



**UNIVERSIDAD MICHUACANA
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

TESIS:

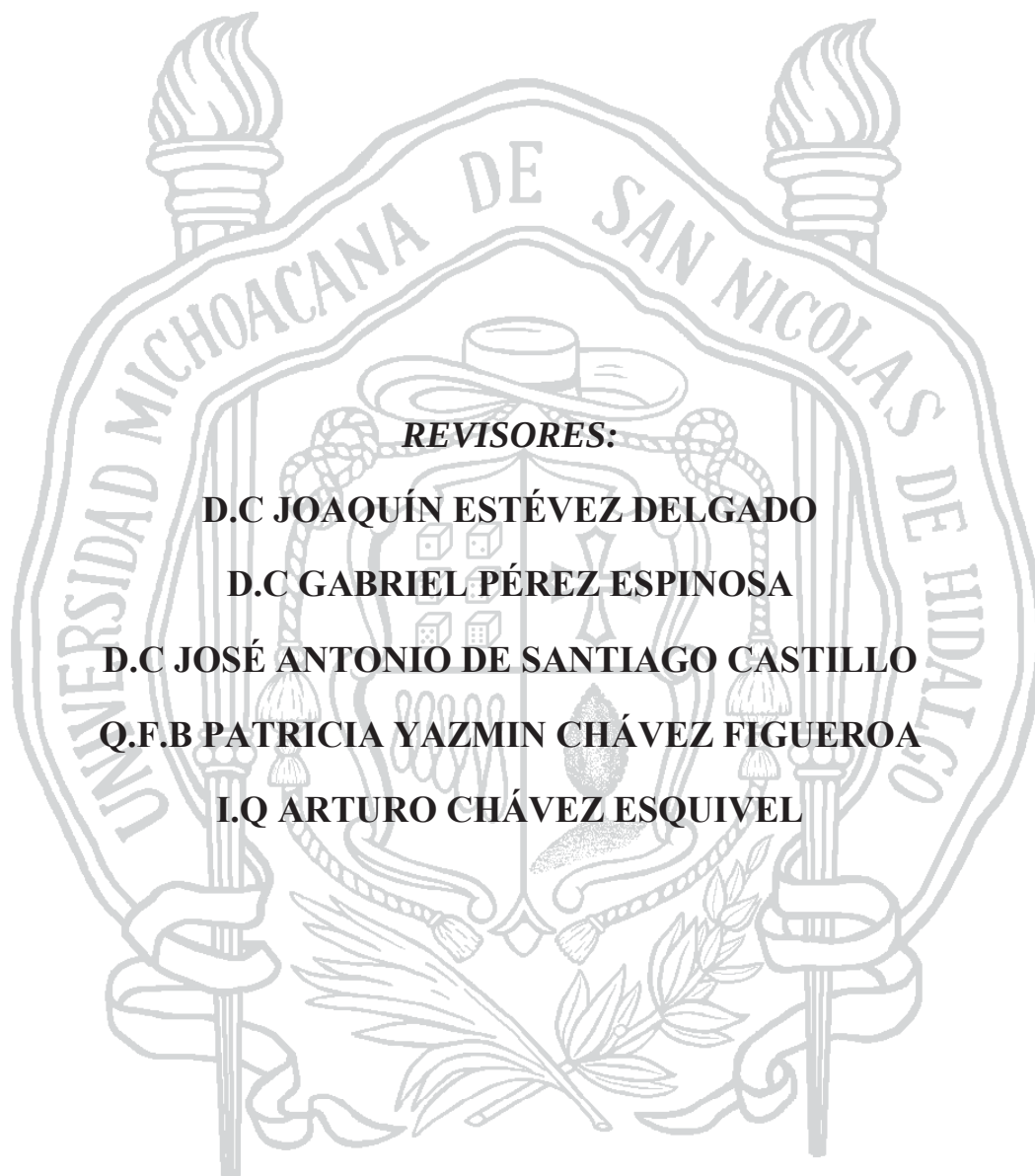
**MODELOS DEL COMPORTAMIENTO FOTOSINTÉTICO Y
METABÓLICO DE “*Nepenthes alata*” EN PERIODOS
CRÍTICOS.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE: LICENCIADO EN QUÍMICO
FARMACOBIOLOGÍA.**

PRESENTA: MARÍA DE JESÚS JUÁREZ AYALA.

DIRECTOR DE TESIS: M.C. GABINO ESTÉVEZ DELGADO.

MORELIA, MICHUACÁN, AGOSTO DEL 2012.



REVISORES:

D.C JOAQUÍN ESTÉVEZ DELGADO

D.C GABRIEL PÉREZ ESPINOSA

D.C JOSÉ ANTONIO DE SANTIAGO CASTILLO

Q.F.B PATRICIA YAZMIN CHÁVEZ FIGUEROA

I.Q ARTURO CHÁVEZ ESQUIVEL

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por permitirme culminar mi educación a nivel licenciatura en Químico Farmacobiología.

Agradezco Infinitamente a Mis Padres Miguel Ángel Juárez y María Elena Ayala, por haberme dado la vida, por su amor, cariño, pero sobre todo la confianza y apoyo incondicional que me brindaron, para la culminación de mi licenciatura en Químico Farmacobiología.

Agradezco a Mis Hermanos: Lleraldin Juárez, Miguel Ángel Juárez y Oscar Guadalupe Juárez, por todo el amor y cariño que me brindan día con día, que me ha impulsado para salir adelante.

Agradezco a Mi Director De Tesis; M.C Gabino Estévez Delgado, por el tiempo y dedicación para la revisión, de cada uno de los detalles del diseño del análisis experimental, así como de los resultados obtenidos, que hicieron posible la presenté investigación, además de los conocimientos invaluable que me fueron trasmitidos en el transcurso de su realización, y los adquiridos a través de las materias de estadística y bioestadística, que me impartió durante mi estancia en la facultad de Químico Farmacobiología.

Agradezco a Mi Honorable Jurado de Sinodales; D.C Joaquin Estévez Delgado, D.C Gabriel Pérez Espinosa y D.C José Antonio de Santiago Castillo, por cada uno los conocimientos invaluable que me brindaron y las aportaciones que realizaron, con el objetivo de enriquecer, la presente tesis. A la Q.F.B Patricia Jazmín Chávez Figueroa y el I.Q Arturo Chávez Esquivel

por el tiempo dedicado para la revisión de la presente investigación.

Agradezco a La Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo, por haberme permitido llevar acabo mi formación académica, así como su culminación, a nivel licenciatura, en la facultad de Químico Farmacobiología.

DEDICATORIAS***A DIOS.***

Por ser la luz que me ilumina en el camino de la vida, dándome la confianza, seguridad y sobre todo la sabiduría adecuada para enfrentar los obstáculos que se me presentan a lo largo de ella, además de brindarme la oportunidad y la dicha de crecer en una familia maravillosa rodeada de amor, y permitirme lograr la culminación de mi Licenciatura en Químico Farmacobiología.

A MI PADRE MIGUEL ÁNGEL JUÁREZ VALENCIA.

Por ser para mí un ejemplo de vida a seguir, brindándome una educación basada en la confianza, responsabilidad y valores, la cual ha sido una herramienta indispensable en mi formación personal y profesional, pero sobre todo por tu amor, cariño, consejos y apoyo incondicional en mis momentos de felicidad y de tristeza, por estar siempre conmigo, formando parte importante de cada uno de ellos, por el tiempo dedicado a mis intereses personales, por tu noches de desvelo y esfuerzo procurando que nunca me hiciera falta nada, para que yo lograra culminar mi licenciatura, y pueda lograr los objetivos que me sean planteados en la vida, por que siempre has estado pendiente de mí, procurando mi bienestar, emocional, social y económico, Gracias Papi, te quiero mucho y sabes que le agradezco a dios que me haya dado la dicha de ser tu hija y tu ser un buen padre para mí, y deseo que dios te conserve por muchos años.

A MI MADRE MARÍA ELENA AYALA ECHAVARRÍA.

Por darme la vida, por enseñarme a creer y confiar en mí, para ser mejor persona, por cada uno de los consejos que me brindas día con día, ya que me han motivado y alentado, para seguir adelante, con el propósito de aprender que con esfuerzo, dedicación y constancia, lograre los objetivos que me sean planteados a lo largo de mi vida, por el tiempo dedicado, para compartir conmigo momentos llenos de alegría, así como de tristeza, por que siempre has estado a mi lado cuando más te he necesitado, por recordarme que después de la tormenta, siempre sale el sol, y que lo mejor esta por venir, por enseñarme a que de los errores hay que aprender, superando cada uno de obstáculos que se me presenten, a lo largo del camino de la vida, por todas las llamadas telefónicas, para saber como estaba y darme las buenas noches, durante toda mi estancia en la licenciatura, por tu amor, paciencia, comprensión y cariño, Gracias Mami, Te Quiero Mucho.

A MI HERMANA LLERALDIN JUÁREZ AYALA.

Por todo tu amor, cariño y confianza que me has brindado, por ser mi confidente, amiga, y hermana, por que los momentos más lindos de mi vida, los he vivido a tu lado, y siempre estarán en mi mente y corazón, por contagiarme de tu alegría y entusiasmo que siempre te han caracterizado, por tus consejos que me han alentado para seguir logrando mis sueños, objetivos y metas en mi vida, por tu compañía y apoyo incondicional, por estar siempre pendiente de mi bienestar, por cada una de las noches de desvelo, estudiando para los exámenes , haciendo tareas, trabajos en equipo, y por todo lo que

hemos vivido y compartido juntas, gracias por ser mi hermana, y por formar parte importante de mi vida. Te Quiero Mucho.

A MI HERMANO MIGUEL ÁNGEL JUÁREZ AYALA.

Por tu sentido del humor característico, que en situaciones complicadas de mi vida, siempre logras hacerme sonreír, para que vea la parte positiva de la circunstancia, por la confianza, por tu apoyo incondicional, por los lindos momentos que hemos compartido, por la comunicación y tu tiempo disponible, gracias por el amor y cariño que me has brindado, y sobre todo por ser un gran ser humano lleno de nobleza, que nunca deja de sonreír, te quiero mucho hermano.

A MI HERMANO OSCAR GUADALUPE JUÁREZ AYALA.

Por ser mi hermanito el más pequeño de la familia, por la alegría y entusiasmo que me has contagiado, motivándome para mi superación personal y profesional, por todas las llamadas telefónicas realizadas, durante mi licenciatura, para darme las buenas noches, por todo tu amor y cariño que me has brindado, por cada uno de los momentos llenos de alegría que hemos compartido, gracias por formar parte importante de mi vida, te quiero mucho.

RESUMEN

En la presente tesis titulada, *Modelos del Comportamiento Fotosintético y Metabólico de “Nepenthes alata” en Períodos Críticos*, se propone un nuevo método inductivo y transversal, con el objetivo de obtener: la determinación de la relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂, eliminado en la atmósfera interna del sistema invernadero, en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, el análisis experimental fue basado, en el uso del sensor de gases del Alcohómetro Digital (MED-160), acoplado a un Multímetro Profesional de Lujo con Interface para PC (MUL-600), a través del cual, se detecta la variación del potencial eléctrico del CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{n}$) y mediante la ecuación de la recta, de la curva de calibración (GRÁFICA 4.1.1) obtener el [%] CO₂, y con el Multímetro Digital (FLUKE-87), determinar la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra, asociada de forma indirecta con la absorción de agua, por lo pelos radiculares de la raíz de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, requerida para llevar acabo el proceso fotosintético, la cual, es inversamente proporcional al [%] CO₂ (GRÁFICA 4.2.0.3), presentando un intervalo de lineal respecto al tiempo, de 8 horas (1:00 p.m. - 8:00 p.m.), logrando así, el cumplimiento del objetivo planteado. El efecto invernadero generado en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, durante un período de 24 horas, se caracterizó por una ecuación de tipo sinusoidal [Ec.(4.2.1.1), GRÁFICA 4.2.1.1], donde, el análisis de variancia para la temperatura_{IN} (TABLA 4.3.4.2) y la humedad [%]_{IN} (TABLA 4.3.4.1), además, de la prueba de error normalizado[Ec.(2)], nos indican, la existencia de una

variación significativa, en ambos resultados, por lo que , se acepta, el planteamiento de nuestra hipótesis: La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero aislado [GRÁFICA 4.2.2.1, GRÁFICA 4.2.2.2])

ÍNDICE	PÁGINA.
CAPÍTULO I. FUNDAMENTO ANALÍTICO DE LA ACTIVIDAD FISIOLÓGICA Y METABOLICA DE LA PLANTA CARNÍVORA “<i>Nepenthes alata</i>”.	1
1. FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 INTRODUCCIÓN	5
1.2 HIPÓTESIS	8
1.3 OBJETIVO ESPECIFICO	8
1.4 VARIABLES	8
1.4.1 VARIABLES DEPENDIENTES	8
1.4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES	8
1.5 DELIMITACIÓN DEL TEMA	9
1.6 ESPACIO DE ESTUDIO	9
1.7 CONCLUSIÓN	10
CAPÍTULO II. REFERENTES TEÓRICOS DEL ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS EN PLANTAS CARNÍVORAS	12
2. INTRODUCCIÓN	13
2.1 MARCOREFERENCIAL	18
2.1.1. FOTOSÍNTESIS	18
2.1.1.1. ABSORCIÓN DE LA LUZ POR EL CLOROPLASTO	20
2.1.1.2. REACCIONES DE FITORRESPIRACIÓN	22
2.1.1.3. BALANCE ENTRE LA FOTOSÍNTESIS Y LA RESPIRACIÓN	23
2.1.2. METABOLISMO	24
2.1.3. PLANTAS CARNÍVORAS	27
2.1.3.1. FAMILIA <i>Cephalotaceae</i>	28
2.1.3.2. FAMILIA <i>Droseraceae</i>	28
2.1.3.3. FAMILIA <i>Lentibulariaceae</i>	30
2.1.3.4. FAMILIA <i>Sarraceniaceae</i>	31
2.1.4. <i>Tenebrio molitor</i>	33
2.1.5. MODELO MATEMÁTICO DE GOMPERTZ	35
2.1.6. MODELO PRESA DE PREDADOR	36
2.1.7. DETECTOR DE GAS INFRARROJO	37
2.1.7.1. PRINCIPIO DEL DETECTOR DE GAS INFRARROJO	38

2.1.8. VALIDACIÓN DE UN MÉTODO	38
2.2. MARCO HISTÓRICO	39
2.3. MARCO JURIDICO	41
2.4. COMCLUSIÓN	42
CAPITULO III. MÉTODOS Y MATERIALES.	43
3. INTRODUCCIÓN	44
3.1. MUESTRA	47
3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	47
3.2. SOFTWARE E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES.	48
3.2.1. SOFTWARE	48
3.2.2. MATERIAL	48
3.3. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL POTENCIAL ELÉCTRICO (V) .	49
3.4. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA (Ω^{-1}).	50
3.5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD [%] _{IN-OUT} Y TEMPERATURA _{IN-OUT} .	51
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	51
3.7. CONCLUSIÓN	53
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.	55
4. INTRODUCCIÓN	56
4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL EN LA FASE I	56
4.1.1. DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE TIEMPO PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL, EN BASE AL [%] CO ₂ , ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	56
4.1.2. PRUEBA DE ERROR NORMALIZADO	60
4.1.3. ANOVA	61
4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL EN LA FASE II	62
4.2.1. ECUACIÓN SIGMOIDE	67
4.2.2. GRÁFICAS DE [%] CO ₂ MÁXIMO RESPECTO A LA HUMEDAD	

INTERNA Y EXTERNA DEL SISTEMA.	70
4.2.3. PRUEBA DE ERROR NORMALIZADO	72
4.2.4. ANOVA	74
4.2.5. ANOVA DE LA VARIACIÓN DEL [%] CO ₂ EN LA ATMÓSFERA INTERNA DEL SISTEMA INVERNADERO, GENERADO POR LA LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	75
4.2.6. PRUEBA T DEL [%] CO ₂ ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	77
4.2.7. ANOVA DE LA HUMEDAD [%] _{IN} RESPECTO A LA HUMEDAD [%] _{OUT} DEL ÚLTIMO DÍA DE LA FASE EXPERIMENTAL.	78
4.3. CONCLUSIÓN	79
 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y CONFRONTACIÓN DEL FUNDAMENTO HIPOTÉTICO.	 81
5. INTRODUCCIÓN	82
5.1. CONFRONTACIÓN DEL FUNDAMENTO HIPOTÉTICO	83
5.2. TRABAJO A FUTURO	88
5.3. CONCLUSIÓN	91
REFERENCIAS	94

ÍNDICE DE IMÁGENES	PÁGINA.
IMAGEN 2.1.2. REACCIONES DEL PROCESO FOTOSINTÉTICO EN LAS PLANTAS VERDES.	19
IMAGEN 2.1.2.1. CICLO DE KREBS.	25
IMAGEN 2.1.3.1.1. <i>Cephalotus follicularis</i> .	28
IMAGEN 2.1.3.2.1. <i>Dionaea muscipula</i> .	30
IMAGEN 2.1.3.3.1. <i>Pinguicula mundi</i> .	31
IMAGEN 2.1.3.4.1. <i>Darlingtonia californica</i> .	33
IMAGEN 2.1.4.1. <i>Tenebrio molitor</i> .	35
IMAGEN 2.2.1. <i>Nepenthes rajah</i> .	40
IMAGEN 3.1. PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	47

ÍNDICE DE GRÁFICAS	PÁGINA.
GRÁFICA 4.1.1. CURVA DE CALIBRACIÓN DEL POTENCIAL ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DEL [%] CO ₂ .	57
GRÁFICA 4.1.2. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD FISIOLÓGICA RESPECTO AL [%]CO ₂ , ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	58
GRÁFICA 4.1.3. INTERVALOS DE TIEMPO DEL ANÁLISIS DE LA FASE EXPERIMENTAL.	59
GRÁFICA 4.2.0.1. [%] CO ₂ RESPECTO AL TIEMPO, ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”, AL SER ALIMENTADA CON “ <i>Tenebrio molitor</i> ”.	64
GRÁFICA 4.2.0.2. CONDUCTANCIA (Ω^{-1}) RESPECTO AL [%] CO ₂ , PRODUCIDO POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”, EN EL METABOLISMO DE “ <i>Tenebrio molitor</i> ”.	65
GRÁFICA 4.2.0.3. INTERVALO LINEAL DE LA CONDUCTANCIA (Ω^{-1}) RESPECTO AL [%] CO ₂ , PRODUCIDO POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”, EN EL METABOLISMO DE “ <i>Tenebrio molitor</i> ”.	66
GRÁFICA 4.2.1.1. TEMPERATURA _{IN} VS TIEMPO DEL SISTEMA, EN EL METABOLISMO DE “ <i>Tenebrio molitor</i> ” por la planta carnívora “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	69
GRÁFICA 4.2.1.2. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA _{IN} VS TIEMPO DEL SISTEMA, EN EL METABOLISMO DE “ <i>Tenebrio molitor</i> ” POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	70
GRÁFICA 4.2.2.1. HUMEDAD [%] _{IN} VS [%] CO _{2(MÁXIMO)} SINTETIZADO EN EL METABOLISMO DE “ <i>Tenebrio molitor</i> ”, POR LA PLANTA CARNÍVORA “ <i>Nepenthes alata</i> ”.	70

GRÁFICA 4.2.2.2. HUMEDAD [%]_{OUT} VS [%] CO₂(MÁXIMO) SINTETIZADO EN EL METABOLISMO DE “*Tenebrio molitor*, POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

71

ÍNDICE DE TABLAS	PÁGINA.
TABLA 4.1.3.1. ANOVA DEL LOGARITMO DE LA HUMEDAD [%] _{IN} RESPECTO A LA HUMEDAD [%] _{OUT} DEL SISTEMA.	62
TABLA 4.2.4.1. ANOVA DEL LOGARITMO DE LA HUMEDAD [%] _{IN} RESPECTO A LA HUMEDAD [%] _{OUT} DEL SISTEMA.	74
TABLA 4.2.4.2. ANOVA DEL LOGARITMO DE LA TEMPERATURA _{IN} RESPECTO A LA TEMPERATURA _{OUT} DEL INVERNADERO.	74
TABLA 4.2.5.1. ANOVA DE LA VARIACIÓN DEL [%] CO ₂ .	76
TABLA 4.2.6.1. PRUEBA T, DEL [%] CO ₂ ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA " <i>Nepenthes alata</i> ".	77
TABLA 4.2.7.1. ANOVA DE LA HUMEDAD [%] _{IN} RESPECTO A LA HUMEDAD [%] _{OUT} DEL SISTEMA, EN EL ÚLTIMO DÍA DE LA FASE EXPERIMENTAL.	78

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO ANALÍTICO DE LA ACTIVIDAD FISIOLÓGICA Y METABÓLICA DE LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

***“LA FORMULACIÓN DE UN PROBLEMA, ES MÁS IMPORTANTE QUE SU
SOLUCIÓN.”***

ALBERT EINSTEIN

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO ANALÍTICO DE LA ACTIVIDAD FISIOLÓGICA Y METABÓLICA DE LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

1. FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Las plantas son seres vivos autótrofos productores primarios de los ecosistemas terrestres. La producción de follaje, semillas y frutos que es la base de las cadenas tróficas está ligada estrechamente a la arquitectura de estos organismos. La arquitectura de las plantas determina la eficiencia de estos organismos para adaptarse fisiológicamente a los cambios en su medio ambiente, que en general tiene relación directa con el clima. El follaje participa en la fotosíntesis y la reproducción, en tanto que la raíz es importante para el anclaje al suelo y a la captación de agua y nutrientes como: fósforo, nitrógeno y hierro asociados con la regulación de procesos celulares fundamentales. El desarrollo de la raíz y del follaje está dirigido por mecanismos genéticos, pero la configuración final de la arquitectura de la planta está influenciada por factores ambientales tanto bióticos como abióticos [1]. Las plantas contribuyen en la creación de las condiciones adecuadas para que la vida sea posible en la tierra, debido a que al llevar a cabo su proceso fotosintético ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) para la síntesis de hidratos de carbono, requieren de CO_2 , favoreciendo su disminución en la concentración atmosférica, debido a que el incremento de CO_2 eleva la temperatura de la atmósfera, ya que retiene el calor de los rayos solares generando el “Calentamiento global” por el “Efecto Invernadero”. El O_2

sintetizado en la fotosíntesis contribuye a la formación y mantenimiento de la capa de ozono. Prácticamente todas las plantas forman parte de una relación presa-depredador, en la que el depredador es el herbívoro y la planta la presa; sin embargo, hay ciertas plantas que han llegado a invertir el papel tradicional de comportamiento en la relación planta-animal, pasando a ser depredadoras y los animales e insectos sus presas, éstas son denominadas plantas carnívoras, su importancia ecológica y cultural, se debe a la capacidad de desarrollarse en suelos carentes de nutrientes, la rareza botánica que presentan y su belleza ornamental [2]. Han despertado gran interés científico por su peculiar forma de obtener nutrientes, a través de la modificación de sus hojas, desarrollando diversas diferenciaciones morfológicas como: trampas adhesivas, trampas de succión, trampas bivalvas o cepos y odres, las cuales les permite capturar presas pequeñas, principalmente insectos como fuente disponible de nitrógeno. Las hojas de las plantas carnívoras del género *Nepenthes*, poseen una interesante característica, la cual se basa en que después de la lluvia se convierte en una superficie casi sin fricción, debido a que la propia agua se convierte en la superficie repelente, es decir, presenta un efecto similar al de un automóvil cuando hace “acuaplanig”, donde los neumáticos se deslizan literalmente sobre el agua, en vez de deslizarse sobre la carretera, con este ejemplo de la naturaleza como inspiración, un grupo de científicos de la Universidad de Harvard crearon un material poroso impregnado con un fluido lubricante generando una superficie resbaladiza, este material fue bautizado como SLIPS(Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces), caracterizándose por no mostrar ningún tipo de retención y requiere de una mínima inclinación para

que los líquidos o sólidos se deslicen. Los investigadores creen que este material podría ser utilizado para el transporte de combustibles, tuberías de agua, la fabricación de catéteres y sistemas de transfusión de sangre, el auto limpieza de ventanas y de cascos de buques, el desarrollo de equipos resistentes para la investigación de las profundidades del mar o para crear paredes que repelan los graffiti. La taumatina es un aromatizante y edulcorante de origen proteínico segregado en el interior de las trampas o jarros, por las plantas carnívoras del género *Nepenthes*, para la atracción de su “presa”, es aproximadamente de 2.000 a 3.000 veces más dulce que la sacarosa, tiene una amplia variedad de aplicación en los alimentos y bebidas, por su dulzor intenso y origen natural, pero es extraída del *katemfe* (*Thaumatococcus daniellii*), una fruta originaria de África Occidental. La quitinasa secretada en el líquido interno de la trampa para la digestión de la presa y acción antibacteriana, hidroliza la quitina, un polímero lineal de B-1,4 N-a cetil glucosa mina, componente estructural de las cutículas y el caparazón de los artrópodos, en las paredes celulares de los hongos e insectos, actúa sinérgicamente con la B-1,3-Glucanasa que hidroliza a la B-1,3 glucanos enlazados, de la pared celular de los hongos, con el propósito de controlar las bacterias simbióticas presentes en la trampa, para asegurar los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta carnívora [3]. Investigaciones realizadas, indican que la expresión de genes de quitinasa modificados en el genoma de las células de las plantas, podrían causar perforaciones en la membrana periférica del intestino medio facilitando la entrada de patógenos al interior del hemocele de las larvas de insectos susceptibles. En el año de 1993

Kramer, llevó acabo la transformación de las plantas del tabaco con el gen de quitinasa de *Manduca sexta*, polilla de la familia *Spingidae*, habita en gran parte de América continental, es conocida comúnmente como el “gusano cornudo del tabaco”, encontró que las larvas de cogollero de tabaco (*Heliothis virescens*) al ser alimentadas durante un período de tres semanas con hojas de plantas transgénicas, presentaban una biomasa de 177 mg, lo cual, mostraba una reducción del 80 % de la biomasa, debido a que el resultado obtenido, fue comparado con el control de 966 mg. Las transformaciones en la genética de las plantas, les confiere resistencia y control de plagas, además disminuye el uso de plaguicidas que incrementan significativamente el costo de la producción agrícola, y unos de los principales contaminantes del agua y causantes de la erosión del suelo [4] .

1.1.INTRODUCCIÓN

Las plantas carnívoras ocupan un nicho ecológico muy pequeño. Su habitaad son los pantanos y ciénegas, sus suelos son de baja fertilidad, es decir demasiado húmedos para fijar nutrimentos minerales esenciales como nitrógeno, para su desarrollo, crecimiento y supervivencia. A causa de la presión de los suelos pobres en nutrientes, las plantas carnívoras evolucionaron, desarrollando hojas altamente especializadas con mecanismos y sistemas de captura o trampas, para la atracción de una gran variedad presas pequeñas, insectos principalmente como fuente disponible en nitrógeno [5-6]. Las plantas carnívoras pueden utilizar únicamente los carbohidratos sintetizados en la fotosíntesis($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow$

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$), como cualquier otra planta, pero sus procesos biológicos y fisiológicos son limitados.

El género “*Nepenthes*” incluye más de 100 especies, distribuyéndose la mayoría de su biodiversidad en Borneo y Sumatra, presenta una longevidad de 2 a 5 años en galerías. El género “*Nepenthes*”, también es conocido como “Plantas jarro” o “Copas de mono”. La planta carnívora “*Nepenthes alata*” que en la presente tesis es nuestro interés de estudio, por clasificación en base al clima en que habita, pertenece al género de *Nepenthes* de clima tropical, ésta se desarrolla principalmente a una altitud de 800-2000 metros de altura, por lo que pertenece al género de *Nepenthes* intermedias.

La planta carnívora “*Nepenthes alata*” desarrollo un sistema de captura en forma de urna o jarrón generalmente de colores para atraer a los insectos, capaz de almacenar hasta un litro de agua. En este caso el mecanismo de captura de la presa es la atracción mediante la secreción interna de taumatina edulcorante líquido con olor agradable, al posarse sobre el peristoma, la presa resbala hacia el interior del jarrón y su pared cerosa evita su fuga. Posterior a la captura, comienza el proceso metabólico, en la etapa del catabolismo; la planta carnívora secreta un líquido interno constituido por proteínas como: la B-D-Xilosidasa asociada a la apertura del jarro, la Nepenthesin I, Nepenthesin II, B-1,3- glucanasa que además posee un efecto antimicrobiano, quitinasa que actúan en la degradación y las aspártico- proteinasas (Nepenthesin I y II) , asociada con la adquisición de nitrógeno de las proteínas de la “presa” [3, 7].

El metabolismo se divide en dos categorías en base a las vías de reacción;

- a) **CATABOLISMO:** denominado degradación, se caracteriza por que los metabolitos complejos (hidratos de carbono, proteína y lípidos), nutrientes y constituyentes celulares, son degradados mediante reacciones altamente exergónicas irreversibles de oxidación, a partir de ADP y fosfato, a través de la transferencia de fosforilos, acopladas a la producción de energía libre como NADPH y ATP, son la fuente de energía para las reacciones biosintéticas.
- b) **ANABOLISMO:** es la etapa en la cual se utiliza la fuente de energética libre (NADPH y ATP), generada en el catabolismo, para la síntesis de biomoléculas a partir de compuestos mas simples [8].

Las plantas tienen la capacidad de absorber la energía de la luz a través de la clorofila contenida en los cloroplastos, que existen de 1 a 1,000 por célula, para fijar el CO₂ que presenta una concentración en el aire ambiental de 340 ppm por volumen [9], y generar hidratos de carbono (CH₂O)_n, este proceso es conocido como fotosíntesis y se lleva a cabo en dos fases;

- 1) **REACCIONES LUMÍNICAS:** se llevan a cabo en la membrana del tilacoide, se utiliza la energía de la luz para generar energía libre: NADPH y ATP, intermediario de “alta energía” o “Moneda universal de energía” de todos los organismos vivos.
- 2) **REACCIONES NO LUMÍNICAS U OSCURAS:** no requieren de la luz, utilizan la energía libre: NADPH y ATP, para sintetizar los hidratos de carbono a partir de CO₂ y H₂O [8, 10].

1.2.HIPÓTESIS

La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero).

1.3.OBJETIVO ESPECÍFICO

Encontrar una relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂ sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”.

1.4.VARIABLES

De acuerdo a nuestro planteamiento se hace evidente la relación de variables que intervienen en la investigación pero que requieren una distribución de las relaciones que para su estudio se pueden precisar como dependientes e independientes.

1.4.1. VARIABLES DEPENDIENTES

- I. Humedad Interna del Sistema.
- II. Temperatura Interna del Invernadero.
- III. Conductancia (Ω^{-1}).
- IV. Potencial Eléctrico ([%] CO₂).
- V. Razón de Cambio de Temperatura con Respecto al Tiempo.

1.4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

- I. Tiempo.
- II. Humedad Externa del Sistema.
- III. Temperatura Externa al Invernadero.

1.5. DELIMITACIÓN DEL TEMA

Para la determinación de nuestro objetivo específico planteado anteriormente, se utiliza un método inductivo y transversal, basado en el uso de un sensor de gases del alcoholímetro digital (MED-160), acoplado a un multímetro profesional de lujo con interface para PC (MUL-600), con el propósito de determinar el potencial eléctrico del CO_2 ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{n}$), y mediante la ecuación de la recta, de la curva de calibración (GRÁFICA 4.1.1) obtener el [%] CO_2 , producido en el metabolismo de “*Tenebrio molitor*” (TABLA 2.0), el cual es requerido en el proceso de la fotosíntesis ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2 + \text{LUZ} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$) de la planta carnívora “*Nepenthes alata*” de 8 meses de edad, clasificada en base a la altitud en la que se desarrolla como *Nepenthes* intermedia 800-2000 metros, y por el clima en que habita *Nepenthes* de clima tropical. El uso del multímetro digital (FLUKE-87), tiene como objetivo determinar la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra, asociada de forma indirecta con la absorción de agua, por lo pelos radiculares de la raíz de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, la cual se requiere para llevar a cabo el proceso fotosintético ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$). En el análisis de la atmósfera interna del invernadero, se monitorea la temperatura_{IN-OUT} y humedad [%]_{IN-OUT}, a través del uso del termo higrómetro (WS-1171).

1.6. ESPACIO DE ESTUDIO

El análisis experimental se realizó en el Laboratorio de Tecnología Farmacéutica de la Facultad de Químico Fármaco Biología de la U.M.S.N.H, donde se realizó la fase experimental por un periodo de 10 días, la frecuencia

de análisis fue de 30 minutos en 3 intervalos de tiempo los cuales comprenden los siguientes horarios: 12:00 p.m. - 6:00 p.m., 9:00 p.m. - 10:00 p.m. y 1:00 a.m. - 6:00 a.m. (15/Nov/2011- 24/Nov/2011).

1.7.CONCLUSIÓN

En la presente tesis se tiene como objetivo: Encontrar una relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂ sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, mediante la determinación de la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra, asociada de forma indirecta con la absorción de agua, por lo pelos radiculares de la raíz de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, la cual se requiere para llevar acabo el proceso fotosintético ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$). En el proceso metabólico del “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*” genera energía libre (NADPH, ATP) para la síntesis de biomoléculas, además de CO₂ y CH₄, los cuales son eliminados hacia la atmósfera interna del sistema como productos metabólicos, mediante un intercambio gaseoso, generando una variación en el [%] CO₂, el cual se determina mediante el uso del sensor de gases del alcoholímetro digital (MED-160), acoplado a un multímetro profesional de lujo con interface para PC (MUL-600), que determina el potencial eléctrico del CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26\text{ }\mu\text{m}$) generado en la reacción de combustión del etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$), el porcentaje de CO₂, es determinado a través de la ecuación de la recta, de la curva de calibración, que nos representa gráficamente la señal de medición correspondiente al potencial eléctrico como función de la [%] CO₂. Por cada molécula de CO₂ utilizado

para llevar acabo el proceso fotosintético ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$), que ingresa al interior de la hoja a través de las estomas, ésta libera una molécula de vapor de H_2O , lo que permite la “refrigeración” de la hoja y la captación de agua por su sistema de raíces, a este proceso se le conoce como transpiración. El incremento de la concentración de vapor de agua, modifica el [%] de humedad_(IN) en el terrario. La variación de la temperatura_(IN) del sistema, se debe a la “energía cinética”, asociada a los movimientos de traslación del O_2 y rotación o vibración del CO_2 y CH_4 , los cuales son producto del proceso fotosintético ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) y metabólico (CO_2 , CH_4) de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, a medida que incrementa la concentración de O_2 , CO_2 Y CH_4 , en la atmósfera interna del sistema, también aumenta la energía cinética, por el movimiento de las moléculas, generando calor, por lo que la temperatura_{IN} será mayor, es decir, se modifica. El uso del termo higrómetro (WS-1171), colocado dentro del terrario donde se encuentra la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, nos permitirá analizar las variaciones de la atmósfera interna con respecto a la humedad [%]_{IN-OUT} y la temperatura_{IN-OUT} del sistema, de tal manera, que podamos llevar acabo el cumplimiento de nuestra hipótesis: La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero).

CAPÍTULO II

REFERENTES TEÓRICOS DEL ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS EN PLANTAS CARNÍVORAS.

“LO SABIO ES LA META DEL ALMA HUMANA Y, A MEDIDA QUE SE AVANZA EN SUS CONOCIMIENTOS, VA ALEJANDO A SU VEZ EL HORIZONTE DE LO DESCONOCIDO”.

HERÁCLITO

CAPÍTULO II

REFERENTES TEÓRICOS DEL ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS EN PLANTAS CARNÍVORAS.

2. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las plantas y su distribución geográfica son afectados por el medio ambiente, principalmente por factores abióticos (de *a*, “*sin*”, y “*bio*”, vida) como la luz, la temperatura, el agua, el pH, la humedad, el suelo y la nutrición [11]. Los factores abióticos ejercen efectos selectivos sobre las especies con mayor adaptación y capacidad para tolerar, un cierto grado de aislamiento de la normalidad frente a una situación ambiental conferida. Las plantas deben lograr obtener el grado máximo de selectividad ya que esté les otorga la capacidad de reproducción [12].

Las distintas especies de plantas difieren en los valores de tolerancia de los diferentes factores abióticos, es decir que cada especie posee:

1. **Valor óptimo:** en el cual se observa un máximo crecimiento.
2. **Rango de Tolerancia:** dentro del cual hay un crecimiento eficaz.
3. **Límite de Tolerancia con Respecto a cada Factor**, por debajo o por encima de los límites de tolerancia no hay crecimiento de la planta.

Los experimentos para la determinación de los valores de tolerancia se realiza mediante “Pruebas de Estrés” [13]. Cabe mencionar que el término de “**estrés**” se define como todo factor externo que afecta negativamente (producción de cambios o daños a nivel celular), la capacidad de

reproducción, supervivencia y crecimiento de la planta [12]. Las pruebas de estrés se caracteriza por la exposición de la planta a factores abióticos externos diferentes al valor óptimo de tolerancia generando una reacción de respuesta de tipo constitutivo o facultativo, a la tensión originada por los cambios del funcionamiento bioquímico y fisiológico de la planta, la reacción de respuesta producida por el efecto externo es medida por su intensidad o concentración [14].

De acuerdo a Lichtenthaler (1988), *“ un estrés moderado puede activar el metabolismo celular incrementando la actividad fisiológica de la planta sin causar ningún efecto negativo aun a largo tiempo, resultando dicho estrés favorable para la planta ”* [12]. En base a la última apreciación, el resultado del factor estresante es dosis- dependiente, ya que dependiendo de la intensidad del factor estresante, el efecto presentado por la planta será dañino o benéfico. Las respuestas de tipo constitutivo incluyen mecanismos que le confieren tolerancia (adaptación) y se originan a partir de la información genética preexistente en la planta. Las adaptaciones suelen ser de carácter anatomomorfológico, por ejemplo; la capacidad de desarrollar espinas en lugar de hojas, y de carácter metabólico donde la fotosíntesis es uno de los ejemplos de mayor importancia.

Las respuestas de tipo inducibles o también conocidas como facultativas, son producidas por las plantas cuando se exponen a niveles de estrés razonables durante periodos determinados, es decir, las plantas adquieren la capacidad para tolerar las condiciones de estrés a las que está siendo sometida. Un ejemplo es la aclimatación metabólica o adaptación metabólica facultativa,

donde la fisiología de la planta es orientada hacia la condición ambiental vigente en determinado momento [12].

La mayoría las enfermedades y plagas por pulgones, cochinillas, pequeños escarabajos y ácaros (araña roja) de las plantas están asociadas con el estrés debido a que las debilita y las hace mas susceptibles al daño [11].

En base al origen de los factores de estrés, se clasifica en tres grandes grupos:

1. ESTRÉS AMBIENTAL ;

1.1. Estrés hídrico.

1.2. Estrés por alta y baja temperatura.

1.3. Estrés por alta y baja irradiación.

1.4. Estrés por alta y baja radiación ultravioleta (UV).

1.5. Estrés por salinidad.

1.6. Estrés nutrimental.

2. ESTRÉS FISIOLÓGICO; también llamado estrés hormonal, debido a que es producido por fitohormonas o reguladores del crecimiento clasificándose en 5 grupos:

2.1 AUXINAS (NAA, IET, IAAID y PAA); que están involucradas en cada aspecto del crecimiento por elongación celular y desarrollo de la planta.

2.2 CITOCININAS; son derivadas de la Adenina, se encargan principalmente de controlar la proliferación de las células madre en los

meristemos además de poseer la capacidad para activar la división celular induciendo al activador del ciclo celular CYCD3.

2.3 ETILENO; hidrocarburo gaseoso que desencadena la respuesta a los factores externos de estrés y presencia de patógenos, por lo que la planta aumenta la producción de etileno para incrementar la concentración e inducir la reacción de defensa.

2.4 GIBERELINAS (GA_s); son compuestos diterpenoides sintetizados a partir del geranil geranil difosfato (GGDP), controlan la germinación de las semillas, expansión de las hojas, desarrollo de tricomas, flores y frutos. Las GA_s suelen considerarse como sensores ambientales ya que su concentración es modificada por estímulos ambientales como la Luz y temperatura.

2.5 ÁCIDO ABSCISICO (ABA); regula la maduración de semillas y su dormancia, “En la mayoría de los tejidos vegetativos los genes regulados por ABA están involucrados en respuestas a estrés abiótico y su principal respuesta es la deshidratación celular” [1].

El estrés fisiológico está relacionado directamente con las tasas de fotorespiración y asimilación de CO₂ ($3CO_2 + 9ATP + 6NADPH + 5H^+ \rightarrow C_3H_5O_6P + 9ADP + 8P_i + 6NADP + 3H_2O$). El CO₂ es un componente fundamental para realizar el proceso de la fotosíntesis ($6CO_2 + 6H_2 +$

$LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) que se presenta especialmente en las estructuras celulares de la hoja, llamados cloroplastos que poseen pigmentos verdes (clorofila) que absorben de la energía de la luz para iniciar el proceso [15].

La concentración de CO_2 en el aire ambiental es de 340 ppm por volumen a este nivel se observa un crecimiento óptimo de las plantas, la tasa de consumo de CO_2 durante el proceso de fotosíntesis es variable dependiendo de la intensidad de luz, temperatura, grado o etapa de desarrollo y cantidad de nutrientes presentes [9].

Las investigaciones realizadas han demostrado que en condiciones óptimas de luz y temperatura, al incrementar la concentración de CO_2 de 800 ppm o 1000 ppm el crecimiento y rendimiento de la planta también aumenta. El incremento de CO_2 generalmente se logra en los invernaderos mediante la inyección de gas CO_2 , quema de gas natural o propano en quemadores especializados [15].

3. ESTRÉS BIOQUÍMICO; se caracteriza por ser causado por factores abióticos, siendo el de mayor importancia, esto se debe a la necesidad de comprender y adquirir conocimientos básicos sobre el efecto que desempeñan los factores abióticos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como las enfermedades asociadas a éstos. Para lograr un mejoramiento adaptativo y aumentar su desarrollo, crecimiento y productividad [16].

2.1.MARCO REFERENCIAL

2.1.1. FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) en las plantas verdes se lleva a cabo en estructuras llamadas cloroplastos, los cuales tienen la capacidad de absorber la energía solar en forma de fotones, a través, de las moléculas de pigmentos denominadas clorofilas, debido a su capacidad de excitar determinados electrones hacia energías más elevadas con gran poder reductor. La fotosíntesis ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) es el proceso en el cual la energía de la luz es transformada en energía química. En la ecuación de la fotosíntesis se lleva a cabo una reacción de óxido-reducción en la que el H_2O actúa como donador de electrones (H^+) y el CO_2 es reducido para sintetizar hidratos de carbohidratos $(CH_2O)_n$ y eliminar O_2 a la atmósfera.

Los organismos con la capacidad de realizar la fotosíntesis son llamados foto autótrofos, existen dos tipos de procesos fotosintéticos:

- 1) **FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA**; característica de las plantas superiores, las algas y cianobacterias, en la cual el donador de electrones es el agua, por lo tanto, existe una eliminación de oxígeno.
- 2) **FOTOSÍNTESIS ANOXIGÉNICA**; también llamada fotosíntesis bacteriana, es realizada por las bacterias purpúreas y verdes del azufre, el donador de electrones es el sulfuro de hidrógeno, liberando azufre, el cual, en ocasiones se acumula en el interior de la bacteria o se expulsa al agua.

