



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE LA RELACION C: N EN EL PROCESO DE ABSORCION
DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS (XANTHOSOMA ROBUSTUM Y CANNA
INDICA) EN UN SISTEMA PROTOTIPO HUMEDAL ARTIFICIAL”
TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA
LUCERO PORTILLA ROMERO**

**DIRECTOR DE TESIS
DRA. DALIA GUADALUPE MENDOZA LÓPEZ**

**CO-DIRECTOR
DRA. GABYCARMEN RODRIGUEZ NAVARRETE
ASESOR
DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO
ASESOR
DRA. ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO**

14 DE NOVIEMBRE DEL 2022 BOCA DEL RIO, VERACRUZ.





Boca del Río, Ver **14/NOVIEMBRE/2022**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**LUCERO PORTILLA ROMERO
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la **TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO**, desarrollada por usted cuyo título es:

“EVALUACIÓN DE LA RELACION C: N EN EL PROCESO DE ABSORCION DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS (XANTHOSOMA ROBUSTUM Y CANNA INDICA) EN UN SISTEMA PROTOTIPO HUMEDAL ARTIFICIAL”

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros maestros responderemos

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Boca del Río, Ver., **14/SEPTIEMBRE/2022**
ASUNTO: SOLICITUD DE FECHA DE
EXAMEN DE GRADO

LIC. ANA OLIVIA AVENDAÑO CHINCOYA
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
Presente.

AT'N.LIC. SONIA CONCEPCIÓN SOLÍS SOLÍS
GESTOR DE TITULACIÓN
Presente.

Por este medio me permito informar que el candidato(a) al Grado de **Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental** que a continuación se indica, fue liberado(a) por su Comité Revisor de Tesis, por lo que le solicito de la manera más atenta tenga a bien apoyarle en los trámites correspondientes a la generación de expediente, y calendarización de fecha para el examen de grado; con la siguiente fecha sugerida de examen:

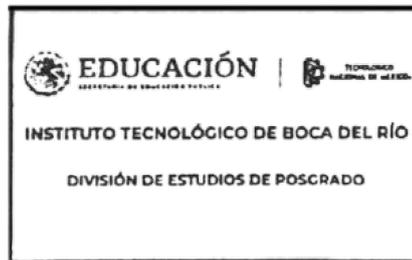
ESTUDIANTE	FECHA DE EXAMEN	COMITÉ DE TESIS
LUCERO PORTILLA ROMERO	5 DE DICIEMBRE 2022 10:00 horas	DIRECTOR DE TESIS DRA. DALIA GUADALUPE MENDOZA LÓPEZ CODIRECTOR DRA. GABYCARMEN RODRIGUEZ NAVARRETE ASESOR DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO ASESOR DRA. ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO

Sin otro particular, agradezco de antemano la atención que sirva brindar al presente.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos



DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinador del Programa MCIAMB
c.c.p. Archivo



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Boca del Río, Ver, **14/NOVIEMBRE/2022**

**ASUNTO: AVISO Y FECHA DE REALIZACIÓN
DE EXAMEN DE GRADO**

C. INTEGRANTES DEL COMITÉ DE EXAMEN PROFESIONAL

PRESIDENTE	DRA. DALIA GUADALUPE MENDOZA LÓPEZ
SECRETARIO	DRA. GABYCARMEN RODRIGUEZ NAVARRETE
VOCAL	DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO
SUPLENTE	DRA. ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO

Por este medio le informo que la **DEFENSA DEL EXAMEN DE TESIS** para la obtención del **GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS** de la **C.LUCERO PORTILLA ROMERO** egresado del **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO**, y candidato a **MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**, se realizará el día **5 de diciembre 2022 a las 10:00 horas** en EL AULA MAGNA "**ING. SERGIO S. GARCÍA MÁRQUEZ**" de este Instituto, por lo que se le extiende una cordial invitación para que participe, y se le agradece de antemano su puntual asistencia.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros marcos, responderemos

DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinador del Programa MCIAMB
c.c.p. Archivo



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



Boca del Río, Veracruz, **27/mayo/2023**

Asunto: **CESION DE DERECHOS Y NO PLAGIO**

**H. CONSEJO DE POSGRADO
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
PRESENTE**

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 27 días del mes mayo de 2020. El que suscribe Ing Lucero Portilla Romero por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: “Evaluación de la relación C : N en el proceso de absorción de nutrientes en las plantas (*Xanthosoma robustum* y *Canna Indica*), en un sistema prototipo humedal artificial” (en lo sucesivo la “TESIS”) manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el “TecNM”). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la “TESIS” se transfiera en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la “TESIS” es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la “TESIS” en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del “TecNM”, adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la “TESIS” a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la “TESIS” por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el “TecNM”.





VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: luportillar@gmail.com .

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE

Lucero Portilla Romero

NOMBRE Y FIRMA DEL ESTUDIANTE DE MAESTRIA

c.c.p. Archivo



RESUMEN

Los humedales naturales ocupan entre el 4-6% de la superficie en la tierra, pero forman una parte importante en el ciclo del carbono, la captación del carbono se realiza mediante la fijación de dióxido de carbono a través de las plantas, el carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales en la nutrición de cualquier organismo, en este caso, las plantas de los humedales, estos elementos deben estar en una relación idónea para lograr un buen desarrollo de estas y a su vez lograr una buena remoción de materia orgánica. Las plantas presentes en el humedal afectan el rendimiento del ecosistema y los ciclos biogeoquímicos, por lo que afecta la interacción entre el carbono y nitrógeno (Sakin, 2012), ya que las raíces, favorecen la entrada de carbono y la estabilización del suelo. La rapidez con que la que los microorganismos desintegradores descomponen la materia orgánica también

depende de la relación C: N (Fuentes, 1994). Las plantas *Canna indica* y *Xanthosoma robustum*, son excelentes para los procesos de remoción de nutrientes, en este estudio se observaron remociones de DBO de 300-400 mg/l fueron disminuidas a 40-70 mg/l de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021, estos valores se encuentran dentro de los máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

DEDICATORIAS

A Dios por darme infinitas oportunidades en la vida

A mis papas que siempre han sido mi motivación

A mi esposo que es mi apoyo incondicional

A mi hijo que es mi motor de vida

a los extraños ...

Y a mí misma dejándome claro que todos los sueños se
pueden hacer realidad siempre y cuando tenga
constancia y disciplina

¡Vida que rara e increíble has sido conmigo!

2022 año de cerrar ciclos

AGRADECIMIENTOS

Al TecNM por el financiamiento otorgado al proyecto “Evaluación de la relación C/N en el proceso de absorción de nutrientes en las plantas (*Xanthosoma robustum* y *Canna Indica*), en un sistema prototipo humedal artificial” No. A-012012-110221, en su convocatoria 2022 Proyectos de Investigación Científica

INDICE

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	7
MARCO EPISTEMICO	9
MARCO TEORICO	11
TEORIA GENERAL.....	11
Teoría de sistemas	11
TEMA 1: TEORIAS CONSTITUTIVA.....	12
Teoría de Gaia	12
Ley del mínimo de Liebig	13
Ley del Mínimo de Mitscherlich o Rendimientos decrecientes	13
3.1.4 Criterios de esenciabilidad	13
3.2 Ciclos biogeoquímicos	15
3.3 Relación Carbono/Nitrógeno	19
3.3 Humedales	19
3.4 Plantas	20
<i>Raíz</i>	20
3.4.1 Macronutrientes	21
MACRONUTRIENTES PRIMARIOS	21
Planta	24
3.4.1 <i>Canna Indica</i>	24
3.4.7 Hoja elegante <i>Xanthosoma robustum</i>	25
3.5 Sustratos	26
3.6 Análisis fisicoquímicos.....	28
3.6.1 Demanda química de oxígeno.....	28
3.6.2 Demanda bioquímica de oxígeno.....	29
3.6.3 Nitrógeno Total	29
3.6.4 Carbono Total	29
MARCO REFERENCIAL	30
ÁREA DE ESTUDIO.....	30
ANTECEDENTES	30
VACIO DEL CONOCIMIENTO	32
FRONTERA DEL CONOCIMIENTO.....	32
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	33

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	36
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	36
JUSTIFICACIÓN	36
6.-HIPOTESIS	37
El exceso o la deficiencia de carbono y nitrógeno afecta la disponibilidad de nutrientes de fácil absorción por parte de las plantas.	37
7.-OBJETIVOS	37
OBJETIVO GENERAL	37
Evaluar la relación C/N en un sistema controlado de flujo vertical con dos especies diferentes de plantas.	37
OBJETIVOS ESPECIFICOS	37
8.1 Área de estudio	37
8.2 Diseño Experimental	38
8.2.1 Toma de muestras	38
8.2.2 Análisis de muestras	38
8.1.2 Análisis estadísticos	42
RESULTADOS Y DISCUSION	46
XANTHOSOMA ROBUSTUM	53
CANNA INDICA	61

Tabla de figuras

Figura 1 Ciclo del nitrógeno	18
Figura 3 Canna indica L. Fuente: Wikipedia Commons, 2007	25
Figura 4 Xanthosoma robustum Fuente: Wikipedia commos, 2008.....	25
Figura 5 Tezontle rojo Fuente: Freepek, s.f.	27
Figura 6 Tezontle negro Fuente: Freepek, s.f.	27
Figura 7 Concha de caracol Fuente: Freepick, s.f.....	28
Figura 8 Concha de ostión Fuente: Instituto Nacional de Pesca, 2018	28
Figura 9 Ubicación Tecnológico de Boca del Rio Fuente: Google Maps, 2020.	30
Figura 10 Esquema del problema	35
Figura 11 línea del tiempo del proceso	41
Figura 12 Elección de material para prototipo.....	43
Figura 13 Configuración de sistema interior 30 cm de concha de ostion.....	44
Figura 14 Configuración de sistema interior 60 cm de Tezontle.....	44
Figura 15 Pesado de reactivos y transporte de reactivo.....	45
Figura 16 Medidor de temperatura.....	47
Figura 17 Temperaturas de la rizosfera de las plantas.....	47
Figura 18 BODTrack II "Medidor de DBO5"	48
Figura 19 DBO5 Canna indica	49
Figura 20 DBO5 Xanthosoma robustum	49
Figura 21 Intervalos de entrada y salida izquierda Canna indica derecha Xanthosoma robustum.....	50
Figura 22 DQO Canna indica.....	51
Figura 23 DQO Xanthosoma robustum.....	51
Figura 24 Turbidez del sistema humedal artificial	52
Figura 25 Análisis de Tuckey diferencias entre tallos Xanthosoma robustum	55
Figura 26 Análisis de residuos tallos Xanthosoma robustum	55
Figura 27 Análisis de Tuckey diferencias entre largos de hoja Xanthosoma robustum	56
Figura 28 Análisis de residuos del largo de las hojas Xanthosoma robustum	57
Figura 29 Análisis de Tuckey entre ancho de las hojas Xanthosoma robustum	57
Figura 30 Análisis de residuo del ancho de las hojas Xanthosoma robustum	58
Figura 31 Análisis de crecimiento tallo de las plantas Xanthosoma robustum.....	59
Figura 32 Crecimiento del largo de la hoja Xanthosoma robustum	60
Figura 33 Crecimiento del ancho de la hoja Xanthosoma robustum.....	61
Figura 34 Diferencia de medias de tallos Canna indica.....	63
Figura 35 Análisis de residuos Canna indica	64
Figura 36 Diferencia entre las medias del largo de la hoja Canna indica	65
Figura 37 Análisis de residuos largo de las hojas Canna indica.....	65
Figura 38 Análisis de cejas de medias del ancho de las hojas Canna indica	66
Figura 39 Análisis de residuos del ancho de las hojas Canna indica	67
Figura 40 Crecimiento del tallo de Canna indica vs tiempo.....	67
Figura 41 Crecimiento del largo de la hoja Canna indica vs el tiempo	68
Figura 42 Crecimiento del ancho de la hoja Canna indica vs tiempo	68
Figura 43 Obtención de biomasa de las plantas	69
Figura 44 Gramos de carbono generado por m2 del sistema Canna indica	70

Figura 45 Pesos finales en gramos de biomasa producida por metro cuadrado de <i>Xanthosoma robustum</i>	71
Figura 46 Medición de tamaños de hojas en el sistema.....	79
Figura 47 Sistema humedal artificial prototipo montado inicial.....	79
Figura 48 Prototipo humedal artificial con <i>Canna indica</i>	80
Figura 49 Prototipo humedal artificial con <i>Xanthosoma robustum</i> , pequeños brotes, adaptación al sistema positivo.....	80

Tablas

Tabla 1 Pentagramos de carbono por compartimiento.....	15
Tabla 2 Formas del carbono dentro de su ciclo.....	17
Tabla 3 Tabla de antecedentes.....	30
Tabla 4 Metodología.....	38
Tabla 5 Continuación de metodología.....	40
Tabla 6 Reactivos para agua sintética.....	45
Tabla 7 pH del sistema.....	46
Tabla 8 Temperaturas de las plantas.....	46
Tabla 9 Mediciones de DBO5 plantas humedal artificial.....	48
Tabla 10 DQO plantas.....	50
Tabla 11 Métricas de las plantas celda 1 <i>Xanthosoma robustum</i>	53
Tabla 12 Métricas de las plantas celda 2 <i>Xanthosoma robustum</i>	53
Tabla 13 Métricas de las plantas celda 3 <i>Xanthosoma robustum</i>	54
Tabla 14 Método de Tuckey análisis de medias de los tallos planta <i>Xanthosoma robustum</i>	54
Tabla 15 Método de Tuckey análisis de medias del largo de las hojas planta <i>Xanthosoma robustum</i>	56
Tabla 16 Método de Tuckey análisis de medias del ancho de las hojas planta <i>Xanthosoma robustum</i>	57
Tabla 17 Métricas de las plantas celda 1 <i>Canna indica</i>	62
Tabla 18 Métricas de las plantas celda 2 <i>Canna indica</i>	62
Tabla 19 Métricas de las plantas celda 3 <i>Canna indica</i>	62
Tabla 20 Medias Tuckey planta <i>Canna indica</i> Tallos.....	63
Tabla 21 Medias del ancho de las hojas <i>Canna indica</i>	66
Tabla 22 Pesos de la biomasa finales de la biomasa <i>Canna indica</i>	69
Tabla 23 Peso de la biomasa final de la biomasa <i>Xanthosoma robustum</i>	70

INTRODUCCIÓN

El carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales en la nutrición de cualquier organismo, en este caso, las plantas de los humedales, estos deben estar en una relación idónea para lograr un buen desarrollo de las plantas y a su vez lograr una buena remoción de materia orgánica (USDA-NRCS, 2011)

Un humedal (Hu) es un lugar donde la tierra está cubierta por agua, ya sea salada, dulce o en un punto intermedio. Sin embargo, también existen los Hu artificiales, estos.

Un sistema de Hu artificial que está diseñado específicamente para mejorar la calidad del agua como objetivo principal (Wetlands international, 2003). Estos tipos de humedales se pueden clasificar en dos tipos: de flujo vertical y de flujo horizontal. Los Hu de flujo vertical se denominan así porque se alimentan de manera intermitente a través de tuberías que son colocadas verticalmente. “Un humedal artificial de flujo horizontal es una concavidad grande llena de grava y arena que es plantado con vegetación de humedal. Conforme las aguas residuales fluyen horizontalmente a través de concavidad, el material de relleno filtra las partículas y los microorganismos degradan los orgánicos” (Tilley, 2018). Estos Hu de flujo horizontal se clasifican en superficial y subsuperficial.

Las plantas presentes en un humedal afectan el rendimiento del ecosistema y los ciclos biogeoquímicos, lo que afecta la interacción entre el carbono y nitrógeno (Sakin, 2012), ya que las raíces, favorecen la entrada de carbono y la estabilización del suelo.

El secuestro de carbono orgánico del suelo es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacena en el suelo (Lefèvre et al., 2017). Los humedales naturales ocupan entre el 4-6% de la superficie en la tierra, pero forman una parte importante en el ciclo del carbono. La captación del carbono se realiza mediante la fijación de dióxido de

carbono a través de las plantas, se han reportado productividades de 0.4-32 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para diferentes humedales (Hernández, 2009).

La relación carbono nitrógeno (C: N) indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno; los excesos de cualquiera de estos dos componentes conllevan a una situación de carencia o un factor limitante. (USDA-NRCS, 2011)

Si el medio es rico en carbono, pero pobre en nitrógeno, el consumo será lento, la temperatura será baja y el carbono se perderá en forma de dióxido de carbono a la atmósfera. A su vez, si el nitrógeno se encuentra en altas concentraciones, este será transformado en amoníaco impidiendo su correcta actividad biológica, generando una mineralización en el sistema.

En cuanto al nitrógeno es el que garantiza el crecimiento vegetativo de la planta, por otra parte, los residuos del nitrógeno se descomponen con mayor rapidez, pues a partir de él la planta es capaz de transformarlo en aminoácidos y éstos en proteínas.

La rapidez con que los microorganismos desintegradores descomponen la materia orgánica depende de la relación C: N.; si esta se encuentra en el rango de 15 a 20:1 se produce una descomposición con mayor rapidez y cuando dicha relación está por encima de 50 y menos de 10 la descomposición es lenta (Fuentes, 1994). De esta manera es probable que si el nitrógeno afecta la descomposición lo hace especialmente a través de la relación C: N del sustrato.

Una relación C:N alrededor de 20 normalmente se encuentra presente en plantas jóvenes y gramíneas, sin embargo al madurar su tejido se genera una disminución del contenido de proteína y un aumento de lignina, esto resulta en un incremento de la relación a valores mayores a 30 (Fassbender, 1987).

