



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

**EFFECTO DE ORIENTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDOS
ORGÁNICOS Y PRODUCCIÓN DE FRUTOS EN
Neobuxbaumia mezcalensis (Bravo) Backeb. EN EL
MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO HUEHUETLÁN EL
GRANDE, PUEBLA**

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA. EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

HILDA VILLEGAS MERINO

DIRECTOR:

DR. DAVID MARTÍNEZ MORENO



H. PUEBLA DE Z., NOVIEMBRE DE 2015

AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por dejarme ser parte de esta honorable institución.

A la Escuela de Biología, por apoyarme en el proceso de consolidación de la licenciatura.

Al Dr. David Martínez Moreno por permitirme trabajar con él y consolidar este trabajo.

Al municipio de Santo Domingo Huehuetlán el Grande por permitirme trabajar dentro de la comunidad.

Este trabajo se realizó gracias a la ayuda de muchas personas, exhorto a todas aquellas a sentirse parte de ese trabajo aunque no lean su nombre en él. Principalmente a mi madre por ser mi mayor impulso.

DEDICATORIA

A mi madre Margarita Merino León por no dejarme caer en este proceso, quien uso las palabras adecuadas para apoyarme en los tiempos difíciles, y ser mi fuerza para seguir adelante.

A todos esos miembros de mi familia que me apoyaron desde el inicio de mis estudios, y que no permitieron que desertara de mis sueños, quienes me apoyaron moral y económicamente.

A mis grandes amigas que eh conocido durante mis estudios dentro y fuera de la escuela quienes han sido más que amigas, familia que me han acompañado con su apoyo tanto físico como emocional.

A todas esas personas que eh conocido que me han dado un consejo para seguir adelante y que me han dado una lección de vida.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS.	6
ÍNDICE DE FIGURAS.	7
RESUMEN.	9
ABSTRACT.	10
I. INTRODUCCIÓN.	11
II. ANTECEDENTES.	12
2.1. Características de las zonas áridas.	12
2.2. Suelos en zonas áridas	13
2.3. Resistencia de las plantas a la sequía.	13
2.4. Metabolismo fotosintético MAC.	14
2.5. Radiación Fotosintéticamente Activa.	16
2.6. Temperatura.	17
2.7. Relaciones hídricas	18
2.8. Orientación.	19
2.9. Relación fuente-demanda.	20
III. JUSTIFICACIÓN.	24
IV. OBJETIVO.	24
4.1. Objetivo general.	24

4.2. Objetivos particulares.	24
IV. MATERIAL Y MÉTODOS.	25
5.1. Especie de estudio.	25
5.2. Sitio de estudio.	25
5.3. Parámetros ambientales.	30
5.3.1. Temperatura.	30
5.3.2. Precipitación pluvial.	31
5.4. Parámetros fisiológicos.	31
5.4.1. Titulación de ácidos orgánicos.	31
5.5. Diseño del muestreo.	33
5.6. Cuantificación de frutos.	34
5.7. Análisis estadísticos.	35
VI. RESULTADOS.	35
VII. DISCUSIÓN.	46
VIII. CONCLUSIONES.	49
IX. BIBLIOGRAFÍA.	50

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de mayo, antes de la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	38
Tabla 2. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de junio, durante la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	40
Tabla 3. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de julio, después de la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	41
Tabla 4. Número de frutos por orientación en plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) en Santo Domingo Huehuetlán el Grande, Puebla.	42

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Organismo de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> en la zona de estudio.	27
Figura 2. Localización del área de estudio en el municipio de Huehuetlán el Grande, Puebla, México (Enciclopedia de los municipios de México, 1999).	28
Figura 3. Selva tropical época de secas(A), Selva tropical época de lluvias (B) en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán el Grande.	29
Figura 4. Termómetro (marca Taylor rango de 0-100 °C) colocado en la zona de estudio para la toma de temperatura de las 8:00-18:00 horas.	30
Figura 5. Toma de la muestra de tejido (A), Peso de Tejido (B) e introducción del tejido en frascos color ámbar para su traslado al laboratorio (C).	32
Figura 6. Cuantificación de ácidos orgánicos en el laboratorio de micología y fisiología vegetal de la escuela de Biología.	33
Figura 7. Elección de la especie en la zona de estudio <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> en la zona de estudio.	34
Figura 8. Observación de frutos en <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> .	35
Figura 9. Registro de la temperatura cada dos horas en el sitio de estudio durante el día de muestreo en los meses de mayo,	

	junio y julio del 2013.	36
Figura 10.	Cuantificación de ácidos orgánicos durante el mes de mayo, antes de la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	37
Figura 11.	Cuantificación de ácidos orgánicos durante el mes de junio, durante la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	38
Figura 12.	Cuantificación de ácidos orgánicos durante el mes de julio, después de la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	39
Figura 13.	Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de mayo, antes de la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	40
Figura 14.	Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de junio, durante la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	42
Figura 15.	Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de julio, después de la fructificación de las plantas de <i>Neobuxbaumia mezcalensis</i> (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.	44

RESUMEN.

El objetivo del presente estudio fue registrar el efecto de la orientación en la producción de acidez titulable y la producción de frutos de plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* antes, durante y después de la producción de estructuras reproductivas. Se utilizó la técnica modificada de Szarek y Ting (1975), para la titulación de ácidos orgánicos. El método anterior se empleó en los tres muestreos que se realizaron, el primero se realizó antes de la fructificación en el mes de mayo, un segundo muestreo se hizo en el mes de junio, durante la fructificación y el tercero en el mes de julio que fue posterior a la fructificación. Se eligieron diez plantas de las cuales se tomaban 5 gr de tejido, cada dos horas comenzando a las 8:00 horas y terminando a las 18:00 horas. Tomando datos de la orientación (Norte, Sur, Este, Oeste). Las muestras fueron tomadas a una altura del pecho. Para comprobar si existe una correlación entre la producción de ácidos orgánicos por orientación, se aplicó la prueba de correlación de Pearson. Los resultados muestran que antes de la fructificación, la producción de ácidos orgánicos fue baja mostrando que no hubo diferencias significativas entre las distintas orientaciones. Durante la fructificación no se encontraron diferencias en lo referente al contenido de ácidos orgánicos. Después de la fructificación la producción de ácidos se mantiene igual que en el mes de junio, sin presentarse diferencias significativas. En cuanto al análisis de correlación de Pearson, este mostró que no existen diferencias significativas entre las distintas orientaciones con respecto a la producción de ácidos orgánicos antes de la fructificación, durante la fructificación y después de la fructificación.

ABSTRACT.

