✓ Un envase para la toma de muestra.
- ✓ Hielera.
- ✓ Hielo.
- ✓ Dos pares de guantes desechables.
- ✓ Dos pares de mascarillas.
- ✓ Un análisis de laboratorio de aguas residuales.
- ✓ Vehículo tipo motocicleta.
- ✓ Estación total.
- ✓ Computador.
- ✓ Lápiz.
- ✓ Libreta de campo.
- ✓ Una calculadora.
- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Servicios profesionales de biología (RNPG).
- ✓ Dos periódicos.
- ✓ Una botella de alcohol de 200 ml.
- ✓ Dos jornadas de viáticos.
- ✓ Cuatro jornales laborales.
- ✓ Dos noches de hotel.
- ✓ Un estudiante EPS.
- ✓ Dos días de alimentación.

El costo de los materiales y recursos utilizados fue distribuido entre cooperaciones realizadas por organizaciones como las Reservas Naturales Privadas de Guatemala (RNPG) quienes colaboraron con asesoría técnica en biología para la identificación de macrófitas endémicas de la región para utilizarse en humedal artificial, así como la Mancomunidad de municipios de la Cuenca del río el Naranjo (MANCUERNA) quienes realizaron los análisis de laboratorio en las aguas residuales muestreadas, los materiales para esta última práctica fueron cubiertos por el investigador y la administración municipal de Nuevo Progreso, al cubrir los jornales laborales de los

colaboradores para la realización de aforos y muestreo en aguas residuales, así como los gastos varios concernientes a viáticos, hospedaje y alimentación.

## **2. Métodos**

En adelante se presentan los métodos que fueron utilizados para el diseño de sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial, siendo preferible su implementación debido a que presenta como principales ventajas el no requerir de energía eléctrica ni mantenimientos que demanden personal altamente calificado; además, en general según EPA (2000) estos pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener que los procesos mecánicos de tratamiento. En el tema de impactos al entorno este se caracteriza por no generar problemas con mosquitos e insectos vectores de enfermedades. Según lo planteado por Osnaya (2012) se siguen los lineamientos generales para el diseño:

### **2.1. Descripción del sector donde se ubicará el humedal**

Para el caso de la propuesta de humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la descarga ubicada en el sector La Floresta camino que conduce a la Finca Marina, provenientes de la cabecera municipal de Nuevo Progreso, San Marcos se recomendó ubicar el sistema en los alrededores del punto de vertido al cuerpo receptor conocido como río San Luis.

Por lo anterior, el conocimiento de las características básicas del territorio (clima, vegetación, orografía, etc.) proporcionó información sobre algunos aspectos que son de relevancia para el proyecto. Una búsqueda mediante revisión bibliográfica del diagnóstico realizado con anterioridad por la Unidad Municipal de Gestión Ambiental y Reducción de Riesgos (UMGARR) del municipio de Nuevo Progreso y el autor de este documento durante el presente 2014, así como la recolección de datos propios del sitio permitió obtener la información requerida.

Según Silva y Zamora (2005), se tomaron en cuenta las principales características para la localización preliminar del proyecto de sistemas de humedales artificiales, estas particularidades incluyeron la topografía, el suelo, el uso actual de los terrenos, el riesgo

de inundación y el clima. Estos factores se abordaron dentro de la Evaluación Ambiental Inicial (EAI) que se realizó del proyecto (ver anexo 5).

### **2.1.1. Topografía**

Se buscó orientar la ubicación del sistema en un terreno apto para la instalación de un sistema de terrenos pantanosos, estas áreas se consideran las de características topográficas uniformes horizontal o en ligera pendiente. Esto fue fundamentado en lo mencionado por Silva y Zamora (2005), quienes indican que los humedales de flujo subsuperficial deben ser diseñados y construidos con pendientes del uno por ciento o superiores. Es importante mencionar que según los autores es posible construir humedales en terrenos de más pendiente y con topografía más irregular, sin embargo; se reconoce que el movimiento de tierras infla el costo de construcción.

### **2.1.2. Suelo y uso del terreno de posible ubicación**

Se previno la infiltración de vertidos sin tratamiento a los mantos freáticos, considerando la impermeabilización de las canoas que se establecieron en el diseño del humedal, para ello se cuantificó la cantidad de concreto requerido.

### **2.1.3. Riesgo de inundación**

La ubicación fue considerada de tal forma que fuera lejana a las comunidades, particularmente las que se encuentran por debajo del sistema de tratamiento. Los riesgos por inundación fueron considerados ubicando el sistema en un lugar sobresaliente en la topografía del sitio, de tal forma que no se tuviera tendencia de acumulación de agua en el lugar. Adicionalmente se delimitó la micro cuenca que aporta escorrentía mediante la utilización de software SIG a la posible área de ubicación del sistema.

### **2.1.4. Clima**

Inicialmente en el proceso fue necesario caracterizar las condiciones climáticas de la región donde se ubicó el sistema, lo anterior considerando que el rendimiento del proceso de tratamiento es muy sensible a la temperatura, ya que los principales

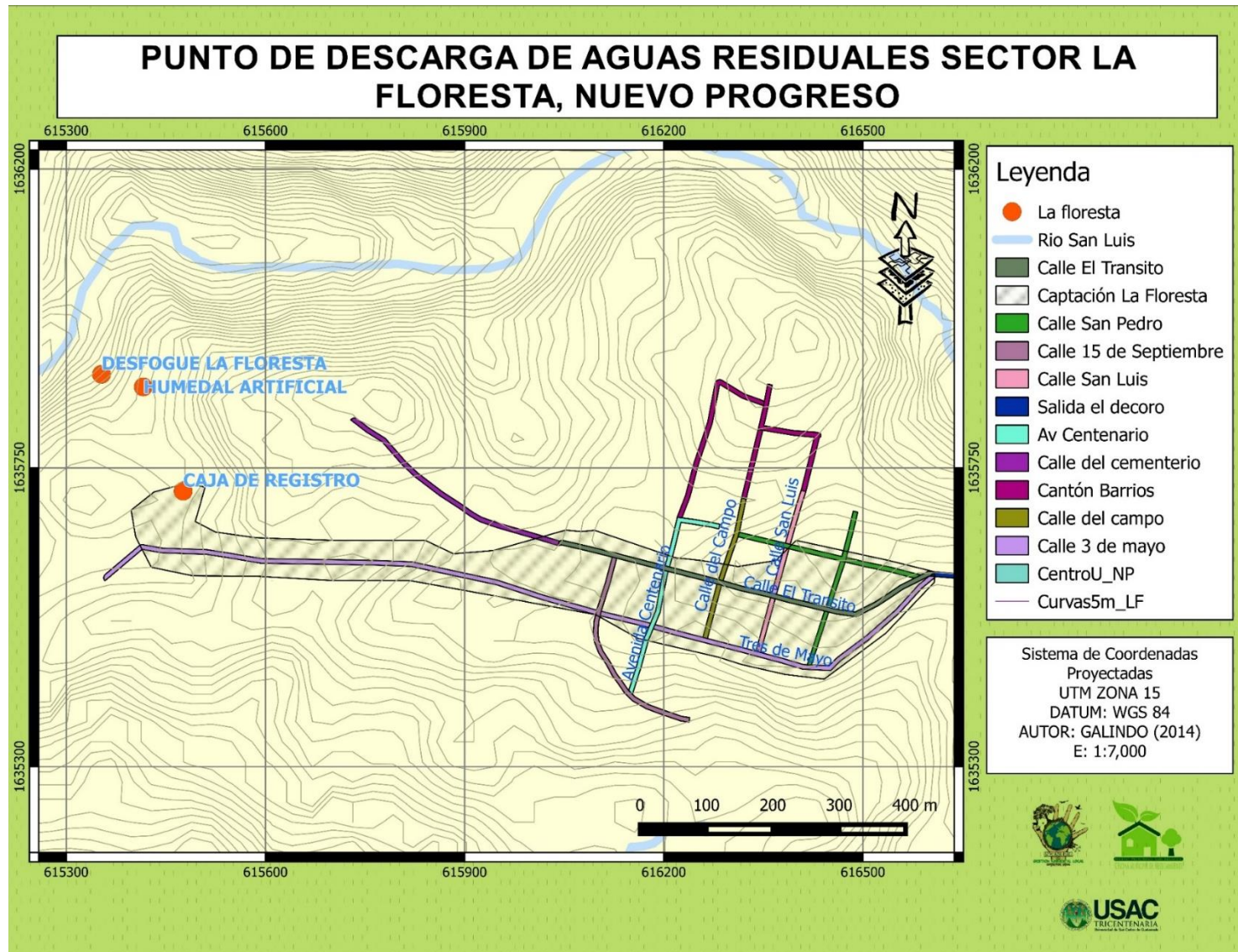
mecanismos de tratamiento son biológicos. Sin embargo, cabe resaltar que según Silva y Zamora (2005) la afección de las bacterias degradadoras solo se da normalmente en climas fríos extremos.

## **2.2. Proyección de la población a la que atenderá el sistema de tratamiento de aguas residuales**

Para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales fue necesario determinar la población futura del sector del centro urbano de Nuevo Progreso, San Marcos que aportará sus vertidos al final del periodo de diseño (proyección 15 años, Rosse, 2013), ya que será esta la población a utilizar en el cálculo de factores que serán empleados para el dimensionamiento del humedal.

La estimación de la población se realizó utilizando información del Centro de Atención Permanente (CAP, 2013) del municipio, quienes cuentan con un censo del número de casas y habitantes del año 2012, del mismo se extrajo la información concerniente a los sectores que vierten al punto de descarga del sector La Floresta, siendo estos las calles: tres de mayo, del Tránsito; parte de la calle San Pedro, 15 de septiembre, San Luis, Rabanales y avenida Centenario, (ver figura 8).

La relación de los elementos con el período de diseño se consideró importante ya que este tiene influencia directa con el rendimiento del sistema, así como implicaciones de tipo económico. La proyección de la población se realizó utilizando las tasas de incremento medio anual en porciento expresadas por el Instituto Nacional de Estadística y en base al Censo 2002 de Guatemala.



**Figura 8. Área servida por el drenaje que descarga al punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. El autor (2014).**

### **2.3. Medición y cálculo de caudal**

Previamente se cuenta con aforos realizados con fines de elaboración del estudio técnico del punto de descarga ubicado en el sector la floresta, donde se indica un caudal promedio de 4.45 L/s en época de verano, basándose en un consumo de 150L.hab/día y estimando un retorno del 80% en forma de aguas residuales. Sin embargo, este dato fue verificado realizando mediciones volumétricas, para lo que se ubicó la última caja de registro ubicada a 200 metros del punto de descarga (ver figura 8), la cual reúne los efluentes de los drenajes de la calle tres de mayo, del Tránsito; parte de la calle San Pedro, 15 de septiembre, Campo, San Luis y Rabanales y avenida Centenario, todas las anteriores ubicadas en el centro urbano del municipio de Nuevo Progreso.

### **2.4. Caracterización de las aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso**

Para la caracterización de las aguas residuales producidas en el sector se utilizaron como punto de referencia los registros presentados en el estudio técnico realizado por Téllez (2013) (ver anexo 7), mismo que por normativa (Acdo. Gubernativo 236-2006) se ejecutó por medio del gobierno municipal para el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta. Adicionalmente se actualizaron los valores obtenidos por medio de la toma de muestras de los vertidos para análisis de laboratorio en las instalaciones del laboratorio de aguas de la Mancomunidad de municipios de la Cuenca del río el Naranjo (MANCUERNA).

Para la normativa nacional vigente deben de realizarse determinaciones para 20 parámetros aplicables, los mismos se listan a continuación como punto de referencia, dado que únicamente fueron reevaluados para el presente estudio los concernientes a cuatro de ellos, siendo estos: Coliformes fecales, sólidos suspendidos totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DBO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO<sub>5</sub>), considerando que estos son los principales contaminantes según el estudio técnico, además de ser los valores sobresalientes para el diseño del sistema de tratamiento.

Es sobresaliente mencionar además, que en el estudio técnico del punto de descarga del Sector La Floresta, mencionado con anterioridad; se indica por parte de Téllez (2013) que los metales pesados se encuentran exentos de medición en base a lo normado en el artículo 12 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 (ver anexo 7), Reglamento de las Descargas, Reúso y Disposición de Lodos de la República de Guatemala.

**Cuadro 16. Parámetros normados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, aplicable para el ente generador: municipalidad de Nuevo Progreso, San Marcos.**

• Temperatura	• Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días	• Cadmio	• Níquel
• Potencial de hidrógeno	• Demanda química de oxígeno	• Cianuro total	• Plomo
• Grasas y aceites	• Nitrógeno total	• Cobre	• Zinc
• Materia flotante	• Fósforo total	• Cromo hexavalente	• Color
• Sólidos suspendidos totales	• Arsénico	• Mercurio	• Coliformes fecales

**Fuente. Acuerdo Gubernativo 236-2006, Guatemala.**

**2.4.1. Muestreo de aguas residuales**

Se realizó únicamente un monitoreo de aguas residuales de verificación, por motivos de factibilidad económica para la municipalidad de Nuevo Progreso ya que estos fueron los patrocinados por la Mancomunidad de la Cuenca del Río El Naranjo (MANCUERNA). Cabe resaltar que legalmente se reconoce lo establecido en el estudio técnico mencionado con anterioridad. El muestreo de residuos líquidos fue tomado de forma compuesta e integrados en el tiempo (Acuerdo Ministerial 105-2008), es decir se conformó por tres muestras simples de volumen constante recogidas en el mismo lugar en intervalos de tres horas, entre las 6:00 y 12:00 P.M.

#### **2.4.1.1. Recipientes indicados para toma de muestras de parámetros específicos**

Según lo requerido por el laboratorio de agua de la MANCUERNA, mismo en el que se evaluó la muestra de agua del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, para las determinaciones físico-químicas evaluadas para el presente estudio (DBO, DQO, SST) fue necesario utilizar una botella plástica estéril de 2000 ml., además de una bolsa whirl-pak para las determinaciones realizadas para coliformes.

#### **2.4.1.2. Captación de muestras de aguas residuales**

Conforme lo establecido en el Acuerdo Ministerial 105-2008, para la obtención de muestras representativas de aguas residuales y aguas para reúso se efectuó el muestreo de acuerdo a las siguientes instrucciones:

- En el centro del flujo, donde la velocidad es mayor y se reduce la posibilidad de asentamiento de sólidos.
- Donde exista la menor turbulencia.
- En curvas o en pendientes mayores al 5%.
- Muestras libres de presencia de espuma.
- Evitando muestrear la superficie o raspar el fondo de la corriente.
- Asegurando la unificación de caudales para asegurar la uniformidad del efluente.
- Asegurando que la muestra no se tomara aguas arriba donde se acumulan sólidos o aguas abajo donde hay presencia de grasas y aceites.

Los siguientes lineamientos generales se aplicaron al tomar una muestra:

- Examen de la muestra a contracorriente para evitar cualquier alteración.
- Lavado el recipiente tres veces con el agua recogida, previa refrigeración.

#### **2.4.1.3. Preservación de muestras**

Siguiendo las especificaciones recomendadas por el laboratorio de agua de la MANCUERNA, se procedió a utilizar una botella de agua pura con capacidad de 2000

mililitros y una bolsa whirl-pak, sin adicionar ningún preservante químico para ambos casos, dado que la muestra fue entregada el mismo día de recogida. Las prácticas de preservación en el manejo se limitaron al uso de guantes para evitar la contaminación del líquido recogido, así como de asegurar su almacenamiento en refrigeración en una hielera hasta su entrega. Es importante acotar que el envase plástico para determinación físico-química utilizado fue despojado del tapón sellado hasta el momento previo en que se hizo necesario cambiar el contenido (agua purificada) por aguas residuales.

## **2.5. Diseño del sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso**

La sección de un humedal artificial como sistema para el tratamiento de las aguas residuales de la descarga del sector La Floresta provenientes del centro urbano del municipio de Nuevo Progreso implica una serie de cálculos, de los que se debió partir por determinar constante de temperatura para dimensionar el área superficial requerida, así como los tiempos de retención hidráulica. Con los anteriores se procedió a realizar el diseño hidráulico, los modelos matemáticos a utilizar se presentan en adelante.

### **2.5.1. Pre tratamiento**

El diseño del pre tratamiento estuvo a cargo de un pre profesional de la carrera de arquitectura de la USAC (Conde, 2014), mismo que se compuso de una rejilla de desbaste, un canal desarenador y una trampa de grasas.

### **2.5.2. Laguna anaeróbica**

Para el dimensionamiento de la laguna anaeróbica de tratamiento primario se utilizó el método de Yáñez, según lo establecido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007) para ello fue necesario conocer la temperatura del agua residual, siguiendo el proceso de cálculo en el orden presentada en el cuadro 17.

**Cuadro 17. Ecuaciones para el dimensionamiento de lagunas anaeróbicas.**

Variable a calcular	Ecuación	Donde
Carga orgánica volumétrica	$C_v = 20 \cdot T - 100$	$C_v$ Carga volumétrica
Volumen de la laguna	$V = \frac{S_i \cdot Q}{C_v}$	$V$ Volumen total de la laguna
Área preliminar	$A_p = \frac{V}{h}$	$A_t$ Área total de la laguna
Volumen de lodos	$V_L = 40 \frac{L}{\text{hab/año}} * \text{población}$	$A_p$ Área preliminar
Área Total	$A_T = \frac{V}{h}$	$T$ Temperatura
Ancho de la laguna	$W = \sqrt{\frac{A_T}{X}}$	$S_i$ Concentración DBO en el afluente
Largo de la laguna	$L = W * X$	$Q$ Caudal
		$H$ Profundidad
		$h$ Relación largo/ancho
		$W$ Ancho
		$L$ Largo

Fuente. CONAGUA, 2007.

Para estimar la carga orgánica volumétrica, se aplicó la ecuación de Mara y Pearson, mientras que a la profundidad proyectada de cuatro metros, debió serle adicionado el volumen producto de la acumulación de los lodos que son generados por la población proyectada para el año 2029 (40 L/hab/año), Es importante resaltar que para el proyecto del punto de descarga del sector La Floresta la profundidad es de cuatro metros y se estima un aprovechamiento de 15 años de vida útil para el sistema.

### 2.5.3. Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial

El proceso en que se basaron los cálculos para el dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de Nuevo Progreso, se fundamentaron en lo establecido por EPA (1988), haciendo

hincapié en la remoción de DBO<sub>5</sub> en sistemas de flujo subsuperficial, debido a las características del agua residual observadas en los resultados de análisis de laboratorio presentados en los anexos seis y siete, donde predominó como contaminante de importancia la carga orgánica típica en las aguas residuales municipales. Los cálculos para este caso pueden ser descritos con cinética de primer orden de un flujo pistón como se presenta en la siguiente ecuación,

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T * t) \longrightarrow A_S = \frac{[Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)]}{K_T * d \cdot n}$$

---

Donde:

$C_e$  DBO5 efluente, (mg/L)

$C_o$  DBO5 afluente, (mg/L)

$K_T$  Constante de velocidad de reacción de primer orden, d<sup>-1</sup>

$t$  Tiempo de residencia hidráulico, días

$Q$  Caudal promedio a través del sistema, (m<sup>3</sup>/día)

$d$  Profundidad, m

$n$  Porosidad del lecho, como una fracción

$A_S$  Área superficial del sistema, m<sup>2</sup>

El área de sección transversal para el flujo a través de un sistema subsuperficial es calculado acorde a la siguiente ecuación:

$$A_c = \frac{Q}{k_s * S}$$

Donde:

$A_c$  Área de sección transversal del lecho del humedal, perpendicular a la dirección del flujo, (m<sup>2</sup>).

$d$  Profundidad del lecho, (m).

$W$  Ancho del lecho, (m).

$k_s$  Conductividad hidráulica del medio ( $m^3/(m^2.d)$ ).

$S$  Pendiente del lecho, o gradiente hidráulico (como una fracción decimal).

Mientras que el ancho del lecho se calcula de la siguiente manera:

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

Según EPA (1988), es sobresaliente el hecho que el área de sección transversal y ancho del lecho son independientes de la temperatura (clima) y de la carga orgánica puesto que ellos son controlados por las características hidráulicas del medio. La constante de velocidad dependiente de la temperatura es calculada a partir de la constante de velocidad para 20° Centígrados y el factor de corrección de 1.1. La constante de velocidad  $K_T$  (en  $d^{-1}$ ) a la temperatura del agua  $T$  (en °C) está definida por la siguiente ecuación:

$$K_T = K_{20} * 1.1^{(T-20)}$$

El valor aproximado de la constante de velocidad dependiente de la temperatura a 20 °C ( $K_{20}$ ) para los tipos de medio de soporte que van de arena mediana a gruesa es 1.28  $d^{-1}$ . Basados en datos europeos y datos de Santee, California, citados por EPA (1988), indican los valores de referencia de  $k_{20}$ , porosidad y conductividad hidráulica del medio poroso presentados en la cuadro 18.

**Cuadro 18. Características del material de soporte para el llenado de humedales artificiales de flujo subsuperficial.**

Tipo medio	Max 10% Tamaño del grano, mm	Porosidad $N$	Conductividad hidráulica ( $k_s$ ) $m^3/(m^2.d)$	$K_{20}$
Arena media	1	0.42	420	1.84

Arena gruesa	2	0.39	480	1.35
Arena gravosa	8	0.35	500	0.86

Fuente. EPA, 1988.

#### 2.5.4. Laguna de maduración

Según Sánchez (2011), quien citó a Marais (1974) para el diseño de lagunas de maduración los principales parámetros involucrados son el tiempo de retención y la temperatura, según el autor mencionado se recomienda un tiempo de residencia de cinco a 20 días, con valores de carga orgánica de 17 kg/ha.día (ver cuadro19), las dimensiones pueden estimarse partiendo de la siguiente ecuación:

$$N_e = \frac{N_i}{1 + K_b * t}$$

Donde:

$N_e$ = número de coliformes fecales/100 ml en el efluente

$N_i$ = número de coliformes fecales/100 ml en el influente.

$t$ = tiempo de retención (días).

$K_b$ = constante de velocidad para la eliminación de coliformes (d<sup>-1</sup>). Esta constante se relaciona con la temperatura mediante la expresión:

$$K_b = 2.6 (1.19)^{(T-20)}$$

$T$ = temperatura media del agua (°C).

#### Cuadro 19. Modelo empleado para el diseño de lagunas de pulimiento

Laguna de pulimiento		
Tiempo de Retención; $t$ , d		5-20
Carga orgánica	Superficial kg DBO/ha.d	17
	Volumétrica g DBO/m <sup>3</sup> .d	
Profundidad (m)		0-1.50
Tamaño de la laguna (ha)		0.80-4.0 por celda
Mezclado		Natural

Fuente. EPA, 1988.