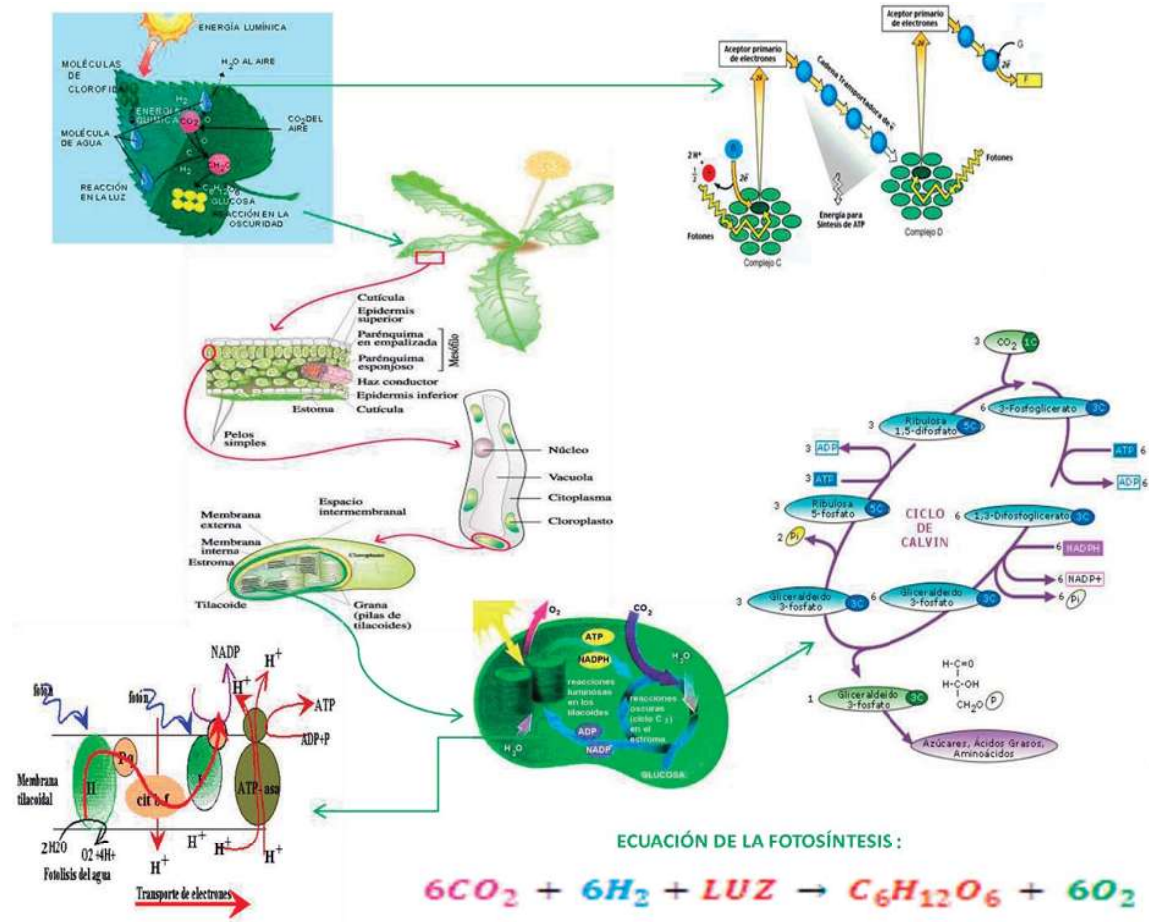


IMAGEN 2.1.2 REACCIONES DEL PROCESO FOTOSINTÉTICO EN LAS PLANTAS VERDES [17-20].

La fotosíntesis está condicionada por 5 factores principales: 1) La luz, es capturada en forma de fotones, para iniciar la activación del proceso fotosintético. 2) H_2O , es un medio necesario para la disolución de los elementos químicos del suelo que las plantas utilizan para construir sus tejidos. 3) CO_2 , al fijarse con el H_2O , mediante energía de la luz, permitiéndole a la planta llevar a cabo la síntesis de hidratos de carbono (CH_2O). 4) Clorofila (pigmento verde), es la encargada de llevar a cabo la

absorción de la luz en forma de fotones. 5) Temperatura, se considera que la temperatura ideal para llevar a cabo la reacción comprende un intervalo entre 20 °C – 30 °C [21].

2.1.1.1. LA ABSORCIÓN DE LA LUZ POR EL CLOROPLASTO

La absorción de la luz por la clorofila del cloroplasto, induce la excitación de un electrón que pasa de su estado fundamental o basal a un nivel energético superior, por lo tanto más inestable, si está disponible el aceptor de electrones adecuado, el electrón que se encuentra en el nivel energético superior puede ser transferido desde la molécula excitada al aceptor.

LA FOTOSÍNTESIS SE LLEVA A CABO EN DOS FASES:

1) FASE LUMINOSA O FOTOQUÍMICA:

En el proceso fotosintético, en las reacciones de la fase luminosa, del interior del tilacoide se transfieren electrones hacia el estroma, y de éste se traspasan protones hacia el interior del tilacoide. Como consecuencia, se eleva la concentración de NADPH, Ferredoxina reducida (Fd) y Mg^{2+} en el estroma en presencia de la luz que en su ausencia (oscuridad), por lo tanto, la concentración de H^+ también será menor en la oscuridad. Cada una de estas variaciones respecto a la concentración interviene en el acoplamiento del conjunto de reacciones del ciclo de Calvin que permitirá la conversión del CO_2 en glúcidos, con las reacciones de la fase luminosa.

La fotosíntesis depende de que las dos clases de complejos fotosensibles acoplados a membrana, se activen de manera conjunta: El fotosistema I (PS I)

y el fotosistema II (PS II), el PSI, requiere de luz con longitudes de onda inferiores a 700nm, crea un reactivo altamente versátil en los procesos de biosíntesis, que posee un poder reductor biosintético, conocido como NADPH, a través, del uso de electrones de alta energía derivados de la luz. Los electrones utilizados para sintetizar una molécula de NADPH proceden de dos moléculas de agua, y son arrancados por el PSII, que responde a las longitudes de onda inferiores a 680 nm, como producto lateral se sintetiza una molécula de O₂. Los electrones se desplazan del PSII al PSI a través del citocromo b_f, es un complejo unido a la membrana, homologo del complejo III en la fosforilación oxidativa, en la cual, se utiliza la energía liberada de los electrones, para bombear los protones desde el estroma hasta el espacio tilacoidal. El citocromo b_f se encarga de producir el gradiente de protones a través de la membrana tilacoidal y conducir la formación de ATP. Así, la producción de NADPH y ATP, se caracteriza por la colaboración de ambos fotosistemas: PSI y PSII [22].

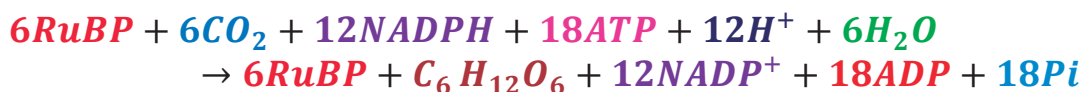
2) FASE OSCURA O BIOSINTÉTICA:

La fase oscura se lleva acabo en estroma del cloroplasto en ausencia de luz, para realizar la conversión de CO₂ a nivel de una hexosa se requiere de 3 moléculas de ATP y 2 de NADPH, a través del ciclo de Calvin, este proceso también es denominado como el ciclo de la asimilación del carbono.

En el ciclo C₃ o ciclo de Calvin, el CO₂ atmosférico ingresa a través de los estomas de la hoja, para unirse a la ribulosa 1,5 bifosto que actúa como aceptor, mediante la reacción de carboxilación o fijación de CO₂, por la acción

de la enzima ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa oxigenasa, también conocida como enzima rubisco, la cual, es considerada como la proteína mas abundante en la naturaleza, y constituye aproximadamente el 50 % de las proteínas del cloroplasto. Después de la carboxilación, se obtiene el ácido 3 fosfoglicérico (3PGA), como primer producto estable, es un compuesto de 3 carbonos, por lo que, se le denomina ciclo C3. En “un ciclo” 6 moles de CO₂ son fijados a 6 moles del aceptor ribulosa 1,5 bifosfato, para sintetizar 12 moles de 1,3PGA, con un consumo energético de 12 moles de ATP :

Ec. CICLO DE CALVIN



Cuando la enzima rubisco cataliza la reacción de oxigenación, es decir, actúa como oxigenasa, y oxigena a la ribulosa 1,5 bifosfato, inicia el proceso de fotorespiración [23].

2.1.1.2. REACCIONES DE FOTORRESPIRACIÓN

El proceso de fotorrespiración, se lleva a cabo cuando existe una concentración de CO₂ considerablemente menor a la concentración de O₂, en la hoja, por lo que la enzima rubisco cataliza la reacción de oxigenación, oxigenando a la ribulosa 1,5 bifosfato, para sintetizar fosfoglicolato, que será desfosforilado a glicolato para ser transportado a los peroxisomas, donde será transformado a glioxilato mediante presencia de O₂ y la acción la enzima oxidasa, generando H₂O₂. El glioxilato lleva a cabo un proceso de

transaminación, para la formación de la glicina y salir del peroxisoma, siendo transportados hacia la mitocondria, donde se oxidara a serina, liberándose CO_2 y NH_4^+ , la serina regresara al peroxisoma, para transformarse en hidroxipiruvato y mediante la acción de NADH en glicerato, para volver al cloroplasto, donde será transformado en 3-fosfoglicerato por el ATP, e integrarse de nuevo al ciclo de Calvin.

La fotorrespiración se caracteriza por que los estomas de las hojas, se cierran automáticamente previniendo la deshidratación, sobre todo cuando el ambiente es cálido y seco, por lo tanto el O_2 sintetizado en el proceso fotosintético comienza a alcanzar altas concentraciones atmosféricas.

2.1.1.3. BALANCE ENTRE LA FOTOSÍNTESIS Y LA RESPIRACIÓN

El proceso fotosintético y la respiración celular en las plantas, ocurren de forma simultánea, por lo que, se encuentran en estrecha interacción. Para que las plantas tengan un crecimiento óptimo, la fotosíntesis debe exceder la velocidad de la respiración, debido a que en presencia de CO_2 y luz a bajas concentraciones, la cantidad de energía capturada a través de la fotosíntesis será igual o menor a la que se consume mediante el proceso de respiración,

En el punto de compensación para la luz, la velocidad de la fotosíntesis y la respiración se igualan a la intensidad lumínica. De manera similar, en el punto de compensación de CO_2 , la concentración de CO_2 se iguala a las velocidades de ambos procesos. Por debajo del punto de compensación de la luz o del CO_2 , la respiración excederá el proceso fotosintético, por lo tanto, las plantas ,

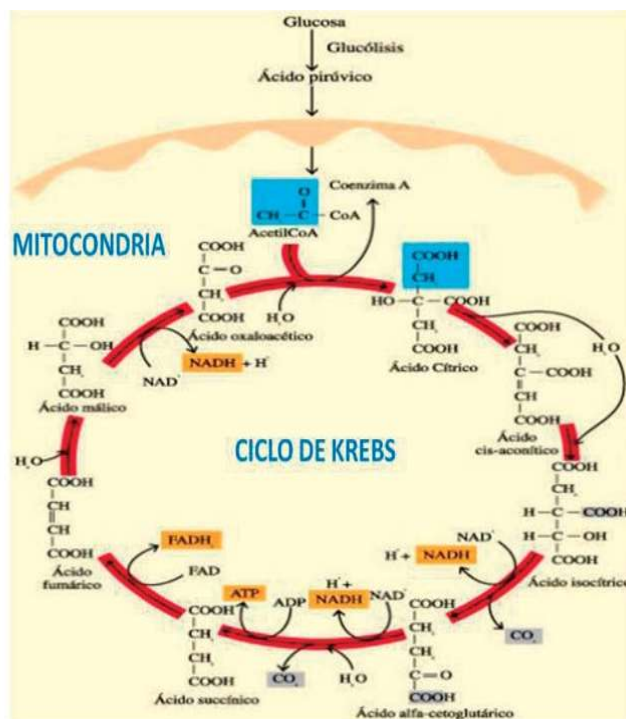
para sobrevivir, desarrollarse y tener un crecimiento óptimo, requieren que la tasa de fotosíntesis exceda la tasa de respiración [24].

2.1.2. METABOLISMO

Es considerado como un proceso global, debido a que, a los sistemas vivos les confiere la capacidad de adquirir y utilizar la energía libre (ATP, NADPH) que requieren para realizar diversas funciones, en las vías metabólicas se lleva a cabo la síntesis de productos específicos, a través de las series de reacciones enzimáticas consecutivas, a los reactantes, intermediarios y productos que participan en esta reacción, son denominados metabolitos. Las vías metabólicas son clasificadas como:

- 1) **CATABOLISMO:** Los hidratos de carbono, las proteínas y los lípidos son metabolitos complejos, que serán degradados a sus unidades monoméricas, sobre todo la glucosa, aminoácidos, ácidos grasos y glicerol, posteriormente a su intermediario común, que es la acetil-coenzima A (acetil-CoA). Después, el grupo acetilo se oxida a CO_2 , para ingresar a la vía del ácido cítrico o ciclo de Krebs, a través, de la reducción simultánea de NAD^+ y FAD^+ . Finalmente al ser reducida por el O_2 esta última coenzima, en la vía de la cadena de transporte de electrones y la fosforilación oxidativa producirá H_2O y ATP. El ciclo de Krebs, se lleva a cabo en la mitocondria al igual que la fosforilación oxidativa y la β -oxidación [25]. El ciclo de Krebs, tiene la capacidad de proporcionar precursores para la síntesis de biomoléculas, como ciertos

aminoácidos. Por ello se considera una vía anfibólica, es decir, catabólica y anabólica al mismo tiempo [8].



ECUACIÓN DEL CICLO DE KREBS:

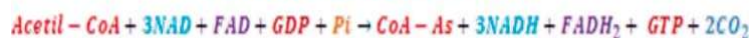


IMAGEN 2.1.2.1 CICLO DE KREBS [26].

La respiración celular es un ejemplo del catabolismo, caracterizándose por ser un proceso químico, a través del cual, se libera energía de un hidrato de carbono, es decir, se oxida. El proceso de la respiración celular puede llevarse a cabo, en presencia o ausencia de O_2 , por lo tanto, se clasifica de la siguiente forma:

- a) **RESPIRACIÓN CELULAR AERÓBICA:** La molécula del hidrato de carbono requiere de la presencia de O_2 para desintegrarse, generando CO_2 , H_2O y energía.

- b) **RESPIRACIÓN CELULAR ANAERÓBICA:** Los productos del desdoblamiento del hidrato de carbono en ausencia de O_2 , pueden ser ácido láctico, o alcohol etílico, dependiendo del tipo de célula donde se lleve a cabo este proceso.

La respiración anaeróbica se lleva a cabo en microorganismos como la levadura de cerveza, por ejemplo. En organismos superiores, ocurre en la célula muscular cuando al faltar O_2 , se sintetiza ácido láctico, el cual, al acumularse en el músculo produce contracción involuntaria (calambre) y dolor muscular retardado (arratona miento) [27].

- 2) **ANABOLISMO:** En este proceso se lleva a cabo la síntesis de moléculas complejas a partir de otras más sencillas por ejemplo, las proteínas se sintetizan a partir de los aminoácidos y el glucógeno de la glucosa. Las reacciones sintéticas requieren energía originada de la hidrólisis de (ATP), la cual, se sintetizó en el catabolismo [28].

En las reacciones de las rutas metabólicas, se requieren de 4 moléculas específicas e indispensables para conducirla hasta la síntesis del producto final, como son a) Los metabolitos que son los encargados de ingresar a la ruta metabólica para ser degradados o con el objetivo de participar en la síntesis de moléculas de mayor complejidad. b) Nucleótidos, son los responsables de que la reacción de oxidoreducción de los metabolitos, pueda llevarse a cabo. c) Moléculas energéticas, en este caso son: El ATP, GTP y la coenzima A, que al fosforilarse o desfosforilarse, les confiere la capacidad de liberar o almacenar energía. Finalmente, d) Moléculas ambientales: O_2, H_2O, CO_2 , son requeridas para desencadenar el inicio de el proceso metabólico [28].

2.1.3. PLANTAS CARNÍVORAS

Las plantas carnívoras se desarrollan en suelos con pH ácido, carentes de nutrientes y minerales (Nitrógeno, Calcio), por lo que evolucionaron, desarrollando hojas altamente especializadas, con adaptaciones morfológicas extraordinarias, las cuales les permiten el desarrollo de diferentes técnicas de atracción, captura y digestión de la “presa”, que pueden ser desde insectos pequeños, larvas, crustáceos acuáticos, nematodos, hasta peces pequeños y renacuajos, para la obtención del nitrógeno de la proteína, y completar sus necesidades nutricionales requeridas para su desarrollo, crecimiento y propagación.

La importancia de las plantas carnívoras es la capacidad que poseen sus hojas para llevar acabo su nutrición mediante el proceso fotosintético comportándose como organismos autótrofos, y además, realizar la nutrición heterótrofa para su complementar sus requerimientos nutricionales.

En el año de 1875, Darwin escribió el primer tratado sobre las plantas carnívoras, de más de 400 páginas, el cual, se basa en la realización de ingeniosos experimentos para llevar acabo el estudio su comportamiento.

En la actualidad únicamente cinco familias de plantas carnívoras son reconocidas: *Cephalotaceae*, *Droseraceae*, *Lentibulariaceae*, *Sarraceniaceae* y *Nepenthaceae*.

2.1.3.1. FAMILIA *Cephalotaceae*.

La familia *Cephalotaceae*, del género *Cephalotus*, se distribuye exclusivamente en Australia, únicamente posee una especie: *Cephalotus follicularis*.



IMAGEN 2.1.3.1.1 *Cephalotus follicularis* [29].

2.1.3.2. FAMILIA *Droseraceae*.

La familia *Droseraceae* esta formada por 3 géneros (*Aldrovanda*, *Drosera* y *Dionaea*), en los cuales, la cosmopolita con 110 especies es *Drosera* L., tres especies son nativas en nuestro país, *Aldrovanda* L. se encuentra distribuida desde el sur de Eurasia, Australia hasta África tropical, y *Dionaea Ellis.*, al sur de Estados Unidos. Presentan hojas caracterizadas por su prefoliación circinada, son alternas e inusualmente verticiladas, generalmente se encuentran dispuestas en forma de roseta basal, pueden estar o no provistas de estípulas, ricas en pelos glandulares, los cuales, contienen las sustancias proteolíticas. La *Drosera intermedia* y *Drosera rotundifolia*, poseen gran importancia en la medicina, debido, a la presencia de un alto contenido de plumbagina y plumbagona, estas naftoquinonas, les confiere la propiedad antitusígena y antiespasmódica, además, presentan cierta acción antibacteriana y son útiles en el tratamiento de las verrugas.

Las trampas de la familia *Droseraceae*, son de tipo activas. *Drosera* presenta hojas de pelos rojos largos, y en sus extremos glándulas, estos son móviles, debido a que capturan a los insectos para ser digeridos por las enzimas de carácter proteolítico y ribo nucleasas. Generalmente este proceso es complementado por la acción de la flora bacteriana. Las hojas de *Dioneae muscipula* están divididas en dos mitades con forma de riñón, el nervio medio que articula los semilimbos forma una bisagra, sobre la superficie superior cada uno de los semilimbos presenta cilios largos y pelos con actividad sensitiva. Al posarse el insecto sobre la trampa, entra en contacto con los pelos detectores. La existencia de células especializadas en la bisagra, que se encuentran turgentes, pero al detectar al insecto, estas células tienen la capacidad de plasmolizarse para contraerse automáticamente. Este movimiento es realizado en segundos. Debido a que los cilios de los bordes se encuentran ligeramente inclinados hacia fuera, les permite asegurar que la presa no caiga fuera de la trampa al cerrarse. Los cilios marginales se encuentran dispuestos en forma alternada, al cerrarse se entrecruzan, simulando una especie de jaula con barrotes. En el interior de la trampa, existen glándulas especializadas encargadas de la segregación de ácidos y enzimas, como estereasa, fosfata ácida y proteasa, para digerir las partes blandas de la presa y llevar acabo la absorción del producto de la digestión.

El proceso de asimilación de nutrientes generalmente es completado en un período de dos semanas, y después del transcurso de este tiempo, la trampa se abre nuevamente y puede digerir de dos a tres insectos o presas más, antes de perder su efectividad, es decir, antes de morir [30].



IMAGEN 2.1.3.2.1 *Dionaea muscipula* [31].

2.1.3.3. FAMILIA *Lentibulariaceae*.

La familia *Lentibulariaceae*, posee hojas que se encuentran en formas alternas u opuestas, las cuales, pueden estar enteras o divididas, las flores se localizan agrupadas o solitarias en florescencias racimosas, ocasionalmente subes piciformes y densas o laxas [32]. Ésta integrada por tres géneros: *Genlisea*, *Pinguicula* y *Utricularia*, los cuales, incluyen aproximadamente 250 especies, se desarrollan en climas tropicales. Únicamente los géneros *Pinguicula* y *Utricularia* se encuentran presentes en México. El género *Utricularia* con más una distribución cosmopolita de más de 200 especies, es considerada como el género más grande, incluye regiones árticas, pero generalmente, se encuentra mejor representado en los trópicos, presenta un interés desde el punto de vista biológico en base al desarrollo de su sistema de nutrición y captura de la presa. En Sudamérica: Venezuela, las Guayanas y Brasil, se localiza la mayor diversidad de las especies [33].

El género *Pinguicula* presenta hojas que poseen glándulas pequeñas e inmóviles, con la capacidad de secretar sustancias viscosas y pegajosas, parecidas al del papel utilizado para atrapar moscas, pero con aroma a dulce, para atraer a su presa, la hoja misma se envuelve, desarrollando una pequeña

cavidad donde llevara acabo la digestión de la presa después de que es capturada.



IMAGEN 2.1.3.3.1 *Pinguicula mundi* [34].

Las plantas carnívoras acuáticas del género *Utricularia*, presentan vejigas de succión, formadas por vesículas, en las cuales, se están bombeando iones y agua de manera continua, por lo que se genera en su interior un vacío parcial. Las vesículas están formadas por una pequeña abertura, la cual, esta cerrada por una membrana articulada. En los bordes se localizan filamentos sensibles, que reaccionan al contacto, succionando a su presa, por el efecto del vacío. Este mecanismo requiere de milésimas de segundo para ser llevado acabo, por lo que puede ser considerado como el movimiento más veloz del mundo vegetal [35].

2.1.3.4. Familia *Sarraceniaceae*.

La familia Sarraceniaceae, se encuentra integrada por 3 géneros; *Sarracenia* (10 spp.), *Darlingtonia* (1 sp.) y *Heliamphora* (6 spp.), se caracterizan por ser plantas carnívoras perenes, rizomáticas y ocasionalmente trepadoras, sus hojas se encuentran dispuestas de manera alterna, en forma de utrículo para capturar a su presa y dispuestas en roseta, además, presentan flores solitarias, perfectas e Hipóginas (el perianto y androceo se encuentran implantados por

debajo del ovario), organizadas en un escapo. En Norteamérica se distribuyen en las regiones atlánticas litorales y tropicales de América del Sur, además, de caracterizarse por habitar en suelos muy ácidos.