The objective of this study was to record the effect of the orientation in the production of acidity and fruit production plants *Neobuxbaumia mezcalensis* before, during and after production of reproductive structures. The modified technique Szarek and Ting (1975) was used for certification of organic acids. The above method was used in the three surveys that were conducted, the first was performed before fruiting in May, a second sampling was done in June, which was in the month of fruiting and third in the July was after fruiting. Ten plants which were taking 5 grams of tissue were chosen, the samples were made every two hours starting at 8:00 am and ending at 18:00. This study took into account the orientation (North, South, East, West), for determining the orientation of a compass used Bronton brand. Samples were taken at breast height. And to see if there is a correlation between a production of organic acids by orientation, Pearson correlation test was applied. The results show that before fruiting, the production of organic acids was low showing that there was no significant difference between the different orientations. During the fruiting no differences with regard to the content of organic acids were found. After fruiting acid production remains the same as in June, without significant differences. As for the Pearson correlation analysis, this showed no significant differences between the various orientations with respect to the production of organic acids before fruiting, fruiting during and after fruiting.

I. INTRODUCCIÓN.

México presenta un territorio de 1, 972, 544 km² y es el decimocuarto país más grande del mundo y ocupa el cuarto lugar en biodiversidad. La abundancia de especies se debe a la gradación de climas que abarcan un Reino Neártico en el Norte y uno Neotropical en el Sur, de esta manera México alberga unas 30 000 especies de plantas, de las cuales 21 600 son plantas fanerógamas y entre el 50-60% son endémicas del país, las coníferas están presentes con más de 150 especies y 49 especies de pinos que representan el 50% del total mundial, se tienen además de 900-1000 especies de helechos y más de 2300 especies de briofitas y alrededor de 23791 especies de angiospermas. También se presenta un alto grado de endemismo que se manifiesta más conspicuamente en la flora de matorrales xerófilos y de pastizales (Rzedowski, 1998).

El elemento más notable en el matorral xerófilo son las cactáceas nativas del Continente Americano (Bravo Hollis, 1978), en México se reportan 63 géneros con 669 especies de las cuales 518 especies son endémicas del país (Guzmán *et al.*, 2003). Las cactáceas han desarrollado estructuras morfofisiológicas que les han permitido habitar en ambientes extremos (Nobel, 1998), dichas estructuras incluyen tallo suculento, espinas, pubescencia apical y/o lateral, costillas y tubérculos, tejido esponjoso, estomas hundidos, ceras (Bravo-Hollis, 1978). También responden a la orientación e inclinación de los órganos vegetativos y reproductivos (Ehleringer *et al.*, 1980; Tinoco-Ojanguren y Molina-Freaner, 2000). Es por ello, que el presente estudio está enmarcado en el efecto de la orientación en la producción de ácidos orgánicos y la producción de frutos en plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb.

II. ANTECEDENTES.

2.1. Características de las zonas áridas.

El límite entre lo árido y no árido es convencional y puede variar según el criterio de cada investigador que establezca el límite, también los límites establecidos pueden ser precisos, puesto que, generalmente existen zonas de transición donde resulta difícil decidir si determinados lugares son áridos o no. De esta manera la definición de aridez está en función de la cantidad de precipitación, temperatura y, para algunos también la evapotranspiración. Así se tiene que, son tres los criterios que se aplican para definir y delimitar las zonas áridas: el climatológico, que toma en cuenta la cantidad y distribución de la precipitación pluvial y sus relaciones con la temperatura; el hidrológico, que considera la disponibilidad de agua con miras a su utilización, analizando no solamente los factores anteriores, sino también los orográficos y edáficos, que pueden afectar más o menos profundamente el panorama respectivo; y el ecológico, que usa como criterio para la delimitación de las zonas las características de su vegetación (Beltrán,1964). Mientras que García (2004) menciona que la aridez está en función de la cantidad media anual de lluvia en mm/la temperatura media anual en °C. Aunque Glantz (1977) afirma que las condiciones desérticas en áreas semiáridas y áridas con una precipitación de 600 mm son debidas a la influencia humana y a los cambios climatológicos.

Por último, la Comisión Nacional de Zonas áridas, define como zonas áridas aquellas superficies del territorio nacional en donde las precipitaciones son del orden de 250 mm anuales o menos, y como zonas semiáridas a aquellas en donde la precipitación oscila entre más de 250 y menos de 500 mm. En México las zonas áridas deben su existencia a la corriente marina fría de California, al efecto de sombra orográfica que ejerce la Sierra Madre Oriental y parte del Eje Volcánico Transversal, a la localización de parte del territorio nacional en la faja de altas presiones y aires descendentes, situada en el hemisferio boreal entre los 20° y 40° (González, 2012).

2.2. Suelos en zonas áridas.

Los suelos en zonas áridas se presentan en planicies o en superficies de escasa pendiente, están poco desarrollados y son muy someros, sobre todo en laderas pedregosas o de fuerte pendiente. En ellos la cantidad de agua acumulada determina la disponibilidad de agua para las plantas, y esta cantidad de agua depende a su vez, de la cantidad de humedad derivada de la precipitación, de la pérdida de la evaporación o por evapotranspiración, y de la profundidad de percolación. En las regiones áridas por lo general sólo la parte superficial del suelo está humedecida y la profundidad de penetración depende de la textura y la capacidad de campo del suelo. Así tenemos que, los suelos arcillosos tienen baja percolación, los rocosos, alta y los de textura arenosa son intermedios. Pero muchos suelos de estas zonas son ricos en microorganismos como *Azotobacter* (bacteria fijadora de nitrógeno). De manera general en las zonas áridas y semiáridas de México los suelos suelen agruparse como litosoles en fases petrocálcicas, yermosoles, xerosoles y solonchac (González, 2012).

2.3. Resistencia de las plantas a la sequía.

Como se mencionó anteriormente el elemento más notable en el matorral xerófilo característico de zonas áridas y semiáridas son las cactáceas, éstas presentan resistencia a la sequía (la cual se define como “el grado al cual una planta puede tolerar el déficit de lluvia”), esta resistencia se debe a las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que adquirieron a lo largo de su evolución para poder enfrentar eficientemente la aridez, González (2012) menciona que entre las características morfológicas se encuentran las siguientes:

- Gran desarrollo radicular.
- Cutícula gruesa, con frecuencia impregnada de ceras.
- Desarrollo de tomento.
- Estomas hundidos y situados en depresiones, surcos, etc.
- Tejido esponjoso para el almacenamiento de agua.

- Reducción en el tamaño de células.
- Ausencia de hojas asociado a la presencia de espinas.

Mientras que en las características fisiológicas son:

- Capacidad para absorber agua rápidamente, propiedad ligada a la presión osmótica elevada y a un sistema de conducción muy eficiente.
- Protoplasma muy eficiente para subsistir en estado de anhidrobiosis, con capacidad de recuperarse cuando la humedad vuelve.
- Reducción del periodo vegetativo muy corto.
- Capacidad de regulación de la transpiración a través de un mecanismo eficiente de cierre de estomas.
- Una combinación de las distintas vías fotosintéticas C₃ (día) y MAC (noche).