## **2.6. Selección de la vegetación a implementar**

La vegetación es uno de los componentes fundamentales de un humedal artificial, por ello se debe tener especial atención al momento de seleccionar la que será implementada. Las plantas encontradas en humedales naturales cerca del sitio donde será implementado el humedal artificial son muy beneficiosas ya que están adaptadas al clima local (Osnaya, 2012).

Para la selección de la vegetación a utilizar en el humedal artificial para el tratamiento de aguas municipales de Nuevo Progreso, San Marcos, se realizaron caminamientos por las riberas del río San Luis, sector donde se recolectaron plantas autóctonas que naturalmente tienen la característica de habitar en sistemas pantanosos. Lo anterior se realizó con el apoyo de las Reservas Naturales Privadas de Guatemala (RNPG), quienes brindaron un profesional en el ramo para la ejecución de dicha actividad.

## **2.7. Materiales requeridos para el diseño del sistema de tratamiento y valoración económica**

Para la elaboración de la presente propuesta se requiere una serie de actividades, que incluyen el muestreo y análisis de laboratorio, mismos que fueron realizados de forma gratuita por la Mancomunidad de municipios de la Cuenca del Río el Naranjo (MANCUERNA), proveyendo al investigador de guantes, mascarillas y hielo. Los materiales requeridos para la construcción del sistema de tratamiento de humedal artificial se presentan en el siguiente capítulo, colocándose como valores de referencia de los costos unitarios de los materiales.

Los materiales que se requieren en mayor cantidad y que tienen costos más elevados son el concreto para piscina, cotizándose en Q232.00 el m<sup>3</sup>, seguido en importancia por el sustrato, cotizado para la presente investigación en forma de piedrín de origen volcánico de 8mm a un costo de Q 150.00 el metro cúbico, el listado de materiales requeridos y los costos estimados para un sistema de tratamiento para el sector la floresta, se observan en el cuadro 20.

**Cuadro 20. Recursos necesarios y costos unitarios estimados para el diseño de un sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales del punto de descarga del sector La Floresta, Nuevo Progreso.**

<b>Recurso</b>	<b>U/M</b>	<b>costo /u</b>
Sustrato	m <sup>3</sup>	Q 150.00
Viáticos	unidad	Q 100.00
Análisis de laboratorio	unidad	MANCUERNA
GPS	unidad	estudiante
Combustible	galón	Q 36.00
Concreto	m <sup>3</sup>	232.5104
Te pvc 2"	unidad	Q 117.70
codo pvc 2"	unidad	Q 80.17
tubo pvc 5"	unidad	Q 182.35
codo 45 2"	unidad	Q 32.41
pegamento pvc	galón	Q 180.40
pegamento contex	cuarto	Q 40.00
codo 4" pvc	unidad	Q 163.31
adapatador macho 4"	unidad	Q 68.57
tapon con rosca 4"	unidad	Q 61.57

**Fuente. El autor, en base a cotizaciones locales varias.**

## **2.8. Evaluación Ambiental Inicial (EAI)**

En la división 90 del Acuerdo Gubernativo 134-2005, listado taxativo de Proyectos, Obras, Industrias o Actividades se ubica el diseño, construcción y operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, que no formen parte de un proceso productivo, clasificándose como un proyecto tipo B2, por lo que se siguió el formato establecido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) aplicable para este caso (ver anexo 5).

## VI. RESULTADOS

### 1. Descripción del sitio propuesto para la construcción del sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.

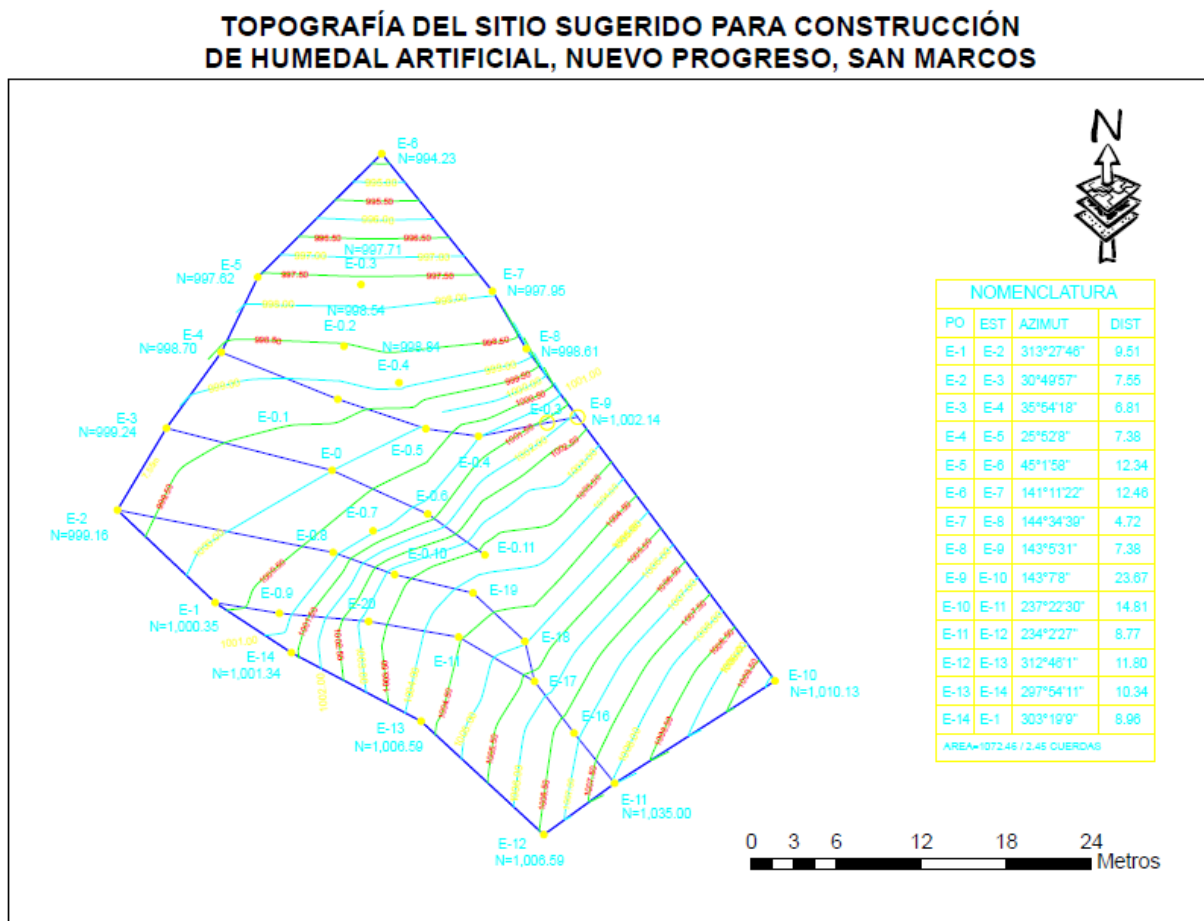
La propuesta para la ubicación del sitio de construcción del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales se encuentra localizado en las coordenadas UTM X= 615352, Y=1635890, a una distancia de 25 metros del punto de desfogue de aguas residuales municipales ubicado en el sector La Floresta. El área actualmente se encuentra ocupada por algunas plantas de café en asocio con árboles frutales. En general, la densidad de la vegetación es baja y alberga productos de subsistencia, las condiciones climáticas de la localidad del centro urbano de Nuevo Progreso que fueron extrapoladas para el diseño del sistema de tratamiento del sector La Floresta registra precipitaciones máximas de 4800 mm anuales y una temperatura media de 25°C.



**Figura 9. Levantamiento topográfico del sitio sugerido para la ubicación del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. El autor, 2014.**

Como se muestra en la figura diez, la topografía del sitio sugerido para la construcción del sistema de tratamiento está comprendida con alturas entre los 995 y 1009.5 metros sobre el nivel del mar, mientras que en referencia a la descripción del sitio, se comprobó en evaluación de propiedades físicas de textura, predominan suelos arcillosos. Es importante denotar que aunque la topografía del sitio es quebrada, fue el lugar con características menos pronunciadas encontrado en el sector cercano al punto de descarga, dado que la reubicación a un sitio con pendientes menores implicaría diseños de drenaje de conducción, y consecuentemente el aumento de los costos implícitos.



**Figura 10. Topografía del sitio sugerido para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. El autor, 2014.**

La pendiente promedio observada en el levantamiento presentado en la figura 10 se ubica en el orden del 25%, mientras que el diseño del humedal artificial se proyectó a un 2% de inclinación. Sin embargo, teniendo en consideración lo mencionado, es importante resaltar que se recomienda como medida de mitigación la utilización del volumen de tierra movido para la nivelación del sitio. Por otro lado, también es sobresaliente el hecho de que la topografía del centro urbano del municipio y sus periferias dificulta el reacondicionamiento de los drenajes en miras a la ubicación del sistema a un sitio menos quebrado, debido a la fisiografía del lugar; es decir, las vertientes para las descargas están ya establecidas y adaptadas a las condiciones, según lo permite el sitio.

Debe considerarse además, que el terreno en cuestión es propiedad privada, sin embargo el propietario se encuentra anuente a negociar la venta del sitio de interés, existiendo disponibilidad también por parte de la municipalidad de Nuevo Progreso para agilizar el proceso de adquisición del lote (Guzmán, 2014).

## **2. Proyección de la población a la que atenderá el sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos**

La información recopilada en recorridos de campo en el centro urbano del municipio, denotó el aporte de vertidos líquidos al punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos por parte de las siguientes arterias: calle tres de mayo; del Tránsito; así como parte de la San Pedro, 15 de septiembre, San Luis, Rabanales y la avenida centenario, (ver figura 8, página 68). La sumatoria de la población de los lugares mencionadas fue realizada en base al censo realizado por el Centro de Atención Permanente (CAP, 2013), e indicó una población de 1548 personas, sin embargo; es importante considerar que la delimitación del sector que se estima es cubierto por el sistema de evacuación de residuos líquidos se basó en consultas a los pobladores de la localidad, debido a que no se cuenta con información oficial (planos) de la red de drenaje, así como de las viviendas precisas que son servidas por este ramal de alcantarillado.

**Cuadro 21. Población servida por drenajes que se conducen al punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

Vía del centro urbano	Habitantes
Calle 3 de mayo	678
Calle del tránsito	364
Calle San Pedro	211
Calle 15 de septiembre	71
Calle San Luis	76
Rabanales	90
Avenida centenario	58
TOTAL	1548

**Fuente. CAP, 2013.**

Los cálculos de población fueron proyectados para un período de 15 años, debido a que según Rosse (2013), este es el tiempo de vida medio para un sistema de humedales artificiales. Se tomó la población de 1548 personas observada durante el año 2012 concibiéndose el año 2029 como el período de caducidad del proyecto, puesto que estaría construyéndose durante 2015.

Para realizar los cálculos, se consideró una tasa de crecimiento con un valor de 2.75 (INE, 2002), utilizando el siguiente proceso descrito a continuación:

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

$$P_{2029} = 1548 \left(1 + \frac{2.25}{100}\right)^{17}$$

$$P_{2029} = 2455 \text{ personas}$$

Donde:

*P<sub>f</sub>* = Población futura

*P<sub>o</sub>* = Población del último censo

*n* = Período de proyección (años)

*r* = tasa de crecimiento

Habiendo realizado los cálculos anteriores, se concluye que la población a la que deberá atender este sistema de tratamiento de aguas residuales municipales del sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos para el año 2029 es de 2,455 personas.

### **3. Medición y cálculo del caudal vertido hacia el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos**

Para estimar el caudal que se vierte al punto de descarga ubicado en el sector La Floresta se procedió a cerrar el paso de la tubería efluente de la última caja de registro, localizada a 200 metros del punto de descarga (ver figura 8, página 68), realizando de forma previa las mediciones debidas para la cubicación de la misma hasta la altura de 1.5 metros a la que se encontró el tubo de conducción del afluente, Las mediciones descritas indicaron un volumen de 1.43 m<sup>3</sup>.

Para la ejecución del trabajo de campo, fue necesaria la colaboración de dos fontaneros municipales, quienes haciendo uso de una barreta a la que se ató un lazo que sostuvo en el extremo opuesto un costal relleno con tierra arcillosa formaron un tapón (ver figura 16), procediéndose a cronometrar el tiempo que duró en llenarse el volumen de la caja de registro cubicado previamente. Cabe resaltar que para realizar los cálculos de caudal, se restó a la capacidad de la caja de registro, la masa de tierra contenida por el costal relleno utilizado.

De este ejercicio (ver figura 11) se obtuvo, como se muestra en el cuadro 21; datos que indican el fluir de un caudal de 22.59 litros por segundo (L/s) hacia la descarga del sector La Floresta. Las mediciones hechas en la caja de registro se realizaron en intervalos de tres horas, partiendo de las 6:00 a.m. y concluyendo a las 3:00 p.m. El flujo máximo observado se da alrededor de las 6:00 de la mañana, cuando se alcanzan los 25 L/s, mientras que este desciende al mínimo de 19 L/s alrededor de las tres de la tarde.

**Cuadro 22. Datos del aforo del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

Horario	Tiempo	Segundos	Promedio	Caudal (Q)	
				m <sup>3</sup> /seg	L/seg
6:00 A.M.	00:57.0	57			
	00:59.1	59			
	1:01	61			
	00:56.6	57			
	00:54.3	54	57.6	0.02482915	24.82915333
9:00 A.M.	1:11	71			
	1:03	63			
	1:15	75			
	1:09	69			
	1:18	78	71.2	0.02008651	20.08650607
12:00 P.M.	1:16	76			
	0:57	57			
	1:09	69			
	1:24	84			
	1:17	77	72.6	0.01969916	19.69916298
03:00 P.M.	1:13	73			
	1:15	75			
	1:09	69			
	1:09	69			
	1:29	89	75	0.01906879	19.06878976
<b>PROMEDIOS</b>			<b>69.1</b>	<b>0.0209209</b>	<b>20.92090303</b>

Fuente. El autor, 2014.

Es importante resaltar la diferencia observada en los datos mencionados en el Estudio Técnico de este punto de descarga, donde mediante estimaciones realizadas por medio de un consumo de agua de 150 litros habitante/día y un porcentaje de retorno del 80% en forma de aguas residuales se estimó la descarga de 4.45 L/s en el drenaje del sector

La Floresta (Téllez, 2013); versus el promedio de 20.9 L/s medido en los aforos descritos en el cuadro 21. La disconformidad entre los valores, tiene fundamento en que según Hidalgo (2014) el sistema de distribución de agua de consumo tiene fugas que aportan cantidades desconocidas hacia los desagües de esta localidad. Además de lo anterior, cabe resaltar que los drenajes son combinados, por lo que también existe aporte por precipitación.

Observando la población proyectada de 2455 personas para el cierre del proyecto (2029), se divisa un aumento en la densidad poblacional del 59%, por lo que relacionando estos valores de forma proporcional se prevé que el volumen de agua a tratar alcance un caudal de 33.26 L/s para el año 2029, siendo esto el equivalente a 286.84 m<sup>3</sup> por día.



**Figura 11. Aforo de las aguas residuales en la última caja de registro previa descarga, en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. El autor, 2014.**

#### **4. Caracterización de las aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso**

Como ya se mencionó con anterioridad, los análisis de las aguas residuales se realizaron en el laboratorio de agua de la Mancomunidad de municipios de la Cuenca del río el Naranjo (MANCUERNA).



**Figura 12. Entrega de muestra de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso al gerente de infraestructura de MANCUERNA, San Marcos, San Marcos.**

**Fuente. Galindo, 2014.**

Las determinaciones realizadas durante los análisis de monitoreo para el diseño del sistema de tratamiento son las correspondientes a los parámetros: Sólidos Suspendedos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y coliformes. Los resultados obtenidos son observables en el cuadro 23 y el anexo seis. Cabe resaltar que la  $DBO_5$  resultó en 110 mg/L, mientras que la DQO lo hizo en 220 mg/L; con lo que teniendo a la vista el artículo 18 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 se categoriza como el tipo de agua residual de carga de materia orgánica muy degradable.

**Cuadro 23. Resultados de análisis de laboratorio del agua residual descargada en el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>RESULTADO DE MUESTRA</b>	<b>LIMITES Acuerdo Gubernativo 236-2006</b>
Conductividad eléctrica	696	100-750 MS/cm a 25°C
SST	348	LMA* 500 LMP* 1,000
DQO	220 mg/l	
DBO	110 mg/l	200 mg/l
Grupo coliforme fecal	> 23 NMP*/100 ml	1x10 <sup>4</sup> NMP/100 ml
<small>*LMA = Límite máximo aceptables. *LMP = Límite máximo permisible. *NMP = Número más probable.</small>		

**Fuente. MANCUERNA, 2014.**

**5. Diseño del sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso**

El sistema de tratamiento para el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, se compone por una fase de pretratamiento dispuesta por un canal desarenador y una trampa de grasas (ver figuras 13 a 16). Posteriormente, se distribuye el caudal en dos partes para ser descargados a la misma cantidad de lagunas anaeróbicas de cuatro metros de profundidad, lo que finalmente se descargará a dos humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial.

Para el dimensionamiento de cada uno de los componentes se tuvo a la vista la carga de entrada y de salida en la DBO del efluente, el caudal distribuido en dos partes ( $Q/2$ ) y la temperatura promedio durante el mes más frío basados en lo expresado por MAGA (2006). Los detalles de los valores utilizados se observan en el cuadro 24.

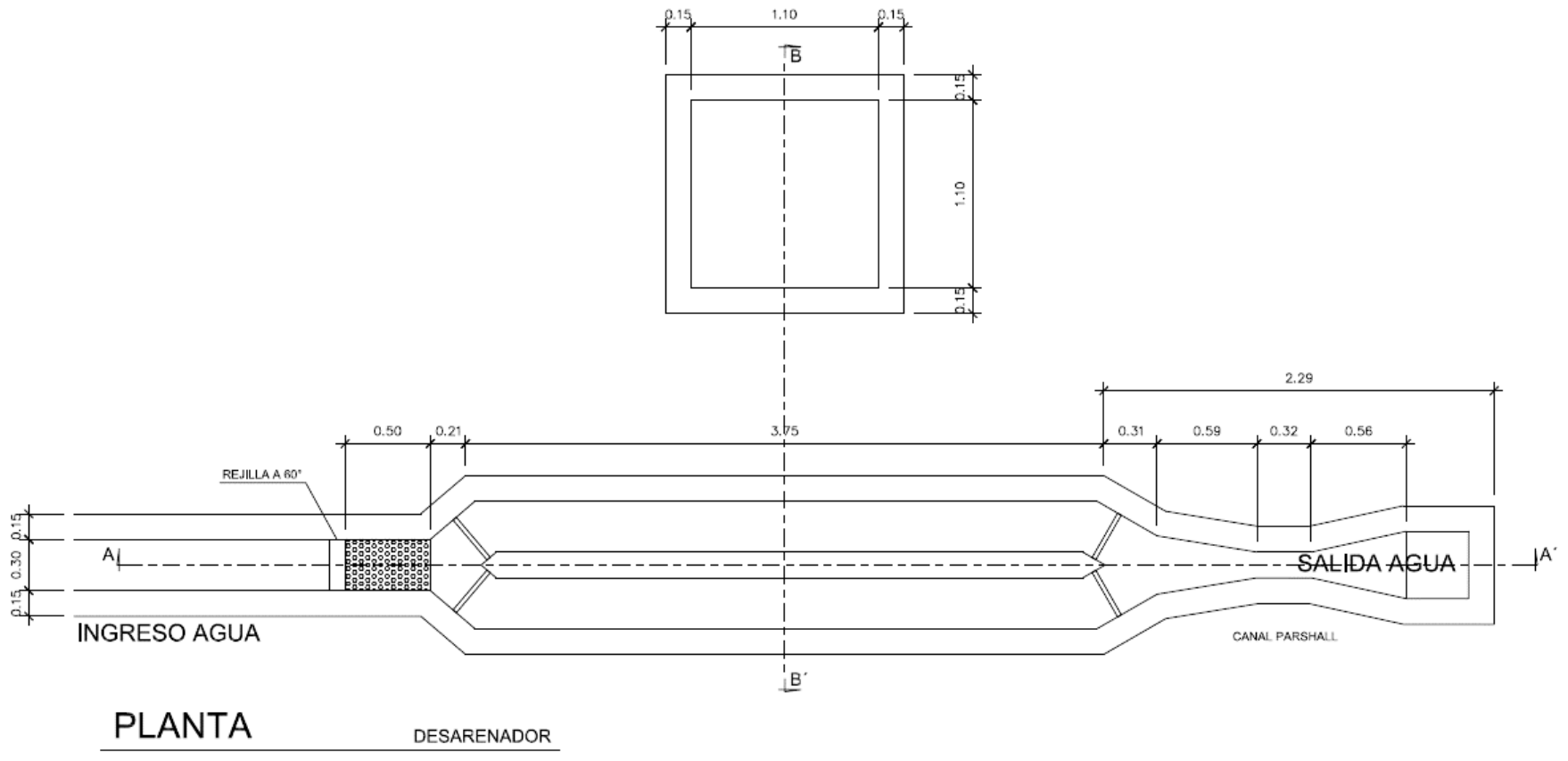


Figura 13. Planta del desarenador del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga del sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.

Fuente. Conde, 2014.