En este proyecto se estudiarán los conceptos y teorías de la relación carbono – nitrógeno, así como su efecto en la absorción de nutrientes dependiendo la planta y el tipo de sustrato presente en la celda (**Tezontle y Concha de ostión**). Se realizarán análisis de nitrógeno total, carbono total y su evaluación y comparación cualitativa del C: N.

MARCO EPISTEMICO

El estudio de la relación carbono nitrógeno en un humedal ornamental parte de la tabula rasa debido a sus condiciones nuevas que presenta como es el tipo de sustrato que se está manejando (PET, concha de caracol) y la adaptación al medio de las plantas ornamentales. Por eso se puede decir que se generara un estudio epistémico con base en el empirismo.

El empirismo es un movimiento filosófico desarrollado en la segunda mitad del siglo XVII y parte del siglo XVIII en Inglaterra, Escocia e Irlanda, este reivindica siempre la primacía de la práctica, y por tanto de la experiencia sensible como fundamento de la razón. La palabra empirismo proviene del griego empírea que significa “Experiencia” (García González, 2014)

El empirismo cuenta con varias ideas como lo es la negación de las ideas innatas: La experiencia es la única fuente de conocimiento; dentro de esto nos explica que “Cada idea que tenemos por abstracta que pueda parecer debe poseer un fundamento en el conocimiento aportado por los sentidos” (Han & goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, 2019); maneja la teoría Tabula Rasa, proviene del latín “tablilla raspada”, esta hace referencia a la tesis epistemológica de que cada individuo nace con la mente vacía, donde todos los conocimientos y habilidades del ser humano son exclusivamente del aprendizaje obtenido a través de las experiencias y sus percepciones sensoriales; John Locke popularizo el concepto de tabula rasa en un pasaje de su *ensayo sobre el entendimiento humano*, ahí escribe:

"Supongamos que la mente es, como decimos, un papel en blanco, vacío de cualquier carácter, sin ninguna idea. ¿Cómo se rellena? ¿De dónde le llega toda esa enorme provisión que la fantasía desbordada y sin límites del hombre ha pintado sobre ella con una variedad casi infinita? ¿De dónde proceden todos los materiales de la razón y el conocimiento? Para responder con una sola palabra, de la experiencia."(Locke, 1960).

Nos dice que debemos establecer evidencia sensible como único criterio gnoseológico de verdad. Donde el único criterio que permite distinguir el verdadero del falso es la evidencia del dato sensible. Por lo tanto, el momento ontológico sería donde el empirismo metafísico afirma que el único conocimiento válido es el que proviene de la experiencia.

Se encuentra la idea de las relaciones en donde se define más claramente que una sustancia, pues esta resulta de referir una cosa a otra, o de la comparación de dos cosas entre sí, así dándole un nombre en específico a ambas cosas como conjunto, aunque separadas tenga un significado diferente.

MARCO TEORICO

TEORIA GENERAL

Teoría de sistemas

Los sistemas guardan estrechas relaciones entre sí, este conjunto de elementos mantiene al sistema directo o indirectamente unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persiguen, normalmente, algún tipo de objetivo teleológico, concentran procesos sistémicos internos que deben ser complementadas con una concepción de sistemas abiertos, en donde queda establecida como condición para la continuidad sistémica el establecimiento de un flujo de relaciones con el ambiente (Arnold, M. y Osorio, F. 1998).

Se pueden considerar dos estrategias para la investigación de los Teoría General de sistemas:

La relación sistema y sus partes elementos tienen una cualidad esencial de un sistema y está dada por la interdependencia de las partes que lo integran y el orden subyacente de este y las distinciones conceptuales se concentran en los procesos de frontera (sistema/ambiente) en el cual lo central son las corrientes de entradas y de salidas donde se establece una relación entre el sistema y su ambiente (Arnold & Osorio, 2011).

Dentro de los conceptos básicos dados a la teoría general de sistemas encontramos “RELACION: Las relaciones internas y externas de los sistemas han tomado diversas denominaciones. Entre otros efectos recíprocos, interrelaciones, organización, comunicaciones, flujos, prestaciones, asociaciones, intercambios, interdependencias, coherencias, etcétera. Las relaciones entre los elementos de un sistema y su ambiente son de vital importancia para la comprensión del comportamiento de sistemas vivos. Las relaciones pueden ser recíprocas (circularidad) o unidireccionales. Presentadas en un momento del sistema, las

relaciones pueden ser observadas como una red estructurada bajo el esquema input/output” (Arnold & Osorio, 2011).

TEMA 1: TEORIAS CONSTITUTIVA

Teoría de Gaia

En la década de 1970 James Lovelock y Lynn Margullis propusieron la hipótesis de Gaia, en la actualidad es una teoría que da referencia a un sistema autorregulado “integrado por la biota, las rocas, el océano y la atmosfera, mismo que evoluciona en estrecha relación y no de manera independiente como se consideró antes” (Lovelock, J. , 2007).

Los científicos no reconocieron hasta el 2001 que la tierra era un sistema autorregulado:

“El Sistema de la Tierra se comporta como un único sistema autorregulado compuesto por componentes físicos, químicos, biológicos y humanos. La variabilidad de las interacciones y retroalimentación entre los componentes son complejos y presentan múltiples escalas temporales y espaciales” (Declaración de Ámsterdam, 2001).

“Las actividades humanas están influyendo considerablemente en el medio ambiente de la Tierra en muchos aspectos, los cambios antropogénicos de la superficie terrestre, los océanos, las costas y la atmósfera y de la diversidad biológica, el ciclo del agua y los ciclos biogeoquímicos son claramente identificables más allá de la variabilidad natural” (Declaración de Ámsterdam, 2001).

La idea de Gaia, con su implicación de que la Tierra es un sistema que evoluciona y que de alguna forma está vivo, no apareció hasta más o menos 1970 donde:

“Gaia es un sistema fisiológico que parece tener el objetivo inconsciente de regular el clima y la química de forma que resulten adecuados para la vida. Sus objetivos no son fijos sino que se ajustan al medio ambiente de cada momento y se adaptan a las formas de vida que alberga en cada época” (Lovelock, 2006).

Ley del mínimo de Liebig

La deficiencia de un solo elemento limitará el desarrollo de las plantas, aun cuando todos los demás elementos se encuentren en proporción adecuada “La Ley del Mínimo de Liebig indica que el rendimiento de los cultivos está regulado por el factor más limitante y que el rendimiento se puede incrementar únicamente con la corrección de ese factor limitante” (INPOF, 2013).

La Ley de Liebig se ha extendido a poblaciones biológicas. El crecimiento de un organismo (como una planta) puede depender de una serie de factores diferentes: la luz del sol o nutrientes minerales (nitrato o fosfato).

Ley del Mínimo de Mitscherlich o Rendimientos decrecientes

A medida que se aumentan las dosis de un elemento fertilizante disminuye el incremento de cosecha que se consigue por cada unidad fertilizante suministrada, hasta llegar un momento en que los rendimientos no solo no aumentan, sino que disminuyen “Indica que el rendimiento está influenciado por todos los factores limitantes simultáneamente. La influencia de cada uno de los factores limitantes es proporcional a su grado de limitación. Con esta ley, el rendimiento obtenido, en un conjunto dado de condiciones, está en relación a la suma integrada de todos los factores limitantes remanentes” (INPOF, 2013).

Ambas leyes pueden operar a la par, pero aún pueden ser identificadas como independientes. Los factores limitantes severos deben de ser corregidos primero.

3.1.4 Criterios de esencialidad

Arnon y Stout en 1939 establecieron los criterios de esencialidad, estos elementos son los que nutren a la planta y esta los utiliza para llevar a cabo sus funciones metabólicas (Nabors, 2006). Existen 3 criterios a considerar:

Una ausencia del elemento puede dar un resultado anormal del crecimiento de la planta o su muerte prematura.

Un elemento no puede ser reemplazado por otro

El elemento químico ejerce su efecto sobre el crecimiento y el metabolismo.

3.1.4.1 Función

Los elementos se pueden clasificar según su función, los elementos plásticos son nitrógeno, fósforo y azufre estos son los que constituyen la base de la síntesis de las macromoléculas que se encuentran constituyendo las células y tejidos de las plantas, son constituyentes básicos de las proteínas y ácidos nucleicos.

Por otra parte, se encuentran los elementos catalíticos zinc, cobre y molibdeno, estos compuestos intervienen en el metabolismo de las plantas como catalizadores enzimáticos. Y los elementos con funciones diversas como el potasio, calcio y magnesio que mantienen el equilibrio entre los cationes y aniones.

3.1.4.2 Clasificación de los nutrientes minerales según su función en la planta

La función de los nutrientes minerales puede clasificarse en tres tipos, su función estructural donde la nutriente forma parte de la estructura de las moléculas orgánicas. Como función metabólica en donde el nutriente actúa como cofactor enzimático y en su función iónica en donde el nutriente participa en la homeostasis (Nabors, 2006).

3.1.4.3 Clasificación de los nutrientes minerales según su concentración

Se clasifican como macronutrientes teniendo el carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, y azufre y como micronutrientes ya que se encuentran en menor concentración el hierro, boro, cloro, cobre, molibdeno, manganeso, zinc y níquel, por otro lado se tienen los elementos beneficiosos estos pueden suplir parcialmente un elemento esencial o aumentar su tolerancia en la absorción de otro elemento, un ejemplo de ellos son el silicio, sodio, cobalto, aluminio, selenio.

3.2 Ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos son un sistema complejo el cual conecta diferentes procesos, los biológicos, químicos y físicos, por otra parte ayuda a representar las interacciones entre las esferas que son la biosfera, atmosfera, geosfera e hidrosfera, esto a través de fenómenos cíclicos, reversibles o irreversibles (Maldonado et al., 2007).

3.2.1 Ciclo del Carbono

El carbono del planeta se almacena en cinco grandes compartimientos:

- A. Reservas geológicas
- B. Océanos
- C. Atmosfera
- D. Suelos
- E. Biomasa vegetal

En la tabla 1 se muestra la cantidad de carbono en pentagramos (Pg) por compartimiento.

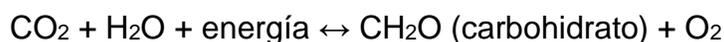
Tabla 1. Pentagramos de carbono por compartimiento

Compartimiento	Pg de C
Atmosfera	720-780
Suelos (Epipedones)	1200-1500
Océanos y rocas geológicas	38000

La cantidad de CO₂ en la atmósfera es controlado por el ciclo de carbono.

La abundancia del carbono en la atmosfera y la corteza de la tierra es baja menos del 0.5%, sin embargo, los compuestos de carbono son esenciales para la vida, ya que estos forman los tejidos de los seres vivos.

El primer componente del ciclo del carbono es la fotosíntesis y respiración de las plantas:



Durante el día las plantas convierten el CO₂ de la atmosfera, en el proceso llamado fotosíntesis y en la noche hacen lo opuesto en el proceso llamado respiración. Se usa el carbohidrato más el oxígeno o para producir la energía cuando no hay sol

(Flores, L., et al., 2009) Existe una relación que afecta el contenido del dióxido de carbono (CO₂) con respecto al carbono en los océanos. Durante este proceso se liberan carbonatos, estos se combinan con iones de carbono, para formar carbonato de calcio, un componente clave en las conchas de los organismos del mar. Siguiendo el ciclo, cuando estos organismos marinos mueren, sus restos pasan a formar parte del sedimento que se encuentra en el suelo del océano, volviéndose con el paso del tiempo en piedra caliza, la reserva más grande de carbono que se encuentra en la tierra (Arroyo Y. y Moncayo Z., 2019)

Por otra parte, en la tierra, el carbono se encuentra almacenado en el suelo en forma de carbono orgánico, este proviene de la descomposición de los organismos o a manera de carbono inorgánico a causa de la meteorización de las rocas y los minerales. Mientras que en el subsuelo se encuentra en forma de petróleo, carbón, o gas natural (Khan Academy, 2017).

En la tabla siguiente se pueden observar las diferentes formas en las que se encuentra el carbono dentro de su ciclo.

Tabla 2. Formas del carbono dentro de su ciclo

Forma del carbono	Formula química	Estado	Ubicación
Dióxido de carbono	CO ₂	Gas	Atmosfera
Acido carbónico	H ₂ CO ₃	Líquido	Océano
Ion Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	Líquido (Ion disuelto)	Océano
Compuestos Orgánicos	Ejemplos: Glucosa (C ₆ H ₁₂ O ₆), Metano (CH ₄)	Sólido, Gas	Sedimentos orgánicos, biosfera
Otros compuestos de carbono	Carbonato de calcio (CaCO ₃)	Sólido	Rocas sedimentarias

Fuente: Elaboración propia a partir de Douglas Wilkin y Jean Brainerd, CK-12 Foundation

3.2.2 Ciclo del nitrógeno

"El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, es el elemento más abundante en la atmosfera el 78% del aire es N, como se encuentra en forma molecular (N₂), se considera como el más complicado en reaccionar con otros elementos (CICEANA, 2015).

Las plantas no pueden asimilar el nitrógeno directo del aire, gracias al proceso biológico de algunas bacterias y cianobacterias por medio de procesos enzimáticos se pueden producir compuestos nitrogenados que son asimilables por la mayoría de los seres vivos, la relación entre el Rhizobium y las plantas huéspedes es mutuo, las bacterias se nutren de carbohidratos que elaboran las plantas y estas reciben a cambio el nitrógeno en forma de nitrato que es asimilable por ellas (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

El ciclo del nitrógeno presenta seis etapas principales: fijación, nitrificación, asimilación, amonificación, inmovilización y desnitrificación.

La fijación consiste en la incorporación del nitrógeno atmosférico en las plantas, la nitrificación por otra parte es la conversión del amonio en nitrato ya que es necesario para que las plantas pueden asimilarlo de mejor manera, a través de las raíces.

El proceso de asimilación se lleva a cabo cuando las raíces de las plantas absorben el nitrato o amoniaco, para estas ser incorporadas como proteínas o ácidos nucleicos.

La amonificación es el proceso donde los desechos (urea, ácido úrico, etc.) producidos por organismos son descompuestos por bacterias presentes en el medio, liberando de esta forma el nitrógeno al medio en forma de amonio; las bacterias fijadoras llevan a cabo una digestión enzimática, degradando así compuestos aminados para convertirlos en aminoácidos (Khan academic, s.f.).

Inmovilización. Al contrario del proceso de mineralización la inmovilización es el proceso donde las formas inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-) se convierten en nitrógeno orgánico estas son no asimilables por las plantas y la desnitrificación es la reducción de nitratos a nitrógeno gaseoso y amonio a amoniaco, este proceso es llevado a cabo por las bacterias desnitrificantes, así regresando el nitrógeno gaseoso a la atmosfera. El nitrógeno existe de manera orgánica e inorgánica en los humedales dentro del ciclo natural del nitrógeno, en este proceso también participan las bacterias fijadoras de nitrógeno, estas poseen una enzima llamada nitrogenasa que

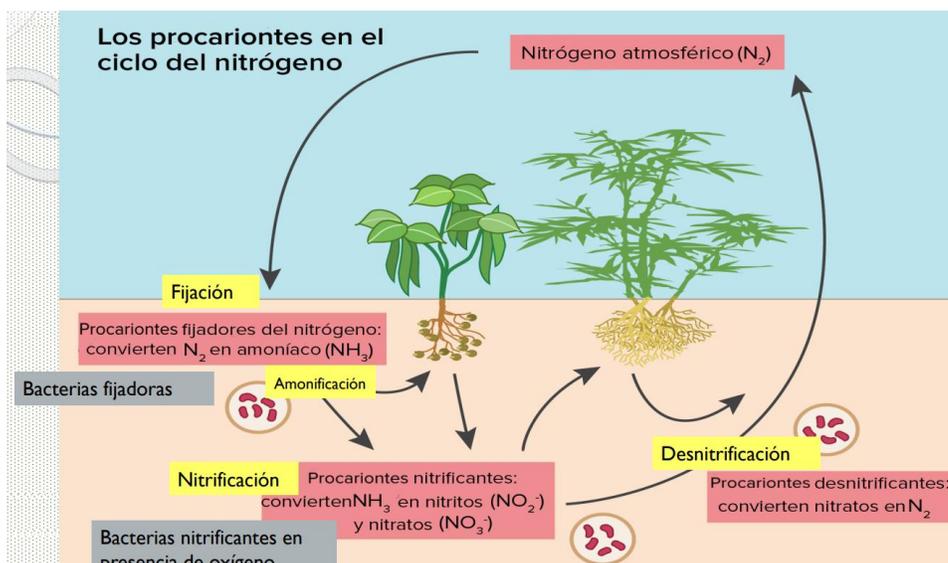


Figura 1 Ciclo del nitrógeno

en condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno) transforma el nitrógeno gaseoso (N_2) en amoníaco (NH_3) quedando disponible para ser asimilado por las plantas. (Khan academic, s.f.)

Figura 2 Ciclo del nitrógeno

3.3 Relación Carbono/Nitrógeno

La relación C: N indica la calidad del sustrato orgánico que contiene el suelo, es un índice que proporciona información sobre el nitrógeno disponible para las plantas, ya que si el nitrógeno se encuentra con altos valores implicaría una descomposición lenta de la materia orgánica, en cambio un alto valor acuña una mineralización en el sistema. Con valores bajos de C: N las bacterias que descomponen la materia orgánica son más eficientes (Gamarra et al., 2017), Kumar et al., 2010 mencionan que una relación carbono nitrógeno alrededor de 25-30% es óptima para el crecimiento de las plantas y la remoción de la materia orgánica.