2.4. Metabolismo fotosintético MAC.

Durante el proceso de fotosíntesis las plantas enfrentan el problema de perder agua por medio de los estomas para poder fijar bióxido de carbono (CO₂), este problema se incrementa en regiones áridas en las que la disponibilidad de agua es muy baja y los valores de evaporación son elevados (González, 2012), por ello, las plantas como las cactáceas han desarrollado un mecanismo fisiológico el cual es llamado Metabolismo Ácido Crasuláceo (MAC), que se caracteriza por la fijación de CO₂ durante la noche, mediante la carboxilación del FosfoenolPiruvato (PEP) para formar malato y la descarboxilación durante el día para producir CO₂, el cual se fija por el ciclo C₃. La fuente del PEP en la noche es el almidón; este se forma durante el día, así que el contenido de almidón tiende a ser recíproca de la acidez en plantas MAC. Esto permite que en dichas plantas los estomas permanezcan cerrados durante el día con el fin de conservar el agua (Lira, 2007).

Las primeras observaciones científicas del intercambio de gas y acidez fueron conocidas a finales de 1800 y principios de 1900 siendo una gran variedad de plantas suculentas descritas como una demostración de síntesis de ácido nocturno acoplado al catabolismo del ácido diurno, en 1886 Warburg consideró los ácidos

orgánicos como productos del metabolismo de carbohidratos los cuales posiblemente sirven como origen del carbón, sustituido por el CO_2 a pesar del intercambio de gas restringido en plantas MAC, en 1885 DeVries consideró los ácidos orgánicos como una adaptación de suelos calcáreos, el limo en el cual las plantas MAC neutralizan estos ácidos, en 1892 Aubert, sugirió que la alta concentración de ácido previene la pérdida de agua transpiracional (Martínez, 1987). En la actualidad se conoce bien la ruta fotosintética MAC (Taíz y Zeiger, 2006; Ascón-Bieto y Talón, 2008). De esta manera, Cushman, (2001) y Dodd *et al.* (2002) mencionan que la asimilación de carbono en plantas MAC puede ser separada en cuatro fases:

Fase I. Ocurre fijación de CO_2 durante la noche para producir ácido málico que se acumula en la vacuola.

Fase II. Ocurre al amanecer y presenta una transición de la carboxilación de PEPc a Rubisco.

Fase III. Los estomas se cierran durante el día y el ácido málico acumulado sale de la vacuola, es descarboxilado e incrementa los niveles intercelulares de CO_2 , el cual es refijado por la Rubisco.

Fase IV. Empieza al final de la tarde y se inicia la activación de la Fosfoenol Piruvato Carboxilasa (PEPc).

Las fases anteriores demuestran como las plantas con fisiología MAC resuelven el problema de la fijación primaria de CO_2 por la vía de la PEPc cuando los estomas están abiertos en la noche, y por la luz induciendo a la reducción de carbono endógeno suministrado por la descarboxilación del malato después de cerrar los estomas durante el día.

Este tipo de comportamiento fisiológico no deja duda alguna de como este tipo de especies logran adquirir la energía necesaria para llevar a cabo sus procesos vitales. Osmond (1978) y Acevedo *et al.* (1983) reportaron que la respuesta estomática en plantas con MAC se debe principalmente al potencial de agua en la

planta, ya que este factor controla la apertura de estomas, presentándose el movimiento estomatal en respuesta a los cambios de estabilidad del agua en la planta, concentración de CO₂ interno, humedad ambiental, intensidad de luz y temperatura, los cuales pueden afectar el suministro de CO₂ externo para ser asimilado por el tejido.

Ya que la mayoría de las especies con MAC se encuentran en las regiones áridas y semiáridas, con climas mediterráneos o hábitat con lluvias intermitentes o cerca de los trópicos (Cushman, 2001). Nobel (1998) menciona que son tres los factores ambientales importantes para la toma diaria neta de CO₂ siendo: 1) Contenido de agua del suelo; 2) Temperatura; 3) Luz, pero cuando el agua no es un factor importante, la apertura estomática por la mañana y tarde puede conducir a una toma mayor de CO₂ de las plantas MAC durante las 24 horas. Debido a ello, la mayoría de estudios en plantas con este tipo de fisiología se encuentran relacionados con los factores ambientales.

2.5. Radiación Fotosintéticamente Activa.

La luz sobre una superficie por unidad de tiempo se denomina Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR, por sus siglas en inglés) y más recientemente Densidad de Flujo Fotónico (DFF), este último concepto considera la naturaleza de la clorofila, ya que esta absorbe intensamente la luz azul y roja, reflejando la longitud que corresponde al color verde (Salisbury y Ross, 1992; Nobel, 1998). Ehleringer *et al.* (1980) mencionan que en especies de cactus la captación de CO₂ durante la noche diariamente es proporcional a la absorción de quantum diarios, pero además, el exceso de luz puede ser detrimental en el proceso de fotosíntesis para plantas de *Copiapoa* (Cactaceae) en el desierto de Acatama, Chile.

Algunos estudios afirman que el promedio de la PAR diaria es alrededor de 20 moles m⁻² d⁻¹ al año para superficies verticales no sombreadas en días claros a varias latitudes, pero con una PAR de 4 moles m⁻² d⁻¹ puede corresponder a una reducción del 80% de la PAR aproximadamente debido al sombreado, esto hace que el tejido tenga una baja compensación de luz y se afecte la captura de CO₂ en

la noche en plantas MAC (Nobel, 1980, 1981; Geller y Nobel, 1987). Mientras que Acevedo *et al.* (1983) encontraron que en *Opuntia ficus-indica* que en las superficies verticales sombreadas el promedio de la PAR es de 20 moles $m^{-2}d^{-1}$, mientras que la saturación al 90% de la PAR es de 27 moles $m^{-2}d^{-1}$, además concluyen que se necesitan de 20-25 moles $m^{-2}d^{-1}$ para la acumulación de acidez al 90% de saturación. Cabe mencionar que por cada molécula de CO_2 fijada por una planta MAC se produce una molécula de ácido málico y 2 iones de hidrógeno (Nobel, 1988).

Por otro lado, Nobel (1980) y Geller y Nobel (1987) coinciden en que en superficies horizontales (como las costillas de los cactus) presentan una máxima de PAR diaria a $34^\circ N$ de 66 moles m^{-2} , mientras que en superficies verticales es de 7-33 moles m^{-2} . Además sugieren que se debe considerar la altura de las plantas para la captación de la PAR cuando la asociación de los cactus con la vegetación a su alrededor presenta una altura igual o mayor, pues el sombreado puede interferir en la captación de la PAR. Concluyen que, la morfología puede llegar a afectar la intercepción y distribución de la PAR y la captación neta de CO_2 .