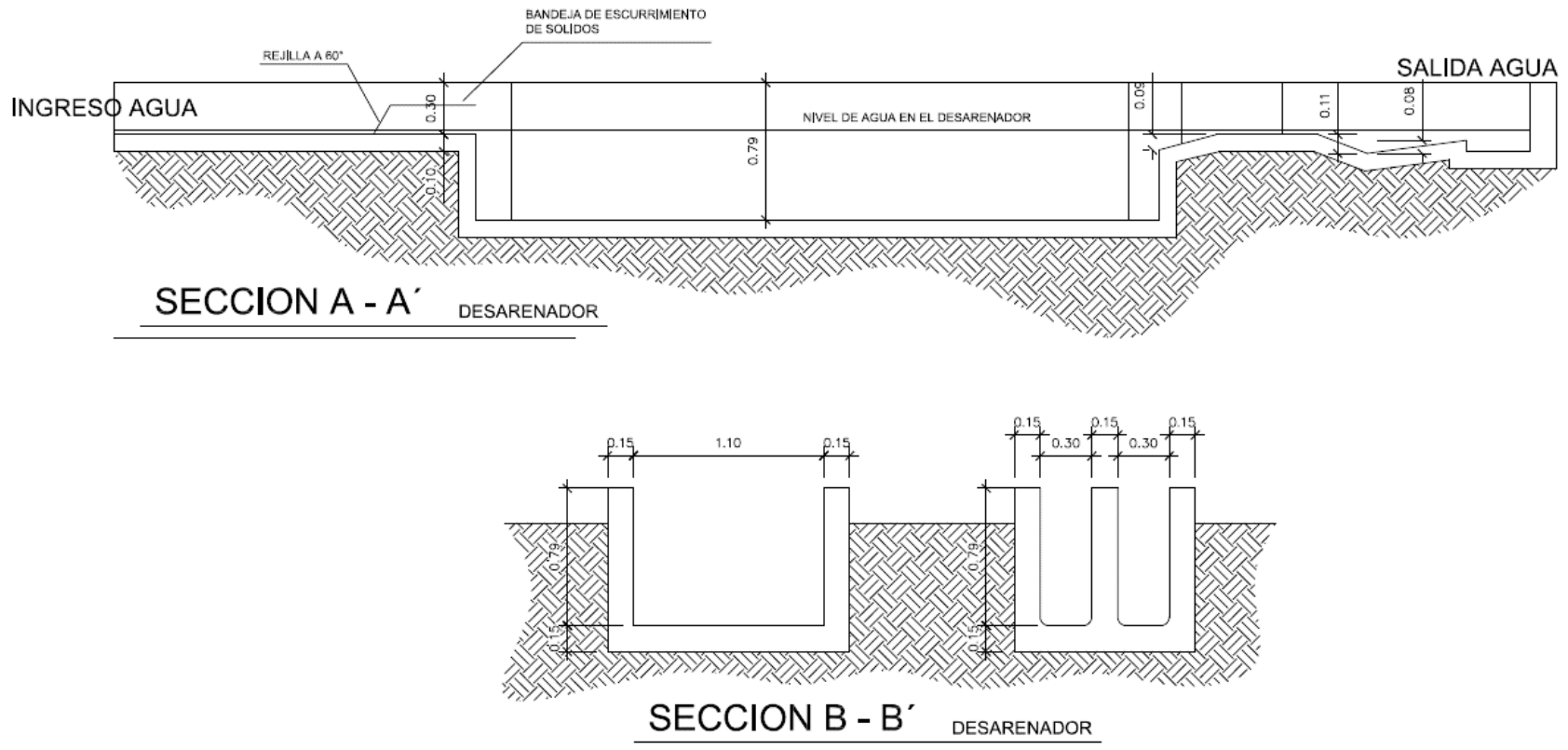
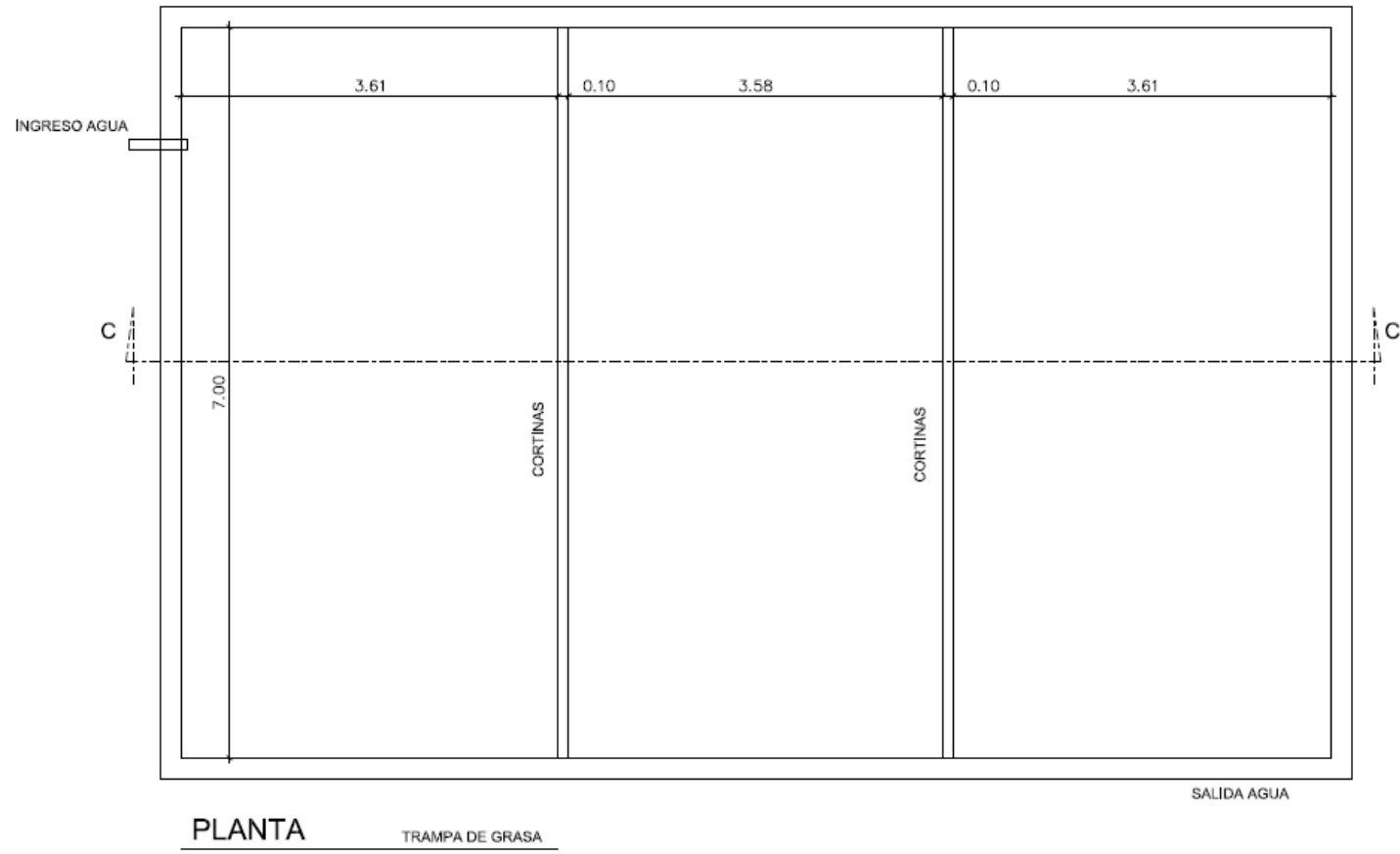


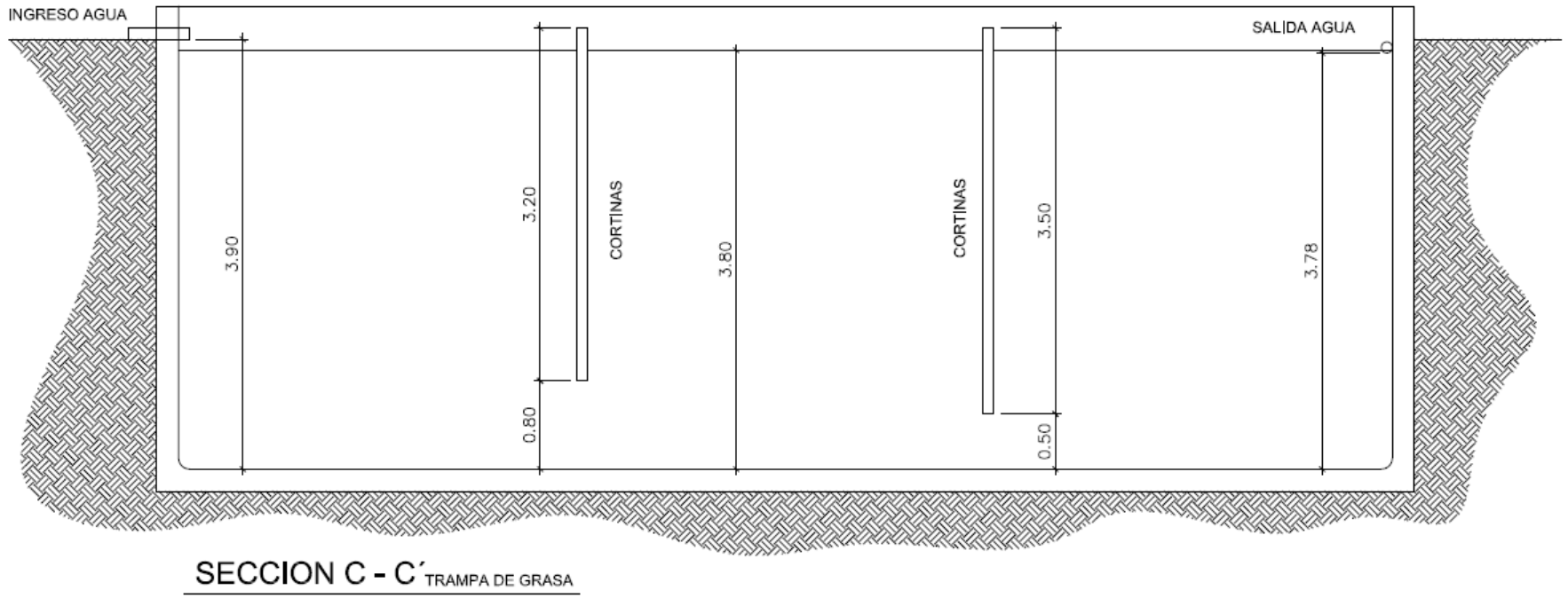
Figura. 14. Corte en sección del canal desarenador del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.

Fuente. Conde, 2014.



**Figura 15. Vista en planta de la trampa de grasas del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. Conde, 2014.**



**Figura 16. Corte en sección de trampa de grasas del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta.**

**Fuente. Conde, 2014.**

**Cuadro 24. Valores generales utilizados para el dimensionamiento del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

Variable	Simbología	Unidad de medida	Valor utilizado
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	DBO	mg/L	110
<b>Caudal</b>	Q <sub>día</sub>	m <sup>3</sup> .día	286.84
	Q <sub>prom</sub>	m <sup>3</sup> /s	0.03326
	Q/2	m <sup>3</sup> /día	143.42
<b>Temperatura promedio</b> (mes más frío)	T	°C	23

**Fuente. El autor, 2014.**

### 5.1. Lagunas anaeróbicas

Posterior al pre tratamiento, se previó la utilización de dos lagunas anaeróbicas con una profundidad recomendada de cuatro metros para evitar malos olores (CONAGUA, 2007), a estas se vierten las aguas residuales municipales con una concentración de 110 mg/L de demanda bioquímica de Oxígeno (DBO). Los cálculos realizados fueron estimados considerando una temperatura media de la región de 23°C en base a la ecuación de Mara y Pearson. Lo anterior indica una capacidad de remoción en carga volumétrica de 260 g/m<sup>3</sup> en las condiciones de la localidad de Nuevo Progreso. Con lo mencionado, se estimó que cada una de las dos lagunas previstas debe tener un volumen de 43.82 m<sup>3</sup>.

Considerando la profundidad máxima de cuatro metros recomendada para la prevención de malos olores (CONAGUA, 2007), como se muestra en el cuadro 25 se prevé un área superficial de 21.9 metros cuadrados para las dos lagunas, a una relación largo ancho de 3:1, las dimensiones de la misma son de 1.91 metros de ancho por 5.73 de largo. Se estimó una remoción del 70% de la carga, para una salida de 33

mg/L de DBO con un período de retención de 0.3 días. Los detalles de las dimensiones de las lagunas anaeróbicas se presentan en la figura 17 y 18.

**Cuadro 25. Valores obtenidos del dimensionamiento de lagunas anaeróbicas para el tratamiento de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

Variable	Simbología	Unidad de medida	Valor utilizado	Valor calculado
Volumen	V	m <sup>3</sup>		43.82
Ancho	W	m		1.91
Largo	L	m		5.73
Profundidad		m	4	
Área superficial	A <sub>s</sub>	m <sup>2</sup>		10.95
Tiempo de retención hidráulica	TRH	Hrs		7.33
Carga Volumétrica	C <sub>v</sub>	g/m <sup>3</sup> .día	360	
Concentración DBO afluente	S <sub>i</sub>	g/m <sup>3</sup>	110	
Porcentaje eliminación DBO		%		70

Fuente. El autor, 2014 en base a CONAGUA, 2007.

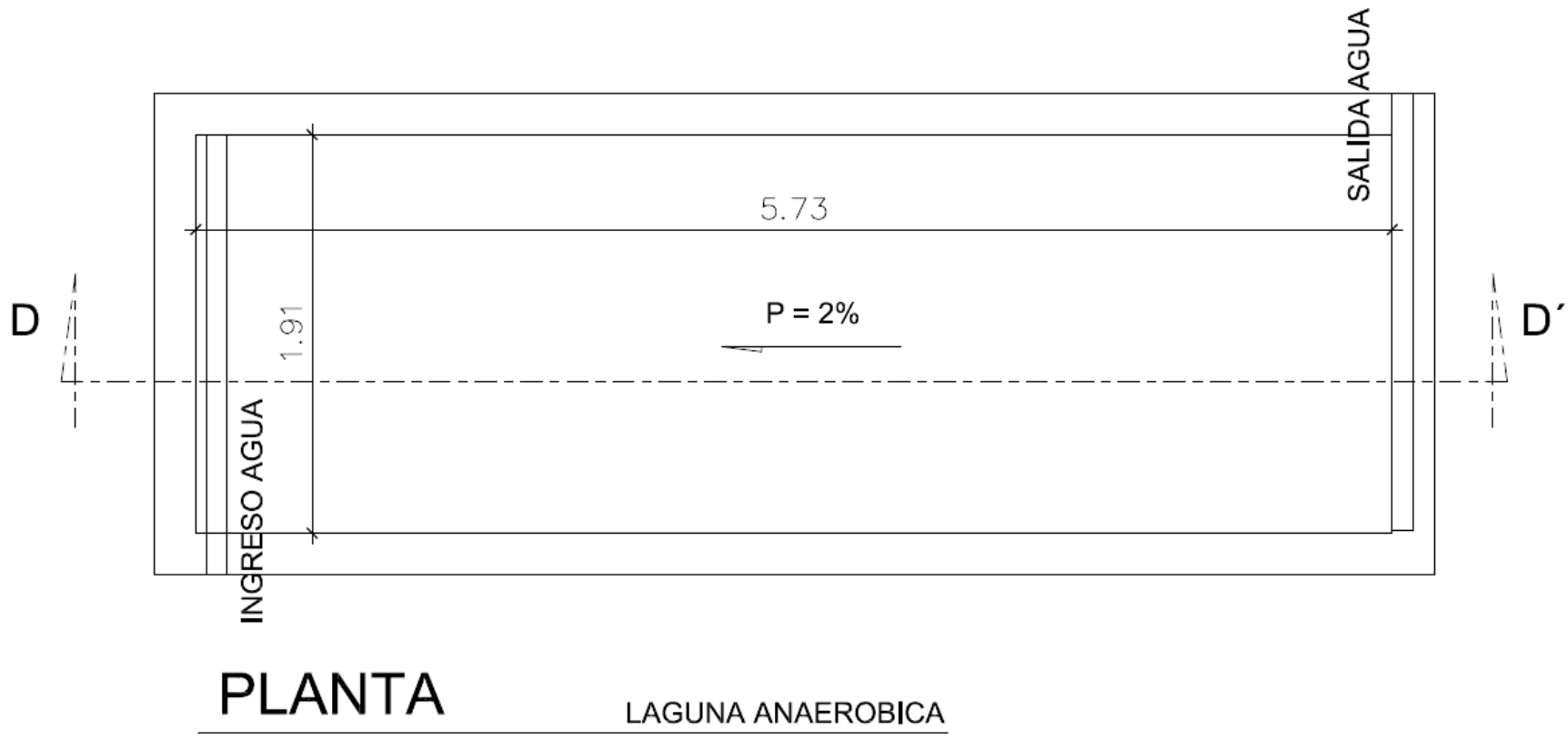
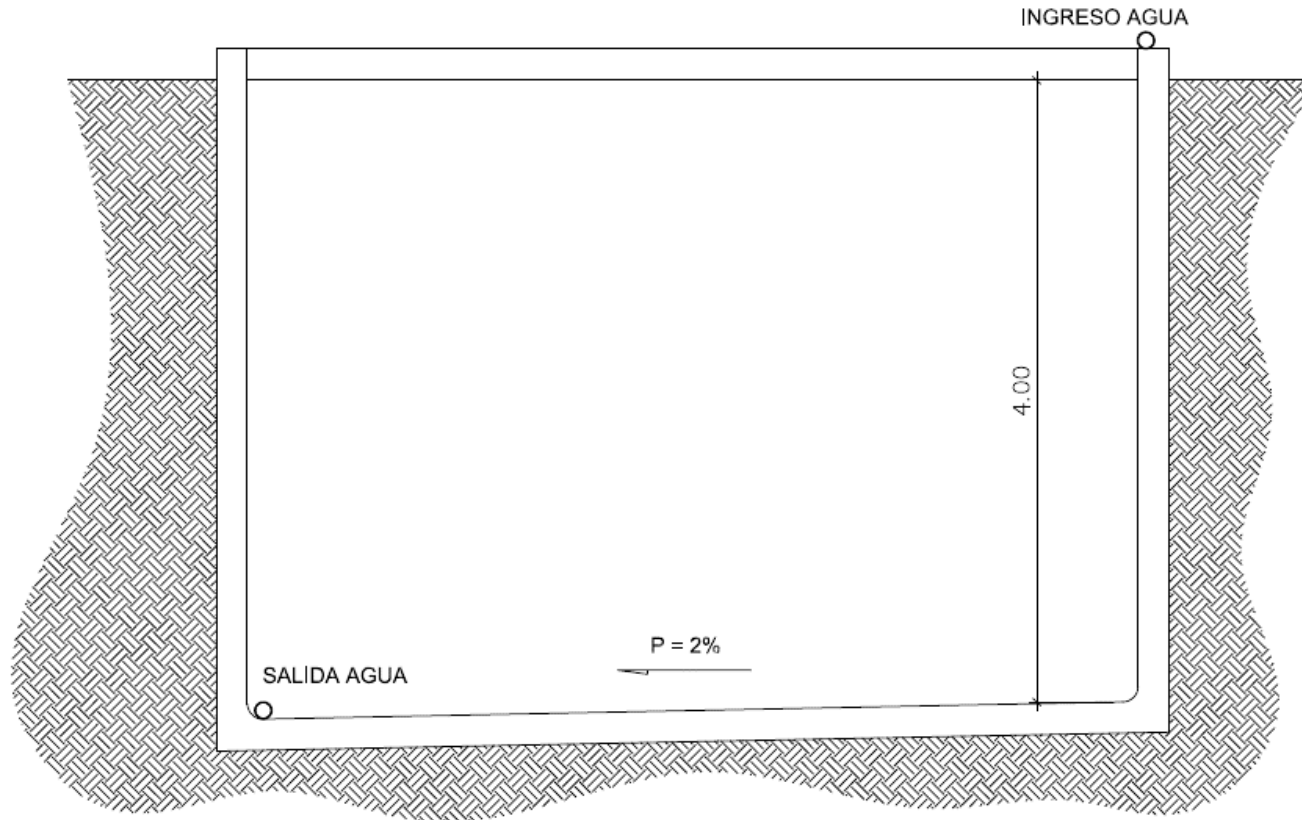


Figura 17. Corte en planta de laguna anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.

Fuente. Conde, 2014.



SECCION D - D' LAGUNA ANAEROBICA

**Figura 18. Corte en sección de laguna anaeróbica del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. Conde, 2014.**

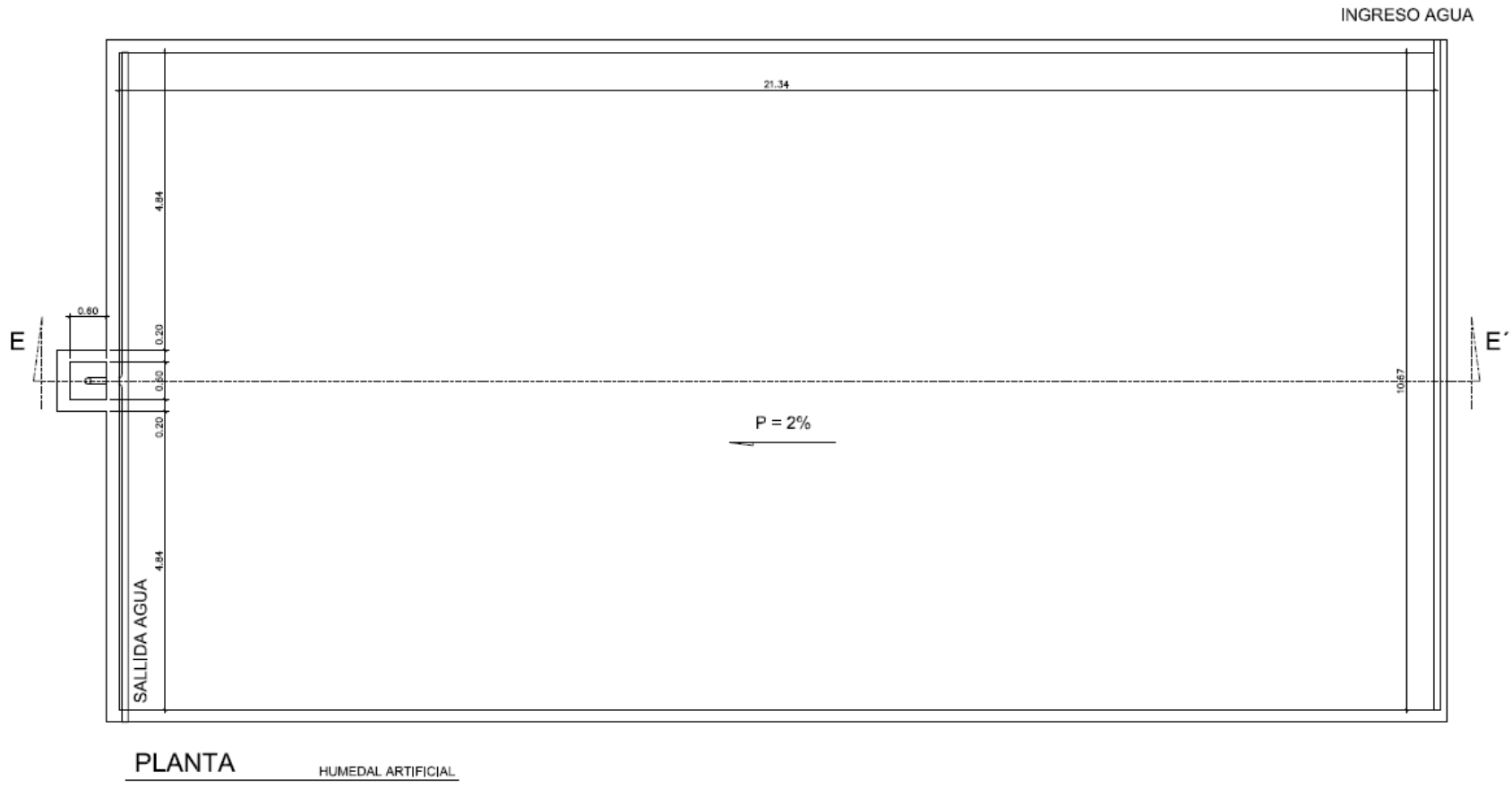
## 5.2. Humedal Artificial

Considerando una DBO remanente de 33 mg/L para esta parte del sistema de tratamiento de aguas residuales, se estima que se debe contar con dos humedales artificiales que tengan una extensión de 227.86 metros cuadrados cada uno, con una profundidad de 0.9 metros, y un sustrato de 8 milímetros. Bajo estas condiciones se obtendría un efluente con una concentración de 20 mg/L, lo que colocaría al ente generador municipalidad de Nuevo Progreso en cumplimiento para la etapa cuatro de la normativa nacional vigente para el punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, en todos sus parámetros, a excepción de coliformes. Los detalles de los humedales artificiales se observan en las figuras 19 a la 23.