Las hojas de *Sarracenia sp.* Son modificadas en largos y estrechos utrículos urceiformes, de forma total o parcial, análogos a las jarras o urnas, cada una esta cubierta por un opérculo, el cual se encuentra más o menos desarrollado. El borde de la jarra, localizado en la superficie externa, posee glándulas nectaríferas y restos de néctar, hacia abajo se encuentran dirigidos los pelos rígidos, que con el borde de la jarra forman la superficie de atracción. Posteriormente se encuentra la porción mas ensanchada de la jarra, que corresponde a la superficie resbaladiza, tiene pelos, escamas céreas, dirigidas hacia el interior, y finalmente glándulas nectaríferas, que en conjunto contribuyen a la caída de la presa. En el interior de la trampa, se localiza un líquido acuoso, el cual, es producto de la planta y de la lluvia. La secreción de origen vegetal presenta propiedades anestésicas que tienen como objetivo paralizar y ahogar a la presa, para que después intervenga la acción de las enzimas digestivas como invertasa y la proteasa principalmente.

***Darlingtonia californica* Torrey**, también conocida como “**lirio cobra**”, debido a que presenta una similitud con una serpiente erguida, exhibiendo la lengua bífida característica. El néctar segregado en su interior atrae a los insectos, los cuales, entran a la planta por la boca. En la superficie interna de la jarra, los insectos son desconcertados, debido, a la presencia de pequeñas “ventanas” en la pared superior, por las que a través de ellas, se filtra la luz. Al intentar escapar, la presa vuela de manera continua hacia la luz, por lo tanto se

agota y cae dentro del líquido del interior de la jarra y finalmente se ahoga [36].



IMAGEN 2.1.3.4.1 *Darlingtonia californica* [37].

2.1.4. “*Tenebrio molitor*”.

El “*Tenebrio molitor*” también llamado gusano de la harina, es un insecto hexápoda (6 patas), que pertenece al orden de coleóptera o escarabajos. El ciclo de vida del “*Tenebrio molitor*” esta dividida en cuatro fases: a) Huevo, se caracterizan por ser de color blanco y miden aproximadamente 1,5 mm. b) Larva, poseen un color amarillento que a las dos semanas de vida comienza a oscurecerse, miden de 1.6-2 mm, las larvas comienzan a cambiar de piel de 9 a 12 veces hasta que alcanzan un tamaño de larva madura de 3.5 cm, que ocurre en el transcurso de 6 a 7 semanas. c) Pupa o Capullo, adquiere una forma triangular, son curvadas de color blanco y presenta una baja movilidad, permanecerán en esta fase de 6 a 10 días. d) Escarabajo, miden de 15 a 18 mm de largo, 5 mm de ancho y 3.5 mm de alto aproximadamente, al nacer son de color marfil que posteriormente se tornara a un color negro marrón en la parte superior y negro rojizo en la parte inferior, después de 10 a 12 días de su nacimiento son sexualmente maduros empezando su ovoposición después de 8

días, en la cual, las hembras llegan a poner cerca de 160 huevos. En criaderos su tiempo de vida es de 3 meses, requieren una temperatura de 4 °C – 6 °C, estos son alimentados con una mezcla que posee un 25 % harina de trigo, 25 % harina de avena, 15 % de alimento para pollos y 35 % de salvado, también se alimenta de comida fresca como patatas, zanahorias y frutas, además de el diente de león que contiene alta concentración de agua.

El “*Tenebrio molitor*” tiene un alto nivel de valor nutrimental de 50,10 % de proteína, de 0.22 g/100 g calcio y 0.71 g/100 g fosforo, asociado con el estímulo del metabolismo, disminución de los períodos de convalecencia en las enfermedades y porcentaje de mortalidad de los recién nacidos, además de presentar 75,36 (UI/100) de vitamina A y 45,73 (UI/100) , indispensables para el crecimiento y buen funcionamiento del sistema nervioso, por lo tanto, es considerado como un complemento alimenticio altamente recomendado para insectívoros de todo tipo, debido a los efectos fisiológicos que presenta sobre el crecimiento, desarrollo y fertilidad, altamente benéficos en los organismos que lo utilizan como fuente alimenticia [38].

TABLA 2.0 Valor nutrimental de “*Tenebrio molitor*”: humedad 47.73 % y en base seca: proteína 50.10 %; lípidos 36.36 %; fibra 5.85 %; Carbohidratos solubles 4.05 %; minerales 3.64 % de los cuales: fosforo 0.71 g/100 g; hierro 0.01 g/100 g; sodio 0.33 g/100 g; potasio 0.75 g/100g y calcio 0.22 g/100 g., además de 75,36 (UI/100) vitamina A, 45,73 (UI/100) vitamina C [39-40].

IMAGEN 2.1.4.1 “*Tenebrio molitor*” [41].

2.1.5. MODELO MATEMÁTICO DE GOMPERTZ

Benjamín Gompertz, fue un matemático autoeducado, nació en Gran Bretaña el 5 de marzo de 1779, de origen judío, en el año de 1819 es nombrado miembro de la Royal Society. En 1825 publica un modelo demográfico llamado “Ley de Mortalidad de Gompertz”, por lo que se le conoce actualmente, el modelo se describe como: $\frac{dN}{dt} = rN(t) \log \left[\frac{k}{N(t)} \right]$, donde $N(t)$

esta representada por el número de individuos en un momento t , $\frac{dN}{dt}$ corresponde a la derivada respecto al tiempo, r representa la tasa de crecimiento intrínseco y k el número de individuos que se encuentran en equilibrio. En modelos de crecimiento autorregulados, se observa que la tasa de crecimiento con el tiempo decrece de forma exponencial después de que alcanza el punto de inflexión, por lo que surge la ecuación de Gompertz expresada como: $y = a * \exp(-\exp(b - (c * t)))$, donde, y corresponde al peso en un tiempo t , $a > 0$ representa el peso del adulto, $c > 0$ nos permite la descripción de la tasa específica de crecimiento o índice de madurez, para tener un control de la diferencia entre el peso inicial y el peso final respecto a un determinado tiempo t , se requiere el parámetro $b > 0$. La curva característica del modelo de crecimiento de Gompertz, es una sigmoidea,

donde su punto de inflexión indica la tasa de crecimiento máxima con respecto a la edad y una asíntota. En la fase lag o fase inicial de la curva, nos permite la observación del periodo, en el cual, la tasa de crecimiento es cercana a cero, describiendo la maduración del sistema inmunológico y estructuración del requerimiento del mantenimiento, a través del tiempo, su duración es limitada por el valor de delta que corresponde a la edad, a la cual la línea tangente al punto de inflexión cortara el eje x . El modelo matemático de Gompertz, es útil en la aplicación de la descripción de los fenómenos biológicos y económicos relacionados con el crecimiento, esto se debe a que nos permite estimar la influencia de los factores ambientales responsables de la modificación de los parámetros del crecimiento biológico, además, de proporcionar la descripción de características importantes, por ejemplo, la precocidad, el peso adulto y la determinación del intervalo de tiempo que existe entre el nacimiento y la madurez de un sistema biológico [42-43].

2.1.6. MODELO PRESA DEPREDADOR

La selección natural se caracteriza por ser una lucha en la cual únicamente sobreviven aquellos organismos que tengan la capacidad de desarrollar las características más apropiadas para adaptarse a las diversas circunstancias biológicas y ambientales. Lo que ha conducido a los organismos que habitan en los ecosistemas, a formar complejas relaciones de interacción, basadas en la competencia para lograr a corto plazo la supervivencia y la evolución a largo plazo, donde cada una de las especies depende directa o indirectamente de la presencia o ausencia de otra especie. Uno de los objetivos de la ecología es desarrollar una teoría basada en la organización de las comunidades que

permita la comprensión de las causas de la diversidad y los mecanismos de interacción. Considerando la interacción de dos especies cuyos tamaños de población al tiempo t son $x(t)$ y $y(t)$. Suponiendo que el cambio de la población se puede expresar como: $\frac{dx}{dt} = F(x, y), \frac{dy}{dt} = G(x, y)$.

Existen diversas clases de interacción biológica que se representan con este sistema de ecuaciones, debido a que $F(x, y)$ y $G(x, y)$ se caracterizan por determinar la velocidad de crecimiento de cada población; existe el caso, en el cual una de estas especies se alimenta de la otra, entonces se presenta un sistema de sobrevivencia dado por: $F_y(x, y) < 0$, $G_x(x, y) > 0$. Esto significa, la variación de la población de la presa con respecto al depredador decrece exponencialmente hasta su extinción y la variación de la población del depredador con respecto a la presa crece de forma exponencial. Éstas, son una de las condiciones características que debe cumplir el sistema de ecuaciones Depredador-Presa [44-45].

2.1.7. DETECTOR DE GAS INFRARROJO

El detector de gas infrarrojo es utilizado como una de las principales herramienta analíticas en el laboratorio para la detección de gases, debido a que estos, son identificados por sus franjas de absorción específicamente en la zona infrarroja del espectro electromagnético de luz. Se caracterizan por su alta velocidad de respuesta, requieren de un bajo mantenimiento y comprobación muy simplificada, además poseen seguridad intrínseca, funcionamiento adecuado en atmósferas inertes, bajo la exposición de una diversidad de condiciones de temperatura ambiental, presión y humedad.

2.1.7.1 PRINCIPIO DEL DETECTOR DE GAS INFRARROJO

La técnica esta basada en el principio de absorción de infrarrojos, caracterizados por poseer doble longitud de onda, por lo que, la luz atraviesa la mezcla en dos longitudes de onda, donde, únicamente un haz de longitud de onda es ajustada al pico de la franja de absorción del gas que será detectado, el segundo haz también llamado de referencia, se encuentra localizado en una zona sin absorber. Se pulsan de manera alternativa las dos fuentes de luz, y son guiadas a través de un camino óptico común para ambas, para que puedan salir a través de la ventana con protección anti deflagración (anti-combustión) y, posteriormente, a través del gas de muestra. Después, serán reflejados nuevamente los haces mediante un retro reflector, para regresar una vez más a través del gas y volver a la unidad, donde el detector lleva acabo la comparación de las fuerzas de las señales emitidas por los haces de referencia y de la muestra y, mediante la realización de una resta, será proporcionada la medida de la concentración del gas [46].

2.1.8. VALIDACIÓN DE UN MÉTODO

La validación de un método se debe a la necesidad analítica para la confirmación de que el método en cuestión posee la capacidad de desempeño consistente con la que se requiere para su aplicación, ya que si el resultado obtenido de la prueba no es confiable entonces tiene un valor menor, por tanto, para que el resultado analítico sea correspondiente al propósito requerido, debe ser altamente confiable para que cualquier decisión que se base en éste pueda ser tomada con confianza y seguridad. Al desarrollar

nuevos métodos para la solución de problemas específicos, deben ser validados de ser necesaria la verificación de sus parámetros de desempeño, con el objetivo de corroborar que son adecuados para el uso en el análisis de un problema analítico específico [47].

2.2.MARCO HISTÓRICO

La planta carnívora “*Philcoxia minensis*”, crece exclusivamente en los campos rocosos del centro de Brasil, tiene la capacidad de capturar y digerir mediante la secreción enzimática nematodos, a través del uso de unas hojas adherentes subterráneas [48].

La planta carnívora “*Nepenthes rajah*”, crece en Borneo, Malasia. Posee una “trampa” o “jarra” con una capacidad de almacenamiento de dos litros de agua, lo cual fue el principal motivo para los científicos, de creer que ésta planta se alimentaba de vertebrados. El especialista en plantas carnívoras de la Universidad de Monash en Malasia, Charles Clarker, durante los 20 años de estudio de la “*Nepenthes rajah*”, nunca observó que ésta haya capturado a una rata, ya que lo que la planta carnívora “*Nepenthes rajah*” realizaba, era atraer a las musarañas con el aroma del néctar que segregaba en el interior de su trampa, pero con el objetivo de alimentarse del excremento y adquirir el nitrógeno que requieren.

Por lo que afirmó Charles Clarker, “*Ciento cincuenta años después del descubrimiento de la Nepenthes rajah, finalmente tenemos una explicación para el gran tamaño de la mayor planta carnívora del mundo*” [49].



IMAGEN 2.2.1 *Nepenthes rajah* [50].

Aaron Ellison, biólogo de la Universidad de Harvard, utiliza las plantas carnívoras del género “*Nepenthes*”, como modelos para la prueba dinámica de los ecosistemas.

El ecologista Sheldon Lambert, monitoreó el estado de los suelos de los pantanos del Cape Breton Highlands National Park, a través, del uso de las plantas carnívoras del género “*Nepenthes*” que se desarrolla en el parque. El hecho de que las “trampas” o “jarros” se llenen de agua en temporadas de lluvia, las hace más sensibles a la contaminación atmosférica y cambio ambiental. Cuando los niveles de nitrógeno se elevan, por efecto de la lluvia ácida, o la esorrentía de los fertilizantes agrícolas, las plantas carnívoras se adaptan y únicamente llevan acabo el proceso de fotosíntesis, aplanando sus hojas, es decir, cierran su tapa. Entonces si el nivel en cuanto el porcentaje de agua y composición del suelo del un pantano cambia, la densidad de población de las plantas carnívoras de éste género también se modificaba, lo cual indica que las plantas carnívoras del género “*Nepenthes*”, están modificando su procesos biológicos y fisiológicos, debido a que están viendo

en la necesidad de adaptarse al cambio en su ecosistema para poder sobrevivir [51].

2.3.MARCO JURÍDICO

En los Estados Unidos Mexicanos , la protección de la biodiversidad de la flora y fauna, están regidos bajo la Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, basada principalmente en los criterios que deben ser considerados para la preservación de las especies que se encuentran amenazadas y en peligro de extinción, a través de la fomentación de estaciones biológicas ya sean de rehabilitación o repoblamiento de las especies de la flora y fauna silvestre, mediante el desarrollo de métodos y mediadas para su cultivo, conservación y desarrollo, así como la participación de la diversas organizaciones publicas y privadas interesadas en la preservación de la biodiversidad y el hábitat natural. El aprovechamiento sustentable de la flora y fauna silvestre, a través del desarrollo de la investigación, para determinar su valor económico, biológico e interés científico para la nación [52]. El reglamento de la Ley de Sanidad Fitopecuaria de los Estados Unidos Mexicanos en materia de sanidad vegetal, establece, medidas pertinentes generales y específicas requeridas para la prevención, control, erradicación y extinción de las plagas, y enfermedades presentadas en los vegetales, a través de la ejecución de programas fitosanitarios, otorgados por la Secretaría, los cuales son controladas a través de registros fitosanitarios establecidos en la presente ley [53]. La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), se encarga de salvaguardar los derechos ambientales, asociados con la protección y preservación del equilibrio ecológico [54].

2.4.CONCLUSIÓN

En cualquier etapa del desarrollo de las plantas, en su gran mayoría, son sometidas a estrés, el que inclusive permite la evolución a largo plazo y la supervivencia en el corto plazo. De forma particular, alguna de las plantas ante la lucha del medio y sus depredadores tiene que evolucionar e inclusive sub especializarse como lo hacen los animales, siendo precisamente su ecosistema lo que les obliga a cambiar para sobrevivir. Un caso extraordinario lo presentan las plantas carnívoras quienes ante la falta de elementos para sobrevivir y la diversidad de animales han desarrollado sistemas que les permiten alimentarse de lo que podrían ser sus depredadores y dejar de ser el alimento de lo que para otras plantas sería su fin último. Una interrogante es saber si realmente son capaces de modificar en un corto tiempo su ecosistema de tal forma que puedan mostrarse elementos que garanticen un proceso de adaptación inmediato, desde luego que aparentemente ello debe de ocurrir pues existen invernadero donde se les puede conseguir en nuestro país, pero sin embargo la interrogante sigue siendo la misma qué tanto puede su sistema de adaptación inferir en su entorno. Comercialmente y desde el punto de vista de la propia investigación resulta atractivo investigar si de alguna forma influyen en su entorno local para poder garantizar su supervivencia.

CAPÍTULO III

MÉTODO Y MATERIALES.

“PRECISO ES ENCONTRAR LO INFINITAMENTE GRANDE EN LO INFINITAMENTE PEQUEÑO, PARA SENTIR LA PRESENCIA DE DIOS.”

PITÁGORAS

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se hace referencia a la metodología debido a que es una de las etapas específicas de la tesis, la cual parte de una posición teórica o hipótesis que en este caso se basa en que la planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada con “*Tenebrio molitor*” (TABLA 2.0), incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero) y conlleva a la selección concreta de técnicas y procedimientos basados en principios lógicos empleados para alcanzar el objetivo que rige la investigación: Encontrar una relación funcional entre la alimentación y [%] CO₂ sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, mediante un la proposición de un nuevo método inductivo, debido a la propia construcción de la metodología realizada para la obtención de las ecuaciones que modelan el comportamiento tanto metabólico como la parte termodinámica, y transversal ya que el experimento incluye un periodo de observación, el cuál ésta basado en el uso del sensor del alcoholímetro digital (MED-160), que detecta el CO₂($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{m}$) , generado en la reacción de combustión del etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$), acoplado a un multímetro profesional de lujo con interface para PC (MUL-600), con el propósito de determinar el [%] CO₂ producido en el metabolismo de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, en base a la variación del potencial eléctrico, obtenido a través de la ecuación de la curva

de calibración (GRÁFICA 4.1.1), debido a que nos representa gráficamente la señal de medición correspondiente al potencial eléctrico como función del [%] CO₂.

La conductancia (Ω^{-1}) de la tierra se determino, a través del uso del multímetro digital (FLUKE-87), está, es asociada de forma indirecta con la absorción de agua, por lo pelos radicales de la raíz de la planta carnívora "*Nepenthes alata*", la cual se requiere para llevar acabo el proceso fotosintético ($6\text{ CO}_2 + 6\text{ H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{ O}_2$).

Para llevar acabo el análisis de la fase experimental, la planta carnívora "*Nepenthes alata*", fue introducida en un terrario de material de plástico con base de yeso para colocar el sensor de temperatura_{IN-OUT} y humedad [%]_{IN-OUT} del termo higrómetro (WS-1171), evitando así el contacto con el agua a pH 5, con la que se roseaba a la planta diariamente, el terrario se cubrió con plástico con el fin de mantener la temperatura menor a 15 °C por la noche, y entre 20 - 30 °C durante el día, humedad relativa entre 80 - 90 %.

La fase experimental en su etapa inicial se realizo en un período de 24 horas con una frecuencia de 30 minutos para el día lunes 14 de noviembre del 2011, después de su "aclimatación" en el terrario, para garantizar que los resultados obtenidos de las mediciones sean reales y por lo tanto confiables, con el objetivo de determinar el intervalo de tiempo en el cual la actividad biológica y fisiológica fuera mayor. El resultado obtenido es 3 intervalos de tiempo que comprende los siguientes rangos: 12:00 p.m. - 6:00 p.m., 9:00 p.m. - 10:00 p.m. y 1:00 a.m. - 6:00 a.m. con una frecuencia de 30 minutos durante 10 días.

El diseño experimental se dividió en dos fases: Fase I, se caracterizó por que la determinación de las variables dependientes e independientes (variación del potencial eléctrico ([%] CO_2), conductancia (Ω^{-1}), temperatura_{IN-OUT} y humedad [%]_{IN-OUT}), se llevó a cabo en el momento en que la planta carnívora se encuentra realizando su proceso biológico y fisiológico (Fotosíntesis: $6 CO_2 + 6 H_2O + luz \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$, Respiración: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 + 36 ADP + 36 P \rightarrow 6 H_2O + 6 CO_2 + 36 ATP$, Ciclo de Krebs: $Acetil - CoA + 3 NAD + FAD + GDP + Pi \rightarrow CoA - AS + 3 NADH + FADH_2 + GTP + 2 CO_2$, y la Transpiración), sin alimentación como una planta normal, es decir, en ausencia de elementos esenciales para su crecimiento como el nitrógeno que es uno de los componentes principales que adquiere a través de la degradación de su “presa”. Fase II, inicio el día viernes 18 de noviembre del 2011 en la cual a las 12:00 p.m., fue introducido un “*Tenebrio molitor*” adulto, dentro de una de las trampas de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, el proceso de análisis para la determinación de las variables se realizó con una frecuencia de 30 minutos en un período de 24 horas con el objetivo de monitorear el resultados de las variables obtenidas cuando la planta a ésta llevando un proceso fisiológico de digestión y absorción de nutrientes, y poder realizar una comparación con el resultado de los datos de las variables cuando la planta realiza su proceso fotosintético sin alimentación, además analizar si efectivamente existen cambios en su atmósfera interna por la variación de la humedad [%]_{IN-OUT} y temperatura_{IN-OUT} del sistema. Después de transcurrir las 24 horas, se iniciaron las mediciones con

los tres intervalos de tiempo anteriormente mencionados para los días restantes, antes de finalizar el análisis experimental.

3.1.MUESTRA

I. Planta carnívora “*Nepenthes alata*”.



IMAGEN 3.1. Planta Carnívora “*Nepenthes alata*”.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Planta carnívora “*Nepenthes alata*” de 8 meses de edad, con una altura de aproximadamente 5 cm., de cuyo tallo surgen 6 hojas alternas de color verde medio, con una extensión en la punta de la hoja que forma el zarcillo y en el extremo de éste se encuentra la trampa jarra (forma de globo o tubo coronado por una “Tapa”), la planta presenta 4 trampas o jarras en total, para mantener la humedad relativa de 80 - 90 % la planta carnívora “*Nepenthes alata*” fue pulverizada diariamente con agua a pH 5, la temperatura requerida menor a 15 °C por la noche, y entre 20 - 30 °C durante el día, evitar su exposición directa con el sol.

3.2.SOFTWARE E INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES.

- I. Multímetro profesional de lujo con interface para PC (MUL-600) STEREN.
- II. Alcoholímetro digital (MED-160) STEREN: Alimentación; 3 V (2 x AAA), Rango; 0,00 % - 0,19 % (0.0 - 1,9 g/l), Exactitud: $\pm 0,01$ %, Respuesta: >5 segundos, Temperatura de operación; 5-40 °C, sensor de CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}} = 4.26 \mu\text{n}$).
- III. Termo higrómetro (WS-1171) Ambient Weather.
- IV. Multímetro Digital (FLUKE-87), TRUE RMS.

3.2.1. SOFTWARE

- I. Software for multimeter 2002.
- II. Microsoft Excel 2007.