3.3 Humedales

Se define humedal como una zona saturada por aguas superficiales o subterráneas, cuenta con las características necesarias como profundidad, frecuencia y duración para mantener especies de plantas adaptadas a crecer en suelos saturados (IWA, 2000).

3.3.2 Tipos de humedales

Existen humedales de flujo vertical y humedales de flujo horizontal. Estos humedales artificiales se pueden subdividir de la siguiente manera:

- Sistemas de flujo superficial (HFS).
- Sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS).
- Sistema con flujo vertical (HFV).

- Sistemas híbridos (SH).

3.4 Plantas

Las plantas son cormófitos proviene del latín cormo= tronco y fito= planta, esta está constituida por la raíz y el vástago, diferenciado generalmente por tallo y hojas. Dentro de la clasificación de las plantas se encuentran las pteridófitos y los espermatofitos en las primeras se incluyen los helechos y las segundas las plantas que se reproducen mediante semillas. Las plantas presentan una serie de características comunes que se pueden resumir en que son organismos vivos, son autótrofos quiere decir que toman la energía de la luz solar y mediante el proceso de la fotosíntesis la transforman en azúcares, algunas plantas se reproducen por semillas, las raíces y tallos de las plantas tienen la característica de crecimiento indefinido, no así con las hojas que casi siempre tiene crecimiento definido y vida limitada. (Troiani et al., 2017).

Raíz

La función principal de la raíz es ayudar a fijar el vegetal al suelo, absorber y conducir minerales y agua a la planta a través del tallo, hasta llegar a las hojas. Por otra parte, la raíz produce hormonas que ayudan a regular el desarrollo de la estructura vegetal. Normalmente entre el 50-90% de la raíz se localiza a 30 cm de profundidad del suelo (Nabors, 2006).

Además, si es un sistema radical primario penetrará más profundamente en el suelo que en un sistema radical fasciculado. *“La cofia protege el meristemo apical de la raíz y la ayuda a penetrar el suelo; la absorción de agua y minerales se produce fundamentalmente a través de los pelos radicales, algunas raíces poseen funciones especializadas como establecer relaciones cooperativas con otros organismos”* (Nabors, 2006).

Tallo

Es el órgano que cuenta con una simetría radiada, portador de hojas y estructuras que se derivan de estas, como las flores y los frutos, este tipo de simetría proporciona al tallo el máximo volumen con la mínima superficie.

Las funciones que tiene el tallo son dar soporte y distribución a las hojas, conducción de savia, colaboran con las hojas en la función de la fotosíntesis y sirven como reserva al pasar algún tipo de periodo desfavorable (Troiani et al., 2017)

Hojas

Las hojas se desarrollan mediante división, crecimiento y diferenciación celulares, la epidermis de la hoja ayuda en la protección y a regular el intercambio de gases. El tejido fundamental en las hojas es el mesófilo ya que este se encarga de llevar a cabo la fotosíntesis; **“algunas hojas poseen funciones especializadas, además de la fotosíntesis y la transpiración”** (Nabors, 2006).

3.4.1 Macronutrientes

Los macronutrientes se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1%, con base en la masa seca (Nabors, 2006).

MACRONUTRIENTES PRIMARIOS

FUNCION DEL NITROGENO

El nitrógeno tiene como función favorecer el desarrollo del tallo, incrementar el follaje y contribuir al crecimiento de los frutos. Sin embargo, un exceso de nitrógeno provoca un crecimiento excesivo de follaje y por lo que se refiere a las flores y frutos

se ve retardada su formación. Por otra parte la deficiencia de este elemento provoca clorosis en las plantas (Mariela Rodríguez . Victor J. Flórez ., 2004).

FUNCIÓN DEL FÓSFORO

Su papel principal se encuentra en el metabolismo energético de la planta, forma parte de las moléculas de Adenosín monofosfato, Adenosín difosfato y Adenosín trifosfato es parte del ADN, ARN y participa en el proceso de la fotosíntesis y la respiración.

El ácido fítico es importante en el desarrollo de la raíz y la germinación de las semillas.

Una deficiencia de fósforo genera una producción de proteínas muy baja y la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa se reducen generando un mal desarrollo de la planta. La deficiencia de fósforo produce una reducción en la expansión celular, esto puede propiciar que las plantas presenten enanismo (Rodríguez y Flórez, 2004).

FUNCIÓN DEL POTASIO

El potasio es el mineral más abundante en el citoplasma de la planta, su importancia radica en el metabolismo de los carbohidratos y proteínas. Regula la apertura estomacal, esta es importante para la absorción de CO₂ y ayuda a controlar la transpiración. El potasio ayuda aumentando las velocidades de reacción de aproximadamente 50 enzimas, un ejemplo de ella puede ser el piruvato quinasa, esencial en la respiración y el metabolismo de los carbohidratos (Rodríguez y Flórez, 2004). Una planta con deficiencia de piruvato muestra una disminución en los niveles de almidón y genera un aumento de compuestos nitrogenados solubles. Por otra parte, se produce que la planta tenga tallos cortos y débiles hay que mencionar además que la producción de granos y frutos se ve afectada ya que una presencia óptima de potasio asegura un buen contenido de azúcares, ácidos y aromas. (Mariela Rodríguez . Victor J. Flórez ., 2004)

Por otro lado la deficiencia de potasio disminuye la acidez, aumenta la respiración y por lo tanto se genera un deterioro de los frutos de la planta (Mariela Rodríguez . Victor J. Flórez ., 2004).

MACROELEMENTOS SECUNDARIOS

FUNCION DEL AZUFRE

Es el componente de las enzimas y forma parte de las proteínas y vitaminas. Constituye compuestos volátiles responsables del olor característico a huevo podrido. Forma parte de los sulfolípidos que son parte de la membrana y ayuda al transporte de iones (Rodríguez y Flórez, 2004).

FUNCION DEL CALCIO

El calcio interviene en la estabilidad de la membrana plasmática y forma parte de la lámina media de la pared celular, en forma de pectatos de calcio generando consistencia, cierto grado de rigidez a la pared celular y regulando su permeabilidad, protege a los tejidos de los hongos, ayuda al crecimiento del tubo polínico. Una deficiencia de calcio impedirá un desarrollo óptimo de la planta, teniendo como consecuencia un desarrollo con deformaciones, se debe agregar que puede provocar una mayor absorción del magnesio generando fototoxicidad. Por el contrario un exceso de calcio regula la absorción de (Rodríguez y Flórez, 2004). FUNICIÓN DEL MAGNESIO

El magnesio es el átomo central de la molécula de clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, forma parte del metabolismo del fósforo y participa en la activación de varios sistemas enzimáticos como el de la fructosa 1,6 difosfatasa siendo este el encargado de la regulación de la síntesis del almidón. La absorción del magnesio se ve afectada en altas relaciones de calcio/magnesio ya que una alta concentración de calcio impide la absorción del magnesio; La deficiencia de magnesio no solo puede propiciar altas dosis de potasio si no también provoca clorosis en las hojas (Rodríguez y Flórez, 2004)

Micronutrientes

Existen 8 elementos esenciales para las plantas denominados microelementos, son igual de importantes que los nutrientes primarios y secundarios, pero son requeridos en menores concentraciones, son elementos catalíticos, esenciales debido a que

participan en las reacciones oxido reducción a nivel biológico, estos elementos son el boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel y zinc. Se pueden aplicar en forma de quelatos o en forma de sales (Rodríguez y Flórez, 2004).

FUNCIÓN DEL BORO

Se conoce poco sobre el boro, por lo que se refiere a su deficiencia inhibe la elongación de la raíz y la síntesis de ADN.

Planta

3.4.1 *Canna Indica*

Basada en Rzedowski, 1998, es una planta herbácea robusta, casi sin pelos, de máximo 3.5 m de altura, cuenta con un tallo ramificado y escamas en la base; varía en color de amarillo fuerte a anaranjado, los estambres se encuentran modificados, los 3 exteriores se parecen a los pétalos y los 2 uno de ellos se llama labelo, mientras que el otro presenta una antera fértil; pequeñas protuberancias carnosas cubren el ovario parece un pétalo y está unida a la parte media del estambre.

Su fruto cuenta con una cápsula de 3 lóculos, que concentra semillas globosas, negras y lisas, por otra parte, este cuenta con una raíz de tallos subterráneos horizontales y gruesos. Se encuentra generalmente en terrenos cenagosos perturbados, cercanos a corrientes de agua; en Veracruz se registra de los 5 hasta los 1730 m, esta planta florece y da frutos todo el año (Jiménez, 1980).

3.4.7 Hoja elegante *Xanthosoma robustum*



Figura 2 *Canna indica* L. Fuente: Wikipedia Commons, 2007

La hoja elegante es una herbácea de la familia de las aráceas, presente desde México hasta Costa Rica, puede llegar a medir hasta un metro de alto, con hojas con 2 o más venas colectivas dispuestas a lo largo. Tiene una savia lechosa y se puede encontrar en las orillas de arroyos en medio de los bosques tropicales. Cultivada con el fin de ser una planta ornamental



Figura 3 *Xanthosoma robustum* Fuente: Wikipedia commos, 2008

3.5 Sustratos

Se denomina sustrato a todo material sólido distinto del suelo, pueden ser orgánico u orgánico, este se vuelve un soporte para la planta, es esencial para su producción para y ayuda a mejorar la calidad de las plantas. Las propiedades físicas como el drenaje, la aireación, la retención de agua y su densidad aparente son consideradas como las más importantes. Por otra parte, la porosidad total debe ser por lo menos del 70% (Abad et al., 2004).

Los sustratos inorgánicos más comunes son la arena, el tezontle, el tepojal y otros minerales. Por otra parte, los sustratos orgánicos más populares incluyen, la fibra de coco, el aserrín, las virutas, el estiércol, la cascarilla de arroz, entre otros (Agroequipos del valle, s.f.). Las ventajas del uso de los sustratos es que se puede obtener una menor presencia de plagas y enfermedades de la raíz, ayuda a mejorar los suelos para la agricultura, los desechos de origen orgánico se pueden utilizar (Agroequipos del valle, s.f.).

3.5.1 Tezontle

El tezontle es una mineral que proviene de las erupciones volcánicas, es ampliamente utilizada en los sistemas de producción sin suelo como sustrato hidropónico en la producción de la horticultura y como plantas ornamentales; es un material que se considera inerte, está constituido por silicatos de aluminio,

fragmentos y partículas de lava porosa con bajo peso. Se presentan en diferentes colores como lo son rojo y negro.



Figura 5 Tezontle negro Fuente: Freepek, s.f.



Figura 4 Tezontle rojo Fuente: Freepek, s.f.

3.5.2 Concha de caracol y concha de ostión

La concha de caracol es la cobertura rígida y exterior de este molusco. Este exoesqueleto sirve a los moluscos como su elemento defensivo para proteger del exterior y de sus depredadores, para protección y como soporte a su anatomía, tiene forma variable, generalmente es espiralada. Univalva, fuerte y sólida, se constituye de carbonato de calcio y tiene apariencia brillante, esmaltada y de colores agradables y vivos. Presenta ornamentaciones como: orificios y canales respiratorios, costillas verticales, cordones espirales y suturas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

El exoesqueleto cuenta con tres capas: la capa interna es el endostraco mejor conocido como nácar, esta contiene conquiolina una escleroproteína, la capa intermedia es el mesostraco, aquí se encuentran los cristales de carbonato de calcio en forma de calcita por otro lado encontramos la tercera capa llamada periostraco esta es una capa orgánica de conquiolina esta se parece a la queratina porque es una escleroproteína

Estas conchas si se acumulan en grandes cantidades se forman sedimentos y con una comprensión se pueden convertir en piedra caliza.

Por otra parte, la concha de ostión se distingue por tener una forma irregular o asimétrica, su cara exterior es áspera y oscura, contrasta con su interior que es una superficie lisa, esto a la presencia de carbonato de calcio que se transforma en una sustancia iridiscente conocida como nácar (Wikipedia, 2020).



Figura 6 Concha de caracol Fuente: Freepik, s.f.

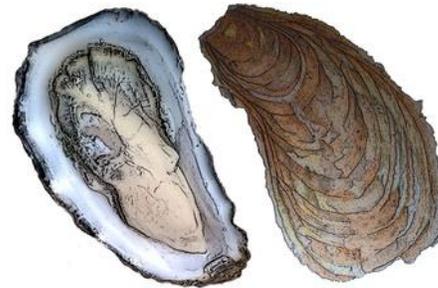


Figura 7 Concha de ostión Fuente: Instituto Nacional de Pesca, 2018

3.6 Análisis fisicoquímicos

Un análisis fisicoquímico es un procedimiento o metodología que se realiza para medir propiedades físicas y composición de una muestra determinada, estas pueden ser pH, densidad, evaluación sensorial, entre otros (INNOTEC, s.f.).

3.6.1 Demanda química de oxígeno

“La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro químico, esta medida representa suspendida, se mide como miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta por litro de disolución (Ramírez et al., 2008).

3.6.2 Demanda bioquímica de oxígeno

De acuerdo con la norma NMX-AA-028-SCFI-2001, “la demanda bioquímica de oxígeno es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días”.

3.6.3 Nitrógeno Total

La Norma NMX-AA-026-SCFI-2010 nos dice que “Es la suma de nitrógeno amoniacal y nitrógeno presentes en una muestra de agua”, el análisis de nitrógeno total se puede realizar por método Kjeldahl.

3.6.4 Carbono Total

“El carbono orgánico total es aquel que se encuentra presente en la materia orgánica y que se disuelve o se suspende en el agua” (NMX-AA-089/2-SCFI-2010).

MARCO REFERENCIAL

ÁREA DE ESTUDIO

El humedal artificial que sirve como planta de tratamiento de aguas, se encuentra en el Tecnológico Nacional de México campus Boca del Río, ubicado en la Carretera Veracruz-Córdoba Km.12, C.P. 94290. Boca del Río, Ver., en las coordenadas 19°05'48.19" N - 96°06'29.70" O, con una elevación media de 9 m sobre el nivel del mar.

ANTECEDENTES

Existen diferentes estudios (Zhi & Ji, 2014), (Zhi & Ji, 2014), Flujo Vertical y aireación los cuales

(Zhi & Ji, 2014), diferentes tipos de nitrógeno.



Figura 8 Ubicación Tecnológico de Boca del Río Fuente: Google Maps, 2020.

Tabla 3 Tabla de antecedentes

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	LUGAR DE ESTUDIO
Travieso-Bello, Ana Cecilia; Moreno-Casasola, Patricia; Campos, Adolfo, 2005	Análisis de suelos Carbono, nitrógeno, fósforo a través de métodos Walkley y Black y micro-Kjeldahl.	Alrededores del estuario La Mancha, en el municipio de Actopan, Veracruz, México.

Tang et al., 2020	La actividad y diversidad de nitrificantes y desnitrificantes se ven significativamente afectados por las especies de plantas.	Estudio de laboratorio, Universidad de Pekín, Beijing.
Liu et al., 2017	Se han realizado estudios donde se determina observa que el nitrógeno y fósforo actúan como factores limitantes.	Estudio de laboratorio Norte de China.
Zhao et al., 2010	En general, se considera que una relación C:N de 2.5-5 es la mejor situación para la reproducción de microorganismos y la eliminación de nitrógeno en humedales.	Universidad de Naijing, China.

En los humedales construidos subsuperficial, los procesos aeróbicos predominan cerca de la rizosfera, en la cual se presenta el crecimiento microbiano más importante de la superficie del medio de soporte (Li et al., 2009).

Se han realizado estudios donde se determina que una baja relación de carbono, disminuye la eficiencia de la desnitrificación (Yuan et al., 2020). Se ha observado que se logró la mayor eficiencia de eliminación de nutrientes biológicos entre relaciones C/N de 5: 1 y 10: 1 en todo tipo de contaminantes (Yan et al., 2012).

En general, se considera que una relación C:N de 25 o más es la mejor situación para la reproducción de microorganismos y la eliminación de nitrógeno (Kumar et al., 2010). La inmovilización en el ciclo del nitrógeno es un proceso crítico que controla la cantidad de nitrógeno que las plantas tendrán disponible, y junto con el carbono son variables que afectan la tasa de mineralización en el suelo (CITA).

La actividad y diversidad de nitrificantes y desnitrificantes se ven significativamente afectados por las especies de plantas (Tang et al., 2020). Las plantas al alcanzar una etapa estable muestran valores de remoción más altos; en los humedales artificiales las plantas cumplen un papel muy importante en la eliminación de las toxinas que se depositan en él (CITA).

VACIO DEL CONOCIMIENTO

“En los últimos años, los humedales artificiales se han convertido, a escala mundial, en una alternativa a los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales muy válida” (Mena-Sanz, 2008). Se debe analizar en qué tipo de humedal se da mejor la remoción de DQO, DBO, NT, PT, ya sea de tipo horizontal o vertical.

Estudiar la acción desnitrificante de la planta y cómo afecta su relación carbono/nitrógeno con respecto a su edad, su género, carga, temperatura, temporada (lluvia, sequía), tipo de suelo (Álvarez González et al., 1993). La potencial fisiología que presentan las plantas es el principal motivo por el cual son seleccionadas, ya que cuentan con enzimas capaces de tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por la profundidad de sus raíces y su habilidad de degradar los contaminantes presentes.

Por lo tanto, se debe identificar la mejor relación C/N para lograr una buena remoción de NH_4 y NT, DQO, DBO (Zhao, et. al., 2020 Y (Zhu et al., 2014).