**Cuadro 26. Valores obtenidos del dimensionamiento de cada humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

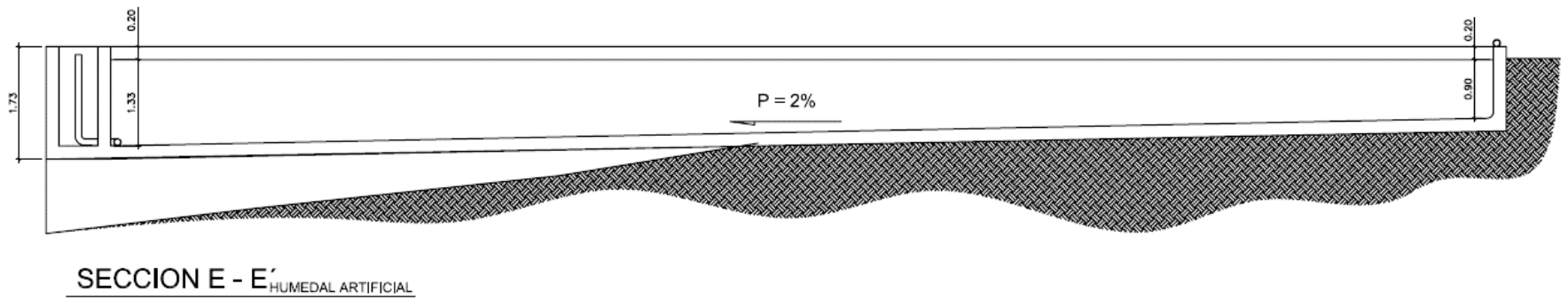
Variable	Simbología	Unidad de medida	Valor utilizado	Valor calculado
Ancho	W	M		10.67
Largo	L	M		21.34
Área superficial	A <sub>s</sub>	m <sup>2</sup>		227.86
Profundidad del flujo	d <sub>w</sub>	M	0.9	
Área Hidráulica	A <sub>H</sub>	m <sup>2</sup>		9.603
Tiempo de retención hidráulica	TRH	días		0.5
Coeficiente de remoción DBO que depende de la temperatura	K <sub>T</sub>	d <sup>-1</sup>	0.86(1.1 <sup>(T-20)</sup> )	1.385038
Concentración DBO afluente	C	mg/L	40	
Concentración DBO efluente	C <sub>o</sub>	mg/L	20	
Tipo de medio	Arena gravosa	mm	8	
Relación de espacio vacío respecto al número de plantas (Porosidad)	η		0.35	
Pendiente	S	decimal	0.02	
Conductividad Hidráulica (Grava 8 mm)	K	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d)	500	

**Fuente. El autor, 2014 en base a Osnaya, 2012.**



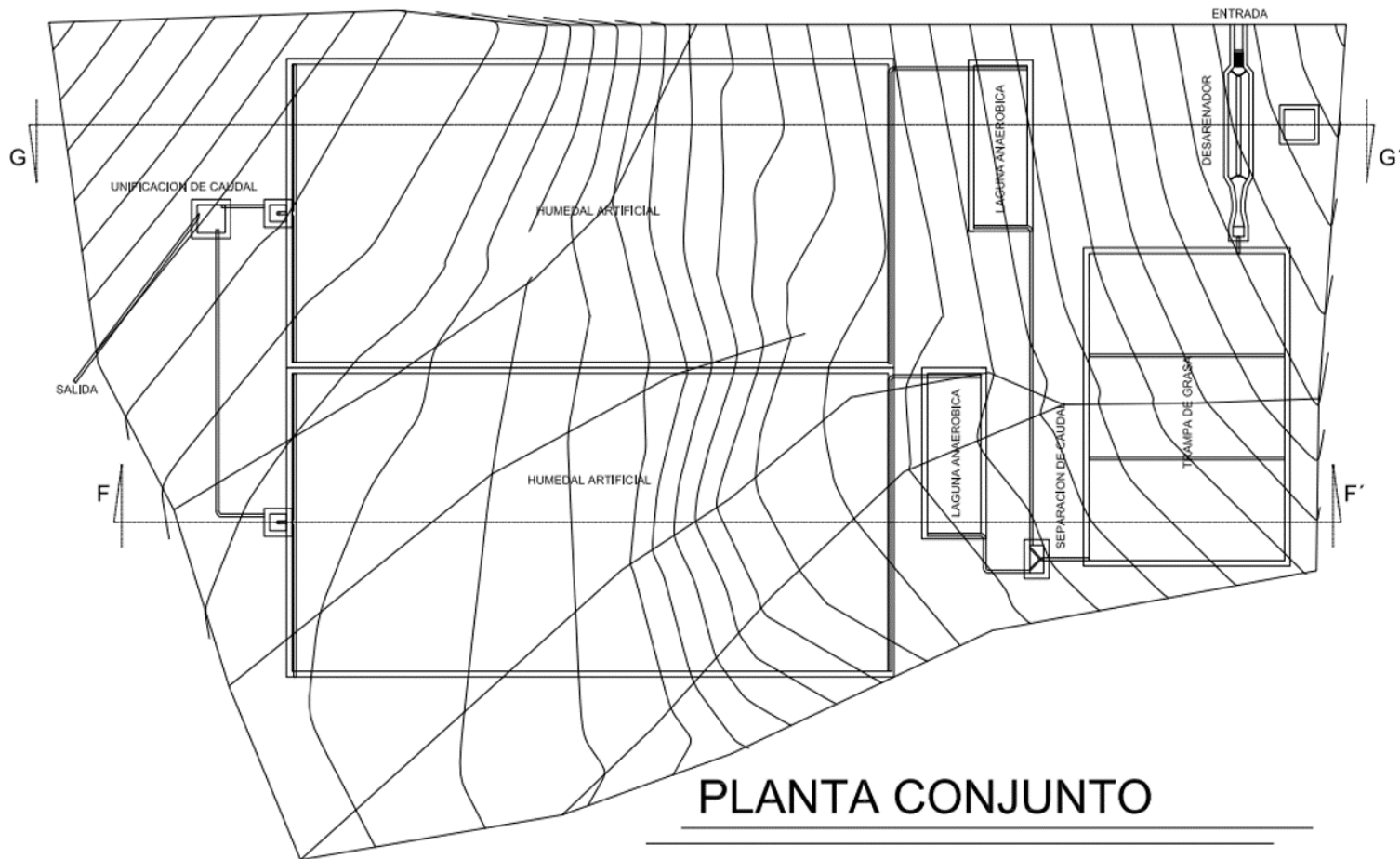
**Figura 19. Vista en planta del humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales vertidas en el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. Conde, 2014.**



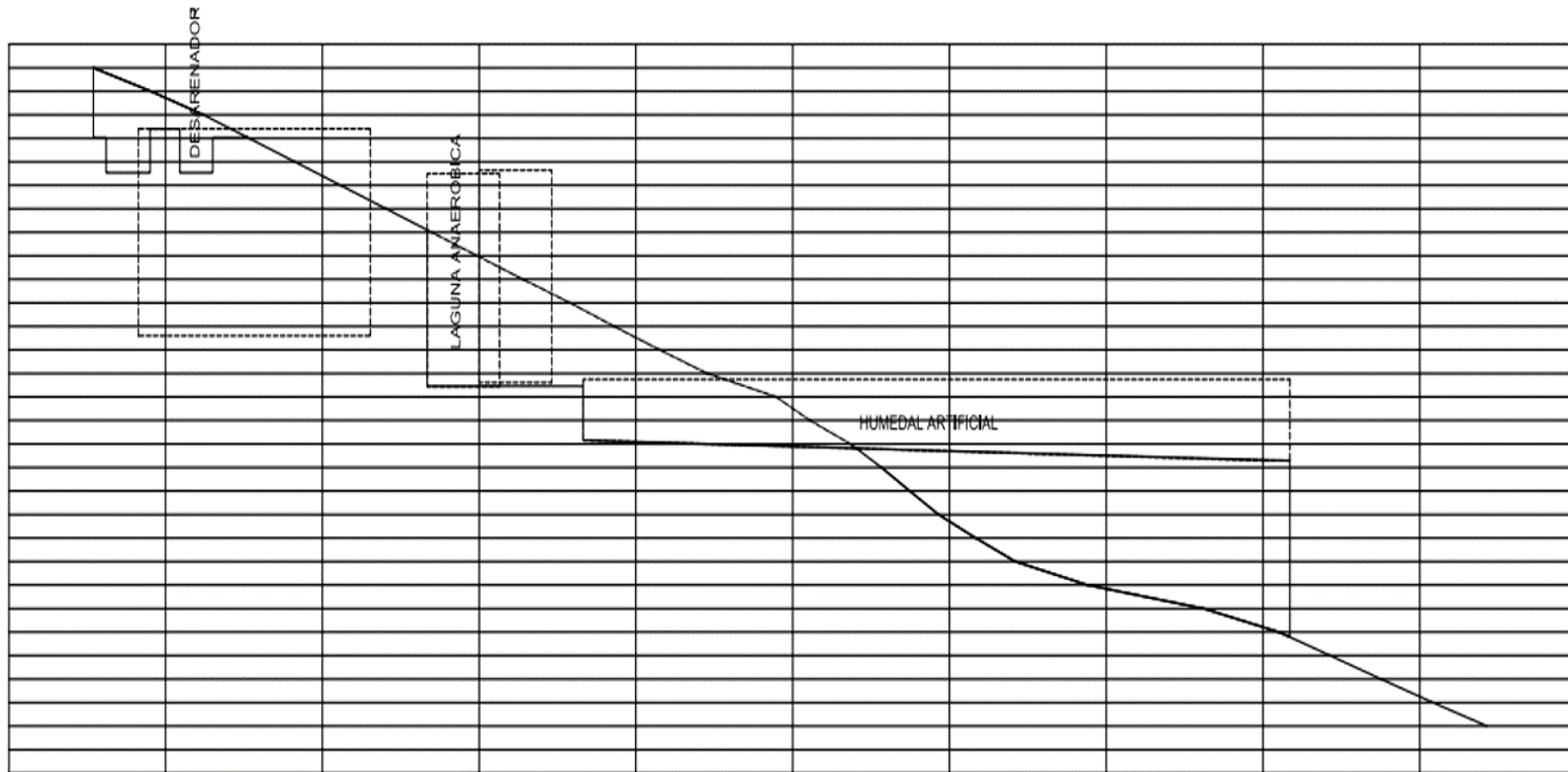
**Figura 20. Corte en sección de humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales descargadas al sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. Conde, 2014.**



**Figura 21. Planta conjunto del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

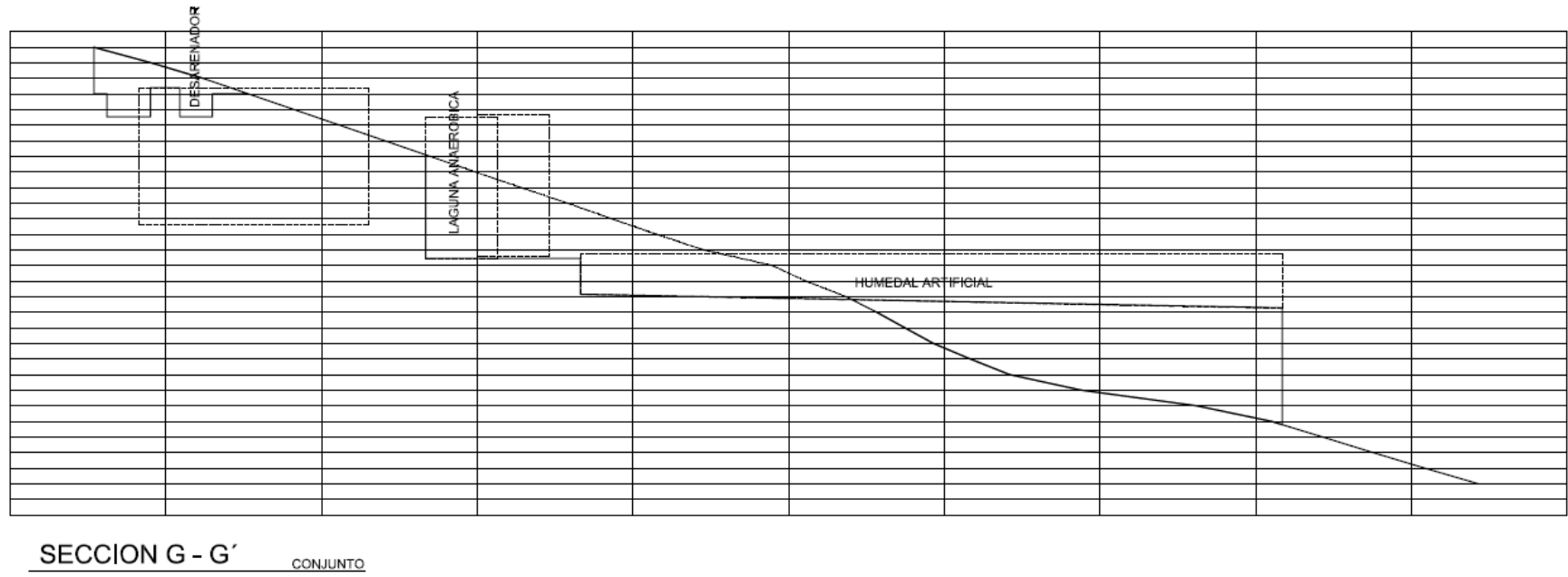
**Fuente. Conde, 2014.**



SECCION G - G' CONJUNTO

**Figura 22. Sección del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. Conde, 2014.**



**Figura 23. Conjunto en corte sección, del sistema de tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

### **5.3. Lagunas de maduración**

Para el diseño de las lagunas de maduración se tomó referencia de los resultados de análisis de laboratorio presentados por Téllez (2013) en el estudio técnico del punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, donde se indica una concentración de  $5.4 \times 10^5$  NMP/100 ml en coliformes (ver anexo 7), declinando la utilización de los realizados por la MANCUERNA, debido a que los resultados observados tienen como límite de detección 23 NMP/100 ml para las determinaciones realizadas en el grupo indicador bacteriológico, lo que no permite tener un valor cercano a la realidad.

Considerando un período de retención de cinco días se determinó la necesidad de contar con lagunas de maduración que requerirían un área de 1434.2 metros cuadrados, para disminuir hasta 23,573 NMP/100ml la concentración del contaminante en cuestión, y solventar la etapa tres de la normativa nacional vigente.

Teniendo a la vista los resultados presentados en la figura diez, el terreno disponible para la construcción del sistema de tratamiento tiene un área superficial de 1042 metros cuadrados, por lo que la posibilidad de implementar lagunas de maduración a una profundidad de un metro no se considera viable por limitaciones de espacio disponible, debido a lo mencionado estas no fueron consideradas para el diseño final. Recomendándose la evaluación pertinente para la utilización de pastillas de hipoclorito de calcio, para lo que se debería agregar un último tanque para permitir un período de retención que favorezca la acción oxidante del cloro.

### **6. Selección de la vegetación a implementar en el sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso**

Se realizaron caminamientos por las riberas del río San Luis con el apoyo de un profesional en biología (Zelada, 2014), recogándose un total de cinco plantas localizadas en la parte alta, media y baja de la corriente principal que atraviesa los sectores poblados de Nuevo Progreso, tomando como referencia final un punto cercano aguas abajo a la descarga del sector La Floresta.



**Figura 24. Caminamientos realizados en las riberas del río San Luis, Nuevo Progreso, San Marcos; para el muestreo de macrófitas con potencialidades de remediación de aguas residuales.**

**Fuente. El autor, 2014.**

De los caminamientos descritos, se recolectaron las siguientes plantas: *Pennisetum L. Rich. Colocasia sp, Commelina sp., Cyperus sp. y; Hedychium coronarium* (ver anexo 4). Según Zelada (2014); la primera de las mencionadas, conocida con el nombre común de Sericura es una planta del género de las que han sido utilizadas en la remoción de DBO, DQO e incluso coliformes totales, por lo que teniendo a la vista lo expresado, se considera esta como la mejor candidata para utilizarse en los humedales artificiales del sistema que atenderá la depuración de las aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.

Cabe resaltar, que según el autor mencionado es importante atender la recomendación de hacer ensayos para determinar la dinámica de reproducción y desarrollo, así como

para medir la eficiencia en la remoción contaminante de *Pennisetum L. Rich* en un período no menor de cuatro meses.

## 7. Estimación de costos

Para la construcción del sistema de tratamiento, se cuantificó la cantidad de tubería y accesorios de fontanería, aspectos técnicos de nivelación de terreno y movimiento de tierras, así como la utilización de concreto para piscina 4000 psi para la impermeabilización de las canoas que constituirán las lagunas anaeróbicas y los humedales artificiales. Es importante mencionar que el diseño original contempló la idea de utilizar una geomembrana de 1.5 mm de grosor, sin embargo, no fue posible la cotización de dicho material en Guatemala.

Considerando que los plásticos disponibles en el país alcanzan un máximo de 0.5 mm, y tienen una vida útil de tres años; mientras que el proyecto una vida de 15, se tomó la recomendación realizada por Conde (2014), quien indicó era pertinente la utilización del tipo de concreto mencionado. Los pormenores de los materiales necesarios para la construcción del conjunto depurador se presentan en el cuadro 27.

**Cuadro 27. Estimación de costos implícitos en la construcción del sistema de tratamiento de las aguas residuales descargadas en el punto ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.**

MATERIAL	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
pedra de 8 mm de grosor	m <sup>3</sup>	412	94.63	Q 38987.56
tubería Ø 3"	unidad	3	64.1	Q 192.30
tubería Ø 4"	unidad	12	72.15	Q 865.80
codos 90° Ø 3"	unidad	3	27.65	Q 82.95
codos 90° Ø 4"	unidad	4	31.26	Q 125.04
Tangit	unidad	4	25.85	Q 103.40

Continuación cuadro 27

<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
tee 90° Ø 4"	unidad	2	25.91	Q 51.820
electromalla 15 X 15 calibre 70	unidad	67	211.608	Q 14177.73
concreto 4000 psi	m <sup>3</sup>	232.5104	1495	Q 347603.04
pintura epoxica	m <sup>2</sup>	938.5018	105	Q 98542.68
movimiento de tierras	m <sup>3</sup>	1099.15	100	Q 109915
formaleteado	m <sup>2</sup>	938.5018	70	Q 65695.12
trasporte	Camión	22	400	Q 8800
<b>TOTAL</b>				<b>Q 685142.469</b>

**Fuente. El autor en base a Conde y cotizaciones varias, 2014.**

## VII. CONCLUSIONES

- El área superficial efectiva para el tratamiento de los vertidos líquidos descargados hacia el sector la floresta es de 678 m<sup>2</sup>.
- Los principales impactos ambientales identificados se centran en lo referente a suelo (movimiento de tierras), cambio en el paisaje; afectando el proyecto de forma positiva al ámbito social.
- El costo del proyecto de construcción del sistema por humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales del punto de descarga ubicado en el sector La Floresta es de Q 665,648.68.
- El muestreo de agua residual realizado en la descarga del Sector La Floresta indica una concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 110 mg/L.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Mantener las condiciones del diseño propuestas, para garantizar la operación adecuada del sistema de tratamiento (partícula de grava, dimensiones de las pilas).
- Realizar un manual de operación y mantenimiento para el sistema de tratamiento por humedales artificiales diseñado para el punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos.
- Ejecutar la construcción del proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales para el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta a la brevedad posible, con la finalidad de evitar la inflación de los costos en el tiempo.
- Monitorear las propiedades físico-químicas de los vertidos líquidos descargados al sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. Con la finalidad de evaluar el comportamiento de las cargas presentes en las aguas residuales.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- 9.1. Acuerdo Gubernativo 236-2006. 2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos de la República de Guatemala. Guatemala, GT.
- 9.2. Acuerdo Ministerial 105-2008. 2008. Manual General del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos de la República de Guatemala. Guatemala, GT.
- 9.3. Arias C. y Brix H. 2003. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, COL.
- 9.4. Arreghini, S. 2014 Plantas Acuáticas (macrófitas). (En línea) gt. Consultado: 20/05/14. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/PlantAcuat.htm>.
- 9.5. CAP (Centro de Atención Permanente). 2013. Censo del centro urbano del municipio de Nuevo Progreso. San Marcos, GT.
- 9.6. Camarero, P. 2013. Remoción de Nutrientes (nitrógeno y fósforo) por absorción de Jacinto de agua *Eichhornia crassipes* en agua del lago de Amatitlán. Tesis Ingeniería química. Guatemala, GT. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería Química.
- 9.7. Casasola, E. 2012. Cuantificación de Nutrientes (calcio, cobre, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, nitrógeno, potasio, sulfato, zinc) y determinación de contaminantes (arsénico, mercurio, plomo, cadmio) en el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) del lago de Amatitlán para uso en abono orgánico. Tesis de la Carrera de Licenciatura en Biología. Guatemala, GT. USAC. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

- 9.8.** CEPIS. 1991. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Manual de aguas residuales: Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales. Tomo I. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Tomo I. Lima. PRU.
- 9.9.** Conde, J. 2014. Diseño general de pretratamiento para el sistema de tratamiento de aguas residuales para el punto de descarga ubicado en el sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos. (entrevista). Estudiante de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, GT.
- 9.10.** Crites, R. y Tchobanoglous, G. 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales, para núcleos pequeños y descentralizados. Bogotá. COL. Edit. McGraw-Hill Tomo I.
- 9.11.** - - - - - . 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales, para núcleos pequeños y descentralizados. Bogotá. COL. Edit. McGraw-Hill. Tomo II.
- 9.12.** CONAGUA. 2007. Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de lagunas de estabilización. México, Distrito Federal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- 9.13.** Definición ABC. Patógeno. 2014. Definición (En línea) gt. Consultado: 21/05/2014. Disponible en: <http://www.definicionabc.com/salud/patogeno.php#ixzz32MUWlj2D>.
- 9.14.** Delgadillo, O. Camacho, A. Pérez, L. y Andrade, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Cochabamba. BOL.
- 9.15.** DMP. 2008. Dirección Municipal de Planificación: Monografía del municipio de Nuevo Progreso. San Marcos. San Marcos, GT.