2.6. Temperatura.

La disminución de la transpiración en la noche refleja un decremento en la temperatura del tallo en agaves y cactus, esto es, a medida que disminuye la temperatura del tallo, se reduce la cantidad de vapor de agua por volumen de aire en los tallos, la cantidad se reduce a la mitad por cada $10^\circ C$ que disminuya la temperatura. Así, el decremento gradual en la temperatura del tallo durante la noche reduce la tendencia a que el vapor de agua se escape del tallo. En la madrugada, los estomas de las plantas MAC pueden estar abiertos de manera considerable y el nivel interno de CO_2 puede haberse reducido enormemente por la acción de la PEPcasa. Después el CO_2 se difunde a la atmósfera y en presencia de la luz se fija en la Rubisco conduciendo el pulso fotosintético C_3 , que se observa en muchos agaves y cactus. Debido a que la temperatura de los tallos todavía está más baja por la mañana, este pulso de fijación de CO_2 está acompañado por bajas tasas de transpiración, por lo tanto, la toma neta diaria

máxima de CO₂ ocurre a temperaturas ambientales diaria/nocturna de 25/15 °C, respectivamente (Nobel, 1998). Mientras, Acevedo *et al.* (1983) concluyeron que en *Opuntia ficus-indica* cuando la temperatura se incrementa en la noche de 5 °C a 18 °C se afecta la saturación máxima de luz al pasar de 27 a 20 mol m⁻²d⁻¹. Y Munguía-Rosas y Sosa (2010) encontraron que en plantas de *Pilocereus leucocephalus* la temperatura tiene que ver con la apertura de las flores.

Por otro lado Tinoco-Ojanguren y Molina-Freaner (2000) mencionan que las temperaturas del tallo en plantas de *Pachycereus pringlei* son similares a los cursos diarios de temperatura, mientras que las costillas del lado norte experimentan una baja temperatura y el tejido solo recibe 6.19 mol m⁻²d⁻¹ lo cual hace que permanezca cerrado como punto de compensación y las del lado este y oeste experimentan una alta temperatura durante la mañana y la tarde, respectivamente, registrándose temperaturas de 5-8 °C por arriba de la temperatura del aire, pero las que se ubican en la cara sur experimentan una alta temperatura durante la mayor parte de del día y reciben 38.15 mol m⁻²d⁻¹ lo que hace que el tejido reciba una mayor cantidad de luz con lo cual podría sobresaturarse. Ellos asumen que la intercepción de la Densidad de Flujo Fotónico influencia directamente la captación de CO₂ y la temperatura del tallo, que son los dos factores mayores y fundamentales en la orientación de las flores. Esta hipótesis indica que la inducción de la aréola depende de la acumulación de carbohidratos y temperatura óptima alrededor del tejido y que no hay translocación entre las costillas.

2.7. Relaciones hídricas.

La conservación del agua es una de las ventajas ecológicas potenciales más importante de los agaves y cactáceas. Los tallos acumulan grandes volúmenes de agua en relación a su superficie, además hay una relación directa entre las raíces a poca profundidad, esto es importante en época de lluvia, debido a que no se humedece el suelo a gran profundidad, de esta manera las raíces someras son óptimas para la captación de agua de lluvia, pero cuando se presenta la sequía en las zonas áridas y semiáridas existe un desprendimiento de las raíces laterales,

disminuyendo el área radical y evitando de esta manera la pérdida de agua, lo cual indica que la razón raíz-tallo (peso seco de raíces entre peso seco del tallo) es el más bajo lo cual indica que la planta asigna menos fotosintatos de la fuente hacia las raíces (Nobel, 1998).

La epidermis controla la pérdida de agua por los estomas (de 15-60 para cactáceas), a través de los cuales el vapor de agua y el CO₂ se pueden difundir con facilidad en las plantas con metabolismo MAC (Ting, 1985).

Hay suficientes evidencias que demuestran la importancia que juega el agua en el comportamiento del metabolismo MAC (Szarek y Ting, 1975; Osmond, 1978; Ting y Rayder, 1982; Martínez, 1987; Mandujano, 1988, 2002; Flores, 2006; Silva, 2013).

2.8. Orientación.

La orientación de estructuras vegetativas y reproductivas de plantas son de interés para muchos de los investigadores que se dedican al estudio del desarrollo y producción de frutos, de esta manera una gran variedad de estudios han relacionado la orientación de la superficie de las plantas para la intercepción de la luz, así tenemos que, la orientación de los cladodios de *platyopuntias* ha sido estudiado por Nobel (1980), Woodhouse *et al.* (1980), Acevedo *et al.* (1983), Nobel y Hartsock (1983), Geller y Nobel (1987), quienes registraron que la orientación de los cladodios terminales maximizan la intercepción de la PAR durante la estación de crecimiento. Pero en las plantas que presentan costillas Tinoco-Ojanguren y Molina-Freaner (2000) registraron para las plantas de *Pachycereus pringlei* que las costillas con orientación este interceptan más luz en la mañana, las del oeste en la tarde, las del norte reciben menos de 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y las del sur reciben la más alta intensidad de Densidad de Flujo Fotónico durante el día.

Dado que la PAR diaria varía constantemente en el campo debido a la trayectoria del sol, la luz puede ser una limitante en ciertas pendientes del lado Norte (Nobel y Hartsock, 1983). Pero Figueroa-Castro y Valverde (2011) encontraron que la

intercepción de la PAR en la cara Sur de los tallos de *Pachycereus weberi* puede estar asociada con una mayor disponibilidad de recursos para la reproducción en esta especie. Pero para *Pachycereus pringlei* se sugiere que la intercepción de la Densidad del Flujo Fotónico influencia directamente la captación de CO₂ y la temperatura del tallo llegando a ser estos dos factores fundamentales en la orientación de las flores (Tinoco-Ojanguren y Molina-Freaner, 2000).

Nobel (1981) menciona que la orientación incrementa la absorción de la PAR en la etapa favorable del año para el crecimiento de los cladodios de *Opuntia ficus-indica*. Pero la sombra por nubes, entre cladodios y por cladodios orientados en dirección no óptima, puede disminuir la acumulación de acidez nocturna, así como la productividad (Acevedo *et al.*, 1983). Mientras que Woodhoose *et al.* (1980) mencionan que la orientación de las hojas afecta la absorción de la PAR y por lo tanto a la fotosíntesis.

De esta manera la orientación de los cladodios de ciertas platyopuntias pueden ser importantes para maximizar la absorción de la PAR cuando la humedad del suelo es alta, también puede minimizar el calor durante el verano seco y caliente, ya que el total de radiación de onda corta es interceptada de la cara del cladodio de N-S cerca del solsticio de verano y menor comparado con la orientación E-W (Nobel, 1980), mientras que la orientación Norte en cactus del género *Copiapoa* minimizan la intercepción de luz y calor (Radiación solar) en ambos lados de estos cactus, sugiriendo un beneficio adaptativo para especies donde existe una falta de agua y altas temperaturas, así como, una alta radiación lo cual puede provocar una fotoinhibición (Woodhoose *et al.*, 1980).