3.2.2. MATERIAL

- I. Agua a pH 5.
- II. pH- Indicator strips, MERCK.
- III. Terrario de Plástico: 25 cm x 7 cm x 18 cm, Capacidad: 3,15 Litros.

3.3.PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL POTENCIAL ELÉCTRICO.

En la determinación de los datos de la variación del potencial eléctrico con respecto a la [%] CO₂, sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, el multímetro (MUL-600) se conecto mediante su interface a la PC con el software for multimeter 2002 y al alcoholímetro digital (MED-160). Para fines prácticos incluyo el desarrollo de la metodología que a continuación se explica detalladamente:

- I. Encender la PC y abrir el programa MUL-600.
- II. Encender multímetro (MUL-600) y establecer la unidad de medida en Volts (V).
- III. Encender el alcoholímetro digital (MED-160) presionando el botón de encendido hasta que la pantalla encienda y suene la alarma.
- IV. En la pantalla aparecerá el mensaje de WARM UP (calentamiento), esta es la etapa donde el alcoholímetro se prepara para llevar a cabo el análisis.
- V. Introducir el alcoholímetro Digital (MED-160) dentro del terrario y colocarlo cerca de las hojas, jarras o trampas de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”.
- VI. Al terminar la etapa de WARM UP, en la pantalla del alcoholímetro digital (MED-160) aparecerá el mensaje BLOW durante 10 segundos, en este momento se conectara el programa MUL-600 en la opción

CONNECT, para llevar a cabo la medición de la variación del potencial eléctrico en Volts.

- VII. Después de terminar la cuenta regresiva de BLOW de los 10 segundos y en que en la pantalla del programa MUL-600 el voltaje haya llegado a cero, se detiene la medición en la opción DISCONNECT.
- VIII. Guardar los datos de la medición en la opción RECORD y posteriormente SAVE.
- IX. Salir del programa MUL-600 mediante la opción EXIT.
- X. Retirar el alcoholímetro digital (MED-160) del terrario.

3.4. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA (Ω^{-1}).

- I. Introducir los electrodos dentro de la tierra de la maceta de la planta carnívora "*Nepenthes alata*".
- II. Encender multímetro digital (FLUKE 87), establecer la unidad de medida en Ohms (Ω).
- III. Registrar datos.
- IV. Apagar multímetro digital (FLUKE 87).

3.5.PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA_{IN-OUT} Y HUMEDAD [%]_{IN-OUT}.

- I. Introducir el sensor del termo higrómetro (WS-1171) en el terrario sobre la base de yeso.
- II. Registrar la temperatura_{IN-OUT} y humedad [%]_{IN-OUT}.

3.6.ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- I. Cartas Control.
- II. ANOVA.
- III. T- Student.
- IV. Prueba de Error Normalizado.

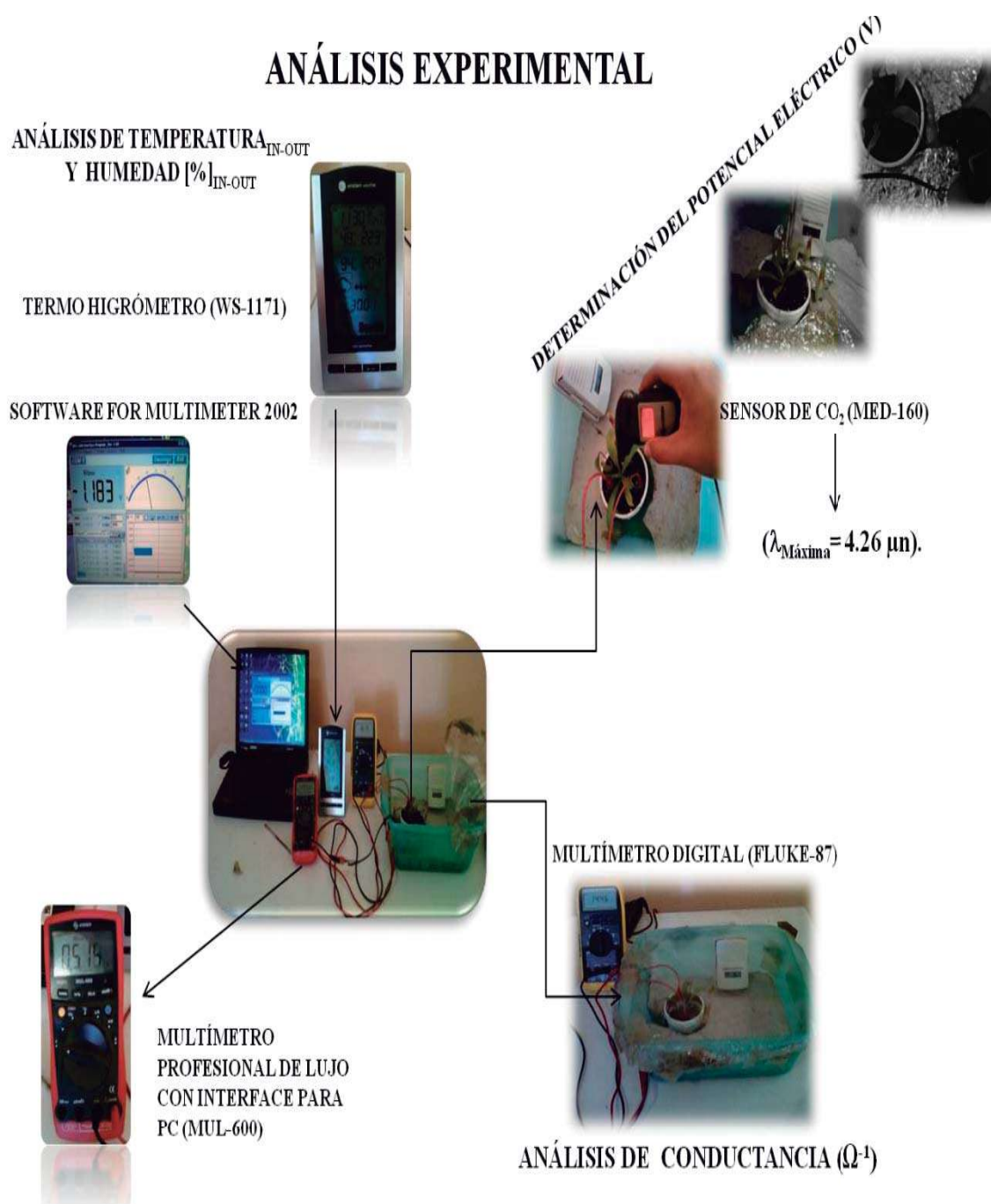


IMAGEN 3.2.3 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL.

3.7.CONCLUSIÓN

En el presente capítulo se propone un nuevo método inductivo y transversal, para la determinación de la relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂, eliminado en la atmósfera interna del sistema invernadero, en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, basado en el uso del sensor de gases del alcoholímetro digital (MED-160), acoplado a un multímetro profesional de lujo con interface para PC (MUL-600), mediante la detección de la variación del potencial eléctrico del CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{n}$) sintetizado en la reacción de combustión del etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$), y mediante la ecuación de la recta, de la curva de calibración (GRÁFICA 4.1.1) obtener el [%] CO₂, el cual es requerido en el proceso de la fotosíntesis ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2 + \text{LUZ} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$).

El uso del Multímetro Digital (FLUKE-87), tiene como objetivo determinar la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra, asociada de forma indirecta con la absorción de agua, por lo pelos radiculares de la raíz de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, la cual se requiere para llevar acabo el proceso fotosintético ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$).

Mediante el uso del Termo Higrómetro (WS-1171), dentro del terrario podremos analizar las variaciones de la temperatura_{IN-OUT} y la humedad [%]_{IN-OUT} con respecto al [%] de CO₂, O₂, CH₄ y vapor de agua, presentes en la atmósfera interna del sistema invernadero, de tal manera, que podamos llevar acabo, la corroboración del rechazó o cumplimiento del

planteamiento de nuestra hipótesis: La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

“NO BUSCO, EN EFECTO, ENTENDER PARA CREER, SINO QUE CREO PARA ENTENDER. PUES CREO ESTO, POR QUE SI NO CREYERE, NO ENTENDERÍA.”

SAN ANSELMO

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

4. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se da a conocer el análisis e interpretación de los resultados ya que son el “premio” que recompensa el trabajo de la recolección de datos. Los datos, sin embargo, no “hablan por si mismos”, revelan lo que el analista puede detectar. El análisis e interpretación del estudio, ésta relacionado con el objetivo de la investigación: Encontrar una relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂ sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, proporcionando la respuesta a la hipótesis planteada; La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero).

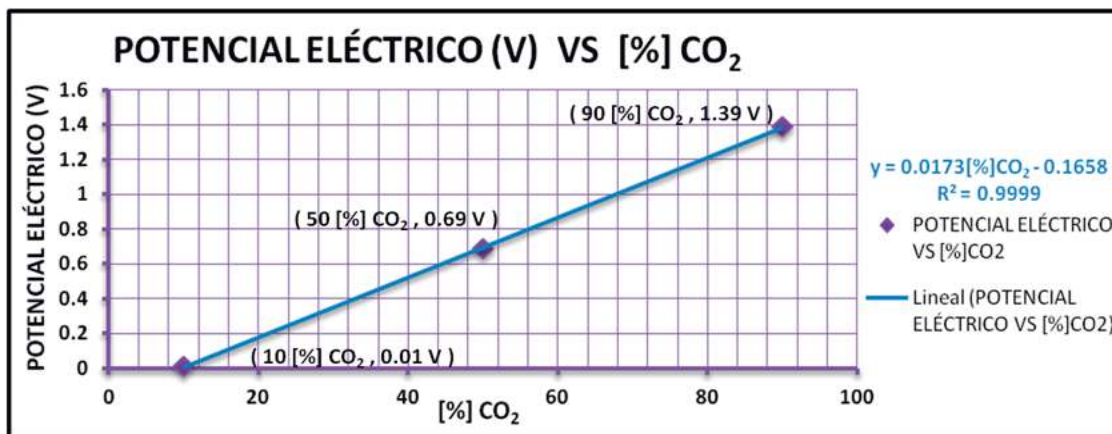
4.1.RESULTADOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL EN LA FASE I:

4.1.1. DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE TIEMPO PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL, EN BASE AL [%] CO₂, ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

Con el propósito de determinar el intervalo de tiempo, en el cual la actividad biológica y fisiológica (Fotosíntesis: $6\text{ CO}_2 + 6\text{ H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow$

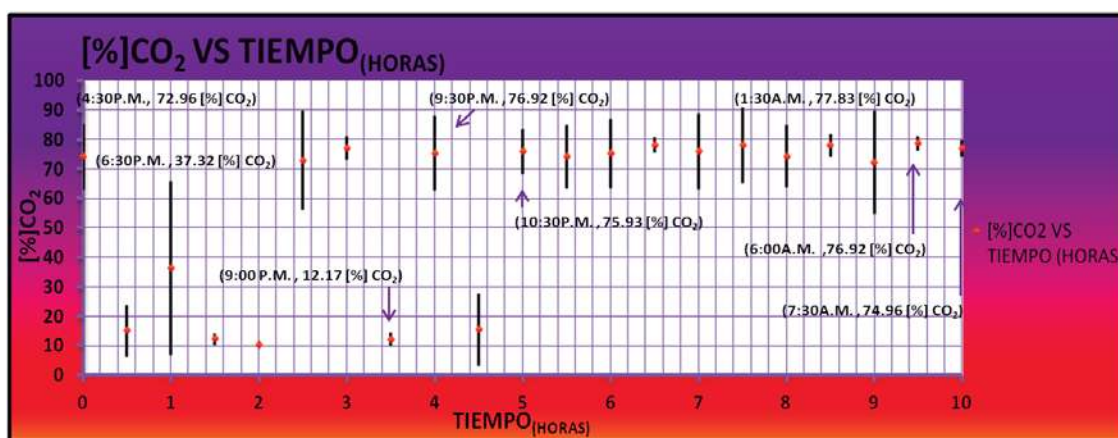
$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$,Respiración: $C_6H_{12}O_{12} + 6O_2 + 36ADP + 36P \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 36 ATP$, Ciclo de Krebs: $Acetil - CoA + 3NAD + FAD + GDP + Pi \rightarrow CoA - AS + 3NADH + FADH_2 + GTP + 2CO_2$, y la Transpiración), de la planta carnívora "*Nepenthes alata*" es mayor, se determina el [%] CO_2 en base a la variación del potencial eléctrico, obtenido a través de la ecuación de la curva de calibración (GRÁFICA 4.1.1), debido a que nos representa gráficamente la señal de medición correspondiente al potencial eléctrico como función del [%] CO_2 , en la GRÁFICA 4.1.1, se observa que para nuestro sensor de CO_2 , el límite de detección; 10 [%] CO_2 , 0.01 V y el límite de cuantificación; 90 [%] CO_2 , 1.39 V, por lo que las mediciones realizadas superiores al límite de detección no serán confiables, debido a que no se pueden hacer extrapolaciones, en base a la ecuación de la recta para la curva de calibración obtenida (GRÁFICA 4.1.1).

GRÁFICA 4.1.1 CURVA DE CALIBRACION, DEL POTENCIAL ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DEL [%] CO_2 .



Para la determinación del intervalo de tiempo de análisis experimental, se analizó el [%] CO₂ sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, durante un período de tiempo de 10 horas, con frecuencia de análisis de 30 minutos (GRÁFICA 4.1.2), el iniciando a partir de las 4:30 p.m.

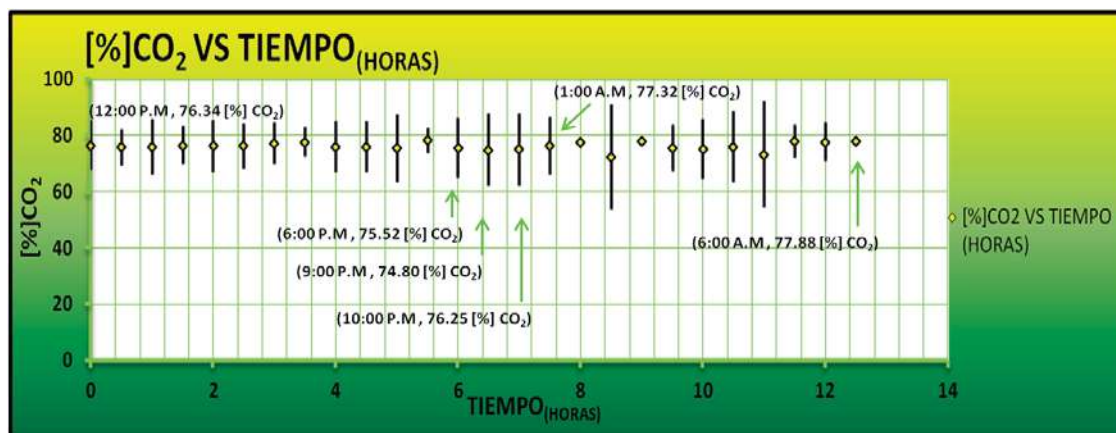
GRÁFICA 4.1.2 ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD FISIOLÓGICA RESPECTO AL [%] CO₂, ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.



Los datos presentados en la GRÁFICA 4.1.2, nos indican que para las 4:30 p.m. existe 72,96 [%] CO₂, hora que inicia el análisis experimental, comenzando a disminuir a las 6:00 p.m., hasta las 7:30 p.m., el CO₂ se mantiene entre el 10 % - 15 %, sin embargo de 8:00 p.m. - 8:30 p.m, incrementa 72 % - 77 %, pero a las 9:00 p.m., disminuye hasta 12.17 [%] CO₂, y a partir de las 10:30 p.m. a las 7:30 a.m., se mantiene entre 70 [%] CO₂ - 80 [%] CO₂, es decir, adquiere un equilibrio homeostático, hora en que se realiza el último análisis, en base al [%] CO₂ observado en la GRÁFICA 4.1.2, por el comportamiento fisiológico de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, se establecen los siguientes intervalos de tiempo respecto [%] CO₂ (GRÁFICA 4.1.3), para el

análisis experimental y determinación de cada una de las variables dependientes e independientes, los cuales, serán 3 intervalos y comprenderán los siguientes horarios: 12:00 p.m. - 6:00 p.m., 9:00 p.m. - 10:00 p.m. y 1:00 a.m. - 6:00 a.m., con el objetivo de obtener [%] CO₂, que sean representativos y característicos de la actividad biológica y fisiológica, de la planta carnívora "*Nepenthes alata*" durante las 24 horas, en un período de 10 días (15/Nov/2011- 24/Nov/2011), con una frecuencia de análisis de 30 minutos.

GRÁFICA 4.1.3 INTERVALOS DE TIEMPO DEL ANÁLISIS DE LA FASE EXPERIMENTAL.



La GRÁFICA 4.1.3 muestra, que para los tres intervalos de tiempo: 12:00 p.m. - 6:00 p.m., 9:00 p.m. - 10:00 p.m. y 1:00 a.m. - 6:00 a.m., del análisis de la fase experimental, respecto al [%] CO₂, oscila entre 70 [%] CO₂ - 80 [%] CO₂.

4.1.2. PRUEBA DE ERROR NORMALIZADO.

Se realizó la prueba del error normalizado a la humedad [%]_{IN} respecto a la humedad [%]_{OUT} del sistema, con el propósito de determinar la existencia de una variación significativa del [%] de humedad_{IN}, por el incremento de vapor de agua, liberado en la atmosfera interna del sistema, por el proceso de transpiración, debido a que la planta se encuentra en la etapa de “aclimatación” en el terrario que fue colocada para su estudio, y requiere crear su propia atmosfera en base la humedad [%]_{IN} y temperatura_{IN} adecuadas para su supervivencia. En base a los resultados obtenidos en el inicio de la fase experimental (15/Nov/2011), por lo que se presenta la siguiente ecuación (Ec.1):

$$\text{Ec.(1)} \quad \epsilon = \frac{X_{\text{HUMEDAD (IN)}} - X_{\text{HUMEDAD(OUT)}}}{\sqrt{S_{\text{HUMEDAD (IN)}}^2 + S_{\text{HUMEDAD (OUT)}}^2}} \quad \text{Donde:}$$

$\epsilon = \text{Error}$

$x = \text{Media}$

$s = \text{Desviación estándar}$

Sustituyendo en la Ec.(1):

$$\begin{aligned} \text{Ec.(1)} \quad \epsilon &= \frac{84.739130435_{\text{HUMEDAD (IN)}} - 43.260869565_{\text{HUMEDAD(OUT)}}}{\sqrt{4.653614346_{\text{HUMEDAD (IN)}}^2 + 2.157805942_{\text{HUMEDAD (OUT)}}^2}} \\ &= 8.086144926 \end{aligned}$$

Resultado de la sustitución en la Ec.(1):

Ec.(1) $\epsilon = 8,086144926$ $\epsilon > 2$: **Grave**

El error nominalizado para la humedad [%]_{IN} respecto a la humedad [%]_{OUT} del sistema es: $\epsilon = 8,086144926$ por lo que $\epsilon > 2$, debido a la existencia de una variación significativa en el [%] de humedad_{IN} en la atmósfera, ya que la planta carnívora “*Nepenthes alata*” aun se encuentra llevando acabo el proceso de “aclimatación” también llamado “adaptación”, el cual se caracteriza por la liberación de gases (CO₂, O₂,) a la atmósfera y vapor de H₂O mediante la transpiración, con el propósito de crear su propio efecto invernadero, es decir su atmósfera propia que cumpla con los requerimientos para su crecimiento, desarrollo y supervivencia, en el terrario que fue colocada para su estudio. El incremento de vapor de agua producto de la transpiración, es el principal responsable del aumento en la concentración de vapor de agua, por lo tanto de la variación del [%] de humedad_{IN} del sistema [55].

4.1.3. ANOVA.

Aplicación del análisis de varianza al logaritmo de la humedad [%]_{IN} en comparación con el logaritmo de la humedad [%]_{OUT} del sistema, los resultados obtenidos se muestran en la TABLA 4.1.3.1, correspondientes al inicio de la fase experimental (15/Nov/2011):

TABLA 4.1.3.1 ANOVA DEL LOGARITMO DE LA HUMEDAD [%]_{IN} RESPECTO A LA HUMEDAD [%]_{OUT} DEL SISTEMA.

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	11.06594948	1	11.06594948	17.778642	0.000121563	4.061706349
Dentro de los grupos	27.38689362	44	0.6224294			
Total	38.4528431	45				

De acuerdo a la TABLA 4.1.3.1, $F_{\text{Crítica}} = 4.061706349$ y $F_{\text{Experimental}} = 11.06594948$, Por lo tanto $F_{\text{Crítica}} < F_{\text{Experimental}}$, indicando la existencia de una variación significativa entre la humedad [%]_{IN} y la humedad [%]_{OUT} del sistema, corroborando que efectivamente existe una modificación en la atmósfera por el proceso de aclimatación que está llevando la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, en base ala respuesta de irritabilidad.

4.2.RESULTADOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL EN LA FASE II.

Los resultados de los datos obtenidos para las variables dependientes e independientes, se realizaron al alimentar la planta carnívora “*Nepenthes alata*” con “*Tenebrio molitor*”, llevando acabo un análisis experimental durante un período de 24 horas, con una frecuencia de 30 minutos.