FRONTERA DEL CONOCIMIENTO

Los humedales artificiales se pueden utilizar en sitios donde no se cuenta con sistema de alcantarillado o planta de tratamiento de aguas, se necesita una extensión grande de terreno disponible; es ideal para efluentes orgánicos y con alta biodegradabilidad, un ejemplo son las industrias lecheras, o las minas que generan aguas ácidas (Mena-Sanz, 2008).

Los humedales artificiales con flujo subsuperficial se consideran muy eficientes debido al bajo costo y consumo de energía comparado con sistemas de tratamiento tradicionales (CITA).

En los humedales artificiales, al generarse un aumento de la relación C / N da como resultado un aumento de la eficiencia de eliminación de TN y $\text{NO}_3 - \text{N}$ (CITA).

La eficiencia de eliminación es mayor cuando la relación C / N era 5, esta afectó significativamente la remoción de nitrógeno y carbono orgánico disuelto. (Zhu et al., 2014).

Mena-Sanz 2008 nos dice que las plantas que crecen en los flujos subsuperficial pueden actuar como canales de transporte de gases como el dióxido de carbono o el metano que se direccionan a la atmósfera y el oxígeno hacia el relleno; por otra parte ayudan a estabilizar el cauce del agua, mejoran la conductividad y reducen la velocidad del agua favoreciendo la sedimentación de los sólidos suspendidos (ss) y de esta manera se aumenta su tiempo de retención hidráulica (Petticrew, E. L., & Kalf, 1992).

(Kadlec & Wallace, 2008) concluyen que con plantas el rendimiento de depuración es mayor.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La importancia que tiene la medición del carbono total es la influencia que genera sobre muchas características del suelo, como lo son la cohesión, el color, la plasticidad, la capacidad de retener humedad y su disponibilidad con respecto al nitrógeno.

El CO_2 se incorpora de la atmosfera mediante la fotosíntesis de las plantas, este dióxido de carbono es necesario para el desarrollo de la planta, tanto de sus ramas, troncos, follaje y raíces. Un indicador de la cantidad y disponibilidad de nutrientes en el suelo es el carbono orgánico.

Los humedales de flujo subsuperficial son desestimados por su baja capacidad de remoción en un tratamiento de aguas residuales. Pero al agregarles plantas esto cambia por la absorción y su remoción se vuelve mayor (Vymazal, 2020).

El principal mecanismo de remoción de nitrógeno está relacionado con el proceso de nitrificación/desnitrificación, existen estudios que muestran que las cantidades de oxígeno en la rizosfera limitan la nitrificación completa; se ha reportado que la liberación de carbono desde las raíces incrementa la desnitrificación (Arrieche & Pacheco, 2011).

Las plantas son un elemento esencial en el diseño, ya que influyen en la eficiencia del tratamiento, mediante la asimilación de N, P y otros nutrientes pueden reducir las concentraciones de elementos que de otra forma pueden ser considerados contaminantes en los humedales artificiales.

La relación carbono nitrógeno es de gran interés, ya que es un parámetro muy importante para la caracterización de la materia orgánica (Arrieche & Pacheco, 2011).

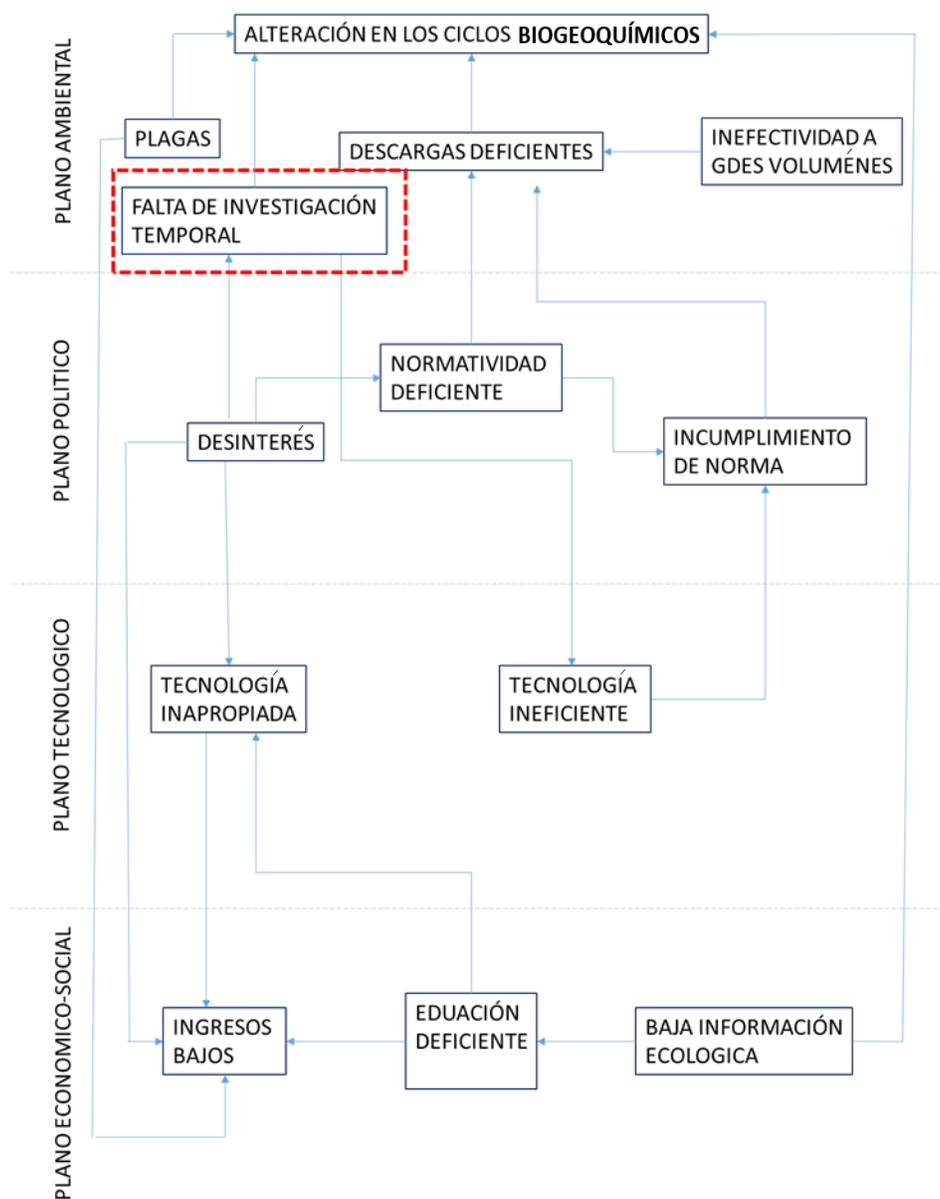


Figura 9 Esquema del problema

En el esquema anterior se muestra un resumen de la situación descrita.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La vegetación desempeña un papel fundamental en la remoción de nutrientes y otros contaminantes del agua debido a que se encuentra estrictamente relacionado con factores intrínsecos de la planta.

Existen tres grupos de elementos indispensables para la vida de las plantas: Macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio; micronutrientes: azufre, calcio, magnesio y los oligoelementos: hierro, manganeso, cinc, cobre, boro, molibdeno, que son imprescindibles para la vida de las plantas pero se encuentran en proporciones muy pequeñas, del orden de ppm, en sus tejidos (Dolores & Mora, 2014).

Para saber si las plantas se están desarrollando de manera óptima y realizando una buena remoción de materia orgánica, es indispensable saber la relación que existe entre el carbono y el nitrógeno totales en el suelo del humedal.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo afecta la relación C/N a la absorción de nutrientes en las plantas del humedal?

JUSTIFICACIÓN

Un aumento de la relación carbono nitrógeno beneficia la eficiencia de eliminación de nitrógeno, nitrito, nitrato. Esta eficiencia de remoción es mayor con una relación C:N = 5.

Mejorar la eficiencia de eliminación de nitrógeno bajo diferentes tasas de carga orgánica se ha convertido en un problema urgente y un punto de investigación en el campo de los humedales artificiales (Ochoa. S., De la vega. G., Nevárez. G., 2015).

6.-HIPOTESIS

El exceso o la deficiencia de carbono y nitrógeno afecta la disponibilidad de nutrientes de fácil absorción por parte de las plantas.

7.-OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación C/N en un sistema controlado de flujo vertical con dos especies diferentes de plantas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Determinar la concentración de C y N en tallo, raíz, hoja.
- 2) Comparar como las concentraciones de C y N afectan la calidad de la planta.
- 3) Identificar como la relación C/N afecta la nitrificación y desnitrificación en el sistema.

8.- MATERIALES Y METODOS

8.1 Área de estudio

El humedal artificial que sirve como planta de tratamiento de aguas, se encuentra en el Tecnológico Nacional de México campus Boca del Río, ubicado en la Carretera Veracruz-Córdoba Km.12, C.P.94290. Boca del Río, Ver., con las coordenadas 19°05'48.19" N - 96°06'29.70" O, con una elevación media de 9 m sobre el nivel del mar, se toman las muestras de las plantas a investigar, para después ser adaptadas a un sistema prototipo ubicado junto al humedal artificial del itboca.

8.2 Diseño Experimental

8.2.1 Toma de muestras

Para llevar a cabo este proyecto se seleccionan dos tipos de plantas que se encuentran en el humedal artificial, se tomó en cuenta para el muestreo el tamaño de la planta, la estación del año, la ubicación en la celda, y el tiempo de retención. Para la recolección de las especies, se realizó un muestreo al azar, en la entrada y la salida de la celda, de igual forma se puede realizar un muestreo en el centro. Para un buen muestreo mínimo se deben tomar tres puntos por zona.

8.2.2 Análisis de muestras

Se corto y secaron las muestras entre 80-103°C, entre 24-72 horas. (Lin et al., 2002); Klomjek y Nitorisravut, 2005).

Para el análisis de carbono total y nitrógeno total, existen varios métodos que se pueden utilizar, el método de Kjeldhal para la determinación de nitrógeno (Y. Liu et al., 2017) y el método de Walkley Black para la determinación de carbono orgánico en el sistema (Carreira, 2011).

Tabla 4 Metodología

	Primera etapa: Montado de sistemas controlados	Segunda etapa: Puesta en marcha
Hipótesis	Ho1 Se fabricaron 8 tubos de polietileno de alta densidad con medida de 90 cm, siendo estas rellenas con 33% de su altura de concha de caracol y 77% tezontle.	Ho2 Una vez montado el sistema se dejó bajo las condiciones necesarias, durante un mes aproximadamente para lograr su adaptación (condiciones de pH,



	<p>Se coloco la planta sobre el sustrato.</p> <p>4 plantas de <i>Xanthosoma robustum</i></p> <p>4 plantas de <i>Canna indica</i></p>	<p>temperatura y sustrato son monitoreados)</p>
Tipo de investigación	investigación cualitativa	Investigación Cualitativa
Tamaño de Muestra	8 tubos	8 tubos adaptándose
Métodos e instrumentos de recolección	<p>Manguera</p> <p>Pala</p> <p>Taladro</p> <p>Cemento</p> <p>Tornillos</p>	<p>Potenciómetro</p> <p>Tiras reactivas c</p> <p>Termómetro</p>
Técnicas de análisis de datos	<p>Análisis visual para seleccionar mejor planta según características (Tamaño, Color, Edad).</p>	pH, temperatura
Resultado esperado	Sistemas montados.	Curvas de temperatura y pH

Tabla 5 Continuación de metodología

	Tercera etapa: Muestreo del sistema	Cuarta etapa: Análisis de muestra	Quinta etapa: Comparación de muestras
Hipótesis	H03: Consiste en una prueba destructiva de las plantas, estas son sacadas del sistema para su posterior análisis.	H04: Se realizo un análisis de muestra a través de métodos analíticos.	H05: Se realizo un análisis a través De un análisis comparativo de parámetros contra el tiempo transcurrido.
Tipo de investigación	Investigación cuantitativa	Investigación cuantitativa	Investigación cuantitativa
Tamaño de Muestra	8 plantas diferentes	8 plantas por 3 estructuras diferentes (Tallo, hoja, raíz)	24 resultados esperados
Métodos e instrumentos de recolección de datos	Muestreo en bolsas con cierre hermético	Se encontró la cantidad de Carbono y Nitrógeno Esto a través del FLASH 2000 Analyzer Y el método de Kjeldhal	Análisis en excel
Técnicas de análisis de datos		Excel	Excel

Resultado esperado	Plantas recolectadas correctamente	Relaciones C:N entre 2.5 y 5	Comparación de datos para saber. Que planta genera mejor remoción Y en qué relación C:N
---------------------------	------------------------------------	------------------------------	---

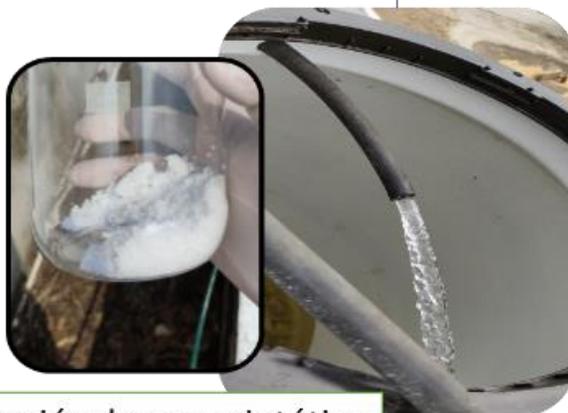


Figura 10 línea del tiempo del proceso

Los pasos para realizar se ven resumidos en las tablas anteriores.

8.1.2 Análisis estadísticos

Los parámetros estadísticos: media, coeficiente de variación, coeficiente de correlación y prueba de media, aplicados a los resultados obtenidos, permitieron detectar que no existen diferencias significativas entre procedimientos (Arrieche & Pacheco, 2011).

Una relación entre 2.5 y 5 se considera como la óptima para el humedal (Zhao et al., 2010).

Se realizó un análisis ANOVA de un solo factor ya que la prueba ANOVA es un conjunto de técnicas estadísticas que se vuelve útil cuando hay más de dos grupos que necesitan ser comparados o cuando hay mediciones repetidas o los sujetos pueden variar en una o más características que afectan el resultado y se necesita analizar simultáneamente el efecto de dos o más tratamientos diferentes para obtener la comparación de las medias en este caso del crecimiento del largo de las hojas de las plantas, y de esta forma determinar qué tan similares son sus crecimientos entre las 3 diferentes celdas que se utilizaron como sistema artificial (Jorge Dagnino, 2014).

Para la construcción de las celdas (prototipos), se utilizaron 8 tubos de PVC de alta densidad los cuales median 15 cm de diámetro y 90 cm de altura.

Se utilizaron 9 cuadros de 20 x 20 cm para ser utilizados como base, estas fueron atornilladas a la parte inferior del tubo, y selladas con acrílico transparente a prueba de agua, durante la puesta en marcha, se observó que había filtraciones, por lo tanto, se optó por utilizar una base de cemento.

Fueron utilizados 16 codos de ½" plg, 8 tubos de 25 cm de alto, 24 llaves de ½", un tubo de 3.62 m de largo para servir como alimentador del sistema.

Se utilizó un Rotoplas con capacidad de 1100 L.



Figura 11 Elección de material para prototipo

Se realizó una imitación del sistema humedal artificial del tecnológico de Boca del Río, en las celdas prototipo, por lo tanto se utilizaron como sustrato el tezontle y la concha de ostión, esta fue calculada para tener un porcentaje de 60% de tezontle y 40% de concha de caracol, estos datos fueron tomados de la tesis de Amaya, 2020, en los cuales indica que se utilizaron 60 cm de tezontle y 40 cm de concha de caracol en un sistema con altura de 1 m.

Por lo tanto, se calculó de la siguiente manera el volumen requerido de sustrato en el sistema prototipo. Se utilizó la ecuación de volumen en un cilindro.

$$V_c = \pi x r^2 x h$$

La cual nos indica pi por el radio del cilindro al cuadrado, en este caso 7.5 cm, por la altura, 90 cm que mide el tubo, esto nos dio un total de 15904 cm³ como volumen total del sistema.

$$V_c = 3.1416 \times (7.5)^2 \times 90 = 15904 \text{ cm}^3$$

Para calcular el volumen necesario de tezontle se siguió la misma ecuación, pero se toma el porcentaje calculado a través de los datos de la tesis de Amaya, que son 60% de tezontle, lo que nos da de acuerdo con la altura del cilindro 59.94 cm de alto. Teniendo como resultado 10592 cm³ de tezontle.

$$V_c = 3.1416 \times (7.5)^2 \times 59.94 = 10592 \text{ cm}^3$$

Para calcular el volumen de concha de ostión se siguió el mismo proceso, en este caso fueron 29.97 cm de altura los necesarios para cumplir con el porcentaje del 40%

$$V_c = 3.1416 \times (7.5)^2 \times 29.97 = 5296.14 \text{ cm}^3$$

Estos datos fueron convertidos a cm lineales necesarios dando así 60 cm de tezontle y 30 cm de concha de caracol.



Figura 12 Configuración de sistema interior 30 cm de concha de ostion



Figura 13 Configuración de sistema interior 60 cm de Tezontle

Para generar el agua residual sintética se utilizó la literatura de Reyes et al., 2011, donde se utilizan para 1100 L de agua residual las siguientes cantidades:

Tabla 6 Reactivos para agua sintética

Reactivo	Para 1100 L
Sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	495 g
Sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$	33 g
Fosfato de sodio dodecahidratado ($Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$)	3.3 g

Se pesaron los reactivos para su posterior disolución dentro de un tinaco Rotoplas de 1100 L. Los reactivos se pesaron en el laboratorio (Fig. 15), y se transportó en un frasco de plástico con tapa, para adicionarlo tinaco que se encontraba localizado junto al humedal artificial en el patio del Instituto Tecnológico de Boca del Rio.