Por otra lado, la orientación de ramas al sur en plantas de *Myrtillocactus geometrizans* permite maximizar la intercepción de la PAR y, como consecuencia, aumentar la captura de CO₂, mientras que las estructuras reproductivas que se producen en la orientación norte experimentan limitación de recursos, por lo que, las flores y frutos se desarrollan preferentemente en las costillas y ramas con orientación sur en plantas de esta especie (Rosas, 2010).

2.9. Relación fuente-demanda.

Los términos “Fuente” y “Demanda” (Source y Sink en inglés) se han utilizado frecuentemente para enfocar los problemas de crecimiento y desarrollo. Después de que se fija el CO₂ de la atmósfera y se elaboran los productos de la fotosíntesis (fotosintatos) en el mesófilo de las hojas, hay movimiento de sustancias hacia el tejido conductor (floema), por lo general la sacarosa, estaquínosa u otros azúcares, según la especie de que se trate, estas forman la gran masa de materia orgánica que se mueve en el floema desde el lugar de abastecimiento (la fuente) hasta el órgano o tejido consumidor (la demanda). Existen evidencias de que las hormonas vegetales están involucradas en los patrones de distribución de los fotosintatos en la planta, pues algunos de ellos activan la síntesis de ARN y el metabolismo de la zona de acción, y causan que la demanda de metabolitos aumente. Para que haya una máxima expresión del rendimiento mayor de una planta de cualquier especie, es necesario que tanto la fuente como la demanda de los fotosintatos estén operando a su máxima capacidad y que a su vez exista un equilibrio entre ambas. Para que esto sea posible se requiere:

1. Una alta eficiencia de la intercepción de la radiación solar por la planta.
2. Una velocidad de fotosíntesis alta.
3. Un transporte eficiente de fotosintatos a través del sistema de conducción.
4. Una óptima utilización de azúcares en los órganos que constituyen la demanda de interés.

Cualquier limitación en estos puntos producirá situaciones de fuente o demanda limitantes, lo cual repercutirá en los rendimientos inferiores óptimos (Fanjul, 1978). En plantas con fisiología MAC hasta la fecha no se han llevado estudios que involucren a la fuente-demanda de fotosintatos de acuerdo a la orientación del tejido fotosintético.

La gran mayoría de estudios en plantas con metabolismo ácido crasuláceo se han llevado a cabo con la finalidad de registrar el efecto de la orientación de los cladodios, costillas y ramas en la intercepción de la radiación fotosintéticamente

activa (PAR) y la temperatura, ya sea para su crecimiento y/o reproducción (Nobel, 1980; Woohouse *et al.*, 1980; Nobel, 1981; Acevedo *et al.*, 1983; Nobel y Harstsock, 1983; Geller y Nobel, 1987; Tinoco-Ojanguren y Molina-Freaner, 2000; Rosas, 2010; Figueroa-Castro y Valverde, 2011, Aguilar-Gastelum y Molina-Freaner, 2015), pero ninguno de estos estudios ha tratado la relación fuente-demanda, la que podría estar dando la respuesta más acertada o cercana al comportamiento de los órganos tanto vegetativos como reproductivos a través del desarrollo de las especies con fisiología MAC.

De esta manera, tenemos que en México los estudios llevados a cabo sobre el metabolismo ácido de las crasuláceas son escasos y mucho más aquellos donde se involucra el efecto de la orientación en la acidez acumulable en plantas con MAC, la mayoría de trabajos se han realizado en especies de importancia económica como el nopal (*Agave ficus-indica*), el sisal (*Agave sisalana*) y la pitaya (*Hylocereus undatus*) (Andrade *et al.*, 2007), la sábila (*Aloe vera*) (Patishtán *et al.*, 2010), *Agave tequilana* (Pimienta-Barrios *et al.*, 2006), de hecho el nopal y la piña son los más cultivados a nivel mundial, el primero con más de un millón de hectáreas, y el segundo con 300,000 hectáreas (Nobel, 2002; en, Andrade *et al.*, 2007).

Estudios llevados a cabo en ecosistemas naturales son de igual manera escasos como el de Martínez (1987) quién estudio la fluctuación fotosintética de *Escontria chiotilla* en la localidad de Venta Salada, Coxcatlán, Puebla, mismo que hace una evaluación de la cantidad de ácidos orgánicos producidos a lo largo del año de muestreo y concluye que existe una marcada relación entre temperatura y ácidos orgánicos producidos, además de que la producción de frutos es mayor en el lado norte, sugiriendo que la orientación tiene un efecto en la producción de frutos totales. José y Martínez (1992) realizaron un estudio sobre el efecto de la orientación en la producción de frutos de *Escontria chiotilla* en la comunidad de Venta Salada, Coxcatlán, Puebla, registrando que la orientación norte-sur presentó el mayor número de frutos, concluyendo que la producción está relacionada con la acidez titulable, temperatura, humedad relativa y precipitación.

Mandujano (2002) realizó un trabajo donde evaluó el metabolismo ácido crasuláceo en ramas jóvenes y maduras de *Escontria chiotilla* con orientación norte-sur en el municipio de Coxcatlán, Puebla, encontrando que la orientación sur y las ramas jóvenes presentaron fluctuaciones de acidez más pronunciada registrándose un comportamiento asincrónico en las estructuras reproductivas en los meses de diciembre hasta agosto y se obtuvo un amarre de frutos de 8.2%. Flores (2006) trabajó con la fluctuación fotosintética de *Escontria chiotilla* en San Juan de los Ríos, Chiautla de Tapia, Puebla, realizando una evaluación de los ácidos orgánicos durante un año y concluye que la acidez titulable se puede ver disminuida por la temperatura y precipitación pluvial, además de que la orientación norte registró la mayor producción de frutos. Rosas (2010) estudio el efecto de la orientación preferencial sobre las estructuras reproductivas (yemas, flores y frutos) y vegetativas (crecimiento y número de ramas) de *Myrtillocactus geometrizans* en dos laderas con orientación contrastante (Norte y sur) en la Reserva de la Biosfera Barranca de Meztitlán, Hidalgo, México. Ella concluye que las flores y frutos se desarrollan y producen preferentemente en las costillas y ramas con orientación sur y que las estructuras que se producen en sectores distintos al sur, particularmente hacia el norte, experimentan limitación de recursos. Además mencionan que el patrón preferencial de flores y frutos hacia el sur podría ser una consecuencia de esta limitación.