- 9.16.** Escot C. 2014. Estructura de un sistema de tratamiento por humedal artificial (Entrevista). Coordinador Unidad de Gestión Ambiental y Riesgos UGAR. San Marcos, GT.
- 9.17.** EPA (Environmental Protection Agency). 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedal de flujo libre subsuperficial. Estados Unidos Americanos, US.
- 9.18.** - - - - - 1988. Design Manual; Constructed Wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. Estados Unidos Americanos, US.
- 9.19.** Fernández y Sanz. 2008. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, España. Universidad Alcalá
- 9.20.** Guzmán, A. 2014. Disposición de las aguas residuales del municipio de Nuevo Progreso (Entrevista). Director Unidad Municipal de Gestión Ambiental y Reducción de Riesgos (UMGARR). Nuevo Progreso, GT.
- 9.21.** Hidalgo, B. 2014. Situación del sistema de agua y saneamiento del municipio de Nuevo Progreso (Entrevista). Fontanero municipalidad de Nuevo Progreso. Nuevo Progreso, GT.
- 9.22.** IARNA-URL. 2012. Instituto de Agricultura y Recursos Naturales-Universidad Rafael Landívar. Perfil Ambiental de Guatemala. Vulnerabilidad local y creciente construcción de Riesgo. Guatemala, GT.
- 9.23.** - - - - - 2005. Situación del Recurso Hídrico en Guatemala. Documento técnico del Perfil Ambiental de Guatemala. Guatemala, GT.

- 9.24.** Juárez, R. y Monjardin, P. 2010. Métodos y sistemas de medición de Gasto. Subdirección General de Administración de Agua. México Distrito Federal, MX. Coordinación de tecnología Hidráulica
- 9.25.** López, E. 2013. I Taller de fitorremediación utilizando plantas acuáticas. Planta de tratamiento de aguas residuales La Cerra. Proceso de tratamiento terciario por fitodepuración. Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del lago Atitlán (AMSA). Guatemala. GT.
- 9.26.** Llagas y Guadalupe. 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNSMSM. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Venezuela, VEN.
- 9.27.** Lucas, R. 1996. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Uruguay, UR.
- 9.28.** MAGA. 2006. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación: Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala. Memoria técnica y descripción de resultados. Guatemala, GT.
- 9.29.** ONU-HABITAT. 2008. Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. Katmandú. Nepal, NP.
- 9.30.** Osnaya. 2012. Propuesta de diseño de un Humedal Artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez. Tesis de la Carrera de Licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad de la Sierra de Juárez. Oaxaca, MX. USJ
- 9.31.** PAS-LAC. 2007. Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe: Tecnologías alternativas para la provisión de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades. Memorias del simposio internacional. Lima, PRU

- 9.32.** Rosse. 2013. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales Asociación nacional del Café (ANACAFE). Guatemala, GT.
- 9.33.** Rodríguez, S. 2008. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. Tesis de la carrera de Ingeniero Químico especialidad en Ingeniería de Procesos. Universidad de Sonora. División de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Sonora, MX. US.
- 9.34.** Romero Rojas, J. A. 1999. Tratamiento de aguas residuales. Tercera edición, 2004. Teoría y principios de diseño. Bogotá. COL. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería
- 9.35.** Sánchez, L. 2011. Modelo Matemático para el diseño de reactores biológicos, aplicaciones al tratamiento de aguas residuales mediante tecnologías no convencionales. (En línea) gt. Consultado: 10/06/2014. Disponible en: [http://aula.aguapedia.org/file.php/104/MODELOS/MODELO\\_MATEMATICO\\_DEFINITIVO.pdf](http://aula.aguapedia.org/file.php/104/MODELOS/MODELO_MATEMATICO_DEFINITIVO.pdf)
- 9.36.** SEGEPLAN. 2010. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia: Plan de Desarrollo Municipal Nuevo Progreso, San Marcos, Nuevo Progreso, GT.
- 9.37.** - - - - - 2012. Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos hídricos PNGIRH y de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ENGIRH). Guatemala, GT.
- 9.38.** Silva, R. y Zamora. 2005. Humedales artificiales, Monografía. Manizales, CO. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- 9.39.** Téllez, I. 2013. Estudio técnico del punto de descarga de aguas residuales ubicado en el Sector La Floresta, camino que conduce a la finca La Marina, Nuevo Progreso, San Marcos. San Marcos, GT.

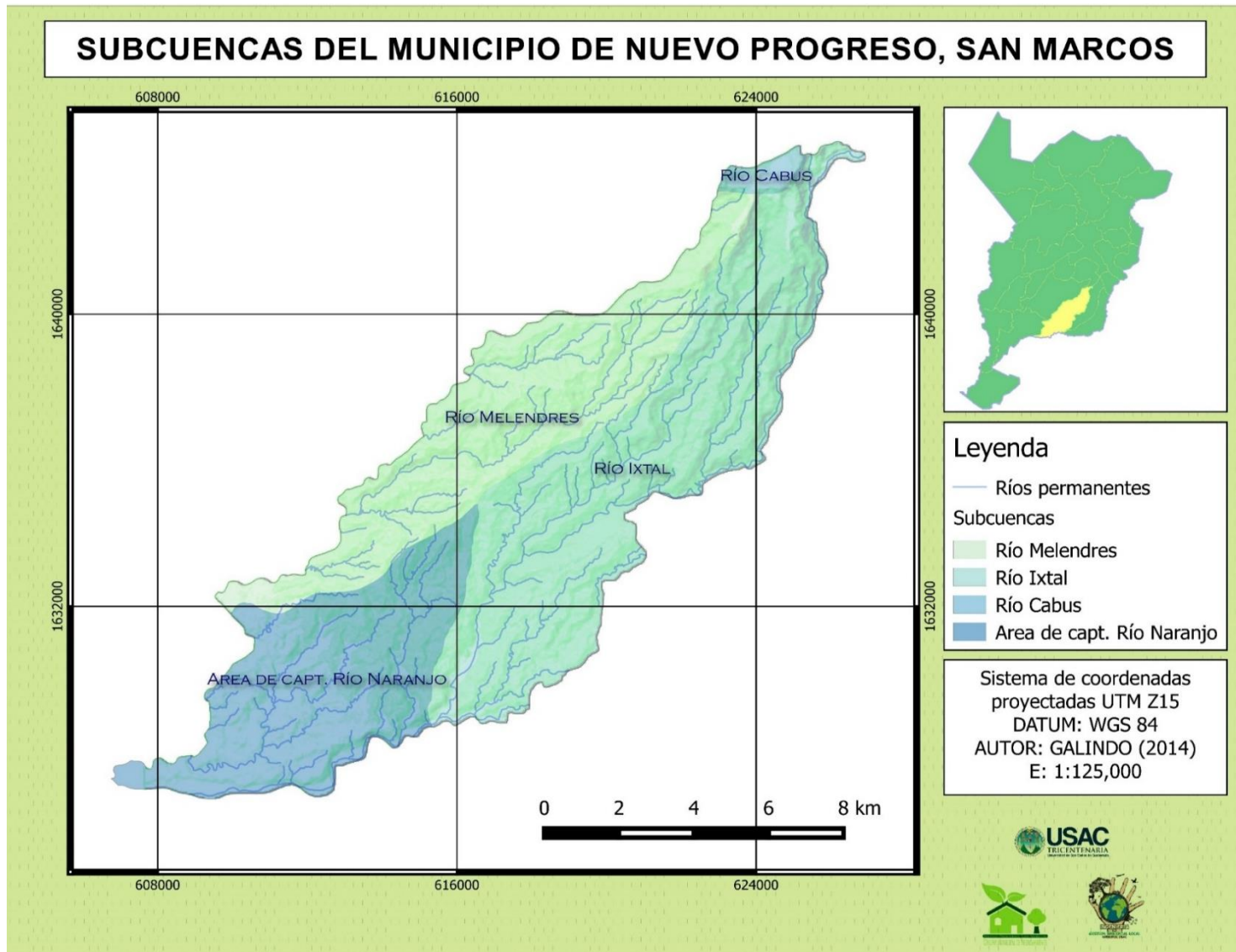
- 9.40. Zambrano y Saltos. 2008. Diseño del Sistema de Tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de la población de San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre. Guayaquil. ECU.
- 9.41. Zelada, J. Arreola, J. Herrera y Ariza, M. 2011. Remoción de Metales Pesados del Agua por Ninfa (*Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*) y Vetiver (*Vetiveria zizanioides (L.) Nash*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Biología, Departamento de Botánica y Recursos Naturales Renovables. Guatemala, GT.
- 9.42. Zelada, J. 2014. Plantas de uso potencial para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Nuevo Progreso, San Marcos, Informe de caminamientos por la ribera del río San Luis. Asociación Nacional de Reservas Naturales Privadas de Guatemala. Guatemala, GT.

  
Vo.Bo. Licda. Ana Teresa Cap Yes.  
Bibliotecaria CUNSUROC.



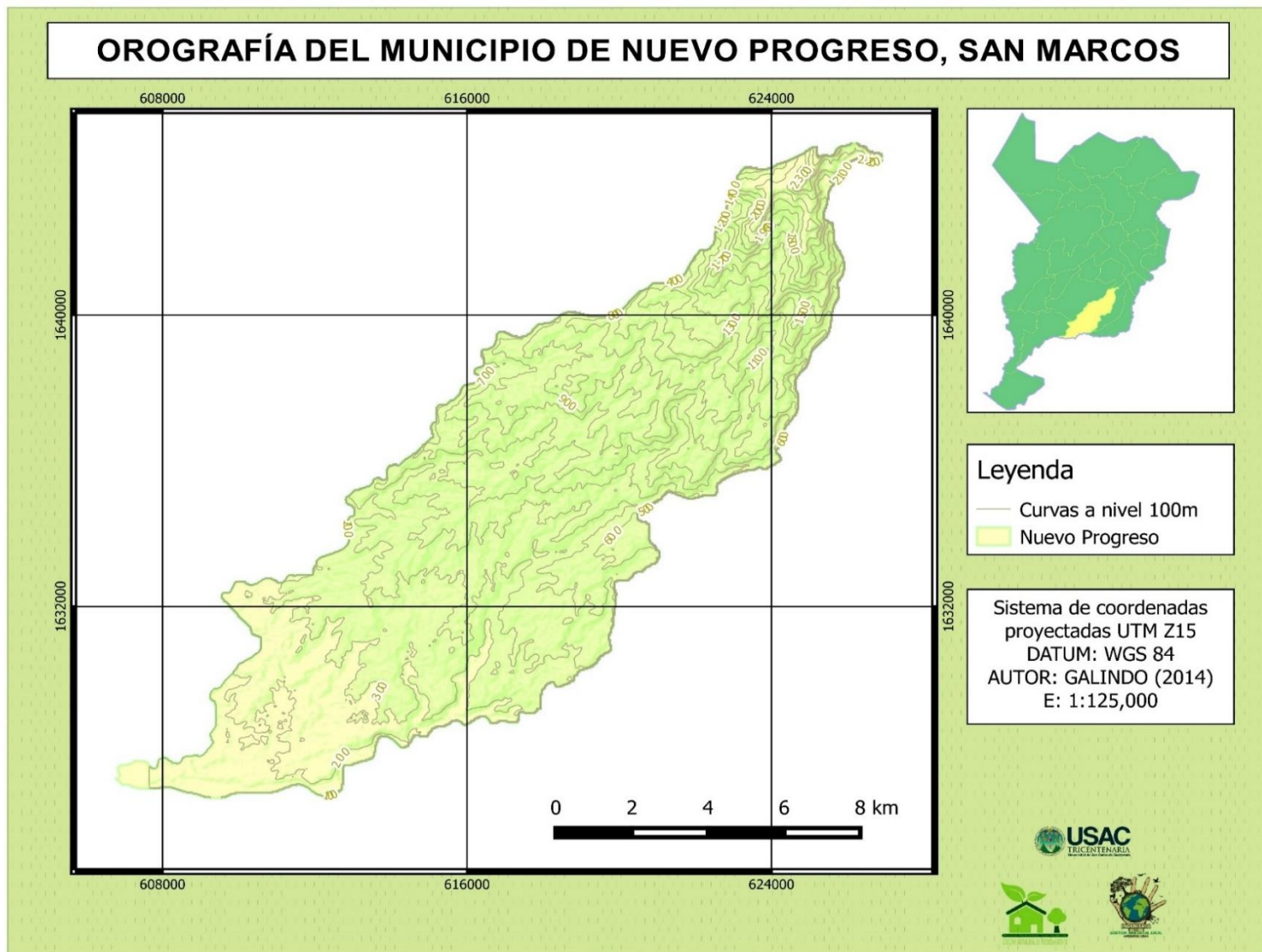
## **X. ANEXOS**

**ANEXO 1:** MAPAS DE LAS CARACTERÍSTICAS  
BIOFÍSICAS DEL MUNICIPIO DE NUEVO  
PROGRESO, SAN MARCOS.



**Figura 25. Subcuencas del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. El autor (2014), en base a MAGA (2006).**



**Figura 26. Representación de la orografía del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.**

**Fuente. El autor (2014), en base a MAGA (2006).**

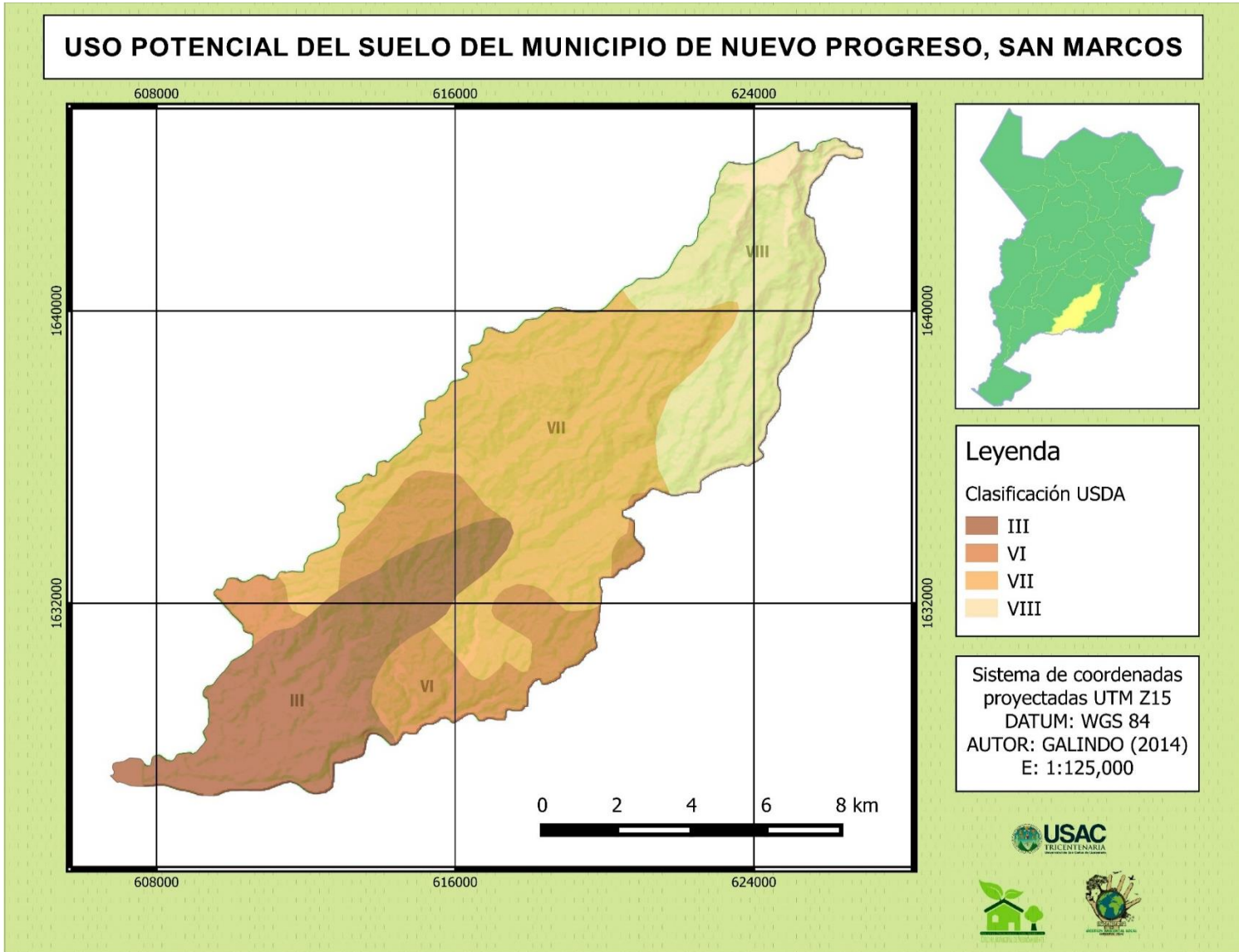


Figura 27. Capacidad de uso de la tierra del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.

Fuente. El autor (2014), en base a MAGA (2006).

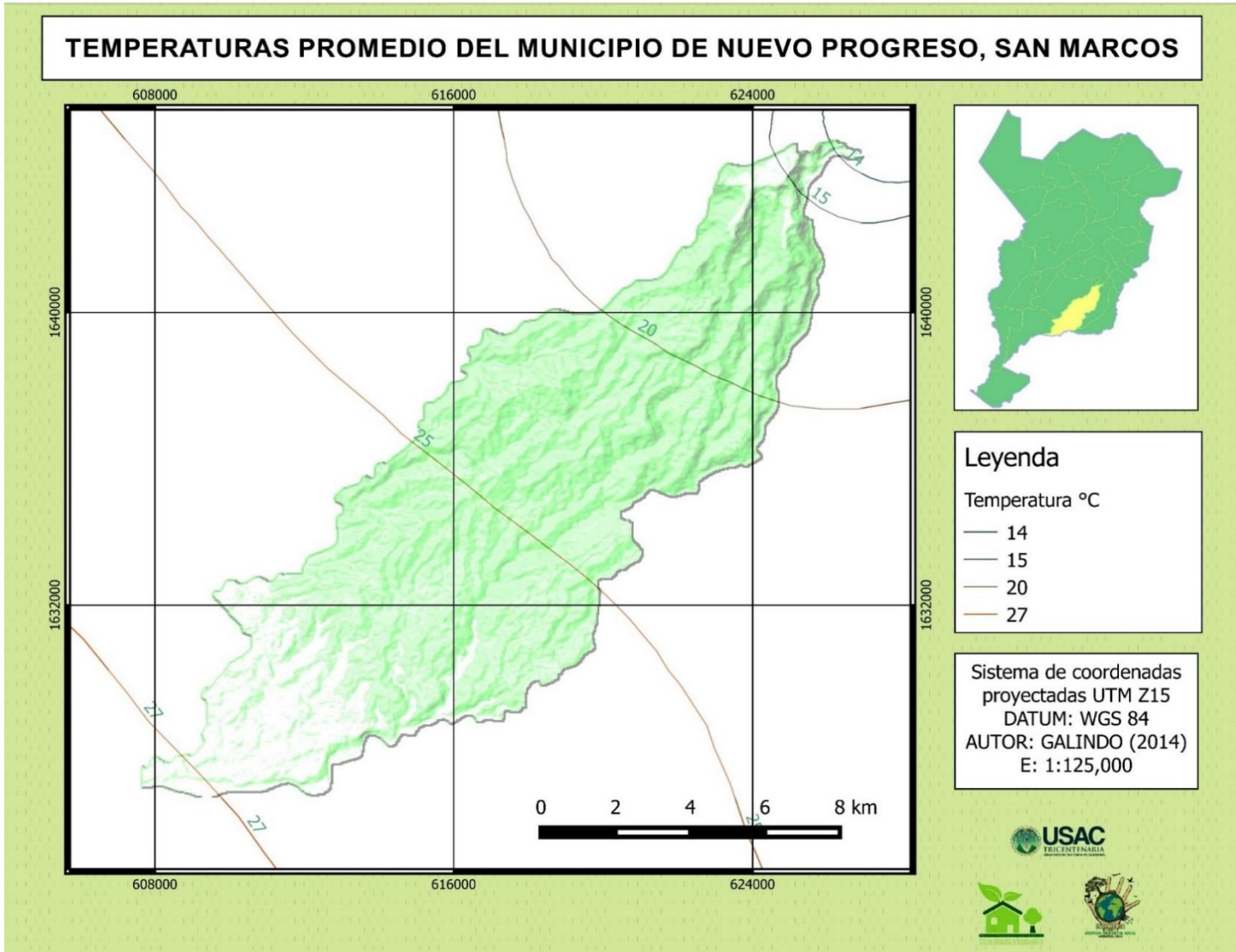
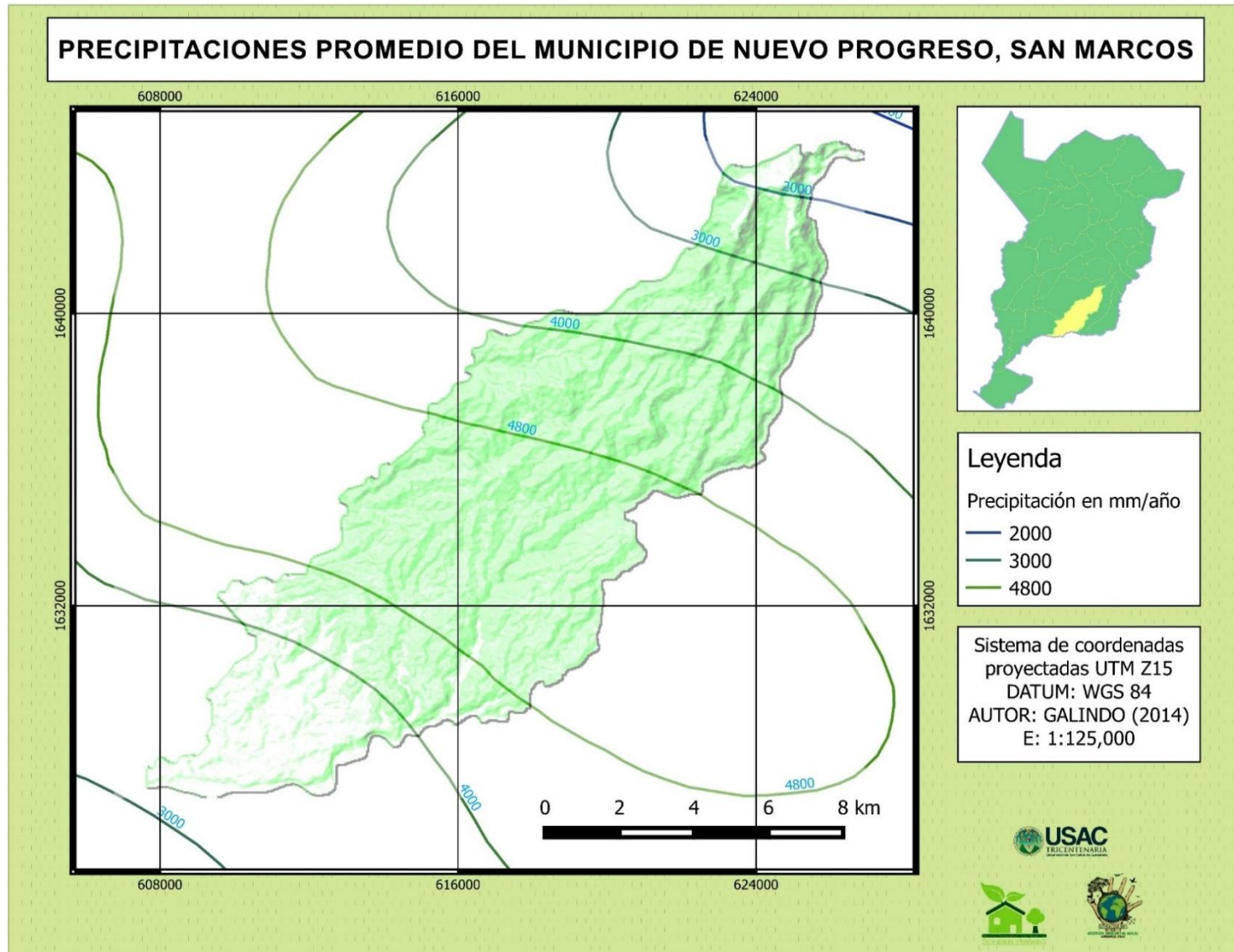


Figura 28. Temperaturas medias registradas en el municipio de Nuevo Progreso, San Marcos. Fuente. El autor (2014), en base a MAGA (2006).