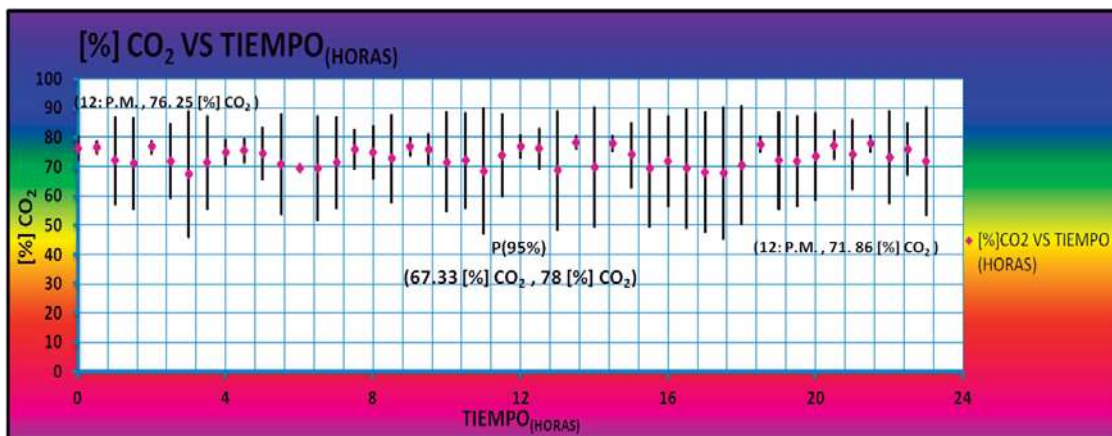
El resultado de los datos obtenidos, en base al [%] CO₂ respecto al tiempo, presentados en la GRÁFICA 4.2.0.1, nos permite observar oscilaciones armónicas respecto al [%] CO₂ presente en la atmósfera interna del sistema invernadero, producido por la planta carnívora “*Nepenthes alata*” al ser

alimentada con “*Tenebrio molitor*”, en la ruta metabólica de la atapa catabólica, a través de la repetición rítmica del Ciclo del Krebs ($Acetil - CoA + 3NAD + FAD + GDP + Pi \rightarrow CoA - AS + 3NADH + FADH_2 + GTP + 2CO_2$), debido a que como sistema biológico, presenta un principio de auto-organización, ya que debe mantener en equilibrio homeostático el [%] CO_2 en la atmósfera interna del sistema invernadero, por lo que se realizó una carta control con el objetivo de determinar el intervalo del [%] CO_2 producido en el proceso metabólico que se está llevado a cabo, el cual indica que el [%] CO_2 sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*” oscila entre 67,33 [%] CO_2 - 78,17 [%] CO_2 , con una probabilidad del 95 % de obtener los valores de [%] CO_2 dentro de este rango.

Es importante destacar que se requiere garantizar robustez dentro del análisis realizado, a la determinación del porcentaje de CO_2 , por lo que se llevó a cabo la prueba Kolmogorov-Smirnov (KS), la cual reportó un valor favorable con $P=0,069$.

De manera indirecta por las oscilaciones armónicas del [%] CO_2 , podemos determinar que a las 12: 00 p.m., hora en que se alimenta a la planta carnívora “*Nepenthes alata*” con “*Tenebrio molitor*”, inicia la liberación y acción de las proteínas enzimáticas: Nepenthesin I, Nepenthesin II, B-1,3 Glucanasa y quitinasa, que participan en el metabolismo del “*Tenebrio molitor*”, para la obtención de energía libre (ATP, NADHP) en la fase catabólica, y utilizarla en la fase anabólica para la obtención de biomoléculas como hidratos de carbono y proteínas para la síntesis de tejido vegetal.

GRÁFICA 4.2.0.1 [%] CO₂ RESPECTO AL TIEMPO, ELIMINADO POR PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*” AL SER ALIMENTADA CON “*Tenebrio molitor*”.



En la **GRÁFICA 4.2.0.2** se presenta una curva que relaciona el [%] CO₂ respecto a la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra, asociada de manera indirecta con la absorción del agua por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, cuyo objetivo es encontrar la relación lineal o intervalo lineal (**GRÁFICA 4.2.0.3**) comúnmente usado para determinar métodos espectrofotométricos [56]. Resulta trascendente medir el ámbito lineal por que este puede conducir a la linealidad del método, el cual, relacionara el límite de detección analítica, el intervalo de trabajo cuando se requiera analizar las concentraciones presentes que puedan dar la relación con respecto [%] CO₂ y la absorción de agua mediante la determinación de la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra , la cual se requiere para llevar acabo el proceso fotosintético ($6\text{ CO}_2 + 6\text{ H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{ O}_2$), por lo pelos radicales de la raíz de la planta carnívora , a través de una ley que caracterice la cantidad de radiación electromagnética absorbida por la muestra a analizar en base a sus

propiedades características, en este caso es la Ley de Beer-Lambert, la cual es representada como:

$$[]_{\text{Concentración}} = \frac{A_{\text{Absorbancia}}}{\epsilon_{\text{Coeficiente Molar de Extensión}} d_{\text{Recorrido en cm.}}}$$

GRÁFICA 4.2.0.2 CONDUCTANCIA (Ω^{-1}) RESPECTO AL [%] CO_2 , PRODUCIDO POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”, EN EL METABOLISMO DE “*Tenebrio molitor*”.



En base a los resultados obtenidos de los datos de la **GRÁFICA 4.2.0.2**, se observa la presencia de un valor de (76.46 [%] CO_2 , $0.04 \Omega^{-1}$) para el punto de análisis máximo a la 1:00 p.m., una hora después de ser alimentada, y para el punto de análisis mínimo (78.31 [%] CO_2 , $0.02 \Omega^{-1}$) a las 8:00 p.m., por lo tanto se obtiene, el intervalo lineal (**GRÁFICA 4.2.0.3**), en el cual, la conductancia (Ω^{-1}) es inversamente proporcional al [%] CO_2 , sintetizado a partir del metabolismo de “*Tenebrio molitor*” para la obtención de energía libre (NADPH y ATP) en la etapa del catabolismo o degradación.

GRÁFICA 4.2.0.3 INTERVALO LINEAL DE LA CONDUCTANCIA (Ω^{-1}) RESPECTO AL [%] CO_2 , PRODUCIDO POR PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”, EN EL METABOLISMO DE “*Tenebrio molitor*”.



El [%] CO_2 permite determinar de manera indirecta, la variación de la energía libre planta carnívora “*Nepenthes alata*”, es decir de NADPH y ATP producida en el ciclo de Krebs ($\text{Acetil-CoA} + 3\text{NAD} + \text{FAD} + \text{GDP} + \text{Pi} \rightarrow \text{CoA-AS} + 3\text{NADH} + \text{FADH}_2 + \text{GTP} + 2\text{CO}_2$), específicamente en la etapa catabólica, para llevar a cabo el metabolismo del “*Tenebrio molitor*”, ya que existe una relación funcional entre [%] CO_2 y la energía libre (NADPH y ATP), la cual es directamente proporcional, pero únicamente en el proceso metabólico, de acuerdo al valor del punto de análisis máximo (76.46 [%] CO_2 , 0.04 Ω^{-1}), en este caso es equivalente al límite de detección, nos indica un valor mayor para la conductancia (0.04 Ω^{-1}), debido a la absorción de agua por los pelos radicales de la raíz, y un valor menor para el CO_2 (76.46 [%]), respecto al valor para el punto de análisis máximo o límite de cuantificación (78.31 [%] CO_2 , 0.02 Ω^{-1}), en base a lo anterior, se observa que la relación funcional que existe entre la conductancia (Ω^{-1}) y el [%] CO_2 es inversamente

proporcional, de forma presuntiva podemos decir, que de acuerdo a los valores presentados para el punto de análisis máximo (76.46 [%] CO_2 , 0.04 Ω^{-1}), predominaba el proceso fotosintético ($6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$), ya que es que requiere de agua para poder llevarse acabo, por la tanto la conductancia es mayor (0.04 Ω^{-1}) comparada con la reportada por el punto de análisis mínimo (78.31 [%] CO_2 , 0.02 Ω^{-1}), en el cual el CO_2 (78.31 [%]) es mayor, indicando que en este punto de análisis, predomina el proceso metabólico (*Ciclo de Krebs: Acetil – CoA + 3NAD + FAD + GDP + Pi $\rightarrow$ CoA – AS + 3NADH + FADH₂ + GTP + 2CO₂*).

El intervalo lineal respecto al tiempo del proceso metabólico del “*Tenebrio molitor*” es de 8 horas (1:00 p.m. - 8:00 p.m.), presentando un límite de detección (76.46 [%] CO_2 , 0.04 Ω^{-1}) y de cuantificación (78.31 [%] CO_2 , 0.02 Ω^{-1}), además la ecuación de la recta (**GRÁFICA 4.2.0.3**), donde el coeficiente de correlación lineal $r = 0.95608577$, indica que en este intervalo lineal existe buena relación lineal entre la conductancia (Ω^{-1}) y el [%] CO_2 , en el proceso del metabolismo de “*Tenebrio molitor*”, llevado acabo por la planta carnívora “*Nepenthes alata*” [57].

4.2.1. ECUACIÓN SIGMOIDE

Como era de esperar debido al efecto homeostático propio de algunos sistemas biológicos, en este caso, para la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, se observa que en la ecuación [**Ec.(4.2.1.1)**] para el cambio de temperatura_{IN} existe un efecto oscilatorio determinado, como se puede observar en la **GRÁFICA 4.2.1.1**, de tipo sinusoidal, la cual determina el efecto invernadero,

generado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, en el proceso metabólico (Ci de “*Tenebrio molitor*”, durante un periodo de 24 horas.

ECUACIÓN SINUSOIDAL TEÓRICA:

$$T_{\circ C} = [(T_{MÁXIMA_{\circ C}} - T_{PROMEDIO_{\circ C}}) \sin \left(\left(\frac{\pi}{12_{HORAS}} \right) (t_{HORAS} - 2) \right) + (T_{PROMEDIO_{\circ C}})]$$

Ec. (4.2.1.1): ECUACIÓN SINUSOIDAL EXPERIMENTAL.

$$T_{\circ C} = [(23,6 \pm 0,044) + (-1,85 \pm 0,061) \sin \left(\frac{2\pi}{24 \pm 0,42} t_{HORAS} + (-10,4 \pm 0,39) \right)]$$

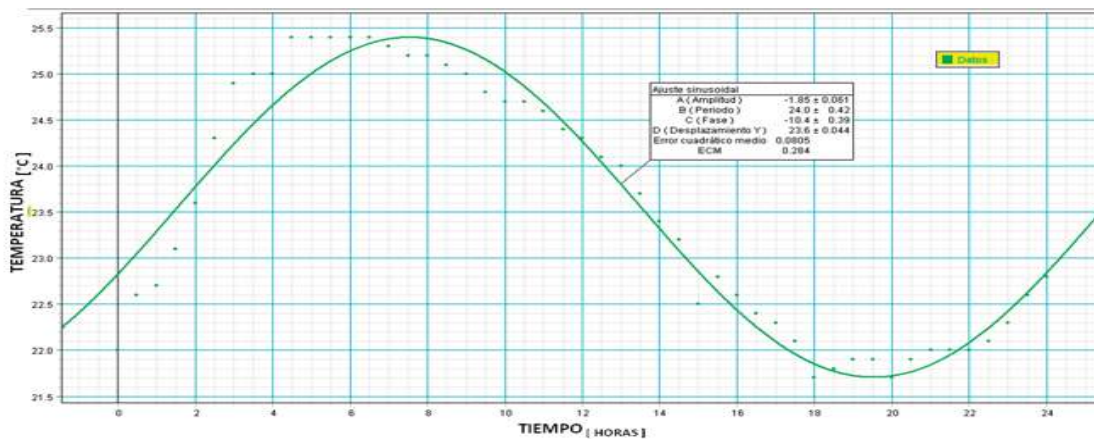
De acuerdo a la ecuación [Ec.(4.2.1.1)] se determina la variación de la temperatura_{IN} con respecto al tiempo (GRÁFICA 4.2.1.1), obteniéndose la siguiente ecuación:

Ec. (4.2.1.2):

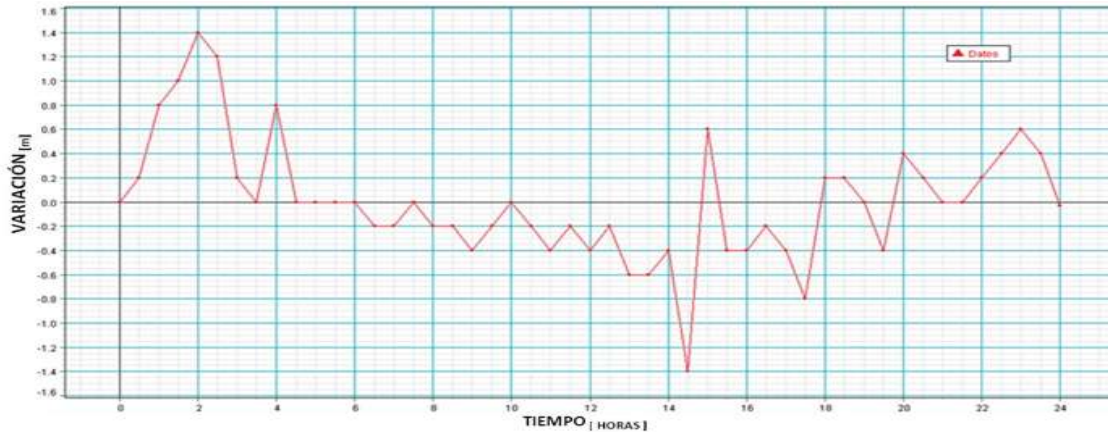
$$v = \frac{dT}{dt} = [2\pi(0,07708333 \pm 0,00154488) \cos \left(\frac{2\pi}{24 \pm 0,42} t_{HORAS} + (-10, \pm 0,39) \right)]$$

La **GRÁFICA 4.2.1.1** nos permite observar que la temperatura_{IN} y su variación con respecto al tiempo, presentan oscilaciones armónicas, ésto se debe a que la planta carnívora “*Nepenthes alata*” como sistema biológico, posee un principio de auto-organización, que consiste en la repetición rítmica de un proceso, en éste caso se debe al proceso del metabolismo de “*Tenebrio molitor*”, que implica llevar a cabo el ciclo de Krebs, como una ruta metabólica para la obtención de energía libre (ATP, NADPH), responsable del fenómeno rítmico observado en la **GRÁFICA 4.2.1.1**, ya que corresponden a las reacciones químicas acopladas, cuyas interacciones producen soluciones oscilatorias [58].

Gráfica 4.2.1.1 TEMPERATURA_{IN} VS TIEMPO DEL SISTEMA, EN EL METABOLISMO DE “*Tenebrio molitor*” POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

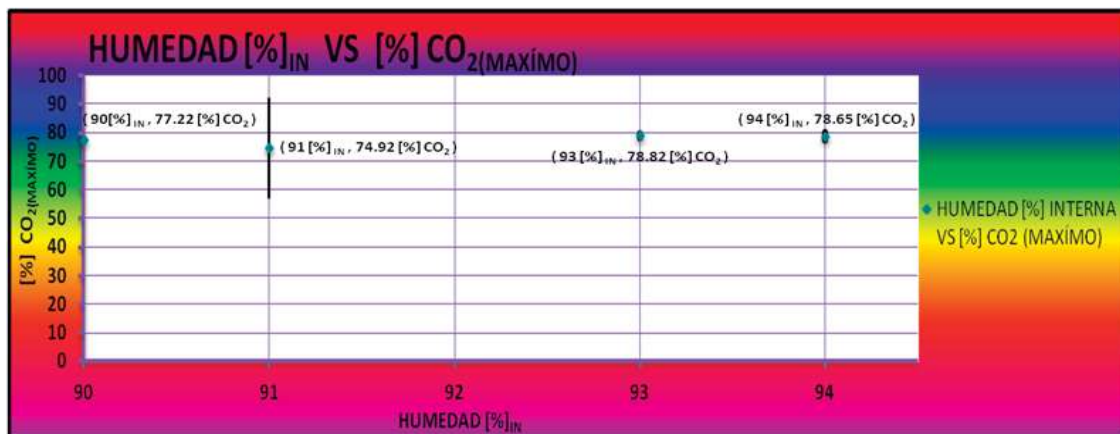


GRÁFICA 4.2.1.2 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA_{IN} VS TIEMPO DEL SISTEMA, EN EL METABOLISMO DE “*Tenebrio molitor*” POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

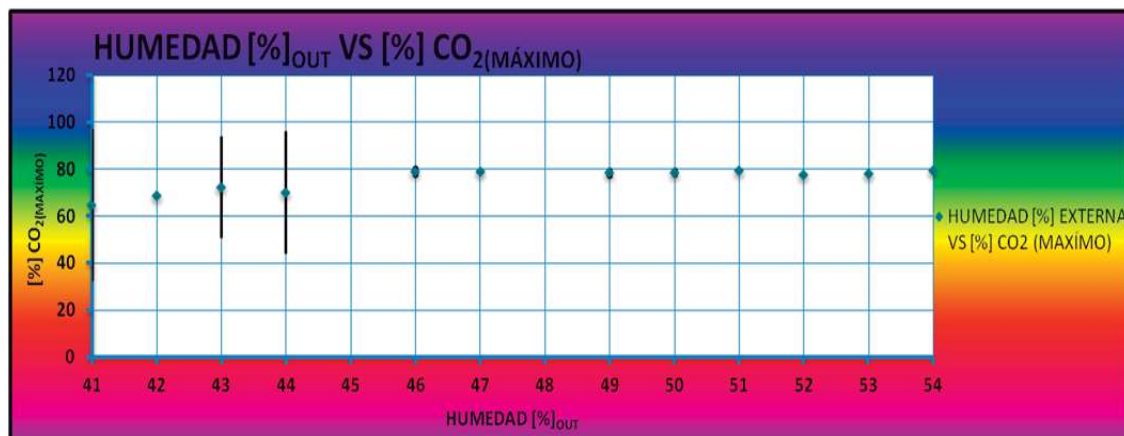


4.2.2. GRÁFICAS DE [%] CO₂ MÁXIMO RESPECTO A LA HUMEDAD INTERNA Y EXTERNA DEL SISTEMA:

GRÁFICA 4.2.2.1 HUMEDAD [%]_{IN} VS [%] CO₂(MÁXIMO) SINTETIZADO EN EL METABOLISMO DE “*Tenebrio molitor*” por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”.



GRÁFICA 4.2.2.2 HUMEDAD [%] OUT VS [%] CO₂(MÁXIMO) SINTETIZADO EN EL METABOLISMO DE “*Tenebrio molitor*” por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”.



Los resultados de los datos de la **GRÁFICA 4.2.2.1** nos indican la existencia una relación, respecto a la humedad [%]_{IN} del sistema con el [%] CO₂(MÁXIMO), sintetizado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*” en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*”, es decir, que al llevar a cabo el proceso metabólico, a través del ciclo de Krebs ($Acetil - CoA + 3NAD + FAD + GDP + Pi \rightarrow CoA - AS + 3NADH + FADH_2 + GTP + 2CO_2$), se elimina CO₂, el cual es requerido por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, para realizar el proceso fotosintético ($6CO_2 + 6H_2O + luz \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$), y por cada molécula de CO₂ que ingresa al interior de la planta se libera una molécula de vapor de agua, en un proceso llamado transpiración, es decir, se realiza a través de un intercambio gaseoso, por lo tanto podemos decir, que al aumentar el [%] CO₂, aumenta la humedad [%]_{IN} del sistema, al saturarse la concentración de la atmósfera interna del sistema invernadero por el incremento en el [%] CO₂, provoca que la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, cierre automáticamente el ostiolo del estoma de la hoja,

evitando la deshidratación de la planta por la transpiración, para mantener un equilibrio homeostático. Sin embargo, la **GRÁFICA 4.2.2.2**, no muestra relación significativa en la humedad [%]_{OUT} del sistema respecto al [%] CO_{2(MÁXIMO)}, por lo que nos permite corroborar que nuestro invernadero en el cual se encuentra la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, efectivamente es un sistema aislado, es decir, no intercambia ni materia ni energía con su entorno, ya que los valores de la humedad [%]_{OUT} no muestran relación con respecto a los valores para la humedad [%]_{IN} del invernadero.

4.2.3. PRUEBA DE ERROR NORMALIZADO

A los resultados de los datos obtenidos para la humedad [%]_{IN} respecto a la humedad [%]_{OUT} del sistema, al ser alimentada la planta carnívora “*Nepenthes alata*” con “*Tenebrio molitor*”, con el objetivo de determinar la existencia de una variación significativa del [%] de humedad_{IN}, en la atmósfera interna del sistema, ya que en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*” se genera CO₂ y energía libre (NADPH y ATP), que serán utilizados para llevar a cabo el proceso fotosintético ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$), el vapor de agua liberado en la transpiración, al captar CO₂ por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, aumenta la concentración de vapor de agua en la atmósfera interna del sistema, por lo tanto una variación en el [%] de humedad_{IN}, se les realizó la prueba del error normalizado, obteniéndose la siguiente ecuación:

Ec.(2)
$$\epsilon = \frac{X_{HUMEDAD (IN)} - X_{HUMEDAD(OUT)}}{\sqrt{S_{HUMEDAD (IN)}^2 + S_{HUMEDAD (OUT)}^2}}$$

Donde:

$\epsilon = Error$

$x = Media$

$s = Desviación estándar$

Sustituyendo en la Ec.(2):

Ec.(2)
$$\epsilon = \frac{91.857142857_{HUMEDAD (IN)} - 45.367346939_{HUMEDAD(OUT)}}{\sqrt{1.224744871_{HUMEDAD (IN)}^2 + 3.655440452_{HUMEDAD (OUT)}^2}}$$

$$= 12.0591149$$

Resultado de la sustitución en la Ec.(2):

Ec.(2) $\epsilon = 12.0591149 \quad \epsilon > 2: \text{Grave}$

La prueba de error normalizado, para la humedad [%]_{IN} respecto a la humedad [%]_{OUT} del sistema, donde $\epsilon=12.0591149$, por lo tanto $\epsilon>2$, existe una variación significativa en el [%] de humedad_{IN}, por el vapor de agua producto de la transpiración en la asimilación de CO₂ para llevar cabo el proceso fotosintético, aumentando la concentración de vapor de agua en la atmósfera interna del sistema, lo cual nos permite corroborar que efectivamente el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*”, esta generando(CH₄, CO₂) y energía libre (NADPH,ATP). El incremento en la liberación de CO₂ y síntesis de energía libre (NADPH, ATP), aumenta la capacidad de la planta carnívora “*Nepenthes alata*” para llevar acabo el proceso fotosintético ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) y obtener

hidratos de carbono, lo cual le permite tener un desarrollo y crecimiento óptimo, así como su propagación y supervivencia.

4.2.4. ANOVA

Análisis de varianza para los resultados de los logaritmos de la humedad [%]_{IN} respectó a la humedad [%]_{OUT} del sistema, y los datos de los logaritmos obtenidos de la temperatura_{IN} respecto a la temperatura_{OUT} del invernadero, del día de la alimentación de la planta carnívora “*Nepenthes alata*” con “*Tenebrio molitor*”.

TABLA 4.2.4.1 ANOVA DEL LOGARITMO DE LA HUMEDAD [%]_{IN} RESPECTO A LA HUMEDAD [%]_{OUT} DEL SISTEMA.