Figuroa-Castro y Valverde (2011) Llevaron a cabo un estudio sobre la orientación de flores en *Pachycereus weberi* (Cactaceae) y su efecto en la producción de óvulos, semillas y peso de las semillas, concluyendo que las flores orientadas al lado sur produjeron un mayor número de óvulos, semillas y mayor peso de las semillas, y que esto está en asociación con la PAR recibida en la cara sur del tallo de las plantas de *Pachycereus weberi*. Mientras que Martínez-Moreno *et al.* (2014) realizaron un estudio donde registró la cuantificación de ácidos orgánicos y su efecto en la producción de frutos de plantas de *Pachycereus weberi* (J.M. Coult.) Backeb, en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán el Grande, Puebla, ellos encontraron que las plantas no produjeron ramas nuevas y que la mayor cantidad de ácidos orgánicos se produjo en el mes de junio, mientras que el mes de marzo

presentó la menor producción, siendo la orientación sur la que presentó la mayor cantidad de frutos. Concluyen que no existe un patrón en la producción de frutos debido a la orientación y que la precipitación pluvial es importante en la generación de nueva biomasa.

III. JUSTIFICACIÓN.

De acuerdo a la literatura que se revisó, en México hay muy poca información acerca del Metabolismo Ácido de las Crasuláceas relacionado con la orientación floral y de frutos. Los estudios sobre los procesos fisiológicos de *Neobuxbaumia mezcalensis* son escasos, la gran parte de estudios donde se han cuantificado los ácidos orgánicos han sido en los géneros *Opuntia* y *Agave*. Principalmente porque son plantas de interés comercial. Además de que se han llevado a cabo muy pocos estudios en otras especies con fisiología MAC en condiciones de campo.

Es por ello, que este trabajo es una contribución al estudio de *Neobuxbaumia mezcalensis* que presenta fisiología MAC en la región de la Mixteca Poblana, donde predominan la mayoría de especies con este tipo de metabolismo fisiológico, el cual aporta información sobre la producción de ácidos orgánicos y la orientación floral y de frutos.

IV. OBJETIVO.

4.1. Objetivo general.

Efecto de la orientación en la producción de acidez titulable y la producción de frutos de plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* antes, durante y después de la producción de estructuras reproductivas.

4.2. Objetivos particulares.

- Cuantificación de los ácidos orgánicos por orientación antes, durante y después de la producción de estructuras reproductivas.
- Evaluación del número de frutos de 4 individuos de *Neobuxbaumia mezcalensis* por orientación y su correlación con la producción de ácidos orgánicos.

V. MATERIAL Y MÉTODOS.

5.1. Especie de estudio.

El *Neobuxbaumia mezcalensis*, cuyo nombre común es "Cardon" (Figura 1) es una especie columnar de 5-8 o hasta 10 m de altura y de 13 a 30 o hasta 40 cm de diámetro, es de color verde ligeramente amarillento. Costillas de 13 a 25 mm de anchuras de 18 a 25 mm de altura, aréolas distantes entre sí de 18 a 26 mm, provistas de fieltro color blanco que con el tiempo se vuelve grisáceo o negruzco. Espinas radiales de 5 a 9, de 8 a 20 mm de longitud blanca o cremas más o menos amarillentas con la punta morena o rojiza, grisáceas con el tiempo. Espinas centrales 1 a 4 con base oscura. Flores de color blanco amarillento verdoso hasta rojo purpurino verdoso, tubular-infundibuliformes, de 5.5 cm de largo, provistos de escamas pequeñas y gruesas a veces papiráceas. Fruto globoso de 3 a 4 cm de largo cubierto de aréolas persistentes con fieltro y espinas. Semillas oblicuo-reniformes, de 2.5 a 3 mm de largo, testa lisa, negra, brillante. Su distribución es amplia y comprende los estados de Puebla, Oaxaca, Morelos, Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero (Bravo, 1978).

5.2. Sitio de estudio.

El presente estudio se realizó en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán el Grande (Figura 2), ubicado entre los paralelos 18° 40' y 18° 51' de latitud norte; los meridianos 98° 04' y 98° 15' de longitud oeste; altitud entre 1 200 y 2 200 msnm. el cual cuenta con un clima que corresponde al tipo BS1 (h')w(w)ig, cálido semiseco con lluvias en verano, la precipitación anual es de 650 mm (García, 2004)(Figura 3), con un rango de temperatura entre 17-23 °C y un rango de precipitación de

700-900 mm. El relieve en general es accidentado, presenta sus mayores altitudes en la Sierra del Tentzo y desciende el nivel hacia el sur de manera abrupta y constante, de más de 2100 m hasta menos de 1400 m de altitud. Santo Domingo Huehuetlán el Grande pertenece a la cuenca del río Atoyac y es bañado por numerosas corrientes intermitentes originadas en la Sierra del Tentzo que recorren el Municipio de norte a sur y vierten sus aguas en el Río Huehuetlán, que es el único de carácter permanente y que más al sur se une al Atoyac. Los suelos presentes en el municipio son rendzinas y litosoles de clase textural media (Enciclopedia de los Municipios de México, 1999).

El norte del Municipio, que comprende parte de la Sierra del Tentzo, está cubierto por bosques de *Quercus* asociados con vegetación secundaria arbustiva y presencia de palmares de *Brahea dulcis*; en estas zonas se han empezado a introducir áreas de agricultura de temporal; al centro, entre los 1300-1400 msnm, la vegetación predominante son las especies que componen la selva tropical seca, asociada con vegetación secundaria; en una amplia zona junto al río Huehuetlán se presenta un área con agricultura de riego tanto de cultivos anuales como permanentes. Existe una considerable extensión al sur dedicada a la agricultura de temporal y se tienen pequeñas áreas dispersas de pastizal inducido (Sánchez, 2008).



Figura 1. Organismo de *Neobuxbaumia mezcalensis* en la zona de estudio.