Figura 14 Pesado de reactivos y transporte de reactivo

RESULTADOS Y DISCUSION

Los humedales naturales su pH oscila en un rango de 7.1 a 9.4, con un valor medio de 7.84(Figueroa et al., 2009). Durante el proceso de adaptación y puesta en marcha del sistema se monitoreó el pH, dando como resultado el expresado en la tabla 7, en donde se puede observar que cuenta con un pH en la entrada con un valor característico.

Tabla 7 pH del sistema

pH del sistema		
Entrada	Salida	Especie
7.2	6.8	<i>Canna indica</i>
7.2	6.7	<i>Xanthosoma Robustum</i>
7.35	6.65	Aleatorio

Durante el proceso de adaptación y el seguimiento se realizó la medición de temperatura con un multímetro de gancho marca Steren modelo MUL-115. El periodo de adaptación duró 1 mes, mientras que el seguimiento fue de 2 meses, midiendo esta temperatura 1 vez por mes obteniendo los siguientes puntos.

Esta temperatura fue tomada a 20 cm de profundidad en la base de las raíces de la planta.

Tabla 8 Temperaturas de las plantas

TEMPERATURA	
Bco <i>Canna Indica</i>	Bco <i>Xanthosoma robustum</i>

Punto	Temperatura	Punto	Temperatura
1	28	1	29
2	27	2	27
3	30	3	29
4	28	4	27

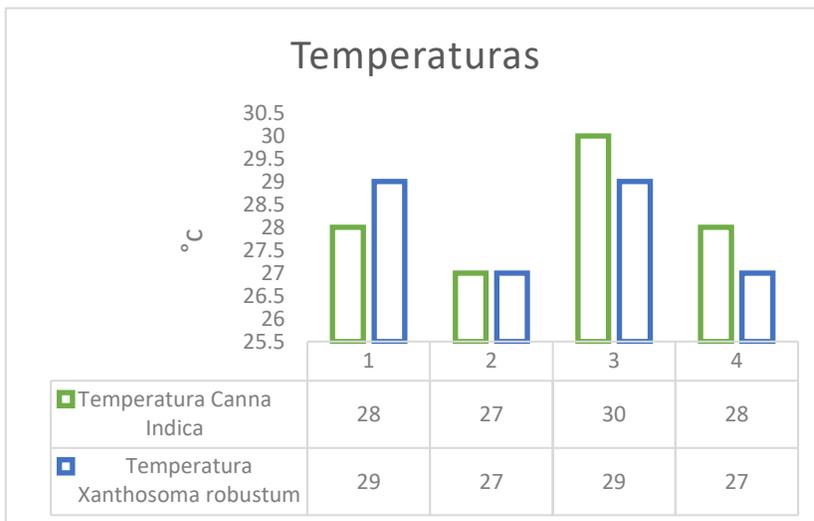


Figura 16 Temperaturas de la rizosfera de las plantas



Figura 15 Medidor de temperatura

Las temperaturas de la parte de la rizosfera de las plantas oscilan entre los 27°C y 30°C, las temperaturas no afectaron el crecimiento de las plantas ni alteraron las condiciones de los microorganismos, se podría decir que se encuentran en temperaturas estables.

Se realizaron mediciones de DBO para determinar la carga orgánica del sistema y que tan bien se encontraba llevando a cabo su proceso de depuración. El proceso de incubación se llevó a cabo utilizando el equipo BODTrackII de la marca Hach, consiste en la incubación de la muestra durante 5 días para determinar la concentración de oxígeno consumido por los microorganismos presentes.



Figura 17 BODTrack II "Medidor de DBO5"

Tabla 9 Mediciones de DBO5 plantas humedal artificial

Mediciones de DBO <i>Xanthosoma Robustum</i> Mediciones de DBO <i>Canna indica</i>			
Entrada	Salida	Entrada	Salida
397	36	334	35
395	58	387	22
392	45	372	21

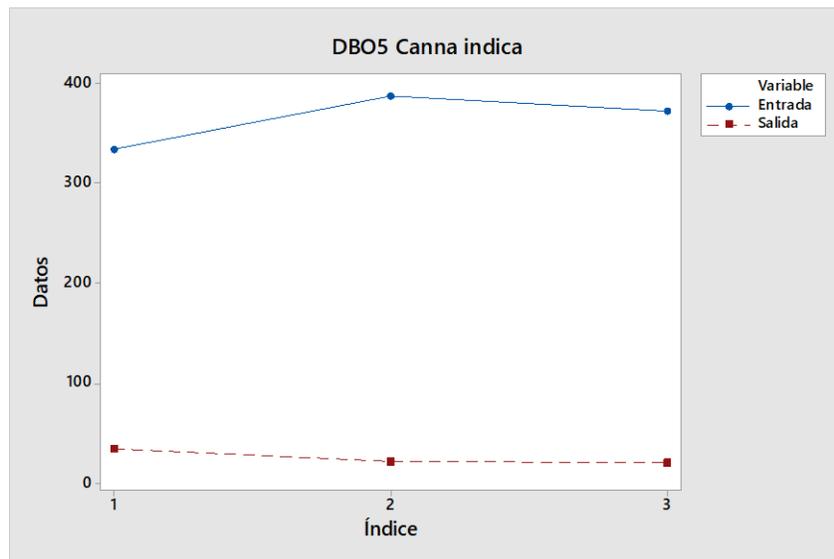


Figura 18 DBO5 Canna indica

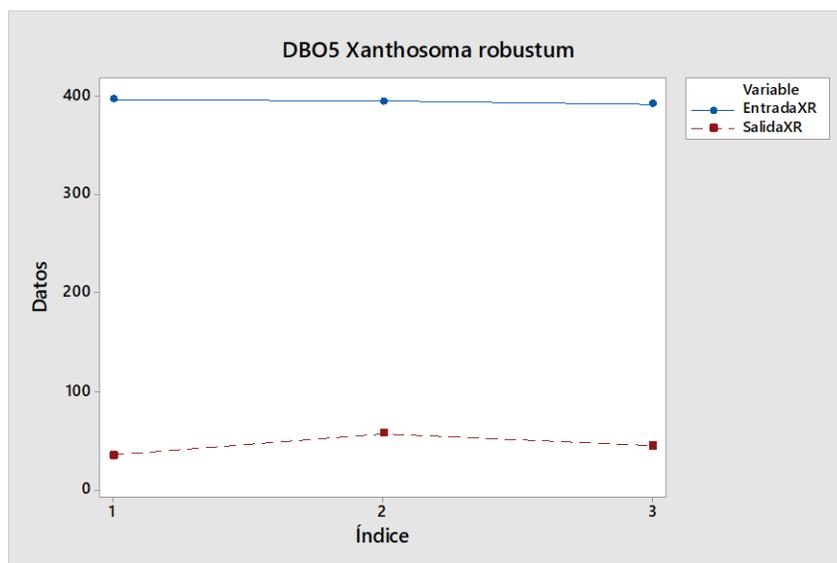


Figura 19 DBO5 Xanthosoma robustum

Dentro de estos resultados podemos observar la capacidad del sistema para remover carga orgánica, en la gráfica (Fig 21) de *Canna indica* y *Xanthosoma robustum*, se puede observar que entradas tuvieron una carga orgánica alta aproximadamente entre 334-397 mg/l de DBO, y pasados los 5 días del proceso de incubación se lleva a cabo una remoción del 70-90%, podemos observar en el si comparamos ambas plantas la que cuenta con un mayor consumo de materia orgánica es la *Canna indica*.

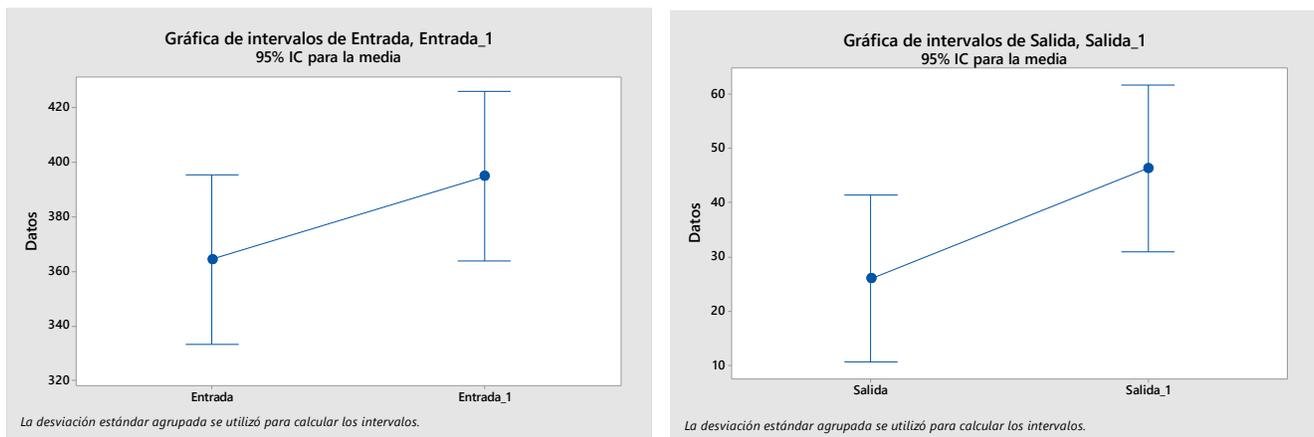


Figura 20 Intervalos de entrada y salida izquierda *Canna indica* derecha *Xanthosoma robustum*

En los resultados de las siguientes graficas (Fig 23) se pueden observar las DQO donde sus valores de entrada oscilan entre los 450 mg/l equivalente a una relación C:N (30:1), obteniendo estos valores del agua residual sintética generada usando la literatura de (Reyes et al., 2011).

Tabla 10 DQO plantas

DQO <i>Canna indica</i>		DQO <i>Xanthosoma robustum</i>	
ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
560	70	580	60
570	40	590	90
550	35	583	60

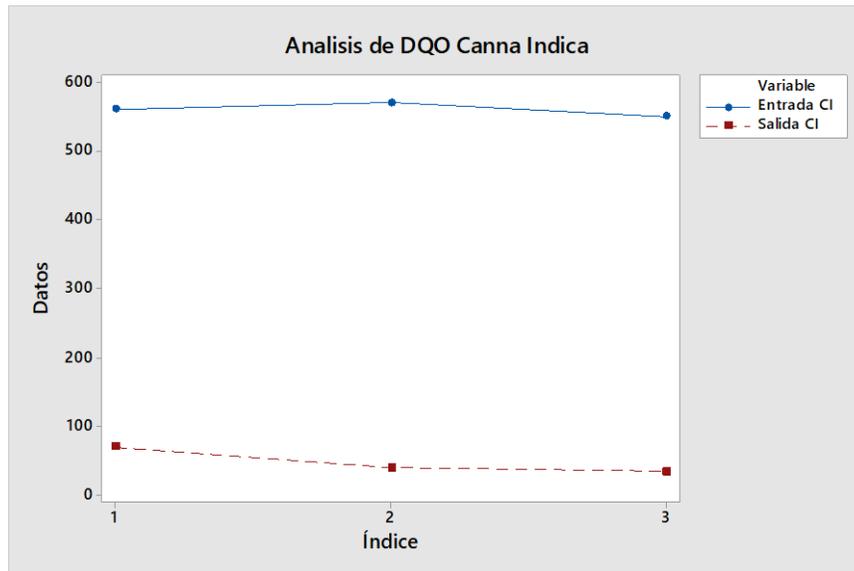


Figura 21 DQO Canna indica

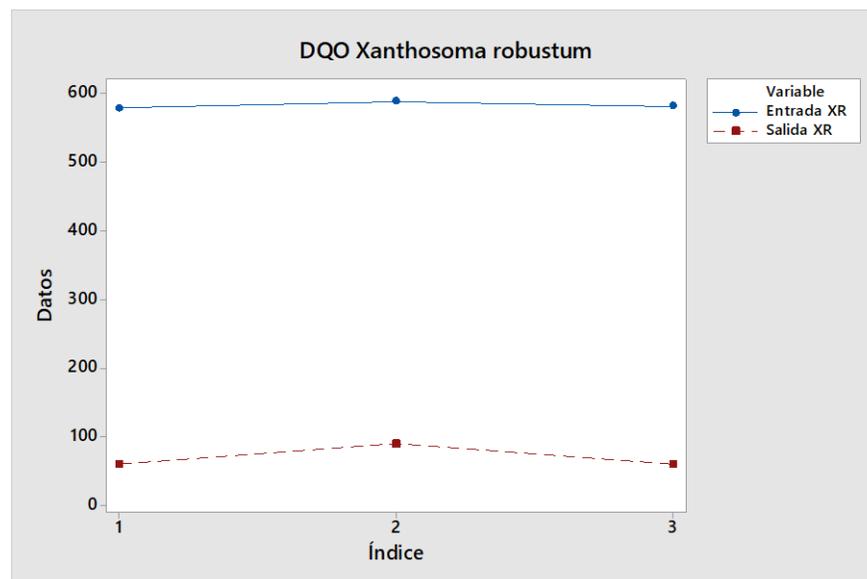


Figura 22 DQO Xanthosoma robustum

De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, se indica que un valor instantáneo de DQO, que

se descargue a ríos, arroyos, canales o drenes tiene un máximo permisible de 210 mg/l.

Como se puede observar en las gráficas y las tablas el sistema cubre una remoción que da valores entre 35-90 mg/l de DQO a la salida, cumpliendo dentro del parámetro establecido como aceptable.

La turbidez se puede observar a simple vista, ya que no se contaba con un equipo de medición de turbidez no se puede obtener los NTU que es la unidad de medida en la que se expresa este.



Figura 23 Turbidez del sistema humedal artificial

De manera visual se puede observar una diferencia de turbidez, lo que determina la calidad del tratamiento de agua, la turbidez es un indicativo de mayor probabilidad

de contaminación microbiológica o por compuestos tóxicos, por lo que nos ocasiona mayor dificultad en la desinfección del agua.

Cuando el sistema cuenta con sólidos suspendidos en él, el agua suele verse turbia. En la figura 24, n el frasco del lado izquierdo (entrada al sistema) se puede observar la presencia de sólidos suspendidos, mientras que en el frasco del lado derecho (salida del sistema), el agua menos turbia lo que nos indica que las plantas han retenido sólidos, entre sus raíces y con ayuda del sustrato, en este caso concha de ostión y tezontle, se ha realizado una buena depuración en el sistema.

Durante el tiempo que duró el ensayo, se tomaron mediciones (Temperatura, pH, altura y ancho de las plantas) del tallo, raíz y hojas, las cuales se realizaron de acuerdo con cada una de las tres celdas, celda 1 (C1), celda 2 (C2) y celda 3 (C3), que se encontraban en operación cada celda una compartía características iguales de construcción y alimentación de agua residual sintética.

XANTHOSOMA ROBUSTUM

Para las plantas del género *Xanthosoma robustum* se midieron de la siguiente manera sus parámetros de crecimiento.

Tabla 11 Métricas de las plantas celda 1 *Xanthosoma robustum*

CELDA	TALLO	LARGO HOJA	ANCHO HOJA
1	23	13	18
1	6	10	8
1	3	8.2	4.6
1	4.5	9.5	6
1	20	11.5	7.5

Tabla 12 Métricas de las plantas celda 2 *Xanthosoma robustum*

CELDA	TALLO	LARGO HOJA	ANCHO HOJA
-------	-------	------------	------------

2	22	30	20
2	10	0	0
2	3	9.3	5.7
2	6.5	0	0
2	20	17.5	14.5

Tabla 13 Métricas de las plantas celda 3 *Xanthosoma robustum*

CELDA	TALLO	LARGO HOJA	ANCHO HOJA
3	19	19	11
3	10	0	0
3	4	4.5	6
3	21	16	9.3
3	13	11.3	8

Los resultados de un análisis de Tuckey muestran que hubo diferencias significativas en el crecimiento de los tallos en las celdas, aunque las condiciones de operación fueron iguales, los tallos crecieron en diferentes tiempos.

Tabla 14 Método de Tuckey análisis de medias de los tallos planta *Xanthosoma robustum*

Factor	N	Media	Agrupación
TALLO C3	5	13.40	A
TALLO C2	5	12.30	A
TALLO C1	5	11.30	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Se observa en el análisis que no comparten medias, pero los datos no se alejan mucho de cero.

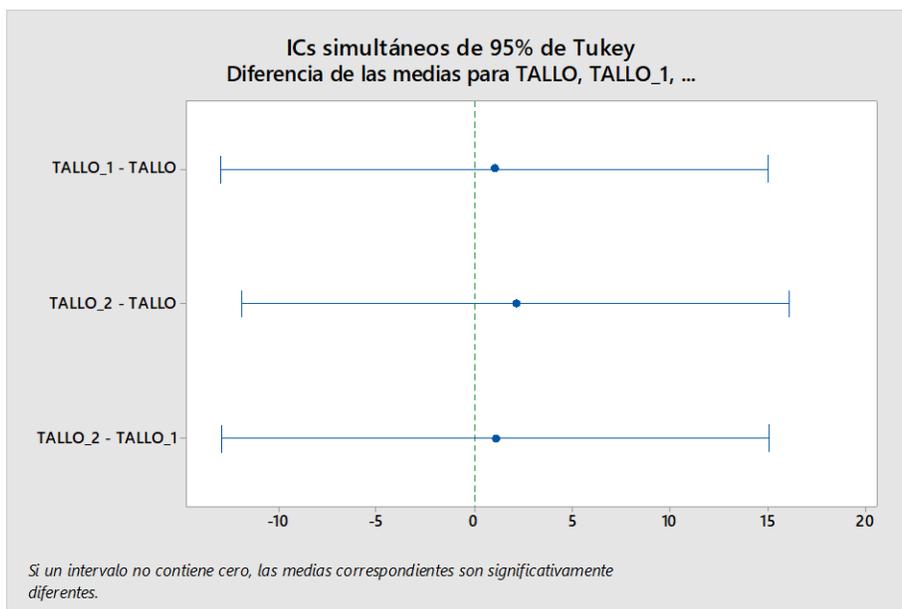


Figura 24 Análisis de Tukey diferencias entre tallos *Xanthosoma robustum*

En el análisis de residuos se observa la dispersión de los datos donde están creciendo los tallos de manera desprolija.