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	57.71439648	1		124.7357077	6.21761E-19	3.942303152
Dentro de los grupos	43.49318545	94	0.462693462			
Total	101.2075819	95				

TABLA 4.2.4.2 ANOVA DEL LOGARITMO DE LA TEMPERATURA_{IN} RESPECTO A LA TEMPERATURA_{OUT} DEL INVERNADERO.

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	22.94087613	1	22.94087613	117.541167	3.03197E-18	3.942303152
Dentro de los grupos	18.34627315	94	0.195173119			
Total	41.28714928	95				

De acuerdo a la TABLA 4.2.4.1, $F_{\text{Crítica}} = 3.942303152$ y $F_{\text{Experimental}} = 124.7357077$, Por lo tanto $F_{\text{Crítica}} < F_{\text{Experimental}}$, indicando la existencia de una variación significativa entre la humedad [%]_{IN} y la humedad [%]_{OUT} del sistema, demás de que TABLA 4.2.4.2, muestra un valor de $F_{\text{Crítica}} = 3.942303152$ y para $F_{\text{Experimental}} = 117.541167$, Por lo tanto, $F_{\text{Crítica}} < F_{\text{Experimental}}$, permitiéndonos determinar la existencia de una variación significativa entre la temperatura_{IN} respecto a la temperatura_{OUT} del invernadero en base al proceso termodinámico que se está llevando acabo, por la “energía cinética” que generan los gases (CO₂, CH₄, O₂), corroborando que efectivamente existe una modificación en la atmósfera interna del invernadero, por metabolismo del “*Tenebrio molitor*” y liberación de CO₂, CH₄, a la atmósfera, de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, además del proceso fotosintético ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2 + \text{LUZ} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$) que está realizando , que requiere de la captación de CO₂ y liberación de vapor de agua en el la transpiración , por lo tanto modifica el [%] de humedad_{IN}, además de que el incremento de la temperatura_{IN}, acelera la velocidad de transpiración, generando así una variación significativa de la humedad [%]_{IN} respecto a la humedad [%]_{OUT} del sistema .

4.2.5. ANOVA DE LA VARIACIÓN DEL [%] CO₂ EN LA ATMÓSFERA INTERNA DEL SISTEMA INVERNADERO, GENERADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

Con el objetivo de determinar la existencia de variación del [%] CO₂ (TABLA 4.2.5.1), en la atmósfera interna del sistema invernadero, en base a los

resultados obtenidos en el inicio de la fase experimental, se realiza una comparación con respecto a resultados determinados el día en que alimento a la planta carnívora “*Nepenthes alata*” con “*Tenebrio molitor*”.

TABLA 4.2.5.1 ANOVA DE LA VARIACIÓN DEL [%] CO₂.

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	33.54721506	1	33.54721506	200.2240917	8.40059E-43	3.847563606
Dentro de los grupos	255.5112251	1525	0.167548344			
Total	289.0584401	1526				

La TABLA 4.2.5.1 muestra que $F_{\text{Crítica}}=3.847563606$ y $F_{\text{Experimental}}=200.2240917$, Concluyendo que $F_{\text{Crítica}} < F_{\text{Experimental}}$, observándose la existencia de una variación significativa del [%] CO₂, debido a que en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*” por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, incrementa la eliminación de CO₂, hacia la atmósfera interna del sistema invernadero, de manera indirecta, podemos decir, que también la síntesis de la energía libre (ATP, NADPH), a través del ciclo de Krebs, es mayor.

El [%] CO₂ eliminado hacia la atmósfera interna del sistema, por planta carnívora “*Nepenthes alata*”, es menor, cuando se encuentra realizando sus procesos biológicos y fisiológicos como una planta normal, además del proceso de “aclimatación” que esta llevando acabo, es decir, solo posee los nutrientes producidos en la fotosíntesis y los que es capaz de adquirir mediante sus sistemas de raíces, en comparación al [%] CO₂, eliminado en el proceso metabólico.

4.2.6. PRUEBA T DEL [%] CO₂ ELIMINADO POR LA PLANTA CARNÍVORA “*Nepenthes alata*”.

El tiempo de degradación total de la “presa” por las plantas carnívoras, es decir, sin presencia de sedimentos dentro de las trampas, depende principalmente del tamaño del insecto que debe ser directamente proporcional al tamaño de la trampa y la edad de la planta carnívora.

Después de 6 días de haber alimentado a la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, dentro de la trampa se observó la presencia de sedimento de “*Tenebrio molitor*”, se realizó la prueba t (TABLA 4.2.6.1) con el propósito de determinar la existencia de variación respecto al [%] CO₂, eliminado en el proceso de asimilación del sedimento, en comparación al [%] CO₂, eliminado el día, que fue alimentada, es decir en el inicio del proceso metabólico. Los resultados de los datos obtenidos en base a la TABLA 4.2.6.1, indican un valor para $t_{\text{Estadístico}} = 2.607877055$ y $t_{\text{Crítico}} = 1.961504562$, entonces, $t_{\text{Estadístico}} > t_{\text{Crítico}}$, por la diferencia significativa del [%] CO₂, lo cual significa que para la asimilación del sedimento de “*Tenebrio molitor*” también elimina [%] CO₂, pero menor, al eliminado, al inicio del proceso metabólico.

TABLA 4.2.6.1 PRUEBA T DEL [%] CO₂.

	[%] CO ₂ (ALIMENTACIÓN)	[%] CO ₂ (FINAL DE MEDICIONES)
Media	-1.10843561	-1.136952308
Varianza	0.049851721	0.038285099
Observaciones	893	650
Varianza agrupada	0.04498038	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1541	
Estadístico t	2.607877055	
P(T<=t) una cola	0.004599292	
Valor crítico de t (una cola)	1.645843044	
P(T<=t) dos colas	0.009198584	
Valor crítico de t (dos colas)	1.961504562	

4.2.7. ANOVA DE LA HUMEDAD [%]_{IN} RESPECTO A LA HUMEDAD [%]_{OUT} DEL SISTEMA EN EL ÚLTIMO DÍA DE LA FASE EXPERIMENTAL.

El análisis de varianza del logaritmo de la humedad_{IN} respectó al logaritmo de la humedad_{OUT}, realizado el ultimo día de la fase experimental, de acuerdo a la TABLA 4.2.7.1, nos permite determinar un valor $F_{\text{Crítica}} = 4.034309546$ y $F_{\text{Experimental}} = 11.94243228$, $F_{\text{Crítica}} < F_{\text{Experimental}}$, presentando una variación significativa de la humedad [%]_{IN} respectó la humedad [%]_{OUT} del sistema, debido a que la asimilación del sedimento, que genera CO₂ como producto metabólico y permite la obtención de energía libre(ATP, NADPH), para utilizarla en proceso fotosintético, que en la captación de CO₂ de la atmósfera por el estoma de la hoja de planta carnívora "*Nepenthes alata*", genera la transpiración, lo que produce una modificación del [%] de humedad_{IN}, en la atmósfera interna del sistema por el vapor de agua presente.

TABLA 4.2.7.1 ANOVA DE LA HUMEDAD [%]_{IN} RESPECTÓ A LA HUMEDAD [%]_{OUT} DEL SISTEMA EN EL ÚLTIMO DÍA DE LA FASE EXPERIMENTAL.

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	11.65514402	1	11.65514402	11.94243228	0.001128139	4.034309546
Dentro de los grupos	48.79719535	50	0.975943907			
Total	60.45233937	51				

4.3.CONCLUSIÓN

La relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂, sintetizado en el ciclo de Krebs, en el metabolismo de “*Tenebrio molitor*”, el cual, es eliminado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, hacia la atmósfera interna del sistema invernadero, a través de un intercambio gaseoso, en base a los resultados obtenidos (GRÁFICA 4.2.0.3), la conductancia (Ω^{-1}), es inversamente proporcional al [%] CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{n}$), producido por el metabolismo, y requerido para llevar a cabo la fotosíntesis ($6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$).

La planta carnívora “*Nepenthes alata*” se alimentó con “*Tenebrio molitor*” a las 12:00 p.m., en base a los valores de conductancia (Ω^{-1}) respecto [%] CO₂, para el valor del punto análisis máximo (76.46 [%] CO₂, 0.04 Ω^{-1}) a las 1:00 p.m., nos permite determinar que el proceso metabólico en su etapa de catabolismo o degradación, después de una hora de su alimentación, inicia la eliminación de CO₂, por lo tanto, la variación del [%] CO₂, en la atmósfera interna del sistema invernadero, mientras que el valor del punto de análisis mínimo (78.31 [%] CO₂, 0.02 Ω^{-1}) a las 8:00 p.m., indicó que el proceso metabólico ha finalizado, y de manera indirecta, la síntesis de energía libre (NADPH y ATP) alcanzó un equilibrio homeostático.

En base a lo anterior, el intervalo lineal respecto al tiempo, en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*”, llevado a cabo por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, es de 8 horas (1:00 p.m. - 8:00 p.m.), presentando un límite de detección (76.46 [%] CO₂, 0.04 Ω^{-1}) y de cuantificación (78.31 [%]

CO_2 , $0.02 \Omega^{-1}$), además la ecuación de la recta (GRÁFICA 4.2.0.3), donde el coeficiente de correlación lineal $r = 0.95608577$, indica que en este intervalo lineal existe buena relación lineal entre la conductancia (Ω^{-1}) y el [%] CO_2 .

El cambio de temperatura_{IN} presenta un efecto oscilatorio determinado (GRÁFICA 4.2.1.1), de tipo sinusoidal, caracterizada por la ecuación [Ec.(4.2.1.1)] y su variación respecto al tiempo [Ec.(4.2.1.2)], la cual determina el efecto invernadero, generado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, en el proceso metabólico (*Ciclo de Krebs*: $\text{Acetil} - \text{CoA} + 3\text{NAD} + \text{FAD} + \text{GDP} + \text{Pi} \rightarrow \text{CoA} - \text{AS} + 3\text{NADH} + \text{FADH}_2 + \text{GTP} + 2\text{CO}_2$), de “*Tenebrio molitor*”, durante un periodo de 24 horas.

El análisis de varianza del logaritmo de la humedad [%]_{IN} respecto al logaritmo de la humedad [%]_{OUT} (TABLA 4.3.4.1), del sistema invernadero y la prueba de error normalizado [Ec.(2)], nos permiten corroborar la existencia de una variación significativa de la humedad [%]_{IN} y temperatura_{IN} (TABLA 4.3.4.2), por lo que, se acepta, el planteamiento de nuestra hipótesis: La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y CONFRONTACIÓN DEL FUNDAMENTO HIPOTÉTICO.

“LOS GRANDES CONOCIMIENTOS ENGENDRAN LAS GRANDES DUDAS”

ARISTÓTELES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y CONFRONTACIÓN DEL FUNDAMENTO HIPOTÉTICO.

5. INTRODUCCIÓN

La arquitectura de las plantas determina la eficiencia de estos organismos para adaptarse fisiológicamente a los cambios en su medio ambiente, que en general tiene relación directa con el clima, respondiendo a estas variaciones. El follaje participa en la fotosíntesis y la reproducción, en tanto que la raíz es importante para el anclaje al suelo, absorción de nutrientes como: fósforo, nitrógeno y hierro asociados con la regulación de procesos celulares fundamentales, y captación de agua, de la cual cerca del 90 % es liberada en el aire en forma de vapor, en el proceso de transpiración. En la plantas el intercambio gaseoso (Fotosíntesis, Transpiración y Respiración) con la atmósfera, se realiza a través de los estomas, los cuales están formados por dos grandes células de guarda y oclusivas de forma arriñonada rodeadas de células acompañantes. La separación u orificio en las células de guarda es denominado “ostiolo”, que regula el tamaño total de poro y por tanto, la capacidad de intercambio de gases y pérdida de agua de la planta. El ostiolo se cierra automáticamente en los casos de exceso de CO₂ y estrés hídrico (sequia). El factor principal en el proceso de transpiración de las plantas es la abertura de los estomas, además de la energía solar, que al incrementar la temperatura interna de la planta acelera la velocidad de transpiración, ya que al liberar el vapor de agua, le permite la refrigeración y captación de agua por

el sistema de raíces. La pérdida de agua es mucho más lenta cuando el aire circundante esta saturado de vapor de agua, es decir, esta regulada por el [%] de humedad en la atmósfera. En la noche las plantas solo realizan la respiración y desprenden únicamente CO₂, ya que en este proceso no se requiere energía solar como en la fotosíntesis al captar CO₂, mediante el estoma de la hoja, este a su vez libera vapor de agua, es decir, entra CO₂ y se libera vapor de agua, mediante la transpiración. El desarrollo de la raíz y del follaje está dirigido por mecanismos genéticos, pero la configuración final de la arquitectura de la planta está influenciada por factores ambientales tanto bióticos como abióticos.

5.1.CONFRONTACIÓN DEL FUNDAMENTO HIPOTÉTICO

En la presente tesis se propone un nuevo método inductivo y transversal, para la determinación del [%] CO₂, eliminado en la atmósfera interna del sistema invernadero, durante el proceso metabólico de "*Tenebrio molitor*", que tiene un valor nutricional de 50.10 % de proteína como única fuente disponible de nitrógeno, para la síntesis de energía libre (NADPH y ATP) en la etapa catabólica, del metabolismo (*Ciclo de Krebs: Acetil - CoA + 3NAD + FAD + GDP + Pi → CoA - AS + 3NADH + FADH₂ + GTP + 2CO₂*), El análisis de CO₂ se determino, con el uso del sensor del alcoholímetro digital (MED- 160) acoplado a un multímetro profesional de lujo con interface para PC (MUL-600), mediante la detección de la variación del potencial eléctrico de CO₂($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{n}$), sintetizado en la reacción de combustión del etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$), y a

través de la ecuación de la recta, de la curva de calibración (**GRÁFICA 4.1.1**) se obtuvo el [%] CO₂, debido a que nos representa gráficamente la señal de medición correspondiente al potencial eléctrico como función del [%] CO₂, indicando que para el uso de nuestro sensor de CO₂, el límite de detección; 10 [%] CO₂ , 0.01 V y el límite de cuantificación; 90 [%] CO₂ , 1.39 V. Permittiéndonos, determinar que la relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂, eliminado en el metabolismo de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, en base a los resultados obtenidos (**GRÁFICA 4.3.0.2**), la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra, asociada de forma indirecta con la absorción de agua, por lo pelos radicales de la raíz de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, la cual se requiere para llevar acabo el proceso fotosintético ($6\text{ CO}_2 + 6\text{ H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{ O}_2$), es inversamente proporcional al [%] CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26\text{ }\mu\text{m}$) eliminado, logrando nuestro objetivo planteado en la presente tesis. La planta carnívora “*Nepenthes alata*” se alimento con “*Tenebrio molitor*” a las 12:00 p.m., la **GRÁFICA 4.2.0.1**, indica que en este momento inicio la eliminación de CO₂, para llevar acabo la liberación y acción de las proteínas enzimáticas: Nepenthesin I, Nepenthesin II, Quitinasa y Proteinasa Aspártico, que participaran en el metabolismo del “*Tenebrio molitor*. En base al valores de conductancia (Ω^{-1}) respecto al [%] CO₂ (**GRÁFICA 4.2.0.3**) , para el valor del punto de análisis máximo o límite de detección (76.46 [%] CO₂ , $0.04\text{ }\Omega^{-1}$) a la 1:00 p.m., por lo que no permite determinar que después de una hora, de haber alimentado a la planta carnívora “*Nepenthes alata*” con “*Tenebrio molitor*”, comienza a presentarse una variación significativa en el [%] CO₂ eliminado,

en la atmosfera interna del sistema invernadero, mientras tanto, el valor del intervalo mínimo o límite de cuantificación ($78.31 [\%] \text{ CO}_2$, $0.02 \Omega^{-1}$) a las 8:00 p.m., indicó que el proceso metabólico ha finalizado, es decir el flujo de energía libre (NADPH y ATP) alcanzo un equilibrio homeostático. El intervalo lineal o de trabajo respecto al tiempo, en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*” es de 8 horas (1:00 p.m.- 8:00 p.m.), con un coeficiente de correlación lineal $r = 0.95608577$, en base a la ecuación de la recta (GRÁFICA 4.2.0.3), la cual nos indica, que en este intervalo lineal existe buena relación lineal entre la conductancia (Ω^{-1}) y el $[\%] \text{ CO}_2$, debido a que son las variables de interés. El cambio de temperatura_{IN} presenta un efecto oscilatorio determinado (GRÁFICA 4.2.1.1), de tipo sinusoidal, caracterizada por la ecuación [Ec.(4.2.1.1)] y su variación respecto al tiempo [Ec.(4.2.1.2)], la cual determina el efecto invernadero, generado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, que como sistema biológico, posee un principio de auto-organización, en la repetición rítmica del proceso metabólico (*Ciclo de Krebs: Acetil – CoA + 3NAD + FAD + GDP + Pi → CoA – AS + 3NADH + FADH₂ + GTP + 2CO₂*), de “*Tenebrio molitor*”, para la obtención de energía libre (ATP, NADPH), durante un periodo de 24 horas. El uso del termo higrómetro (WS-1171), colocado dentro del terrario donde se encuentra la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, nos permitió analizar las variaciones de la atmósfera interna con respecto a la humedad $[\%]_{\text{IN-OUT}}$ y la temperatura_{IN-OUT} del sistema. El análisis de varianza para el logaritmo de la temperatura_{IN} respectó al logaritmo de la temperatura_{OUT} del sistema (TABLA

4.2.4.2), determino la existencia de una variación significativa en la temperatura_{IN}, debido a la “energía cinética”, asociada a los movimientos de traslación del O₂ y rotación o vibración del CO₂ y CH₄, los cuales son producto del proceso fotosintético ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) y metabólico(CO₂, CH₄) de “*Tenebrio molitor*”, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, a medida que incrementa la concentración de O₂, CO₂ Y CH₄, en la atmósfera interna del sistema, también esta aumentado la energía cinética, por el movimiento de las moléculas, generando calor, por lo que la temperatura_(IN) es mayor, es decir, se esta modificando, hasta alcanzar un equilibrio homeostático en la atmósfera interna de sistema invernadero. El incremento de la temperatura acelera la velocidad de transpiración, por lo tanto la abertura de los estomas de la hoja, para la captación de CO₂ por el ostiolo, para llevar acabo la fotosíntesis ($6CO_2 + 6H_2 + LUZ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) y liberación de vapor de agua a la atmosfera interna del sistema invernadero. El análisis de varianza del logaritmo de la humedad [%]_{IN} respecto al logaritmo de la humedad [%]_{OUT} (TABLA 4.2.4.1) del sistema invernadero y la prueba de error normalizado [Ec.(2)], nos permiten corroborar la existencia de una variación significativa de la humedad [%]_{IN} y temperatura_{IN} (TABLA 4.2.4.2), por lo tanto, nos permite el cumplir y aceptar el planteamiento de nuestra hipótesis: La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero). Los resultados de los datos de la GRÁFICA 4.2.2.1 nos indican la existencia una relación significativa, respecto a la humedad [%]_{IN} del sistema con el [%] CO_{2(MÁXIMO)},

ya que por cada molécula de CO_2 que ingresa al interior de la planta se libera una molécula de vapor de agua, en un proceso llamado transpiración, es decir, se realiza a través de un intercambio gaseoso, por lo tanto podemos decir, que al aumentar el [%] CO_2 , aumenta la humedad [%]_{IN} del sistema, al saturarse concentración de la atmósfera interna del sistema invernadero por el incremento en el [%] CO_2 , provoca que la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, cierre automáticamente el ostiolo del estoma de la hoja, evitando la deshidratación de la planta por la transpiración, para mantener un equilibrio homeostático.

La comparación de los resultados en base a la humedad [%]_{IN} (GRÁFICA 4.2.2.1), respecto a la humedad [%]_{OUT} (GRÁFICA 4.2.2.2) no muestran relación significativa, por lo que corroboramos que nuestro sistema invernadero, en el cual se encuentra la planta carnívora “*Nepenthes alata*” para su estudio, efectivamente es un sistema aislado, es decir, no intercambia ni materia ni energía con su entorno.

La prueba del error normalizado a la humedad [%]_{IN} respecto a la humedad [%]_{OUT} [Ec.(1)] del sistema y el análisis de varianza (TABLA 4.1.3.1), en el inicio de las mediciones, indican la existencia de una variación significativa en el [%] de humedad_{IN} en la atmósfera, ya que la planta carnívora “*Nepenthes alata*” aun se encuentra llevando a cabo el proceso de “aclimatación” también llamado “adaptación”, el cual se caracteriza por la liberación de gases (CO_2 , O_2 ,) en su proceso de respiración y fotosíntesis a la atmósfera, además de vapor de H_2O mediante la transpiración, con el propósito de crear su propio efecto invernadero, es decir una atmósfera con la

temperatura_{IN} y humedad [%]_{IN} optimas para su desarrollo, crecimiento y supervivencia, en el terrario que fue colocada para su estudio.

El análisis de varianza (TABLA 4.2.5.1), indica que la eliminación de CO₂, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, es mayor, al llevar acabo un proceso metabólico, en comparación, al eliminado durante el proceso de “aclimatación”, en el sistema invernadero.