**Figura 29. Precipitaciones medias anuales del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.**  
Fuente. El autor (2014), en base a MAGA (2006).

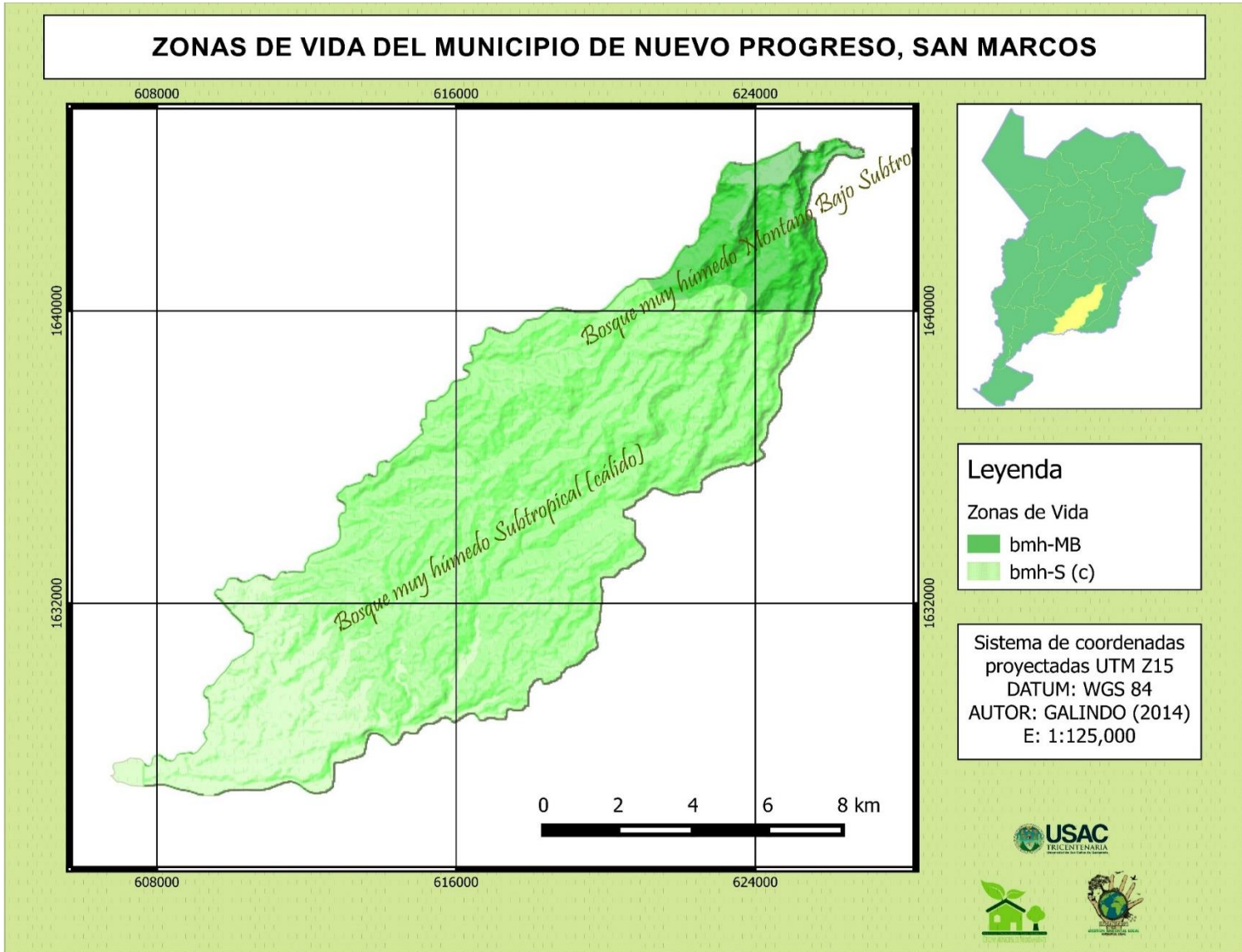


Figura 30. Zonas de vida del municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.

Fuente. El autor (2014), en base a MAGA (2006).

## **ANEXO 2: GLOSARIO DE LA INVESTIGACIÓN**

## GLOSARIO

1. **Afluente:** El agua captada por un ente generador.
2. **Aguas residuales:** Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
3. **Caudal ecológico:** Instrumento de gestión que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad.
4. **Caracterización aguas residuales:** La determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal.
5. **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.
6. **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
7. **Eutrofización:** El proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

8. **Humedal:** El sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad.
9. **Límite máximo permisible:** El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.
10. **Macrófita:** Formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas.
11. **Manto freático:** La capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que pueden ser utilizadas por gravedad o por bombeo.
12. **Modelo de reducción progresiva:** El régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado, en distintas etapas.
13. **Muestra Compuesta:** Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.
14. **Patógenos:** Es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal, cuyas condiciones estén predispuestas a las ocasiones mencionadas.
15. **Punto de descarga:** El sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.
16. **Sólidos totales:** Residuos resultantes luego de la evaporación y secado de la muestra en una estufa a 103-105 °C. Los sólidos totales incluyen volátiles y fijos.

**17. Tratamiento de aguas residuales:** Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

**ANEXO 3.** DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL PUNTO DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UBICADO EN LA CALLE “EL CHORRO”, ALDEA BUENA VISTA, NUEVO PROGRESO.

**Diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial por método de habitante equivalente para el punto de descarga de aguas residuales domésticas ubicado en la calle “El Chorro”, aldea Buena Vista, Nuevo Progreso**

Para brindar soporte a la presente investigación se presenta a continuación el diseño de un humedal artificial para el punto de descarga ubicado en la calle “El Chorro”, Aldea Buena Vista del municipio de Nuevo Progreso, mismo que atiende a un total de 23 personas y representa riesgos para la salud de los pobladores y ecosistemas locales, al degradar la calidad del cuerpo receptor al que se vierte y contaminar un nacimiento de agua en el sector.

El dimensionamiento de este humedal se realizó basado en ONU-HABITAT (2008), quienes mencionan que es posible expresar un área específica por población equivalente. Las medidas que se presentan en seguida fueron calculadas en base a un caudal de 2.208 m<sup>3</sup>/día, derivado de un consumo de 120L expresado por IARNA (2005), para el área rural de Guatemala y una tasa de retorno del 80% en forma de aguas residuales (CEPIS, 1991).

Los parámetros se establecieron en 40 g DBO/pe.d, para el afluente, 0.15 para el caso de KDBO (Constante para reducción de DBO) y una profundidad de 0.8 metros de la canoa del humedal, de lo que se obtuvo un área de 1.35 m<sup>2</sup>/pe. Las expresiones utilizadas para el cálculo del área hidráulica y la sección transversal se basan en lo planteado por ONU-HABITAT (2008) y se presentan a continuación:

$$A_h = \frac{Q_d(\ln C_i - \ln C_e)}{K_{DBO}}$$

$$A_c = \frac{Q_s}{kf(dH/ds)}$$

**Cuadro 28. Valores para el cálculo del área hidráulica de un humedal artificial de flujo subsuperficial por población equivalente.**

	<b>Variable</b>	<b>Valor utilizado</b>
$Q_d$	Caudal por día ( $m^3/d$ )	2.208 $m^3$
$C_I$	Concentración DBO afluente	416 mg/L
$C_e$	Concentración DBO efluente	50 mg/L
$K_{DBO}$	Constante reducción DBO	0.15
$A_h$	Área hidráulica	31.18 $m^2$

**Fuente. El autor, en base a ONU-HABITAT (2008).**

Los cálculos realizados indican el requerimiento de un área de 31.18  $m^2$  para el tratamiento de las aguas residuales domésticas producidas por 23 personas en la calle “El Chorro”, aldea Buena Vista, Nuevo Progreso, San Marcos. Tal como se muestra a continuación:

$$A_h = \frac{2.208 (\ln 416 - \ln 50)}{0.15}$$

$$A_h = 31.18 m^2$$

Para establecer el largo y ancho, es necesario conocer el área transversal del lecho filtrante, para este caso se consideró una pendiente del 1% y una conductividad hidráulica de  $2 \times 10^{-3}$ , además; es importante mencionar que en este ápice el caudal fue expresado en  $m^3/s$ . Otorgando el valor numérico a las variables:

$$A_c = \frac{0.0000255}{0.002(0.01)}$$

$$A_c = 1.275 m^2$$

**Cuadro 29. Valores para el cálculo del área transversal del lecho de un humedal artificial de flujo subsuperficial por población equivalente.**

	<b>Variable</b>	<b>Valor utilizado</b>
$Q_s$	Caudal promedio	0.0000255 m <sup>3</sup> /s
$k_f$	Conductividad hidráulica del lecho completamente desarrollado (m/s)	0.002 m/s
$dH/ds$	Gradiente del fondo del lecho	0.01 m/m
$A_h$	Área transversal	1.275 m <sup>2</sup>
	Fondo	0.5 m
	Largo	12.2 m
	Ancho	2.55 m

**Fuente. El autor, en base a ONU-HABITAT (2008).**

Los materiales requeridos para la construcción del humedal artificial, así también como los costos implícitos se listan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 30. Costos estimados en la construcción del humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del punto de descarga ubicado en aldea Buena Vista, Nuevo Progreso, San Marcos.**

<b>Insumo</b>	<b>U/M</b>	<b>cantidad</b>	<b>costo /uni</b>	<b>Total</b>
Rollo de plastico negro doble	rollo	1	Q 4000.00	Q 4000.00
Te pvc 2"	unidad	6	Q 117.70	Q706.20
Codo pvc 2"	unidad	10	Q 80.17	Q801.70
Tubo pvc 5"	unidad	2	Q 182.35	Q364.70
Codo 45 2"	unidad	1	Q 32.41	Q32.41
Pegamento pvc	galón	1	Q 180.40	Q 180.40
Pegamento contex	cuarto	4	Q 40.00	Q160.00
Codo 4" pvc	unidad	1	Q 163.31	Q163.31
Adapatador macho 4"	unidad	1	Q 68.57	Q 68.57
Tapón con rosca 4"	unidad	1	Q 61.57	Q 61.57

Continuación cuadro 29.

<b>Insumo</b>	<b>U/M</b>	<b>cantidad</b>	<b>costo /uni</b>	<b>Total</b>
Piedra para lecho filtrante	m <sup>3</sup>	19	Q 94.73	Q1,799.87
Jornales	unidad	75	Q74.97	Q5,622.75
Transporte	viaje	1	Q 500.00	Q500.00
Combustible	galón	15	Q 35.00	Q525.00
Plantas	unidad	350	Q 2.25	Q 787.50
<b>TOTAL ESTIMADO</b>				<b>Q15,773.98</b>

Fuente. El autor, 2014.

**ANEXO 4.** PLANTAS DE USO POTENCIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS

# Plantas de Uso Potencial para el Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Nuevo Progreso, San Marcos



Juan Antonio Zelada

Julio, 2014



Asociación de Reservas  
**NATURALES**  
Privadas de Guatemala

## Introducción:

La remediación de aguas residuales utilizando plantas acuáticas es un proceso que requiere de una etapa de planificación, considerando como uno de los puntos más importantes, la elección de las plantas que serán utilizadas dentro del humedal artificial que se desee implementar.

La elección de estas plantas puede estar basada en diversos criterios y lo más común es que se elijan en función a reportes previos sobre su capacidad de remediación o que se introduzcan plantas ampliamente utilizadas para estos fines, aun cuando la planta no es nativa de la región. De esta forma se corre el riesgo de causar un desastre ecológico, si la planta es introducida al medio natural y posteriormente su crecimiento no pueda ser controlado.

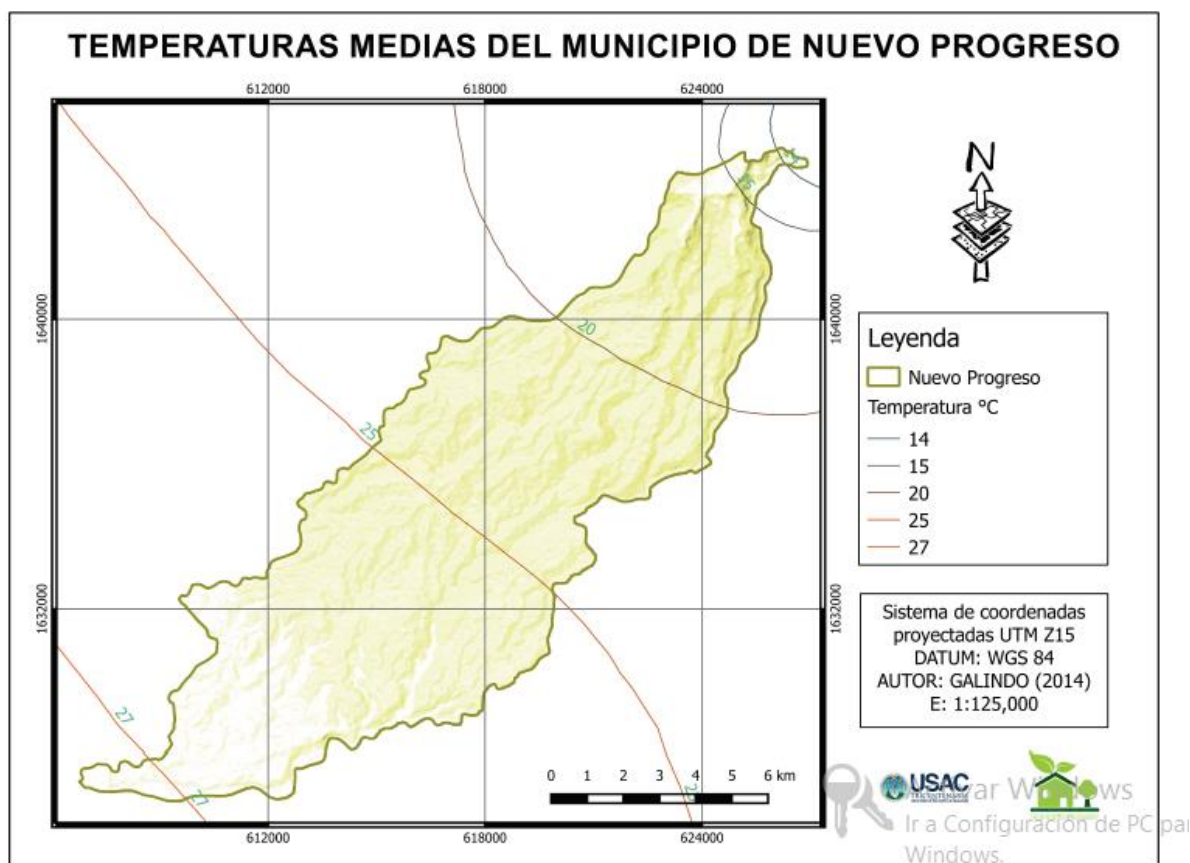
Es por esto que en la mayoría de ocasiones, es preferible utilizar plantas propias del lugar para los sistemas de humedales artificiales. Esto requiere de elaborar una caracterización de las plantas con potencial de biorremediación en la zona, que es básicamente lo que se presenta en este informe. A la vez se incluyen algunas recomendaciones puntuales en relación a cada una de las especies consideradas como potenciales.

El Municipio de Nuevo Progreso se encuentra al sur del Departamento de San Marcos, colindando con el Departamento de Quetzaltenango. La temperatura promedio en el municipio fluctúa entre 14 a 27°C (ver Figura No. 1). La precipitación por su parte varía de entre 2,000 a 4,800 mm de lluvia al año (ver Figura No.2).

Dentro del municipio están representadas dos zonas de vida: Bosque muy Húmedo Montano Bajo sub-tropical en la zona con mayor altitud y el resto es Bosque muy

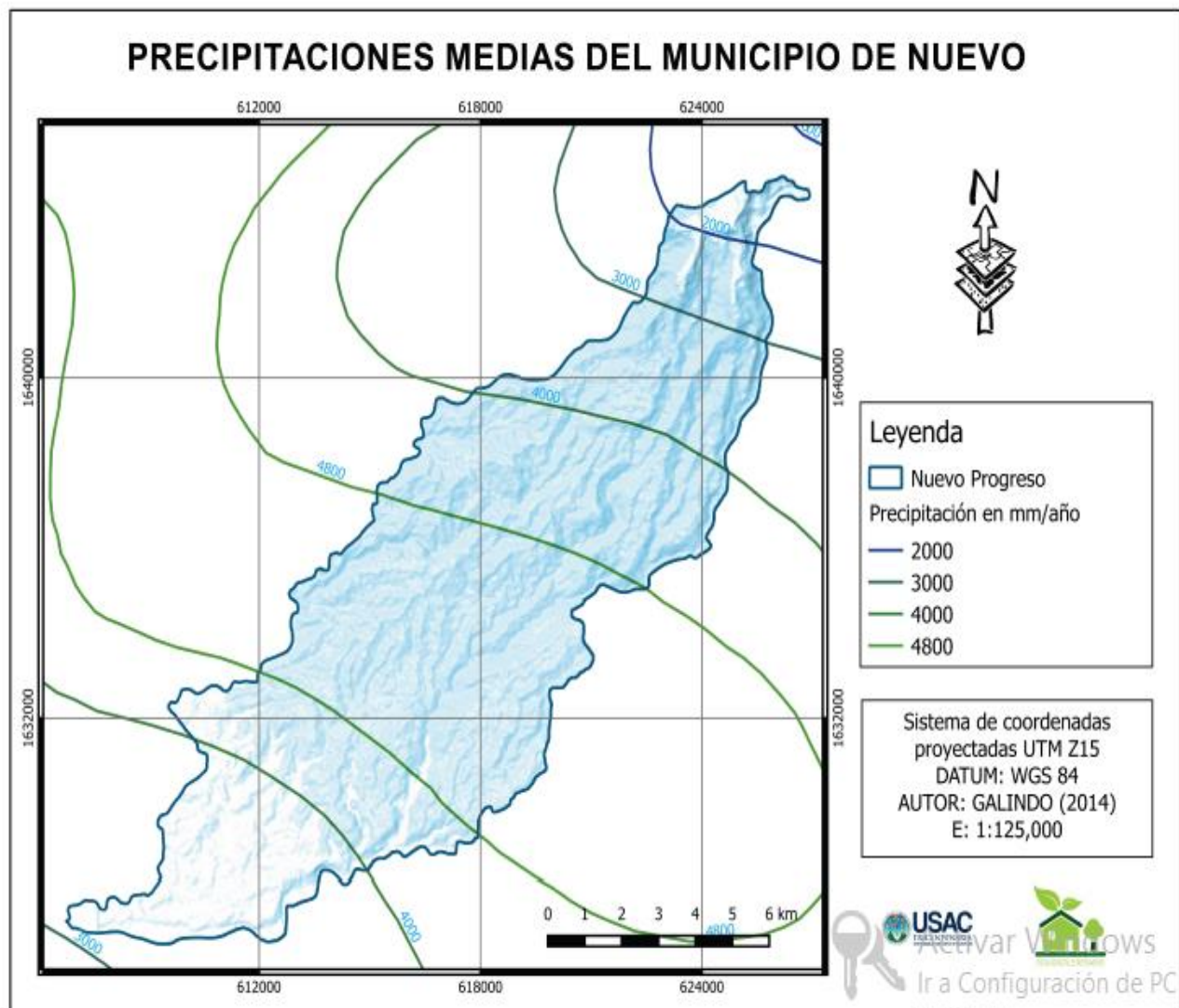
Húmedo Subtropical Cálido (ver Figura No. 3). El municipio se encuentra en la parte media de la cuenca el Naranjo (ver figura No. 4)