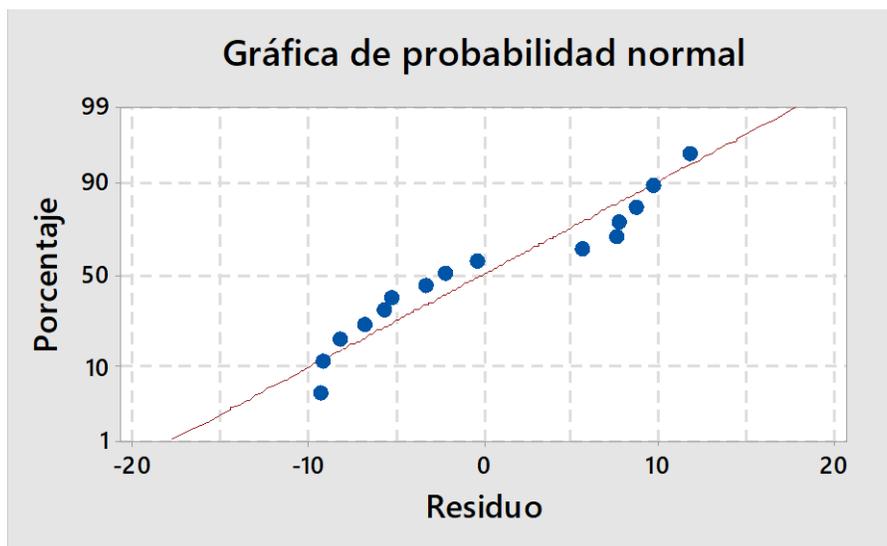


Figura 25 Análisis de residuos tallos *Xanthosoma robustum*

Se realizó un análisis ANOVA de un solo factor ya que la prueba ANOVA es un conjunto de técnicas estadísticas que se vuelve útil cuando hay más de dos grupos que necesitan ser comparados o cuando hay mediciones repetidas o los sujetos pueden variar en una o más características que afectan el resultado y se necesita analizar simultáneamente el efecto de dos o más tratamientos diferentes para obtener la comparación de las medias en este caso del crecimiento del largo de las hojas de las plantas, y de esta forma determinar que tan similares son sus crecimientos entre las 3 diferentes celdas que se utilizaron como sistema artificial (Jorge Dagnino, 2014).

Tabla 15 Método de Tuckey análisis de medias del largo de las hojas planta *Xanthosoma robustum*

Factor	N	Media	Agrupación
LARGO HOJA C2	5	11.36	A
LARGO HOJA C1	5	10.440	A
LARGO HOJA C3	5	10.16	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Las hojas en este caso manejan un crecimiento desigual entre celdas, sus medias son significativamente diferentes, ya que las plantas se encuentran a la intemperie, se exponen a los eventos climatológicos de la zona, en este caso se suscitaron 2 eventos de norte con rachas huracanadas durante el experimento, afectando la

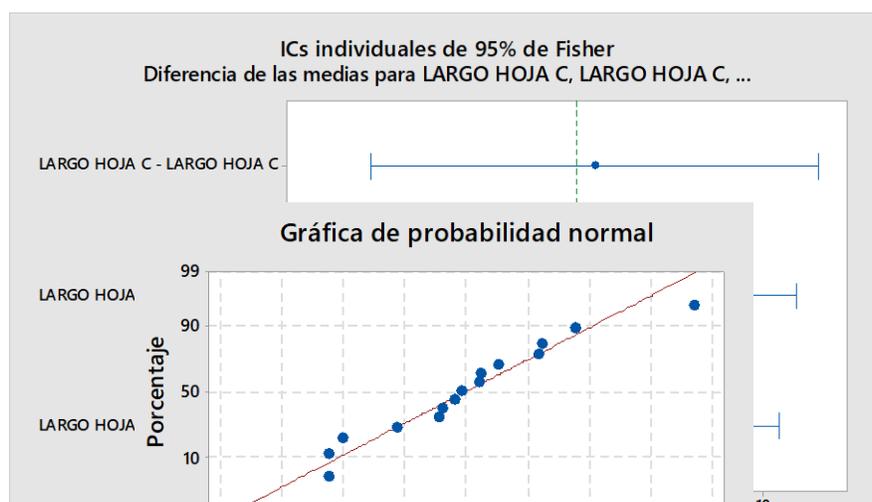


Figura 26 Análisis de Tuckey diferencias entre largos de hoja *Xanthosoma robustum*

estructura de las plantas, algunas hojas se marchitaron y esto generó el crecimiento desprolijo de ellas.

En el análisis de diferencia de media a través del análisis de cejas, aunque son significativamente diferentes, se observa que siempre el crecimiento ha sido positivo.

Se llevó a cabo un análisis de residuos de los datos, los cuales se pueden observar que el crecimiento del largo de las hojas se encuentra más cerca de la línea de tendencia que los tallos.

Tabla 16 Método de Tuckey análisis de medias del ancho de las hojas planta *Xanthosoma robustum*

Factor	N	Media	Agrupación
ANCHO HOJA C1	5	8.82	A
ANCHO HOJA C2	5	8.04	A
ANCHO HOJA C3	5	6.86	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Se determina que el crecimiento del ancho de las hojas, mediante la comparación de sus medias, se confirman que son significativamente diferentes.

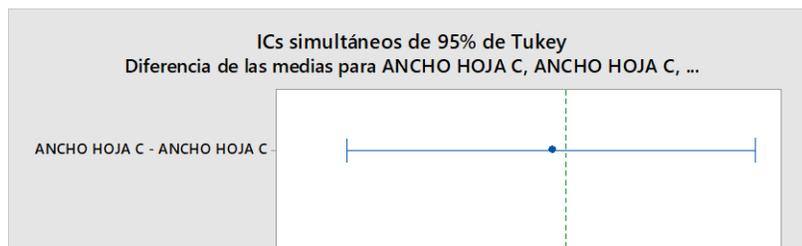


Figura 27 Análisis de residuos del largo de las hojas *Xanthosoma robustum*

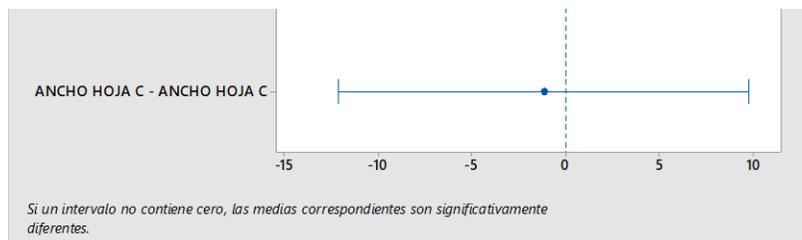


Figura 28 Análisis de Tuckey entre ancho de las hojas *Xanthosoma robustum*

En el diagrama de cajas se puede observar la distancia que se alejan las medias unas de otras.

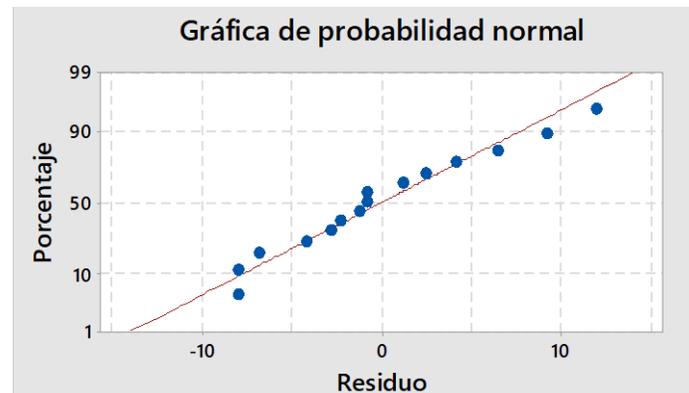


Figura 29 Análisis de residuo del ancho de las hojas
Xanthosoma robustum

En el diagrama de residuos se observa de manera más clara que el ancho de las hojas no se aleja demasiado de la línea de tendencia central, son crecimientos muy similares la mayoría de las hojas.

Por otra parte, podemos observar en las siguientes gráficas la tendencia de crecimiento de las plantas con respecto a las celdas.

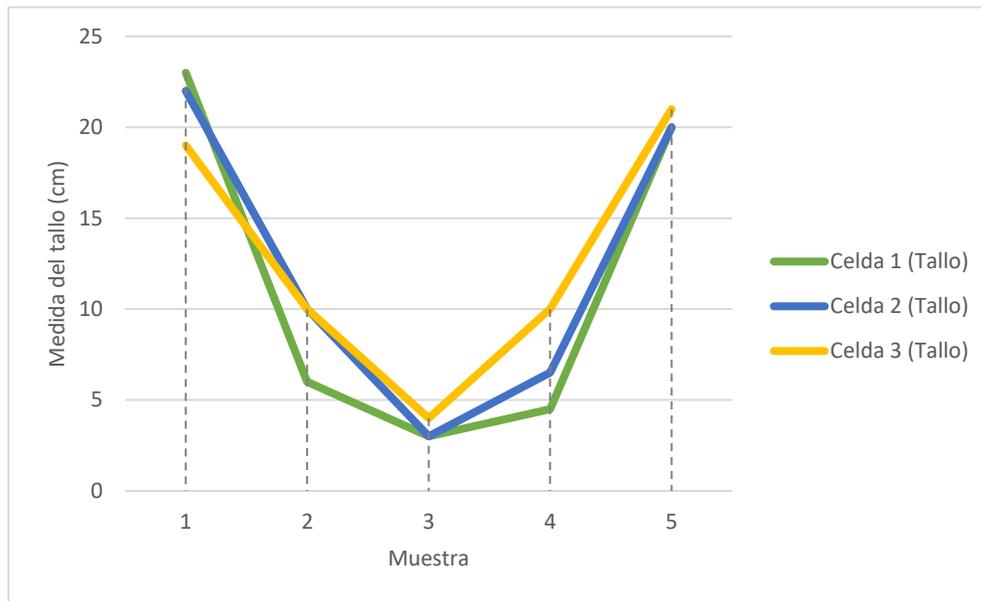


Figura 30 Análisis de crecimiento tallo de las plantas Xanthosoma robustum

El crecimiento del tallo pasó por la fase de adaptación que fue de 1 mes, se puede observar este proceso entre los puntos 1 y 2 donde se representa una decreciente en el tamaño del tallo, pasado su primer mes de adaptación llevándose a cabo con 50% agua potable y 50% agua residual sintética, se observa que fue eficiente, ya que comenzó su fase de crecimiento y en el punto 4 y 5 se puede observar como esta se encuentra con un crecimiento exponencial.

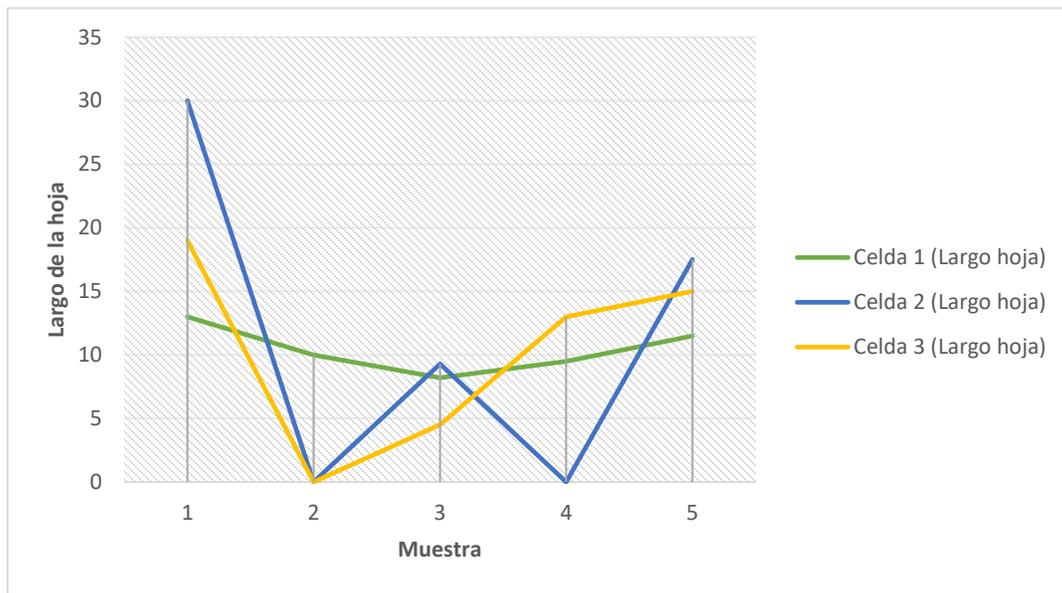


Figura 31 Crecimiento del largo de la hoja *Xanthosoma robustum*

Debido a los eventos climatológicos afectaron directamente a las hojas, las rachas de viento fueron fuertes, y marchitaron ciertas hojas, dando como resultado los picos como el punto 4 donde no se observa el largo de la hoja.

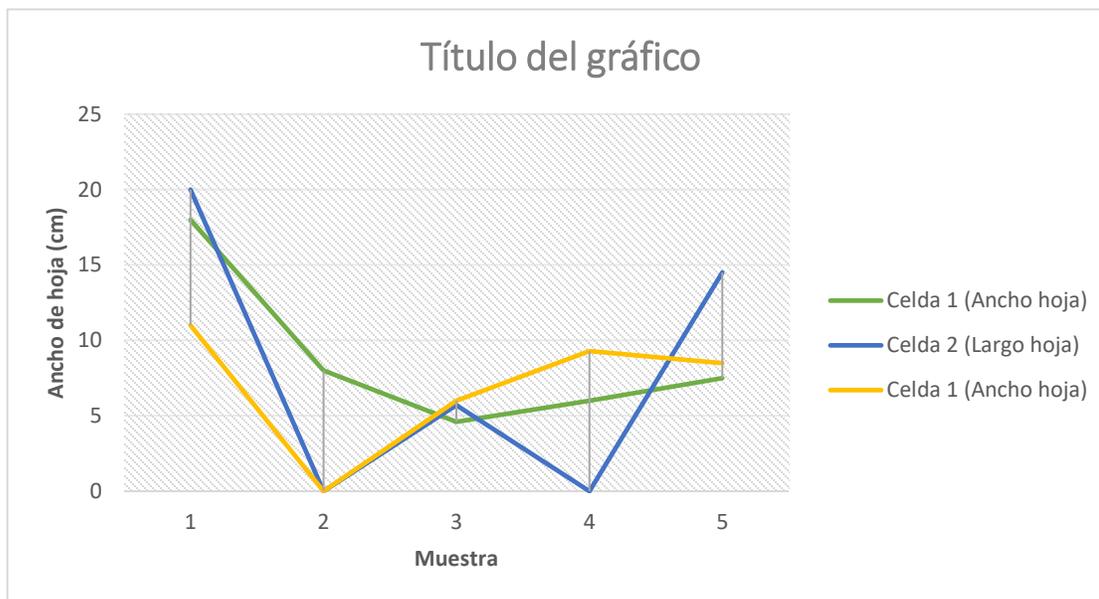


Figura 32 Crecimiento del ancho de la hoja *Xanthosoma robustum*

Después de la fase de adaptación, debido a los eventos climatológicos las hojas se marchitaron, aunado a esto no tardaron mucho en volver a surgir nuevos brotes, ya que se contaba con el medio adecuado para su óptimo crecimiento y su sistema se encontraba adaptado.

Tanto el largo y el ancho de la hoja muestran el mismo patrón debido a que crecen de manera equitativa.

CANNA INDICA

Las plantas la especie *Canna indica* mostraron las siguientes características de crecimiento de, tallo, largo de la hoja y ancho de la hoja, desde sus medidas iniciales, durante su proceso de adaptación y la recolección final.

Tabla 17 Métricas de las plantas celda 1 *Canna indica*

CELDA	TALLO (cm)	LARGO DE LA HOJA (cm)	ANCHO DE LA HOJA (cm)
1	6	18	9
1	2	4.5	3
1	2	10.3	5
1	3	10.4	5
1	9	11.5	4.5

Tabla 18 Métricas de las plantas celda 2 *Canna indica*

CELDA	TALLO (cm)	LARGO DE LA HOJA (cm)	ANCHO DE LA HOJA (cm)
2	13	18	8
2	18	19	13
2	3.5	11.5	4.5
2	7.5	10	5
2	7.5	12	4.5

Tabla 19 Métricas de las plantas celda 3 *Canna indica*

CELDA	TALLO (cm)	LARGO DE LA HOJA (cm)	ANCHO DE LA HOJA (cm)
3	0	3	4
3	14	15.2	7.5
3	4.5	14	7.3
3	12	12	6.5
3	14	25	11

Tabla 20 Medias Tuckey planta *Canna indica* Tallos

Factor	N	Media	Agrupación
TALLO CANNA C2	5	9.90	A
TALLO CANNA C3	5	8.90	A
TALLO CANNA C1	5	4.40	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Se realiza el análisis ANOVA de un solo factor, para observar si hay diferencias o similitudes de crecimiento de tallo entre las plantas según la celda.