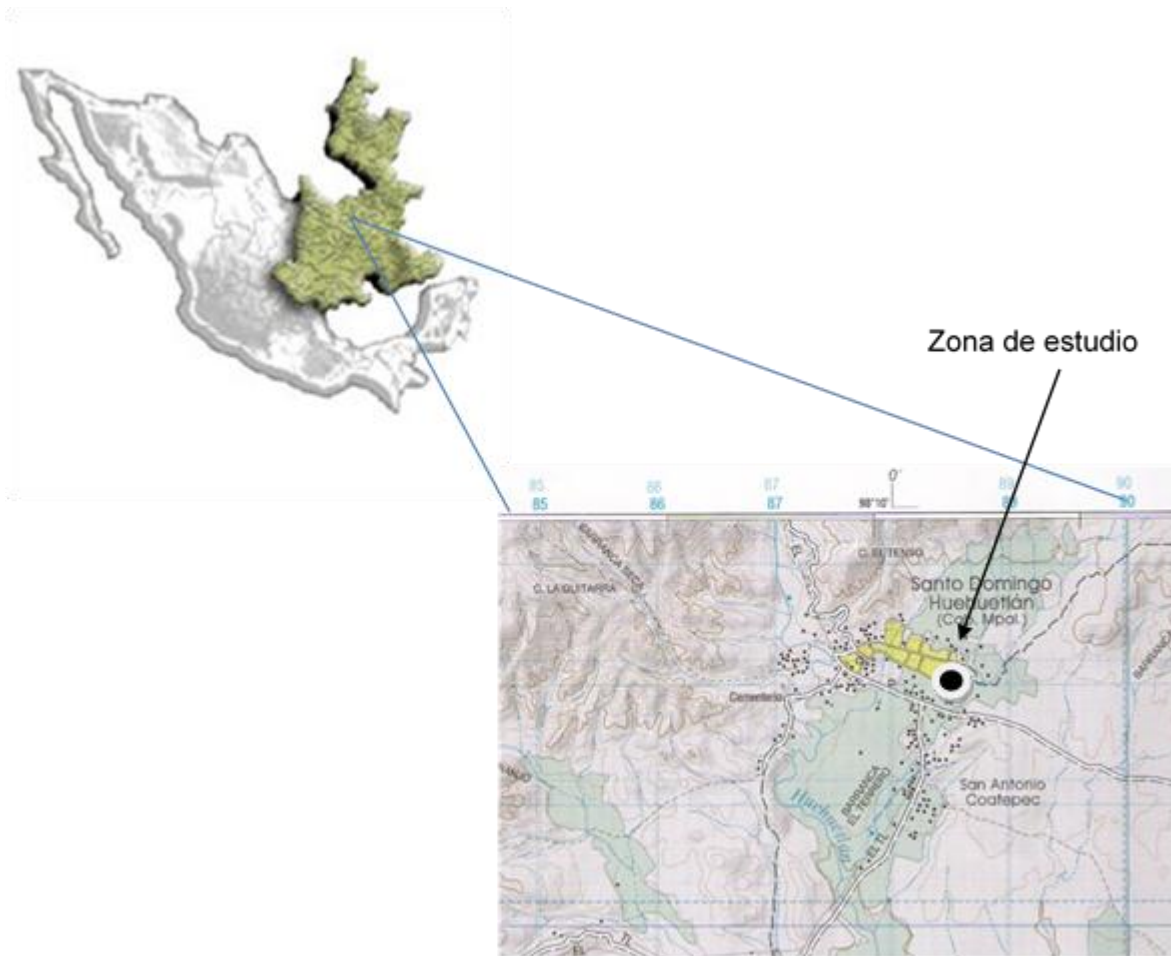


Figura 2. Localización del área de estudio en el municipio de Huehuetlán el Grande, Puebla, México (Enciclopedia de los municipios de México, 1999).



Figura 3. Selva tropical época de secas(A), Selva tropical época de lluvias(B) en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán el Grande.

5.3. Parámetros ambientales.

5.3.1. Temperatura.

La temperatura ambiental fue tomada cada dos horas con un termómetro de columna de mercurio (marca Taylor, 0-100°C), durante el día (8:00-18:00 horas) (Figura 4).



Figura 4. Termómetro (marca Taylor rango de 0-100 °C) colocado en la zona de estudio para la toma de temperatura de las 8:00-18:00 horas.

5.3.2. Precipitación pluvial.

La zona de estudio tiene un rango de precipitación pluvial de 700-900 mm, estos datos fueron tomados de los datos que proporciona el INEGI.

5.4. Parámetros fisiológicos.

5.4.1. Titulación de ácidos orgánicos.

Se utilizó la técnica modificada de Szarek y Ting (1975), para la titulación de ácidos orgánicos. Esta consistió en la extracción de 5 gr de tejido del tallo de la planta usando un sacabocados, posteriormente el tejido fue colocado en un frasco color ámbar con alcohol (Figura 5). Una vez en el laboratorio de micología y fisiología vegetal de la escuela de Biología, cada muestra de tejido con alcohol fue colocada en un vaso de precipitado de 250 ml agregándosele 250 ml de agua destilada para posteriormente ser colocado el vaso en un soporte universal con rejilla de asbesto para su ebullición, con la finalidad de extraer el alcohol, una vez que el contenido en el vaso de precipitado alcanzaba su punto de ebullición, la muestra se dejaba enfriar para después ser colocada en un mortero y con el pistilo ser triturada y filtrada a través de una gasa con la finalidad de separar el tejido y solo dejar la muestra filtrada. Posteriormente, la muestra se dejaba enfriar y se colocaba en una parrilla magnética introduciendo un magneto para su homogeneización para proceder a medir su pH con un potenciómetro manual de 0,5 de precisión (marca Hanna). Para la titulación del filtrado se utilizó una bureta pyrex de 50 ml, previamente montada en un soporte universal conteniendo NaOH al 0,1 N. Con el cual el pH del filtrado era ajustado a 6.4 (Figura 6).