**Figura No. 1** Temperaturas Medias del Municipio de Nuevo Progreso San Marcos.



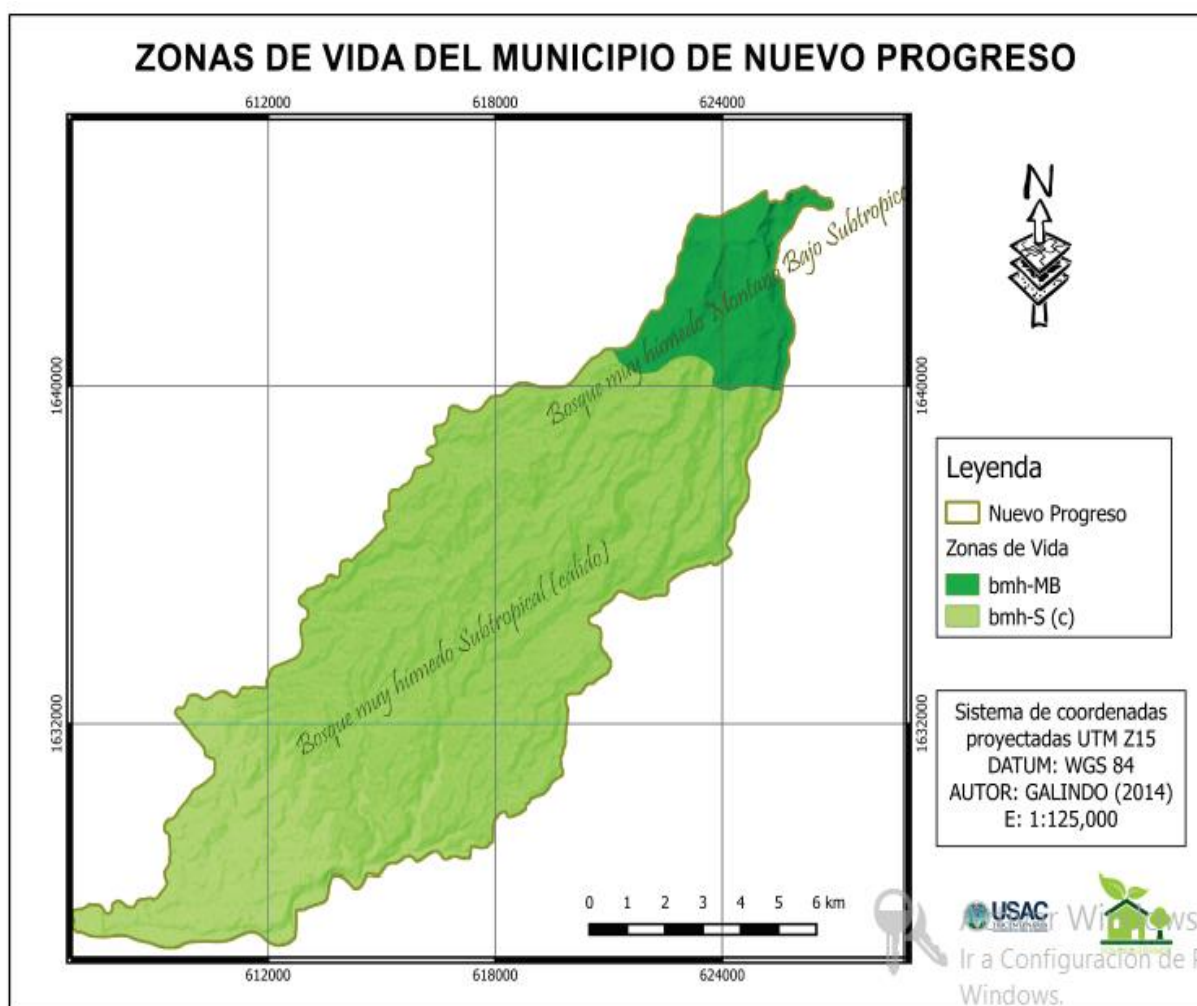
Elaborado por Rudy Galindo

Figura No. 2 Precipitación Media del Municipio de Nuevo Progreso San Marcos



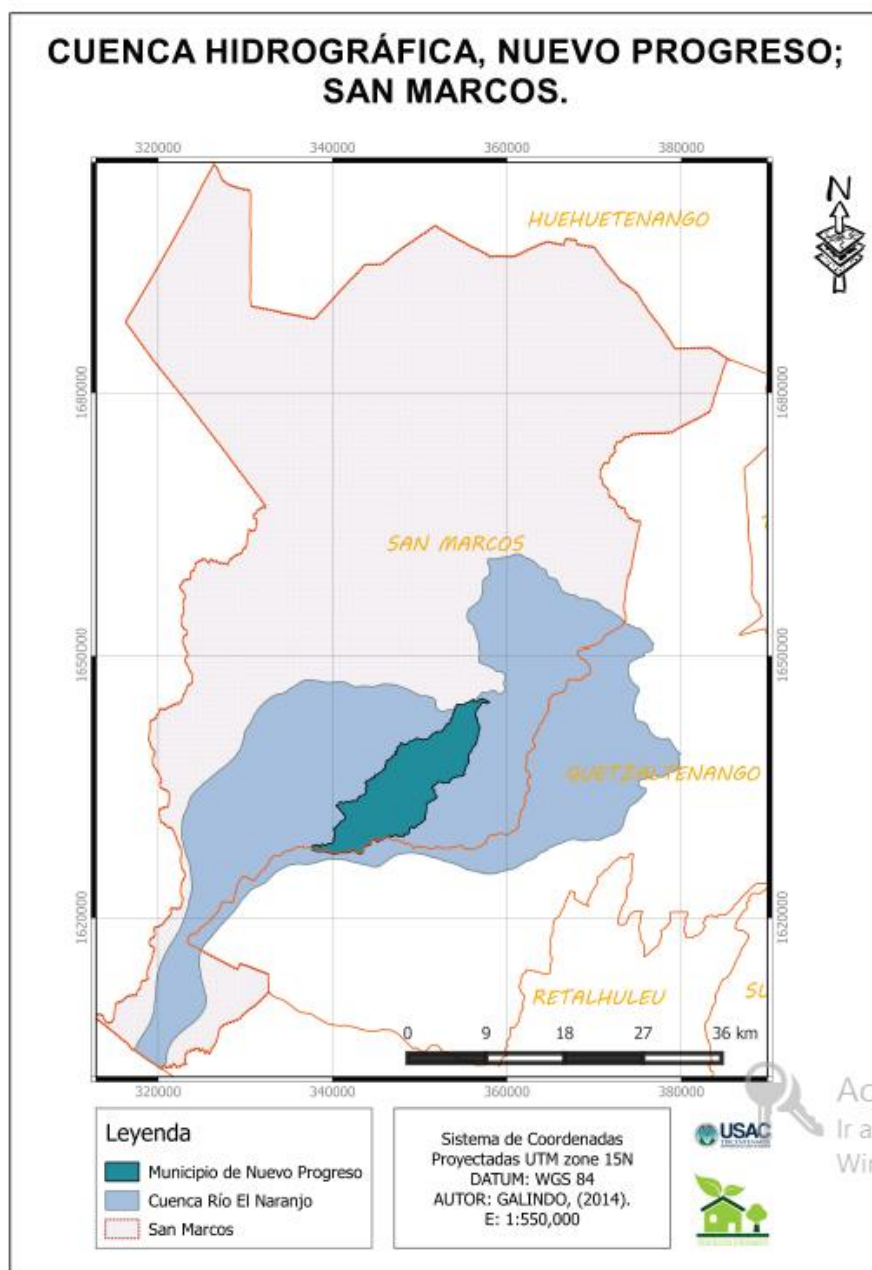
Elaborado por Rudy Galindo

Figura No. 3 Zonas de Vida del Municipio de Nuevo Progreso, San Marcos



Elaborado por Rudy Galindo

**Figura No. 4** Cuenca Hidrográfica dentro del Municipio de Nuevo Progreso, San Marcos



Elaborado por Rudy Galindo


## Metodología:



Se procedió a realizar un recorrido por el río San Luis ubicado en el Municipio de Nuevo Progreso, Departamento de San Marcos, debido a que este es el cuerpo receptor de las descargas residuales para las que se planifica su depuración. Se definieron dos transectos de aproximadamente 100m cada uno. El primero se realizó a aproximadamente tres kilómetros previo al paso del río por la descarga de la cabecera municipal y otro a un kilómetro luego de la descarga mencionada.

Este diseño de muestreo se planificó con la finalidad de definir que plantas nativas se encontraron en ambos transectos. Al encontrar a la misma especie en ambientes que difieren entre sí. El transecto ubicado previo a la descarga municipal, se caracteriza por poseer una vegetación más densa y un menor caudal de agua; por otro lado la vegetación en el segundo transecto es más homogénea y básicamente compuesta por gramíneas de gran tamaño, mientras que el río presentaba aproximadamente tres veces más caudal que en el anterior. Dentro de este recorrido se colectaron las especies de vegetación asociadas al afluente. Estas muestras se colocan dentro de papel periódico y se rocían con una solución de alcohol etílico al 70% con la finalidad de preservarlas


Todas las muestras se embalaron en una prensa de madera y se transportaron hacia la ciudad capital en donde fueron identificadas con ayuda de la Flora de Guatemala (Standley P. y Williams L., 1962) y la Guía de Plantas Acuáticas (Posada J. y López M., 2011).


## Resultados

<b><i>Pennisetum L. Rich.</i></b>	POACEAE	
<b>Descripción:</b>		
<p>Flores con espigas solitarias. Características de zonas inundables y áreas de ribera. Se colectó principalmente en áreas asociadas a rocas en donde se sujetaba a través de un sistema de raíces denso.</p>		
<b>Potencial en remediación:</b>		
<p>Hay alguna evidencia de que las plantas de este género son adecuadas para la remoción aceptable para DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes totales.</p>		
<b>Recomendaciones:</b>		
<p>Según las características vegetativas de esta planta, parece ser un ejemplar potencial para utilizarlo en sistemas de depuración con flujo sumergido. Sin embargo no parece tener una capacidad de remoción de nutrientes importante. Se recomienda hacer ensayos para su reproducción y medición de su</p>		

eficiencia en la remoción.	
<b><i>Colocasia sp.</i></b>	ARACEAE
<b>Descripción:</b>	
Planta de hasta 1m de alto, hoja ancha lobada. Tallo erecto, liso. Rizoma horizontal con raíces secundarias finas.	
<b>Potencial en remediación:</b>	
No se ha reportado si este género posee alguna capacidad de remediación de aguas residuales. De igual forma es probable que su estructura rizomática no permita una eficiencia considerable en la depuración de las aguas residuales	
<b>Recomendaciones:</b>	
Esta planta es poco abundante en el área por lo que no se recomienda su uso. De igual forma su estructura de rizoma podría no tener la capacidad para remover contaminantes a una velocidad adecuada.	

<i>Commelina sp.</i>	COMMELINACEAE
<b>Descripción:</b>	
<p>Hierba semiacuática enraizada, ascendente. Con numerosas raíces adventicias, fibrosas y cilíndricas engrosándose en el extremo distal. Hojas con vainas membranosas, láminas lanceoladas,</p>	
<b>Potencial en remediación:</b>	
<p>Esta planta es común de áreas perturbadas húmedas, por ende posee cierta resistencia a condiciones poco favorables. Ha sido poco reportada como en estudios relacionados con remediación y rara vez se utiliza en humedales artificiales.</p>	
<b>Recomendaciones:</b>	
<p>El potencial que tiene para soportar fuertes cargas contaminantes, la hacen ideal para iniciar pruebas de depuración de nutrientes.</p>	

<i>Cyperus sp.</i>	CYPERACEAE	
<b>Descripción:</b>		
<p>Hierba semiacuática, enraizada, emergente, perenne. Hojas de mediano tamaño, delgadas, alrededor de la base de la planta con láminas planas en forma de V.</p>		
<b>Potencial en remediación:</b>		
<p>Es una planta de crecimiento y reproducción rápida, sin embargo por su disminuida biomasa no es un removedor muy eficiente. Se ha reportado que tienen capacidades importantes de remover ciertos metales pesados del agua.</p>		
<b>Recomendaciones:</b>		
<p>Se recomienda estudiar el patrón de remoción de esta planta, considerando su uso como complemento en la remediación.</p>		

<i>Hedychium coronarium</i>	ZINGIBERACEAE	
<b>Descripción:</b>		
<p>Hierba terrestre o semi-acuática. Hojas angostamente elípticas, base atenuada, envés cubierto de tricomas suaves, erectos y largos. Inflorescencias con dos a tres flores, color blanco.</p>		
<b>Potencial en remediación:</b>		
<p>Es una planta fácilmente domesticable y con la capacidad de generar una cantidad importante de biomasa en un tiempo corto. Sin embargo no ha sido utilizada para determinar su potencial en la remediación de aguas revidas.</p>		
<b>Recomendaciones:</b>		
<p>Previo a la utilización de esta planta en humedales artificiales, es recomendable hacer ensayos para determinar su capacidad de remoción. De igual forma es necesario conocer la dinámica de esta en lo que respecta a la liberación de nutrientes, para identificar los patrones adecuados de cosecha. Recordar que toda planta en etapa de floración (especialmente si son flores de gran tamaño) suele liberar una gran cantidad de nutrientes al agua por procesos de excreción.</p>		

## Conclusiones y Recomendaciones

- ✓ El área cuenta con plantas con un importante potencial para ser utilizados como depuradoras de aguas residuales, por lo que se recomienda su aprovechamiento.
- ✓ Es necesario realizar pruebas y ensayos controlados para determinar la capacidad real de remoción de las plantas con potencial de depuración. Así como para determinar la eficiencia en función a diversas condiciones y a diferentes parámetros, siendo recomendable que sean adecuadas para estabilizar sólidos y partículas en suspensión.
- ✓ Los ensayos para determinar la remoción se deben de realizar siguiendo un diseño experimental estricto y en un tiempo no menor a cuatro meses. De esta forma se determinará la dinámica tanto de la remoción como del desarrollo de cada una de las plantas.
- ✓ El enfoque del tratamiento de aguas residuales utilizando plantas acuáticas o semiacuáticas (fitorremediación) es una alternativa innovadora que ha tenido un éxito notable tanto a nivel nacional como internacional. Es necesario por esto que todo el proceso de implementación sea debidamente documentado y seguir un proceso sistematizado, ordenado y bajo un sistema de monitoreo.
- ✓ La extracción de las plantas nativas de su medio natural, debe de realizarse únicamente al inicio y de forma controlada. Se debe para esto de contar con un permiso del Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Luego de esta colecta, se deben de iniciar labores de investigación para lograr desarrollar estas plantas dentro de un vivero.

## Referencias

- Posada J. y López M. (2011). Plantas Acuáticas del Altiplano. Grupo de Limnología y Recursos Hídricos. Universidad Católica de Oriente. Colombia.
- Celis, J., Junod, J. y Sandoval, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *THEORIA*, 14(1). 17-25.
- Fernandez J. Manual de fito-depuración. España: Edita, 2005. pág. 13 - 22,143
- Sánchez J. 1994. Determinación de Nitrógeno Total, Fósforo Total y Metales Pesados en Macrofitas Acuáticas de la Especie *Eichhornia crassipes* (Lirio Acuático) de la Laguna de Chichoj, Alta Verapaz, para Sugerir su Posible Utilización como Purificadores Biológicos y Fertilizante Agrícola. Tesis de Licenciatura en Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Pág. 5, 43-45.
- Cook, C.D. y B.J. GUT. 1974. Water plants of the world: A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes. The Hague : Junk, 560 p.
- García J., Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidas. *Tecnología del agua*. Vol 1.65 (1997) pp 58-65.
- Olguin E, P. Coutiño y R. González. 2002. Aprovechamiento de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Tecnologías Ambientales para el Desarrollo Sustentable*, pp. 1-7.

**ANEXO 5.** EVALUACIÓN AMBIENTAL INICIAL DEL PROYECTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL PUNTO DE DESCARGA UBICADO EN EL SECTOR LA FLORESTA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS.



DGGA-GA-R-001

### EVALUACION AMBIENTAL INICIAL (Formato propiedad del MARN)

Instrucciones	Para uso interno del MARN
<p><b>El formato debe proporcionar toda la información solicitada en los apartados, de lo contrario Ventanilla Única no lo aceptará.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Completar el siguiente formato de Evaluación Ambiental Inicial (EAI), colocando una X en las casillas donde corresponda y <b>debe</b> ampliar con información</li> <li>• n escrita en cada uno de los espacios del documento, en donde se requiera.</li> <li>• Si necesita más espacio para completar la información, puede utilizar hojas adicionales e indicar el inciso o sub-inciso a que corresponde la información.</li> <li>• La información <b>debe</b> ser completada, utilizando letra de <b>molde legible</b> o a máquina de escribir.</li> <li>• Este formato también puede completarlo de forma digital, el MARN puede proporcionar copia electrónica si se le facilita el disquete, CD, USB; o bien puede solicitarlo a la siguiente dirección: <a href="mailto:vunica@marn.gob.gt">vunica@marn.gob.gt</a></li> <li>• Todos los espacios deben ser completados, incluso el de aquellas interrogantes en que no sean aplicables a su actividad (explicar la razón o las razones por lo que usted lo considera de esa manera).</li> <li>• Por ningún motivo, puede modificarse el formato y/o agregarle los datos del proponente o logo(s) que no sean del MARN.</li> </ul>	<p>No. Expediente:</p> <p>Clasificación del Listado Taxativo</p> <p>Firma y Sello de Recibido MARN</p>
<b>I. INFORMACION LEGAL</b>	
<b>I.1. Nombre del proyecto obra, industria o actividad:</b>	
<b>“CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PUNTO DE DESCARGA UBICADO EN EL SECTOR LA FLORESTA.”.</b>	
<p><b>1.1.1 Descripción del proyecto, obra o actividad para lo que se solicita aprobación de este instrumento</b></p> <p>El presente instrumento ambiental forma parte de los requerimientos que debe llenar el proyecto en la gestión del Financiamiento ante la SEGEPLAN. Por lo que el mismo está sujeto a la normativa vigente del Sistema Nacional de Inversión Pública-SNIP-. El SNIP también establece la comunicación escalonada entre las políticas de gobierno, la programación de las inversiones, la participación y comunicación interinstitucional dentro de las cuales se encuentran el MARN. Como parte de la asignación de recursos a los proyectos que presenten la mayor rentabilidad social y la concreción de la inversión por medio de la ejecución de proyectos.</p> <p>El título que identifica al proyecto en el presente instrumento, está basado en datos del SNIP cuyo número de identificación es el 000000, por lo que el nombre y datos no pueden ser alterados, debiendo tomar los componentes descritos en este instrumento como un solo proyecto, que beneficiará a los habitantes de Aldea Sombrerito Alto del</p>	

municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.

El presente proyecto consiste en la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos, consistente en 678 Metros Cuadrados de Construcción, beneficiando a 1,548 personas de forma directa (población servida por el drenaje), e indirectamente a todos los pobladores de la parte baja del municipio, este sector pertenece a la muni región 1 siendo los renglones a ejecutar los siguientes: 1) 1099 metros cúbicos de tierra movida, 2) 938.5 metros cuadrados de formateado 3) Aplicación de 232.51 metros cúbicos de concreto 4000 psi. 4) Instalación de tuberías y 5) Limpieza Final Global.

## I.2. Información legal:

### A) Nombre del Proponente o Representante Legal:

**HERLINDO UBALDINO RODRÍGUEZ TELLO**

### B) De la empresa:

Razón social:

**MUNICIPALIDAD DE NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS.**

Nombre Comercial:

**MUNICIPALIDAD DE NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS.**

No. De Escritura Constitutiva: **000-000**

Fecha de constitución: **03 de agosto de 2014**

Patente de Sociedad                      Registro No. \_\_\_\_\_      Folio No. \_\_\_\_\_      Libro No. \_\_\_\_\_

Patente de Comercio                      Registró No.      Folio No.      Libro No.

No. De Finca \_\_\_\_\_      Folio No. \_\_\_\_\_      Libro No. \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ de: **SECTOR LA FLORESTA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS** donde se ubica el proyecto, obra, industria o actividad.

Número de Identificación Tributaria (NIT):

**649222-3**

I.3 Teléfono: 55270733 49816644      Fax: 77603913      Correo electrónico: [axelguzman24@yahoo.com](mailto:axelguzman24@yahoo.com) o [axelguzman24@hotmail.com](mailto:axelguzman24@hotmail.com)

I.4 Dirección de donde se ubicará el proyecto:

**ALDEA SOMBRERITO ALTO, MUNICIPIO NUEVO PROGRESO, DEPARTAMENTO SAN MARCOS.**

Especificar Coordenadas UTM o Geográficas		
Coordenadas UTM (Universal Transverse de Mercator Datum WGS84)	Coordenadas Geográficas	Datum
<b>Longitud</b>	<b>WGS84</b>	
Inicio	N:	
<b>Latitud</b>	W:	
Final		
<b>I.5 Dirección para recibir notificaciones (dirección fiscal)</b>		
<b>MUNICIPALIDAD DE NUEVO PROGRESO, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS.</b>		
<b>I.6 Si para consignar la información en este formato, fue apoyado por una profesional, por favor anote el nombre y profesión del mismo</b>		
<b>AXEL NEPTALI GUZMAN MENDEZ OFICINA DE MEDIO AMBIENTE MUNICIPAL.-</b>		
<b>II. INFORMACION GENERAL</b>		
Se debe proporcionar una descripción de las operaciones que serán efectuadas en el proyecto, obra, industria o actividad, explicando las etapas siguientes:		
<b>Etapas de:</b>		
II.1 Etapa de Construcción**	II.2 Operación	II.3 Abandono
<p><b>Actividades a realizar:</b></p> <p>El presente proyecto consiste en la construcción de un sistema natural de tratamiento de aguas residuales, San Marcos, consistente en 1) Construcción de terrapanes, movimiento de 1099 metros cúbicos de tierra, 2) Un tanque desarenador, Una trampa de grasas, un tanque de distribución de caudales, 2 lagunas anaeróbicas y 2 humedales artificiales, que representan 938.5 metros cuadrados de formaleta, y la 3) Aplicación de 232.51 metros cúbicos de concreto 4000 psi. 4) Instalación de 90 metros lineales de tuberías y 5) Limpieza Final Global.</p>	<p><b>- Actividades o procesos:</b></p> <p>El presente proyecto consiste en la construcción de sistema de tratamiento de aguas residuales municipales del punto de descarga ubicado en el Sector La Floresta.,</p> <p>Razones de mantenimiento:</p> <p>Limpieza de tanques desarenadores, podas de plantas (según requerimientos), purga de tuberías por taponamientos.</p> <p>Materia Prima e insumos:</p> <p>Para la construcción se utilizara: mezcla de concreto 4000 psi, madera para formaletas, tuberías de conducción.</p> <p>Maquinaria:</p> <p>Se estará utilizando retroexcavadora, así como herramienta de trabajo: vehículos para trasporte de materiales, plomo, martillo, nivel, serruchos,</p>	<p><b>- Acciones a tomar en caso de cierre :</b></p> <p>Cambio de material filtrante al finalizar el proyecto, estimado para el año 2029. La arena extraída de las canoas deberá ser estabilizada, mediante su secado en pozos y posterior disposición en un relleno sanitario.</p>

Herramientas: Palas, carretas, azadones, plomo, nivel, metro, piochas.	carretas, palas, picos, piochas, azadones, vibro compactador manual.
Insumos Necesarios: Cemento, arena de río, selecto, clavos tablones, tablas, pedrín.	- Horario de trabajo: horarios hábiles de Lunes a Viernes 8:00 am a 16:00 pm - Otros de relevancia.
Otros de relevancia:	
** Ver planos adjuntos	

#### II.4 Área

- a) Área total de terreno en metros cuadrados: **1072.46 metros cuadrados.**\_\_\_\_\_
- b) Área de ocupación del proyecto en metros cuadrados: **678 metros cuadrados.**\_\_\_\_\_
- c) Área total de construcción en metros cuadrados: **678 metros cuadrados**\_\_\_\_\_

#### II.5 Actividades colindantes al proyecto:

**NORTE:** Caficultura en asocio con forestales

**SUR:** Caficultura en asocio con forestales.

**ESTE:** Caficultura, y bosque denso

**OESTE:** Caficultura en asocio con forestales, Río San Luis

**Describir detalladamente las características del entorno (viviendas, barrancos, ríos, basureros, iglesias, centros educativos, centros culturales, etc.):**

DESCRIPCION	DIRECCION (NORTE, SUR, ESTE, OESTE)	DISTANCIA AL SITIO DEL PROYECTO
Campo de fut bol	<b>NORTE</b>	<b>5 mts</b>
Caficultura en asocio con forestales. Río San Luis	<b>SUR</b>	<b>10 mts</b>
Viviendas	<b>ESTE</b>	<b>50 mts</b>
Caficultura, y bosque denso	<b>ESTE</b>	<b>5 mts</b>
Caficultura en asocio con forestales,	<b>OESTE</b>	<b>15 mts</b>
Río San Luis	<b>OESTE</b>	<b>30 mts</b>

#### II.6 Dirección del viento:

**Norte-sur predominante.**



Combustible	<b>Otro</b>	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	<b>Gasolina</b>	si	300 galones durante la ejecución del proyecto.	Distribuidoras cercanas a este municipio.	Esta será utilizada para vehículos del ingeniero supervisor de proyectos y para traslado de materiales.	Esto será durante el tiempo que dure el proyecto.	Tanques de vehículos de transporte.
	<b>Diesel</b>	si	192 galones de diesel durante la ejecución del proyecto.	Distribuidoras cercanas a este municipio.	Esta será para el traslado de materiales de la ferretería hacia el lugar de la construcción.	Sera usado en camiones y maquinaria que se usara en el proyecto.	Tanques de camiones que transporten material.
	<b>Bunker</b>	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	<b>Glp</b>	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	<b>Otro</b>	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Lubricantes	<b>Solubles</b>	Si aplica	2 litros por semana aproximadamente .	Venta de lubricantes cercanos al proyecto.	Para camiones y pick ups de la empresa.	Durante el tiempo que dure su uso.	Estos serán depositados directamente al motor de los vehículos.
	<b>No solubles</b>	Si	1 libra por semana aproximadamente	Venta de lubricantes cercanos al proyecto.	Para engrase de piezas visibles de los vehículos.	Durante el tiempo que dure su uso.	Estos serán guardados en los envases del fabricante y será usado

							según sea necesario.
Refrigerantes		Si	4 litros durante el tiempo que dure la ejecución del proyecto.	Distribuidoras cercanas al proyecto.	Para evitar calentamiento de los motores.	Específicamente para el uso en radiadores de los motores.	Radiadores de los vehículos.
Otros		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

**NOTA: si se cuenta con licencia extendida por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, para comercialización o almacenaje de combustible. Adjuntar copia.**

### III. TRANSPORTE

III.1 En cuanto a aspectos relacionados con el transporte y parqueo de los vehículos de la empresa, proporcionar los datos siguientes:

- a) Número de vehículos: 2 vehículos que se emplearan en la construcción del proyecto, se necesitara de un pick up para supervisión y un camión para el trasporte de materiales.
- b) Tipo de vehículo: 1 pick up y 1 Camión.
- c) Sitio para estacionamiento: En el lugar de la construcción del proyecto solo se tapara una vía mientras se descarga materiales.
- d) y área que ocupa: estacionamiento preventivo.