De igual manera como con *Xanthosoma robustum* las plantas se expusieron a eventos climatológicos violentos, ya que las rachas que se presentaban oscilaban entre los 90-110 km/h, esto afectó en la calidad de las hojas y daño parte de sus tallos, por lo tanto, comenzaron a crecer en tiempos diferentes.

Otra de las razones por las cuales pueden tener un crecimiento significativamente diferente, es el tamaño inicial de las plantas en su etapa inicial.

Se observa en la siguiente gráfica que los valores de las medias se encuentran muy alejadas de cero por lo tanto son significativamente diferentes.

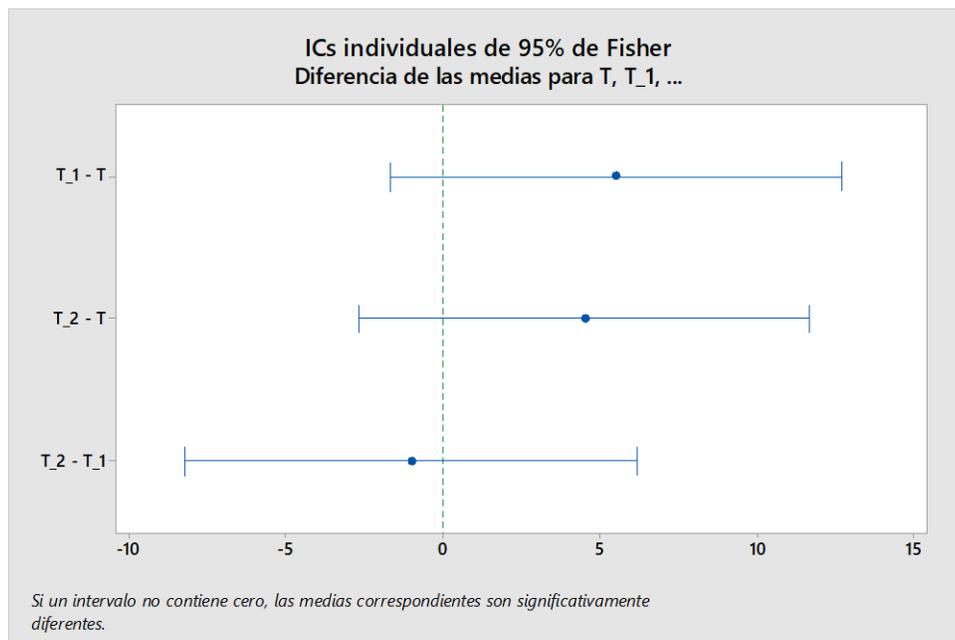


Figura 33 Diferencia de medias de tallos *Canna indica*

Se realiza su análisis de residuos donde se observa el crecimiento del tallo, no sigue la línea de tendencia central pero igual que *Xanthosoma robustum*, siguen la tendencia de crecimiento del tallo.

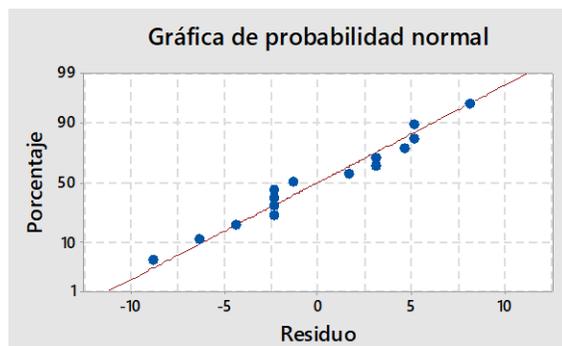


Figura 34 Análisis de residuos *Canna indica*

Se hace una comparación entre el crecimiento del largo de las hojas con respecto a cada celda, las medias son significativamente diferentes, lo que indica un crecimiento diferente respecto a cada celda.

Factor	N	Media	Agrupación
Largo hoja <i>Canna indica</i> C2	5	14.10	A
Largo hoja <i>Canna indica</i> C3	5	13.84	A
Largo hoja <i>Canna indica</i> C1	5	10.94	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Se realizó un análisis ANOVA de un solo factor comparando las medias del largo de las hojas de la *Canna indica*, se utilizan las gráficas de cajas para tener una mejor lectura de que tan diferentes son las medias de cada celda.

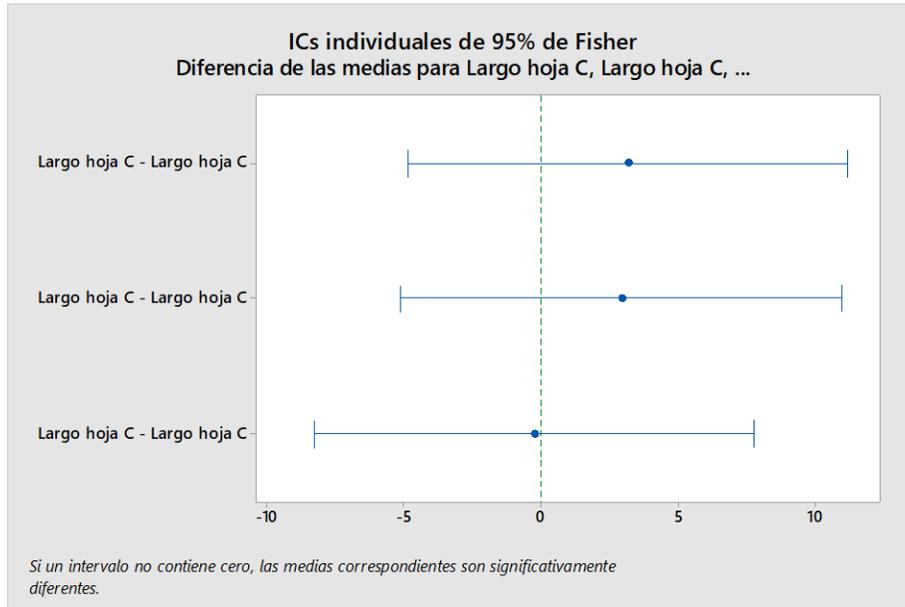


Figura 35 Diferencia entre las medias del largo de la hoja *Canna indica*

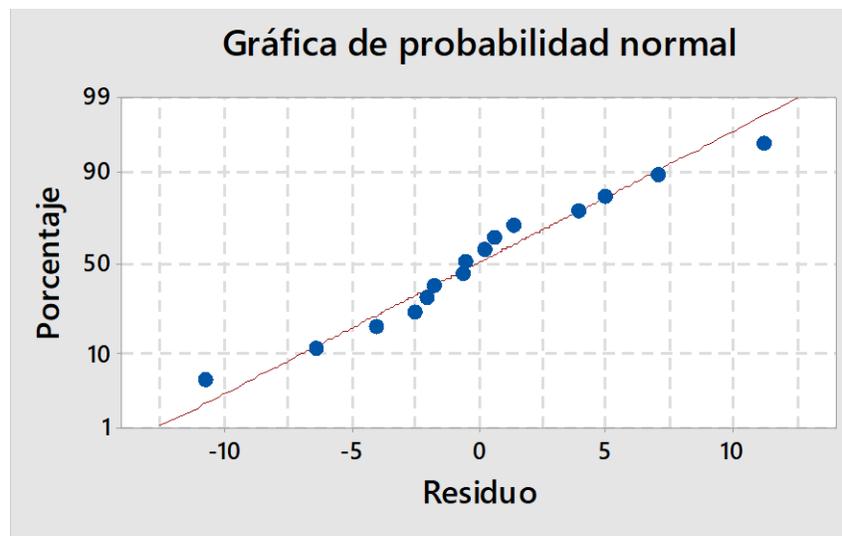


Figura 36 Análisis de residuos largo de las hojas *Canna indica*

Tabla 21 Medias del ancho de las hojas *Canna indica*

Factor	N	Media	Agrupación
Ancho hoja <i>Canna indica</i> C3	5	7.26	A
Ancho hoja <i>Canna indica</i> C2	5	7.00	A
Ancho hoja <i>Canna indica</i> C1	5	5.300	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

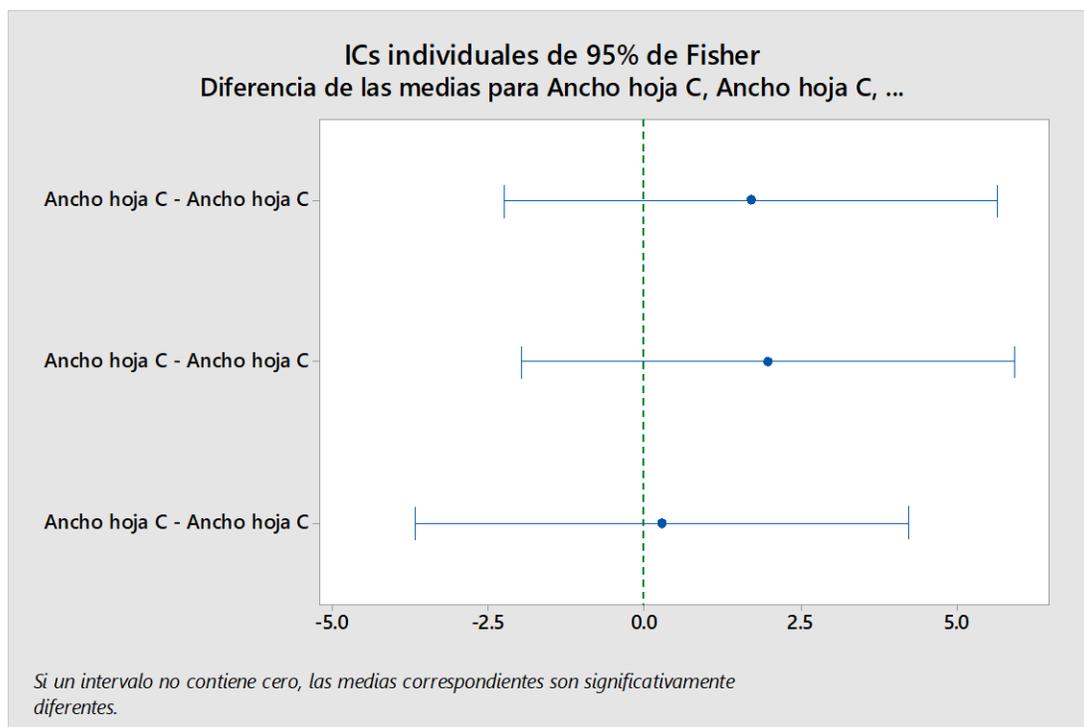


Figura 37 Análisis de cajas de medias del ancho de las hojas *Canna indica*

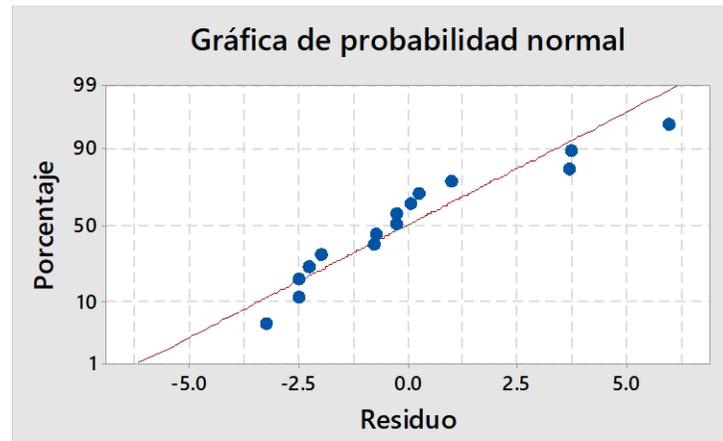


Figura 38 Análisis de residuos del ancho de las hojas *Canna indica*

En nuestro análisis de residuos del ancho de las hojas se observa una dispersión de los datos, ya que el crecimiento de las hojas es de manera irregular, unas hojas son más pequeñas ya que crecen a destiempo.

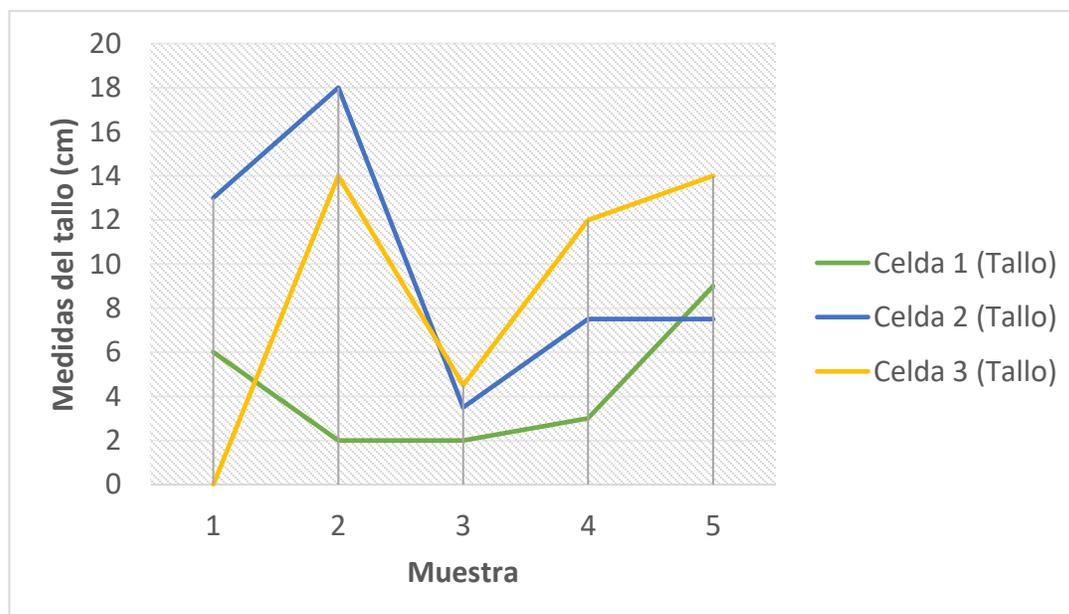


Figura 39 Crecimiento del tallo de *Canna indica* vs tiempo

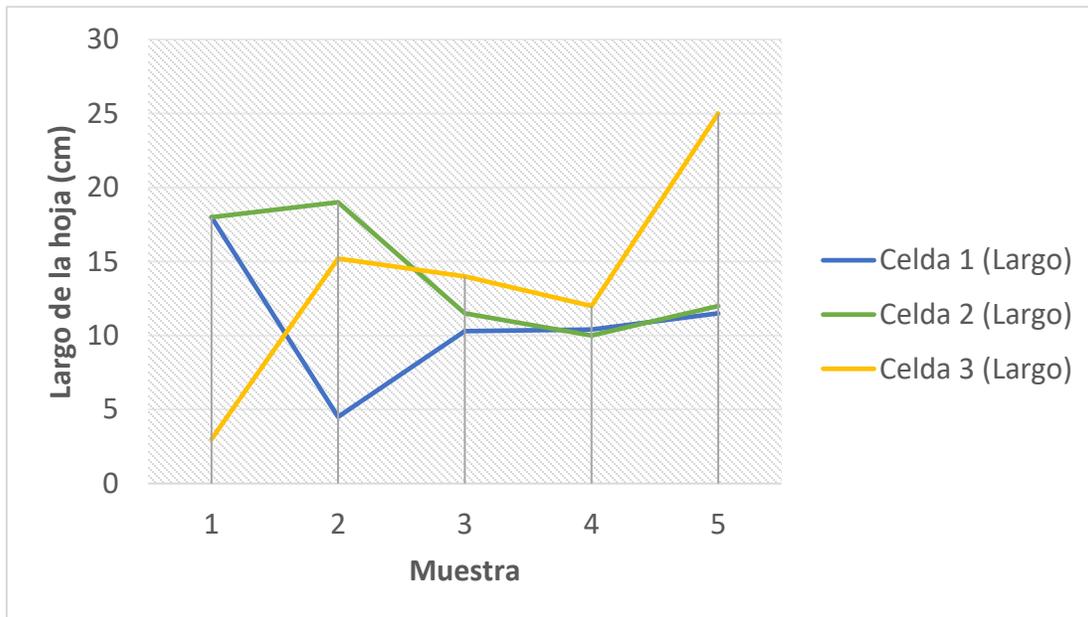


Figura 40 Crecimiento del largo de la hoja *Canna indica* vs el tiempo

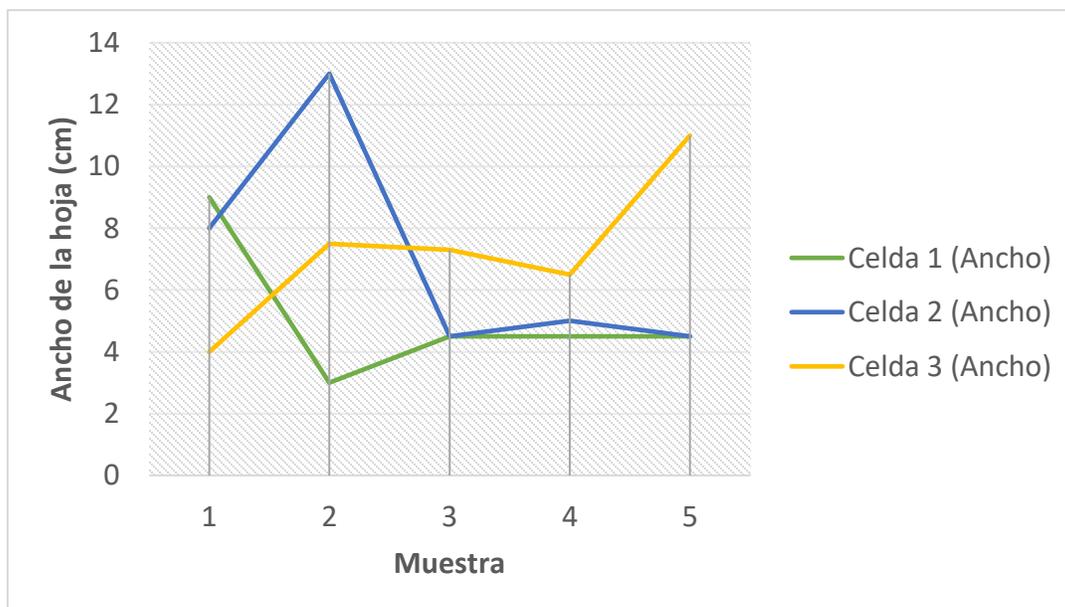


Figura 41 Crecimiento del ancho de la hoja *Canna indica* vs tiempo

Proceso de obtención de biomasa de las plantas.