5.2. TRABAJO A FUTURO.

En la presente tesis, se analizó a la planta carnívora “*Nepenthes alata*” de aproximadamente 8 meses de edad, de manera individual, durante un periodo de 10 días únicamente, debido a que la determinación de cada una de las variables dependientes e independientes fueron realizadas en invierno y las bajas temperaturas afectan las funciones biológicas y fisiológicas de la planta carnívora estudiada así como su crecimiento, desarrollo y supervivencia. El propósito del estudio de la planta carnívora es su capacidad de comportamiento como presa, representando el primer nivel trófico de la cadena alimenticia, y como depredador para adquirir nutrientes necesarios que requiere para su desarrollo, a través de insectos pequeños principalmente como única fuente de nitrógeno, ya que mediante su sistema de raíces no pueden ser adquiridos. En base a lo anterior, se sugiere llevar acabo un análisis bajo un conjunto de plantas carnívoras “*Nepenthes alata*”, con el propósito de determinar el modelo bilógico del comportamiento fotosintético y metabólico como conjunto, además, de llevar acabo la determinación de cada una de las variables dependientes e independientes (conductancia (Ω^{-1}))

de la tierra, humedad [%]_{IN-OUT} , temperatura_{IN-OUT} de la atmósfera interna del sistema invernadero, variación del potencial eléctrico (V)), a través, del uso del nuevo método inductivo y transversal propuesto, basado en el análisis de la variación del potencial eléctrico del CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{n}$) liberado a la atmósfera interna del sistema (invernadero) con el uso del sensor del alcoholímetro digital (MED- 160) acoplado a un multímetro profesional de lujo con interface para PC (MUL-600), mediante la detección de CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26 \mu\text{n}$) sintetizado en la reacción de combustión del etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$), y mediante la ecuación de la curva de calibración determinar el [%] CO₂. La fase experimental, se realice en primavera, ya que es una época en que las plantas desarrollan la auténtica “explosión vegetal”, debido al incremento en la concentración de las auxinas (reguladores del crecimiento), encargada de promover el crecimiento, diferenciación celular, la maduración de frutas, la floración y la senectud. También se sugiere que el período de análisis experimental finalice hasta que el sedimento de la presa haya sido asimilado totalmente por la planta carnívora, es decir, no haya presencia de sedimento en la trampa o jarro, ya que en nuestro diseño experimental, después de 6 días de haber alimentado a la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, dentro de la trampa se observo la presencia de sedimento de “*Tenebrio molitor*” y los resultados de la prueba T (TABLA 4.2.6.1) realizada demuestran que asimilación del sedimento de “*Tenebrio molitor*” también se requiere de eliminación de [%] CO₂ , pero menor [%] , al eliminado al iniciar el proceso metabólico, esto con el propósito de determinar el tiempo de degradación total de la “presa” por la

planta carnívora, debido a que depende principalmente del tamaño del insecto, que debe ser directamente proporcional al tamaño de la trampa y la edad de la planta carnívora. El análisis de varianza del logaritmo de la humedad_{IN} respectó al logaritmo de la humedad_{OUT}, realizado el ultimo día de la fase experimental, de acuerdo a la **TABLA 4.2.7.1**, presentando una variación significativa de la humedad [%]_{IN} respectó la humedad [%]_{OUT} del sistema, debido a que la asimilación del sedimento, está CO_2 como producto metabólico y permite la obtención de energía libre(ATP, NADPH), para utilizarla en proceso fotosintético, que en la captación de CO_2 de la atmósfera por el estoma de la hoja de planta carnívora "*Nepenthes alata*", genera la transpiración, lo que produce una modificación del [%] de humedad_{IN}, en la atmósfera interna del sistema por el vapor de agua presente. Cabe mencionar que en base a los resultados obtenidos del análisis de varianza (**TABLA 4.2.7.1**) y la prueba T (**TABLA 4.2.6.1**), se realizo una gráfica con los valores del [%] CO_2 (MÁXIMO) respectó a la humedad [%]_{IN} del sistema invernadero, para el día final del análisis experimental, en la cual no se encontró relación significativa entre estas variables, lo que nos permite corroborar que en el proceso de absorción de sedimento de la "presa" genera una modificación de la atmósfera diferente a la presentada el día en que es alimentada con "*Tenebrio molitor*", que aun no esta definida, y se asocia con el proceso de fotosíntesis, respiración y transpiración de la planta carnívora "*Nepenthes alata*", por lo anterior se recomienda la prolongación del análisis experimental, hasta que la planta carnívora estabilice nuevamente

funcionamiento biológico y fisiológico, es decir, logre su equilibrio homeostático.

5.3.CONCLUSIÓN

El nuevo método inductivo y transversal propuesto, permitió llevar acabo la determinación de la relación funcional entre la alimentación y el [%] CO₂ sintetizado, por lo tanto, eliminado en la atmosfera interna del sistema invernadero, en el metabolismo de “*Tenebrio molitor*”, el cual posee un valor nutrimental de 50,10 % en base al contenido de proteína, por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, de acuerdo a los resultados obtenidos (GRÁFICA 4.2.0.3), la conductancia (Ω^{-1}) de la tierra, asociada de forma indirecta con la absorción de agua, por lo pelos radicales de la raíz de la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, la cual se requiere para llevar acabo el proceso fotosintético ($6\text{ CO}_2 + 6\text{ H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{ O}_2$), es inversamente proporcional al [%] CO₂ ($\lambda_{\text{Máxima}}=4.26\text{ }\mu\text{n}$), eliminado, el cual, es se sintetiza al igual que la energía libre (NADPH y ATP) en el Ciclo de Krebs, en la etapa catabólica, de proceso metabólico (CO₂ y CH₄), que se lleva acabo en la mitocondria de la célula vegetal. El CO₂ al ingresar al interior del estoma de la hoja, se libera una molécula de vapor de H₂O por intercambio gaseoso, en el proceso de transpiración, logrando el cumplimiento del objetivo planteado en la presente tesis. La planta carnívora “*Nepenthes alata*” se alimentó con “*Tenebrio molitor*” a las 12:00 p.m., en base al valores de conductancia (Ω^{-1}) respecto [%] CO₂, para el valor del punto de análisis máximo (76.46 [%] CO₂ , 0.04 Ω^{-1}) a la 1:00 p.m., nos permite determinar que el proceso metabólico en su etapa de catabolismo o

degradación , después de una hora de su alimentación, inicia la eliminación de CO_2 , por lo tanto, la variación del [%] CO_2 , en la atmósfera interna del sistema invernadero, mientras que el valor del punto de análisis mínimo (78.31 [%] CO_2 , $0.02 \Omega^{-1}$) a las 8:00 p.m., indicó que el proceso metabólico ha finalizado, y de manera indirecta , la síntesis de energía libre (NADPH y ATP) alcanzó un equilibrio homeostático. En base a lo anterior, el intervalo lineal respecto al tiempo, en el proceso metabólico de “*Tenebrio molitor*” , llevado a cabo por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, es de 8 horas (1:00 p.m. - 8:00 p.m.), presentando un límite de detección (76.46 [%] CO_2 , $0.04 \Omega^{-1}$) y de cuantificación (78.31 [%] CO_2 , $0.02 \Omega^{-1}$), además la ecuación de la recta (GRÁFICA 4.2.0.3), donde el coeficiente de correlación lineal $r = 0.95608577$, indica que en este intervalo lineal existe buena relación lineal entre la conductancia (Ω^{-1}) y el [%] CO_2 . El cambio de temperatura_{IN} presenta un efecto oscilatorio determinado (GRÁFICA 4.2.1.1), de tipo sinusoidal, caracterizada por la ecuación [Ec.(4.2.1.1)] y su variación respecto al tiempo [Ec.(4.2.1.2)], la cual determina el efecto invernadero, generado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*”, en el proceso metabólico (Ciclo de Krebs: $\text{Acetil} - \text{CoA} + 3\text{NAD} + \text{FAD} + \text{GDP} + \text{Pi} \rightarrow \text{CoA} - \text{AS} + 3\text{NADH} + \text{FADH}_2 + \text{GTP} + 2\text{CO}_2$), de “*Tenebrio molitor*”, durante un periodo de 24 horas. El análisis de varianza del logaritmo de la humedad [%]_{IN} respecto al logaritmo de la humedad [%]_{OUT} (TABLA 4.3.3.1) del invernadero, el cual es mantenido como sistema aislado por la planta carnívora “*Nepenthes alata*” a través del intercambio gaseoso (CO_2 , O_2 , CH_4 y Vapor de H_2O) con la atmósfera interna con el propósito de

mantener una humedad relativa de 80 % - 90 % y una temperatura de 25 °C – 30 °C que requiere para su supervivencia, crecimiento y desarrollo, y la prueba de error normalizado [Ec.(2)], nos permiten corroborar la existencia de una variación significativa de la humedad [%]_{IN} (TABLA 4.2.4.1) y temperatura_{IN} (TABLA 4.2.4.2), por lo tanto, se cumple el planteamiento de nuestra hipótesis: La planta carnívora “*Nepenthes alata*” una vez alimentada, incrementa su actividad fisiológica y metabólica modificando ligeramente su ecosistema (efecto invernadero), la cual, es aceptada.

REFERENCIAS

1. Elda Beltràn Peña, J.L.B., ed. *Fronteras en la Biología del Desarrollo de las Plantas*. 2010: Instituto de Investigaciones de Química Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 141.
2. Segura, A.d.C. *Estrés Nutricional de las Plantas*. 2009 [cited 2012 22 de Marzo]; Fisiología Vegetal Ambiental]. Available from: http://rodas.us.es/items/964677bf-80be-9135-8064-2ec958533780/1/estes_nutricional_texto_SCORM.zip/files/estres_nutricional_texto.pdf.
3. Hamada*§, N.H.a.T., *Proteome Analysis of Pitcher Fluid of the Carnivorous Plant Nepenthes alata*, in *Journal Of Proteome*. 2008. p. 809-816.
4. Ramírez, H., *Genetic Transformation of plants for Resistance to Insects*, in *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 2003. p. 58-61.
5. Gene Mascoli, D.G. *Man- Eating Plants*. 2002-2012 [cited 2011 15 de Octubre]; SciencelQ.com]. Available from: <http://www.scienceiq.com/facts/ManEatingPlants.cfm>.
6. Alcalá, R.E. *Darwin, los Pinzones y las Plantas Carnívoras*. 2011 [cited 2011 5 de Diciembre]; Narraciones de la Ciencia]. Available from: dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=3636165.
7. Chung-Il Una , F.E.-I.y.A.K., *Aspartic proteinases are expressed in pitchers of the carnivorous plant Nepenthes alata Blanco*, in *Planta*. 2002. p. 661-667.
8. Donald Voet, J.G.V., *Bioquímica*, M. Panamericana, Editor. 2006. p. 1756.
9. TJ Blom, W.S., FJ Ingratta. *Dióxido de Carbono en Invernaderos*. 2002 [cited 2011 5 de Noviembre]; Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs]. Available from: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/00-077.htm>.
10. Bailey, R. *Photosynthesis*. [cited 2011 10 de Septiembre]; About.com.Biología]. Available from: <http://biology.about.com/od/plantbiology/a/aa050605a.htm>.
11. Vanderzanden, A.M. *Environmental Factors Affecting Growth*. [cited 2011 16 de Noviembre]; Plant Growth and Development-Photosynthesis,Respiration,Transpiration]. Available from: http://extension.oregonstate.edu/mg/botany/env_factors.html.
12. José Luis González Rebollar, A.C.S., *C4 y CAM: Características Generales y uso en Programas de Desarrollo de Tierras Áridas y Semiáridas*, in *Las Especies C4 y el Estrés Ambiental* 2010. p. 200.
13. *Los Precursores de la ecología* [cited 2011 10 de Agosto]; monografias.com]. Available from: <http://www.monografias.com/trabajos7/ecol/ecol.shtml>.
14. *Fisiología Vegetal* 2005 [cited 2012 8 de Enero]; www.elergonomista.com]. Available from: <http://www.elergonomista.com/fisiologiavegetal/estres.htm>.
15. Hochmuth, G., *General Aspects of Plant Growth*, in *Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook*. 2008: University of Florida. p. 1-3.
16. M. Basurto Sotelo. A. Nùñez Barrios, R.P.L.R., O. A. Hernández Rodríguez (2008) *Fisiología del Estrés Ambiental Plantas*. 5.
17. Córdoba, A. *El Mg en la Clorofila*. [cited 2011 13 de Agosto]; Science Rocks]. Available from: <http://mgenlaclorofila.blogspot.mx/2011/06/el-mg-en-la-clorofila.html>.
18. *FOTOSÍNTESIS*. [cited 2012 8 de Enero]; Available from: <http://www.google.com.mx/imgres?q=fotosistemas+de+la+fotosintesis&um=1&hl=es&bi>

- w=1280&bih=677&tbm=isch&tbnid=x6mKmBIEEnBPM:&imgrefurl=http://ecociencia.fateback.com/articulos/fotosintesis.htm&docid=Z6-zHDP7TMqggM&imgurl=http://ecociencia.fateback.com/articulos/fotlumi1.gif&w=472&h=315&ei=S8WYT7-hFsm42wWwo5y.
19. Cerón, H.G. *Temas selectos de Biología*. 2010 [cited 2012 10 de Abril]; FOTOSÍNTESIS]. Available from: http://www.google.com.mx/imgres?q=cloroplastos&um=1&hl=es&biw=1280&bih=677&tbm=isch&tbnid=P8sE1vsBhqZHuM:&imgrefurl=http://tsbbenitobios.blogspot.com/2010_09_01_archive.html&docid=d5KPv.
 20. *Biología-Metabolismo*. 2007 [cited 2012 5 de Abril]; FISICANET]. Available from: http://www.fisicanet.com.ar/biologia/metabolismo/ap19_las_membranas_fotosinteticas.php.
 21. LA FOTOSÍNTESIS. 1999-2012 [cited 2011 11 de Abril]; www.botanical-online.com]. Available from: <http://www.botanical-online.com/fotosintesis.htm>.
 22. Jeremy Mark Berg, L.S., John L. Tymoczko, *Bioquímica*, Reverte, Editor. 2008. p. 1026.
 23. J. Monza, S.S., O. Borsani y M. Sainz. FOTOSÍNTESIS. [cited 2012 2 de Marzo]; FOTOSÍNTESIS]. Available from: <http://www.fagro.edu.uy/~bioquimica/docencia/material%20nivelacion/FOTOS%CDNTESI.S.pdf>.
 24. Rivera, J.M.T., *Fundamentos de Bioquímica Metabólica*, E. Tebar, Editor. 2006. p. 422.
 25. Müller-Esterl, W., *Bioquímica. Fundamentos para Medicina y Ciencias de la Vida*, Reverte, Editor. 2009. p. 657.
 26. Netto, D.V. *BIOLOGÍA- METABOLISMO*. [cited 2012 15 de Febrero]; FISICANET]. Available from: http://www.fisicanet.com.ar/biologia/metabolismo/ap08_respiracion.php.
 27. Abate, J.d., *Biología Aplicada*, EUNED, Editor.
 28. Sarah Benyon, J.O.N.R., *Lo Escencial en el Metabolismo y Nutrición*, E. España, Editor. 2003. p. 263.
 29. Destylou, L. *Cephalotus Follicularis-Planta Carnívora*. 2010 [cited 2012 13 de Abril]; Destylou-Rarezas]. Available from: http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_BQE8864mcS0/TSm86jB4Fcl/AAAAAAAAAKAs/y82CN2yriVg/s1600/cephalotus-follicularis2.jpg&imgrefurl=http://destylou-rarezas.blogspot.com/2011/01/ce.
 30. *Droseraceae*. [cited 2012 18 de Abril]; Diversidad Vegetal-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura(UNNE)]. Available from: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/diversidadv/documentos/ANGIOSPERMAS/Core%20Eudicotiled%F3neas%20Basales/Droseraceae.pdf>.
 31. *Dionaea muscipula "Venus Atrapamoscas"*. [cited 2012 6 de Mayo]; CARNIPLANET]. Available from: <http://carniplanet.foroactivo.com/t15-ficha-dionaea-muscipula-venus-atrapamoscas>.
 32. *Lentibulariaceae*. [cited 2012 15 de Enero]; Diversidad Vegetal- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE) CORE EUDICOTILEDÓNEAS- Asterídeas-Euasterídeas I: Lamiales: Lentibulariaceae]. Available from: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/diversidadv/documentos/ANGIOSPERMAS/Asterideas/Euasterideas%20I%20Lamiideas/Lamiales/8-Lentibulareaceae.pdf>.

33. G., M.O., *El Género Utricularia (Lentibulariaceae) en México*, in *Botánica*. 1996. p. 347-384.
34. *Grasilla-Pinguicula mundi*. [cited 2012 8 de Mayo]; ADENE ENDEFENSA DE LA NATURALEZA]. Available from: <http://www.adene.es/grupos/flora/Fichas/tabid/634/xmmid/1602/xmid/514/xmview/2/Default.aspx>.
35. Lombeida, D. *Plantas Carnívoras Atracción Fatal*. 2009 [cited 2012 27 de Marzo]; Una Mirada Diferente al Ecuador]. Available from: http://www.terraecuador.net/revista_57/57_carnivoras.html.
36. *Sarraceniaceae*. [cited 2012 24 de Abril]; Guí de Consultas Botánica II. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE) DILLENIDAE-Sarraceniaceae]. Available from: <http://www.biologia.edu.ar/diversidadv/fascIII/14.%20Sarraceniaceae.pdf>.
37. *Cobra Lily (Plant: Darlingtonia Californica)*. [cited 2012 3 de Mayo]; SEEDS PLANTS.NET]. Available from: <http://seeds-plants.net/carnivorous/301-cobra-lily-plant-darlingtonia-californica-12-seeds.html>.
38. Ibáñez, V. *El Gusano del Harina - Tenebrio molitor* 2007-2009 [cited 2012 10 de Febrero]; www.diamantemandarín.es]. Available from: http://www.diamantemandarín.org/Alimentacion/Insectos/Tenebrios/Gusano_Harina.htm.
39. Jiménez Aguirre Cesar Eduardo, M.R.V., Jiménez Aguirre Héctor Daniel, Santos Montesinos Suzana Soledad. *El Tenebrio molitor UNA OPCIÓN A LA DEMANDA DE ALIMENTO A NIVEL MUNDIAL*. 2011 [cited 2012 8 de Mayo]; Revista Latinoamericana de Química (Suplemento Alimenticio)]. Available from: <http://www.relaquim.com/archive/2010/MemoriasMorelia.pdf>.
40. M., J.R.E.J.M.P., *Contenido de Vitaminas de algunos insectos comestibles de México*. Journal of the Mexican Chemical Society, 2001. **45**: p. 66-76.
41. *"Tenebrio molitor"*. [cited 2012 17 de Abril]; Jarmo Holopainen]. Available from: <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://i.pbbase.com/u38/holopain/large/32057744.Tenebriomolitor.jpg&imgrefurl=http://www.pbbase.com/image/32057744&h=499&w=800&sz=39&tbnid=QKSFo2VXV>.
42. Gloria A Casas, D.R., Afanador Tèllez, *Propiedades Matemáticas del Modelo Gompertz y su Aplicación al Crecimiento de los Cerdos*, in *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2010.
43. García, G. *Benjamin Gompertz*. 2009 [cited 2011 3 de Septiembre]; Estadística Actuarial]. Available from: <http://estadisticaactuarial.wetpaint.com/page/Benjamin+Gompertz>.
44. José Manuel López Cruz, G.B.G., *Modelo Depredador - Presa*, in *Revista de Ciencias Básicas UJAT*. 2008. p. 25-34.
45. Gabino Estevez Delgado¹, J.E.D., Victor Manuel Yépez García³, Federico Gonzáles Santoyo⁴, *Regiones de Equilibrio en Economía Dinámica.*, in *Modelos y Estrategias para el Desarrollo*. 2007: ¹Escuela de Químico Farmacobiología de la UMSNH, ²Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la UMSNH, ³Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica del ITM. ⁴CIDEM-UMSNH. p. 78-84.
46. *Principios de la Detección de un Gas*. [cited 2012 14 de Abril]; Honeywell.com]. Available from: <http://www.honeywellanalytics.com/es-ES/gasdetection/GasPrinciples/Paginas/default.aspx#detector>.

47. Juan A. Guardado Pérez, F.E.M.T., *GUÍA EURACHEM*. Segunda Edición ed. 2005, Los Cués, Qro, México. 67.
48. Castro, D. *Planta Carnívora Captura su Presa Bajo el Suelo*. 2012 [cited 2012 12 de Marzo]; Ciencias.pe]. Available from: <http://ciencias.pe/planta-carnivora-captura-nematodos>.
49. Hirtz, B. "*Nepenthes Rajah*". 2012 [cited 2012 8 de Enero]; ZonaCatastrofica.com]. Available from: <http://www.zonacatastrofica.com/una-planta-que-come-excremento.html>.
50. *Pitcher Plant (Nepenthes rajah)*. [cited 2012 8 de Mayo]; ARKIVE IMAGES OF LIFE ON EARTH]. Available from: <http://www.arkive.org/pitcher-plant/nepenthes-rajah/>.
51. Keim, B. *Carnivorous Plants Are DIY Ecosystem Monitors*. 2009 [cited 2012 15 de Diciembre]; WIRED SCIENCE]. Available from: <http://www.wired.com/wiredscience/2009/08/pitcherplantsensor/#more-8851>.
52. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. 2010 [cited 2012 3 de Enero]; Justia México]. Available from: <http://mexico.justia.com/federales/leyes/ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente/titulo-segundo/capitulo-iii/>.
53. *Reglamento de la Ley de Sanidad Fitopecuaria de los Estados Unidos Mexicanos en Materia de Sanidad Vegetal*. [cited 2012 3 de Febrero]; Available from: http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/PublishingImages/PDF/INF_DE_SECTOR/marco_juridico/reglamentos/10_reg20de20la20Ley20de20Sand20Fitopecuaria.pdf?Mobile=1&Source=%2Fquien.
54. *PROFEPA, MÉXICO*. 2010 [cited 2012 10 de Abril]; SEMARNAT]. Available from: <http://www.profepa.gob.mx/>.
55. ^aGabino Estevez Delgado, ^aMaría de Jesús Juárez Ayala, ^bJoaquín Estevez Delgado., *Análisis y Caracterización del Comportamiento Metabólico Mediante el Error Normalizado para la Planta Carnívora "Nepenthes alata"*. in *Memorias de la Participación de la Mujer en la Ciencia*. 2012, Centro de Investigaciones en Óptica, ISBN:978-607-95228-3-4.; ^aFacultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ^bFacultad de Ciencias Físico Matemáticas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, e-mail:gestevez.ge@gmail.com. p. 1-4.
56. *Calibración y Límite de Detección en Técnicas Instrumentales*. [cited 2012 30 de Mayo]; Calibración]. Available from: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/ai/laboratorio/calibracion.pdf>.
57. ^aGabino Estevez Delgado, ^aMaría de Jesús Juárez Ayala, ^bJoaquín Estevez Delgado., *Modelos del Comportamiento Fotosintético y Metabólico de "Nepenthes alata" en Períodos Críticos*. in *Memorias de la Participación de la Mujer en la Ciencia*. 2012, Centro de Investigaciones en Óptica, ISBN:978-607-95228-3-4.; ^aFacultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. ^bFacultad de Ciencias Físico Matemáticas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, e-mail:gestevez.ge@gmail.com. p. 1-5.
58. Guadalupe Ruiz-Vega, G.E.-D., *Non-Linearity Modeling of Ultra-dilutions: The Histamine Disturbances Case, in Signals and Images*. 2008: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México. p. 67-76.