### IV. IMPACTOS AMBIENTALES QUE PUEDEN SER GENERADOS POR EL PROYECTO, OBRA, INDUSTRIA O ACTIVIDAD.

#### IV. 1 CUADRO DE IMPACTOS AMBIENTALES

En el siguiente cuadro, identificar el o los impactos ambientales que pueden ser generados como resultado de la construcción y operación del proyecto, obra, industria o actividad. Marcar con una X o indicar que no aplica, no es suficiente, por lo que se requiere que se describa y detalle la información, indicando si corresponde o no a sus actividades (usar hojas adicionales si fuera necesario)

No.	Aspecto	impacto ambiental	Tipo de impacto	Indicar	los	Manejo ambiental
-----	---------	-------------------	-----------------	---------	-----	------------------

	Ambiental		ambiental (de acuerdo con la descripción del cuadro anterior)	lugares de donde se espera se generen los impactos ambientales	Indicar qué se hará para evitar el impacto al ambiente, trabajadores y/o vecindario.
1	Aire	Gases o partículas (polvo, vapores, humo, hollín, monóxido de carbono, óxidos de azufre, etc.) Bajo impacto ambiental	Bajo impacto ambiental debido a que solo será en la etapa de construcción del proyecto.	Específicamente en el área de construcción del proyecto. Y cuando se traslade materiales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener la bodega cerrada para evitar que el aire levante partículas de cemento</li> <li>Cubrir con lonas el camión para evitar que el aire arrastre partículas de arena.</li> </ul>
		Ruido	Bajo impacto ya que solo se generara ruido cuando se traslade materiales a la obra.	Generación de ruido en la construcción por el uso de maquinaria y vehículos.	<p>Se prevé que los camiones circulen en horarios de trabajo establecidos para que no afecte el horario de descanso de las personas.</p> <p>Se recomienda que los vehículos estén en buen estado con el fin de que no se genere demasiado ruido.</p>
		Vibraciones	Bajo ya que no se tiene contemplado el uso de maquinaria pesada.	Las vibraciones que se generaran serán a la hora del transporte de materiales.	Se recomienda que los camiones que transporten materiales circular a velocidades moderadas con el fin

					de no provocar vibraciones que afecten alrededor de donde transiten los vehículos.
		Olores	Bajo impacto ambiental, debido a que si se generaran olores en la operación del proyecto pero estos serán mínimos.	Área de Operación del proyecto.	➤ Puede ser que las lagunas anaeróbicas generen malos olores, como medida se recomienda la implementación de barreras vivas en las áreas libres de ocupación para tratamiento de aguas residuales.
2	Agua	Abastecimiento de agua Impacto ambiental moderado porque será un uso temporal de agua.	Moderado ya que se necesitara agua para la construcción del proyecto.	Este será directamente en el área donde se construirá el proyecto.	➤ Almacenar agua en toneles para tener agua disponible cuando se interrumpiera el servicio de agua potable, para tener agua disponible para que los niños puedan lavar sus manos.
		Aguas residuales Ordinarias (aguas residuales generadas por la actividad doméstica.	No aplica por que se clasifican como aguas residuales especiales.	No aplica.	➤ No aplica.
		Aguas residuales Especiales (aguas residuales generadas por servicios públicos municipales, actividades de servicio industrial, agrícola y hospitalario.	El proyecto prevé la depuración de estos vertidos.	Área de ubicación del proyecto.	➤ Revisión periódica del sistema de tratamiento para evitar mal funcionamiento. ➤ Siembra de barreras vivas.
		Mezcla de las aguas residuales anteriores	No se mezclaran este tipo de aguas	Descarga: no se generara	➤ No requiere de actividades específicas ya que

			en el proyecto.	mezcla de este tipo de aguas.	en el proyecto no se prevé la generación de este tipo de aguas.
		Agua de lluvia	Permanente sobre el sistema de tratamiento.	El agua de lluvia será solo en época de invierno, y estas serán drenadas fuera del área de tratamiento.	➤ Por medio de canales y tubos de drenaje estas aguas serán depositadas fuera del área de la escuela, debido a que estas son aguas de lluvia no están contaminadas por lo que pueden ir directamente al suelo sin afectar el equilibrio ecológico.
3	Suelo	Desechos sólidos (basura común)	Generación de 2 kilos de basura común por día aproximadamente, por lo que el impacto es bajo.	Dentro del lugar de donde se construirá el sistema de tratamiento.	➤ Clasificar la basura..
		Desechos Peligrosos (con una o más de las siguientes características: corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y bioinfecciosos)	Partículas derivadas del desarenador.	Desarenador del sistema de tratamiento de agua residual.	➤ Disponer los desechos en un relleno sanitario.
		Descarga de aguas residuales (Si van directo al suelo).	No aplica.	No aplica.	➤ No aplica.
		Modificación del relieve o topografía del área	Alto impacto ambiental, debido a la nivelación del terreno de construcción a	En el área de construcción del proyecto.	➤ Los volúmenes de tierra extraídos serán utilizados para el relleno de las zonas más bajas, con el fin de reducir los costos y los impactos

			una pendiente del 2%.		ambientales negativos para el entorno.
4	Biodiversidad	<i>Flora (árboles, plantas)</i>	Bajo impacto ambiental ya que la densidad de las plantas existentes es baja.	Área de construcción del proyecto..	➤ Se recomienda sembrar barreras vivas alrededor del terreno, preferiblemente con árboles maderables.
		<i>Fauna (animales)</i>	Bajo impacto ambiental, debido a que es una zona habitada y solo se observan animales pequeños.	Directo en la obra	➤ Restablecimiento en el tiempo del equilibrio ecológico debido a que el sistema de tratamiento es natural..
		<i>Ecosistema</i>	Impacto positivo para ecosistemas aledaños.	Entorno al proyecto.	➤ El proyecto prevé la depuración de aguas residuales, por lo que su operación disminuirá la magnitud de la intervención del ser humano sobre los ecosistemas del cuerpo receptor de los vertidos (río San Luis)..
5	Visual	<i>Modificación del paisaje</i>	Alto ya que tendrá existirá un cambio de uso de tierra, aunque su implementación coadyuva al mantenimiento de otros paisajes.	En el área de trabajo.	➤ Jardinería de los sectores fuera de aprovechamiento superficiales para el tratamiento de aguas residuales.
6	Social	Cambio o modificaciones sociales, económicas y culturales, incluyendo	Impacto Positivo, dado que se reducen las	Vecinos aledaños al punto de	➤ Educación a los vecinos de la comunidad para informarles sobre la importancia de

		monumentos arqueológicos	enfermedades de origen hídrico.	descarga, así como pobladores de comunidades aguas abajo del río San Luis..	operación del proyecto.
7	Otros	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.

NOTA: Complementaria a la información proporcionada se solicitan otros datos importantes en los numerales siguientes.

<b>V. DEMANDA Y CONSUMO DE ENERGÍA</b>
<p><b>CONSUMO</b></p> <p>V.1 Consumo de energía por unidad de tiempo (kW/hr o kW/mes):</p> <p>V. 2 Forma de suministro de energía</p> <p>a) Sistema público:</p> <p>b) Sistema privado:</p> <p>c) generación propia:</p> <p>V.3 Dentro de los sistemas eléctricos de la empresa se utilizan transformadores, condensadores, capacitores o inyectores eléctricos?</p> <p>SI_____ NO_____</p> <p>V.4 Qué medidas propone para disminuir el consumo de energía o promover el ahorro de energía?.</p> <p><b>Usar focos ahorradores de energía y hacer uso de la energía eléctrica únicamente cuando sea necesario.</b></p>
<b>VI. EFECTOS Y RIESGOS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD</b>
<p><b>VI.1 Efectos en la salud humana del vecindario:</b></p> <p>a) ( ) la actividad no representa riesgo a la salud de pobladores cercanos al sitio.</p> <p>b) ( X ) la actividad provoca un grado leve de molestia y riesgo a la salud de pobladores</p> <p>c) ( ) a actividad provoca grandes molestias y gran riesgo a la salud de pobladores</p> <p>Del inciso marcado explique las razones de su respuesta, identificar que o cuáles serían las actividades riesgosas: la mala operación del sistema de tratamiento puede generar malos olores al entorno si no se realiza el manejo</p>

recomendado por barreras vivas, para mitigar este efecto.

**VI.2 En el área donde se ubica la actividad, a qué tipo de riesgo puede estar expuesto?**

- a) inundación ( )                      b) explosión ( )                      c) deslizamientos ( )  
 d) derrame de combustible ( )                      e) fuga de combustible ( )                      d) Incendio ( )  
 e) Otro ( )

Detalle la información explicando el por qué?: No existe ninguna actividad de riesgo cercana al proyecto. La única posibilidad es la inundación del sitio, sin embargo; este se encuentra ubicado en una zona alta, con respecto a la fisiografía del lugar.

**VI.3 riesgos ocupacionales:**

- ( ) Existe alguna actividad que represente riesgo para la salud de los trabajadores  
 ( ) La actividad provoca un grado leve de molestia y riesgo a la salud de los trabajadores  
 ( ) La actividad provoca grandes molestias y gran riesgo a la salud de los trabajadores  
 (X) No existen riesgos para los trabajadores

Ampliar información: No existe ninguna actividad de riesgo molestia en la salud de los trabajadores, ya que serán capacitados y equipados con equipo mínimo de protección para evitar posibles accidentes.

**VI.4 Equipo de protección personal**

VI.4.1 Se provee de algún equipo de protección para los trabajadores? SI ( x ) NO ( )

VI.4.2 Detallar que clase de equipo de protección se proporciona: **Guantes, Botas, Casco, Lentes de Protección, Chaleco, Mascarillas, Señalización.**

VI.4.3 ¿Qué medidas propone para evitar las molestias o daños a la salud de la población y/o trabajadores?:

**Tener un botiquín de primeros auxilios en el lugar del proyecto a beneficio de cada trabajador en el momento de construcción del proyecto y en el momento de operación a beneficio de los operarios, así mismo la empresa constructora debe inscribir a los trabajadores en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), para asegurar atención medica de los mismos.**

Herlindo Ubaldino Rodríguez Tello

Alcalde Municipal

**ANEXO 6.** ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DEL PUNTO DE DESCARGA UBICADA EN EL SECTOR LA FLORESTA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS; REALIZADOS POR LA MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL RÍO EL NARANJO.



Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Río Naranjo  
San Marcos, Guatemala, Centro América – Código Postal 12001  
mail@mancuern.org | www.mancuern.org



### INFORME EXAMEN BACTEREOLÓGICO

MUESTRA No. 17-2014

#### INFORMACION DE LA MUESTRA:

Interesado: EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO (E.P.S.), Universidad de San Carlos De Guatemala/ MUNICIPALIDAD DE NUEVO PROGRESO	
Punto de muestra: Descarga de drenaje del municipio	
Fuente:	pH in situ:
Municipio: Nuevo Progreso	Temperatura in situ:
Departamento: San Marcos.	Fecha de recepción: 21/08/2014
Fecha de Captación: 21/08/2014	Hora de recepción: 3:30 PM
Hora de Captación: 9:45 AM	Técnica de preservación: Refrigeración
Responsable de captación: Rudy Galindo	

Los datos fueron copiados textualmente de la tarjeta de identificación de la muestra.

#### RESULTADO

ITEM	PARÁMETRO BACTERIOLÓGICO	RESULTADO	UNIDADES
10	Grupo coliforme fecal	> 23	NM/100 ml

#### OBSERVACIONES

1. El examen de los grupos coliformes totales y coliformes fecales se realizó a través de la técnica de fermentación en tubos múltiples.

Ing. Juan Carlos Díaz  
Coordinador Obras y Servicios Intermunicipales  
MANCUERNA





Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Río Naranjo  
San Marcos, Guatemala, Centro América – Código Postal 12001  
mail@mancuerna.org | www.mancuerna.org



### INFORME ANALISIS DE AGUA RESIDUAL

MUESTRA No. 17-2014

#### INFORMACION DE LA MUESTRA:

Interesado: EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO (E.P.S.), Universidad de San Carlos De Guatemala/ MUNICIPALIDAD DE NUEVO PROGRESO	
Punto de muestra: Descarga de drenaje del municipio	
Fuente:	pH in situ:
Municipio: Nuevo Progreso	Temperatura in situ:
Departamento: San Marcos.	Fecha de recepción: 21/08/2014
Fecha de Captación: 21/08/2014	Hora de recepción: 3:30 PM
Hora de Captación: 9:45 AM	Técnica de preservación: Refrigeración
Responsable de captación: Rudy Galindo	

Los datos fueron copiados textualmente de la tarjeta de identificación de la muestra.

#### RESULTADO

ANALISIS	RESULTADO DE MUESTRA	LIMITES
Ph		LMA 7.00 – 7.50 LMP 6.50 – 8.50
Conductividad eléctrica	696	100 – 750 $\mu$ S/CM A 25°C
TDS	348	LMA 500 LMP 1,000
Temperatura		+ 7 TCR
Salinidad	4.30	
DQO	220 mg/l	
DBO	110 mg/l	200 MG/L

Ing. Juan Carlos Díaz  
Coordinador Obras y Servicios Intermunicipales  
MANCUERNA



**ANEXO 7.** RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DEL PUNTO DE DESCARGA UBICADA EN EL SECTOR LA FLORESTA, OBSERVADOS EN ESTUDIO TÉCNICO REALIZADO POR LA MUNICIPALIDAD DE NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS.



## RESULTADOS DE ANÁLISIS:

PARAMETRO	RESULTADOS DE ANÁLISIS
	Descarga en la Floresta camino a la Finca La Marina
Grasas y Aceites (mg/l)	7
Materia Flotante	Ausente
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	56
Sólidos Sedimentables (mg/l)	3.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	107
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	161
Nitrógeno Total (mg/l)	6.7
Fósforo Total (mg/l)	1.62
Potencial de Hidrógeno	6.91
Color (U.P.C) (real)	38
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	$5.4 \times 10^6$
Temperatura °C (in situ)	22.9
Arsénico (mg/l)	N.D.*
Cadmio (mg/l)	N.D.*
Cianuro (mg/l)	N.D.*
Cobre (mg/l)	N.D.*
Cromo hexavalente (mg/l)	N.D.*
Mercurio (mg/l)	N.D.*
Níquel (mg/l)	N.D.*
Plomo (mg/l)	N.D.*
Zinc (mg/l)	0.12
Caudal Q l/s	4.45
Temperatura °C cuerpo receptor (in situ)	24.1

\*No Detectable

Cuadro 1: Resultados de Análisis por Ecosistemas, realizado por Boneris Rodas.

## 7. g Caracterización de las aguas residuales para reuso

No aplica, ya que actualmente no se está haciendo ningún tipo de reuso de las aguas residuales.



### 7. I Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva

Después de haber caracterizado la descarga de aguas residuales del municipio y no habiéndose detectado la presencia de metales pesados, solamente se continuara monitoreando por futuros muestreos los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

PARAMETRO	RESULTADOS DE ANÁLISIS	LMP etapa 4 artículos 20 y 24	LMP Norma COGUANOR 29001
Arsénico (mg/l)	N.D. *	0.1	0.01
Cadmio (mg/l)	N.D. *	0.1	0.003
Cianuro (mg/l)	N.D. *	1	0.070
Cobre (mg/l)	N.D. *	3	1.5
Cromo hexavalente (mg/l)	N.D. *	0.1	0.05
Mercurio (mg/l)	N.D. *	0.01	0.001
Niquel (mg/l)	N.D. *	2	-----
Plomo (mg/l)	N.D. *	0.4	0.01
Zinc (mg/l)	0.12	10	70

\* No Detectable

Cuadro 2: Resultados de análisis de metales pesados, Fuente: Laboratorio Ecosistemas.



Todas las municipalidades deberán cumplir con tener en operación, por lo menos con sistemas de tratamiento primario al cumplirse a más tardar el dos de mayo del dos mil quince.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo, lo cual deberá ser acreditado en el Estudio Técnico.

La anterior disposición no exime a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

LÍNEA BASAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA DESCARGA UBICADA EN EL LA FLORESTA CAMINO A FINCA LA MARINA, DEL MUNICIPIO DE NUEVO PROGRESO.

Análisis de resultados:

PARAMETRO	RESULTADOS DE ANÁLISIS	ETAPA DE CUMPLIMIENTO DE LOS ARTICULOS 20 Y 24 inciso b	
	Descarga en la Floresta camino a la Finca La Marina	Etapas de cumplimiento Artículo 20	Etapas de cumplimiento Artículo 24 inciso b
Grasas y Aceites (mg/l)	7	Cuatro	Cuatro
Materia Flotante	Ausente	Cuatro	Cuatro
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	56	Cuatro	Cuatro
Sólidos Sedimentables (mg/l)	3.5	No establece LMP	No establece LMP
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	107	No establece LMP para este artículo	Uno
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	161	No establece LMP para este artículo	No establece LMP para este artículo
Nitrógeno Total (mg/l)	6.7	Cuatro	Cuatro
Fósforo Total (mg/l)	1.62	Cuatro	Cuatro
Potencial de Hidrógeno	6.91	Cuatro	Cuatro
Color (U.P.C)	38	Cuatro	Cuatro
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	$5.4 \times 10^5$	Uno	Uno
Temperatura °C descarga (in situ)	22.9		
Temperatura °C cuerpo receptor	24.1	Cuatro	Cuatro
Arsénico (mg/l)	N.D.	Cuatro	Cuatro
Cadmio (mg/l)	N.D.	Cuatro	Cuatro
Cianuro (mg/l)	N.D.	Cuatro	Cuatro
Cobre (mg/l)	N.D.	Cuatro	Cuatro



Mazatenango Suchitepéquez, 13 de noviembre de 2014

Msc. Celso González Morales  
Encargado de la Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
Centro Universitario de Suroccidente

Respetable Ing. González

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para presentarle el Informe final de Investigación Inferencial titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA CON HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COLECTADAS EN SECTOR LA FLORESTA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS.", realizado por el estudiante: Rudy Alexander Galindo García, quien se identifica con número de carné: 200942114, dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local – EPSIGAL-.

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo seis, inciso 6.4 del Normativo de Trabajo de Graduación, pueda a través de sus buenos oficios darse el procedimiento para poder ser considerado Trabajo de Graduación, para obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.

Respetuosamente, se despide de usted.

Atentamente

Lcda. Heydi Angelina Vela Armas  
Asesora/Supervisora  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC

*Heydi Vela de Moreno*  
Licda. Pedagogía y admón. Educativa  
Colegiado 12.780



Mazatenango Suchitepéquez, 17 de noviembre de 2014

Msc. Celso González Morales  
Encargado de la Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
Centro Universitario de Suroccidente

Respetable Ing. González

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para presentarle el Informe final de Investigación Inferencial titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA CON HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COLECATADAS EN SECTOR LA FLORESTA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS .", realizado por el estudiante: Rudy Alexander Galindo García, quien se identifica con número de carné: 200942114, dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local – EPSIGAL-.

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo seis, inciso 6.4 del Normativo de Trabajo de Graduación, pueda a través de sus buenos oficios darse el procedimiento para poder ser considerado Trabajo de Graduación, para obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.

Respetuosamente, se despide de usted.

Atentamente

Inga. Agra. Mirna Lucrecia Vela Armas  
Secretaria Comisión EPSIGAL  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC

*Lucrecia Vela Armas*  
INGENIERA AGRONOMA  
Colegiado 3,944



Mazatenango Suchitepéquez, 18 de noviembre de 2014

Dra. Alba Ruth Maldonado de León  
Directora  
Centro Universitario de Suroccidente

Respetable Directora:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirme al informe final de trabajo de graduación titulado: "Diseño de un sistema con humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales colectadas en Sector La Floresta, Nuevo Progreso, San Marcos", del estudiante **Rudy Alexander Galindo García**, de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, quien se identifica con número de carné 200942114.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por la Ingeniera Agrónoma Mirna Lucrecia Vela Armas, revisora del informe, el cual ya fue corregido de acuerdo a las recomendaciones realizadas.

Por lo tanto en mi calidad de Encargado de la carrera, me permito **solicitarle el IMPRIMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular,

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Celso González Morales  
Encargado de Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario de Sur Occidente  
GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CUNSUROC/USAC-I-86-2014**

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,  
Mazatenango, Suchitepéquez, diecisiete de noviembre de dos mil catorce-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "DISEÑO DE UN SISTEMA CON HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COLECTADAS EN SECTOR LA FLORESTA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS.", del estudiante: **Rudy Alexander Galindo García**, carné 200942114 de la carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

**DRA. ALBA RUTH MALDONADO DE LEÓN**  
**DIRECTORA**