- Después de tener buen desarrollo de plantas se determinó la biomasa aérea, raíz y cuerpo, para esto se separaron en tres.
- Cada sección de las plantas se lavó y luego se colocó en un horno a 100 ° C durante al menos 72 h para obtener su peso, finalmente, para obtener la producción de biomasa, las plantas se pesaron mediante una balanza analítica digital



Figura 42 Obtención de biomasa de las plantas

Tabla 22 Pesos de la biomasa finales de la biomasa Canna indica

TALLO (g)	RAIZ (g)	HOJA (g)
-----------	----------	----------

3.9886	0.026	1.1491
3.8736	0.174	1.4789
3.9765	0.165	0.1329

Se realiza la resta del peso inicial – peso final y el resultado se expresa en gramos como se puede observar en la tabla 22.

Esos son los gramos de carbono generados por metro cuadrado del sistema.

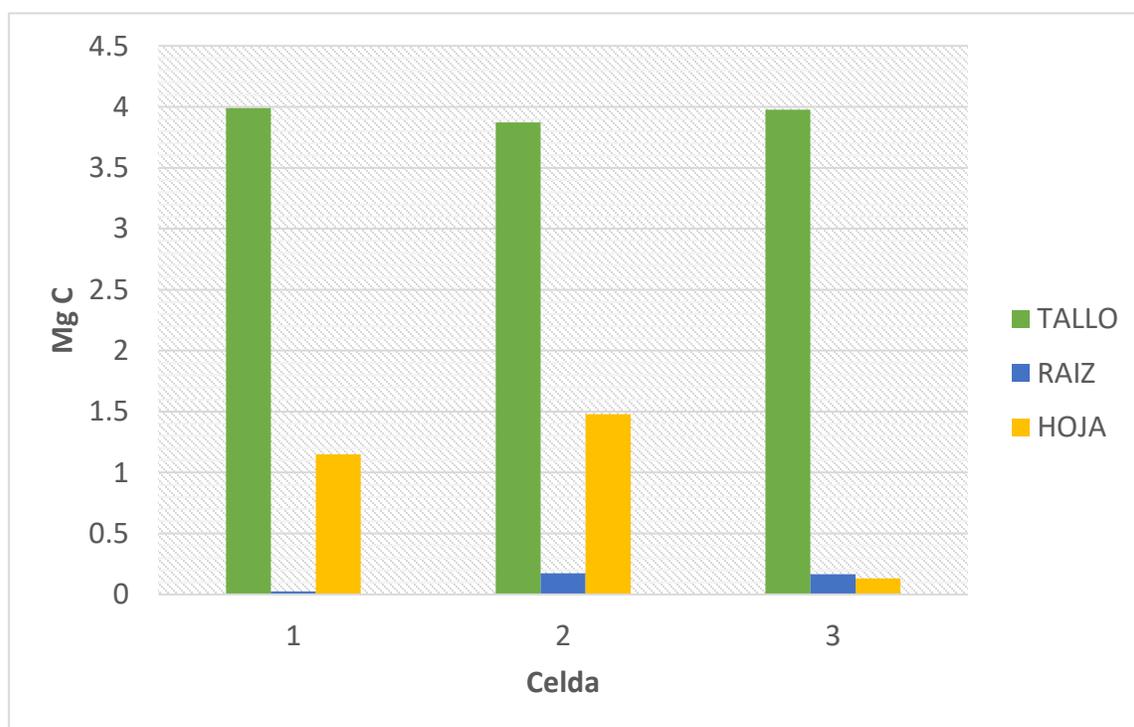


Figura 43 Gramos de carbono generado por m2 del sistema Canna indica

Tabla 23 Peso de la biomasa final de la biomasa Xanthosoma robustum

TALLO (g)	RAIZ (g)	HOJA (g)
1.7613	1.8519	0.779

1.7613	1.4225	0.02
1.3557	1.4526	0.5863

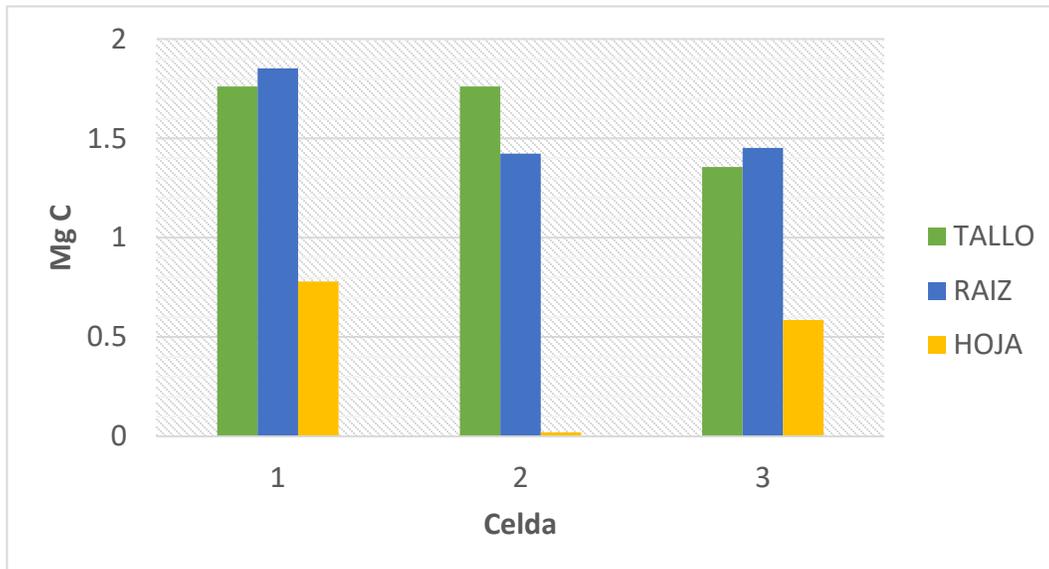


Figura 44 Pesos finales en gramos de biomasa producida por metro cuadrado de Xanthosoma robustum

CONCLUSIONES

Con esto se puede concluir que la *Canna indica* cuenta con un proceso de remoción mayor sobre la planta *Xanthosoma robustum*.

Se puede concluir que se produce más g de biomasa con la planta *Xanthosoma robustum* vs *Canna indica*, esto nos indicaría un mayor consumo de carbono.

La planta *Canna indica*, es mejor llevando a cabo los procesos de remoción de solidos suspendidos totales en el sistema, esto es debido a su tipo de raíz su rizosfera es más abundante por lo tanto las bacterias que ayudan a los procesos de remoción de materia orgánica tienen más área donde hacer la transferencia de nutrientes.

Las plantas tuvieron un proceso de adaptación en el cual se concluye que son buenas soportando cargas de DBO de alrededor de 300-400 mg/l ya que estas utilizaron esta materia orgánica para crecer.

Ambas plantas son muy buenas removiendo materia orgánica, la turbidez del agua tratada es indicador de esto junto con la reducción de la DBO₅, donde los parámetros obtenidos entran bajo la NOM-001-SEMARNAT-2021, el valor inmediato para la DQO obtenida es de 210 como máximo permisible para descargas a cuerpos receptores de ríos, arroyos, canales y drenes, la remoción de DQO obtenida mediante el análisis es de entre 35-90 mg/l.

La eficiencia de remoción de las plantas es del 77.5%.

El aporte al vacío del conocimiento que se puede dar con este trabajo es que las plantas ornamentales *Canna indica* y *Xanthosoma robustum*, mejoran la calidad del agua en cuestiones de remoción, se adaptan bien a procesos de humedales artificiales, *Canna indica* tiene tendencia a ser más eficiente en el proceso de remoción que *Xanthosoma robustum*, pero esta tiende a capturar mayor cantidad de carbono del medio, ya que sus tallos y hojas son más grandes necesita más energía para crecer.

10.- BIBLIOGRAFÍA

Abad, B. M., P. Noguera M. y B. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 113-158. In: Tratado de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu G. Mundi-Prensa. Madrid, España

Aerts, R., y Chapin, F. S. (2000). The Mineral Nutrition of Wild Plants Revisited: A Re-evaluation. *Advances in Ecological Research*, 30, 55.

Agroequipos, s.f., Los sustratos agrícolas y sus propiedades, *Agroequipos*, <https://www.agroequipos.com.mx/node/1687>

Álvarez González, A., Cala Rivero, V., & González Parra, J. (1993). El factor edáfico en humedales de Cantalejo (provincia de Segovia). *Ecología*, 7, 37–46.

Arnold, M., & Osorio, F. (2011). Introduccion a los conceptos basicos de la teoria general de sistemas. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 27, 157–159.

Arrieche, I., & Pacheco, Y. (2011). Determinación De Carbono Orgánico En Muestras De Suelos Mediante Dos Procedimientos Analíticos. *Venesuelos*, 6(1 y 2), 9–13.

Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2003). Fundamentos de fisiología vegetal. In *McGrawHill*.

Carreira, D. (2011). *Cuantificación de la Materia Orgánica del suelo. Método de WALKLEY & BLACK. 1927*, 8.

CICEANA. (2015). Ciclo del Nitrogeno. *Wiki*, 4.
http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/webfm_send/109

Dolores, M., & Mora, F. de la. (2014). Fitodepuración en humedales. Conceptos generales. *Manual de Fitodepuración.*, 61–78.

- Fassbender, H. W. (1987). Química del Suelo. In *Soil Science* (Vol. 98, Issue 3, p. 210). <https://doi.org/10.1097/00010694-196409000-00024>
- Figuroa, R., Suarez, M. L., Andreu, A., Ruiz, V. H., & Vidal-Abarca, M. R. (2009). Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile Central. *Gayana*, 73(1), 76–94. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382009000100011>
- García González, J. A. (2014). Empiricism and the philosophy today. *Contrastes*, 159–177.
- Han, E. S., & Goleman, Daniel; Boyatzis, Richard; McKee, A. (2019). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Hernández, M. E. (2009). SUELOS DE HUMEDALES COMO SUMIDEROS DE CARBONO Y FUENTES DE METANO Wetland Soils as Carbon Sinks and Sources of Methane. *Terra Latinoamericana*, 28, 139–147.
- INPOF. (2013). La Ley Del Máximo. *International Plant Nutrition Institute (IPNI)*, 10–12.
- Jorge Dagnino, S. (2014). Análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(4), 306–310. <https://doi.org/10.2307/j.ctvvn8k0.7>
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). Treatment Wetlands. In *Treatment Wetlands*. <https://doi.org/10.1201/9781420012514>
- Khan Academic., s.f., ciclo del carbono, accedido (05/02/2022) <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-carbon-cycle>
- Klomjek, P., & Nitorisavut, S. (2005). Constructed treatment wetland: A study of eight plant species under saline conditions. *Chemosphere*, 58(5), 585–593. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.073>
- Kumar, M., Ou, Y. L., & Lin, J. G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management*, 30(4), 602–609.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.023>

Lefèvre, C., Rekik, F., V, A., & Wiese, L. (2017). *Pages for Web Pdf Cover*.

www.fao.org/publications

Lin, Y. F., Jing, S. R., Wang, T. W., & Lee, D. Y. (2002). Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands. *Environmental Pollution*, 119(3), 413–420.

[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00299-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00299-8)

Liu, L., Zhao, X., Zhao, N., Shen, Z., Wang, M., Guo, Y., & Xu, Y. (2013). Effect of aeration modes and influent COD/N ratios on the nitrogen removal performance of vertical flow constructed wetland. *Ecological Engineering*, 57, 10–16.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.019>

Liu, Y., Jiang, M., Lu, X., Lou, Y., & Liu, B. (2017). Carbon, Nitrogen and Phosphorus Contents of Wetland Soils in Relation to Environment Factors in Northeast China. *Wetlands*, 37(1), 153–161. <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0856-2>

Lovelock, J. (2007),. (2007). 168–169.

Lovelock, J. (2006). *La venganza de la tierra la teoria de gaia y el futuro de la humanidad*.

Maldonado, F., González, F., & Jiménez, M. del P. (2007). Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos del carbono y nitrógeno en los textos de secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, v. 4(Abstract No. 1823), [2 p.].

Mariela Rodríguez . Victor J. Flórez . (2004). Elementos Esenciales Y Beneficiosos ©. *Cyted*, 25–36(3), 12.

Mena-Sanz, J. (2008). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. *Conapa*, 25.

Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la botanica* (1st edición). Pearson Education.

- Petticrew, E. L., & Kalff, J. (1992). Water Flow and Clay Retention in Submerged Macrophyte Beds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
<https://doi.org/doi:10.1139>
- Respiración, A. F., Rápido, E. C., & Oceánicos, B. P. R. (1957). C . *El Ciclo de Roca : Ciclo mas Lento* . 3–6.
- Reyes, M. I., Guido, A., Carrillo, S. G., & Durán, C. (2011). Remoción de Fósforo en un Sistema de Humedales Artificiales a Escala de Laboratorio. *Química Central*, 2(1), 25–32.
<http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/QUIMICA/article/view/546>
- Sakin, E. (2012). Relationships between of carbon, nitrogen stocks and texture of the Harran plain soils in Southeastern Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18(4), 626–634.
- Secretaría de economía dgn, 2021, Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (dbo5) y residuales tratadas - método de prueba, NMX-AA-028- SCFI- 2021,
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5669720&fecha=26/10/2022&print=true
- Secretaría de economía dgn, 2012, Análisis de agua - medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- método de prueba - parte 1 - método de reflujó abierto, NMX-AA-030/1-SCFI-2012, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>
- Secretaría de economía dgn, 2010, Medición de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba, NMX-AA-026-SCFI-2010
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, 2021., Caracoles de México, accedido (16 enero 2022), <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/caracoles-de-mexico#:~:text=Aunque%20la%20concha%20de%20las,de%20colores%20ag>

radables%20y%20vivos.

- Tang, S., Liao, Y., Xu, Y., Dang, Z., Zhu, X., & Ji, G. (2020). Microbial coupling mechanisms of nitrogen removal in constructed wetlands: A review. *Bioresource Technology*, 314(May), 123759.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123759>
- Tilley, E. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de. *Instituto Federal Suizo Para La Ciencia y La Tecnología Acuática (Eawag)*, 2da edicio, 178.
[https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY et al 2018. Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnologías%20de%20saneamiento.pdf)
- Troiani, H., Prina, A., Tamame, M., & Beinticinco, L. (2017). Botanica, morfología, taxonomía y fitogeografía. In *EdUNLPam*.
<http://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/QuedateEnCasa/botanica-morforlogia-taxonomia-y-fitogeografia.pdf>
- USDA-NRCS. (2011). Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems. *USDA Natural Resources Conservation Service*, 2. <http://www.nrcs.usda.gov>
- Vibrans, H. (2005). *Canna indica L.* Conabio.
- Vymazal, J. (2020). Removal of nutrients in constructed wetlands for wastewater treatment through plant harvesting – Biomass and load matter the most. *Ecological Engineering*, 155(June), 105962.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105962>
- Yan, C., Zhang, H., Li, B., Wang, D., Zhao, Y., & Zheng, Z. (2012). Effects of influent C/N ratios on CO₂ and CH₄ emissions from vertical subsurface flow constructed wetlands treating synthetic municipal wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 203–204, 188–194.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.002>
- Yuan, C., Zhao, F., Zhao, X., & Zhao, Y. (2020). Woodchips as sustained-release carbon source to enhance the nitrogen transformation of low C/N wastewater in a baffle subsurface flow constructed wetland. *Chemical Engineering*

Journal, 392(January), 124840. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124840>

- Zhao, Y. J., Hui, Z., Chao, X., Nie, E., Li, H. J., He, J., & Zheng, Z. (2011). Efficiency of two-stage combinations of subsurface vertical down-flow and up-flow constructed wetland systems for treating variation in influent C/N ratios of domestic wastewater. *Ecological Engineering*, 37(10), 1546–1554. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.005>
- Zhi, W., & Ji, G. (2014). Quantitative response relationships between nitrogen transformation rates and nitrogen functional genes in a tidal flow constructed wetland under C/N ratio constraints. *Water Research*, 64(010), 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.06.035>
- Zhu, H., Yan, B., Xu, Y., Guan, J., & Liu, S. (2014). Removal of nitrogen and COD in horizontal subsurface flow constructed wetlands under different influent C/N ratios. *Ecological Engineering*, 63, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.018>

ANEXOS



Figura 46 Sistema humedal artificial prototipo montado inicial



Figura 45 Medición de tamaños de hojas en el sistema



Figura 47 Prototipo humedal artificial con *Canna indica*



Figura 48 Prototipo humedal artificial con *Xanthosoma robustum*, pequeños brotes, adaptación al sistema positivo