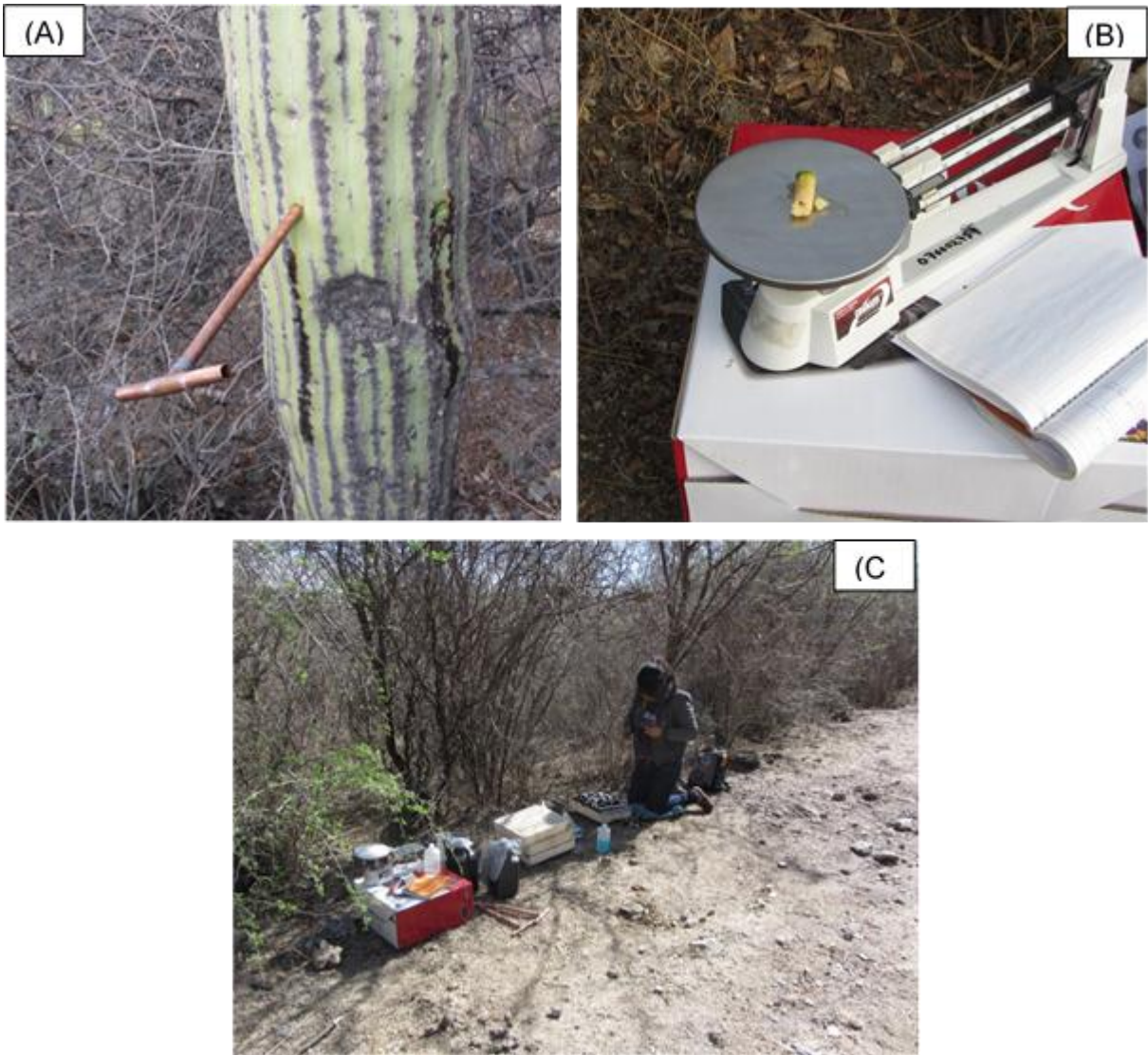


Figura 5. Toma de la muestra de tejido (A), Peso de Tejido (B) e introducción del tejido en frascos color ámbar para su traslado al laboratorio (C).



Figura 6. Cuantificación de ácidos orgánicos en el laboratorio de micología y fisiología vegetal de la escuela de Biología.

5.5. Diseño del muestreo.

El método anterior se empleó en los tres muestreos que se realizaron, el primero se realizó antes de la fructificación en el mes de mayo, un segundo muestreo se hizo en el mes de junio, que fue en el mes de fructificación y el tercero en el mes de julio que fue posterior a la fructificación. Se eligieron diez plantas (figura 7) de las cuales se tomaban 5 gr de tejido, los muestreos se hacían cada dos horas comenzando a las 8:00 horas y terminando a las 18:00 horas. En este estudio se tomó en cuenta la orientación (Norte, Sur, Este, Oeste), para la determinación de la orientación se utilizó una brújula marca Bronton. Las muestras fueron tomadas a una altura del pecho.



Figura 7. Elección de la especie en la zona de estudio *Neobuxbaumia mezcalensis* en la zona de estudio.

5.6. Cuantificación de frutos.

La cuantificación de frutos se hizo en el segundo muestreo durante el mes de junio, se eligieron cuatro plantas, en las cuales se hizo la observación para hacer el conteo de cuantos frutos se localizaban en la planta basándonos en la orientación (figura 8). Se observaron ciertas características de los frutos como tamaño y coloración.



Figura 8. Observación de frutos en *Neobuxbaumia mezcalensis*.

5.7. Análisis estadísticos.

El análisis estadístico que se realizó fue un ANOVA haciéndose una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para hacer la comparación de la acidez titulable con la producción de frutos. Y para comprobar si existe una correlación entre la producción de ácidos orgánicos por orientación, se aplicó la prueba de correlación de Pearson.

VI. RESULTADOS.

Las condiciones ambientales durante los meses de muestreo fueron: Con respecto a la precipitación pluvial, durante el mes de mayo se registraron 70 mm, en junio 190 y en julio 120 mm, mientras que la temperatura registrada cada dos horas mostró que junio presentó las temperaturas más altas (Figura 9).

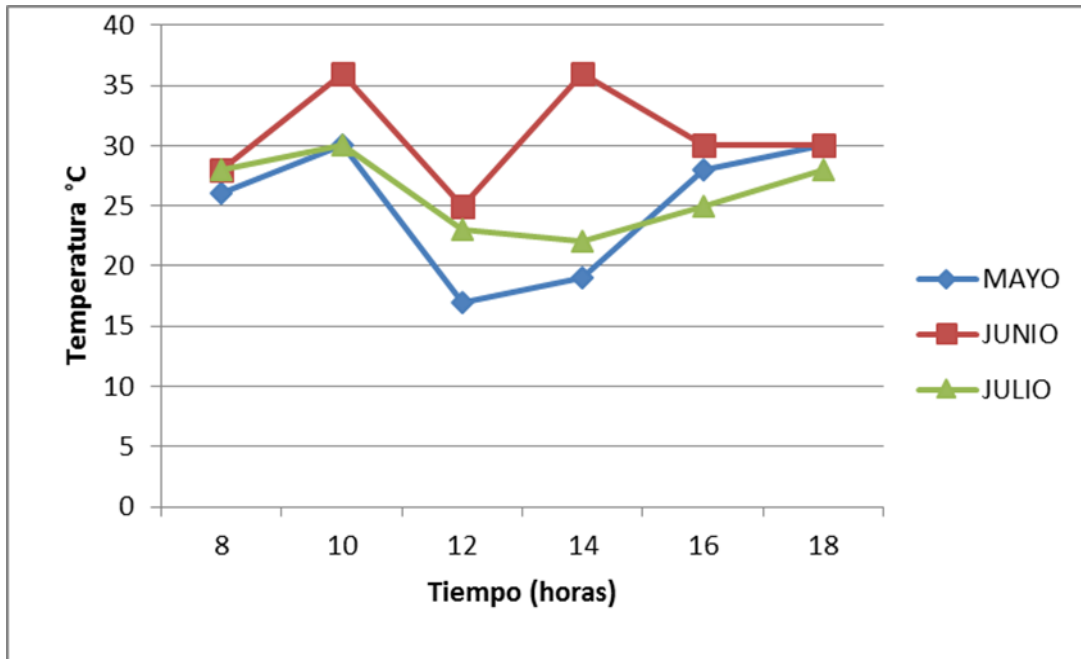


Figura9. Registro de la temperatura cada dos horas en el sitio de estudio durante el día de muestreo en los meses de mayo, junio y julio del 2013.

En lo referente a la acidez titulable los resultados muestran que antes de la fructificación, la producción de ácidos orgánicos fue entre 0 y 1 ml de consumo de NaOH (ml) excepto a las 14:00 que se registro un consumo de 1-4 ml de NaOH, siendo bajo con respecto al mes de junio y julio mostrando que no hubo diferencias significativas entre las distintas orientaciones, esto tal vez se deba a que durante este tiempo los requerimientos en el consumo de energía no es todavía lo suficientemente necesaria debido a que aún no se ha disparado el proceso reproductivo (Figura 10).

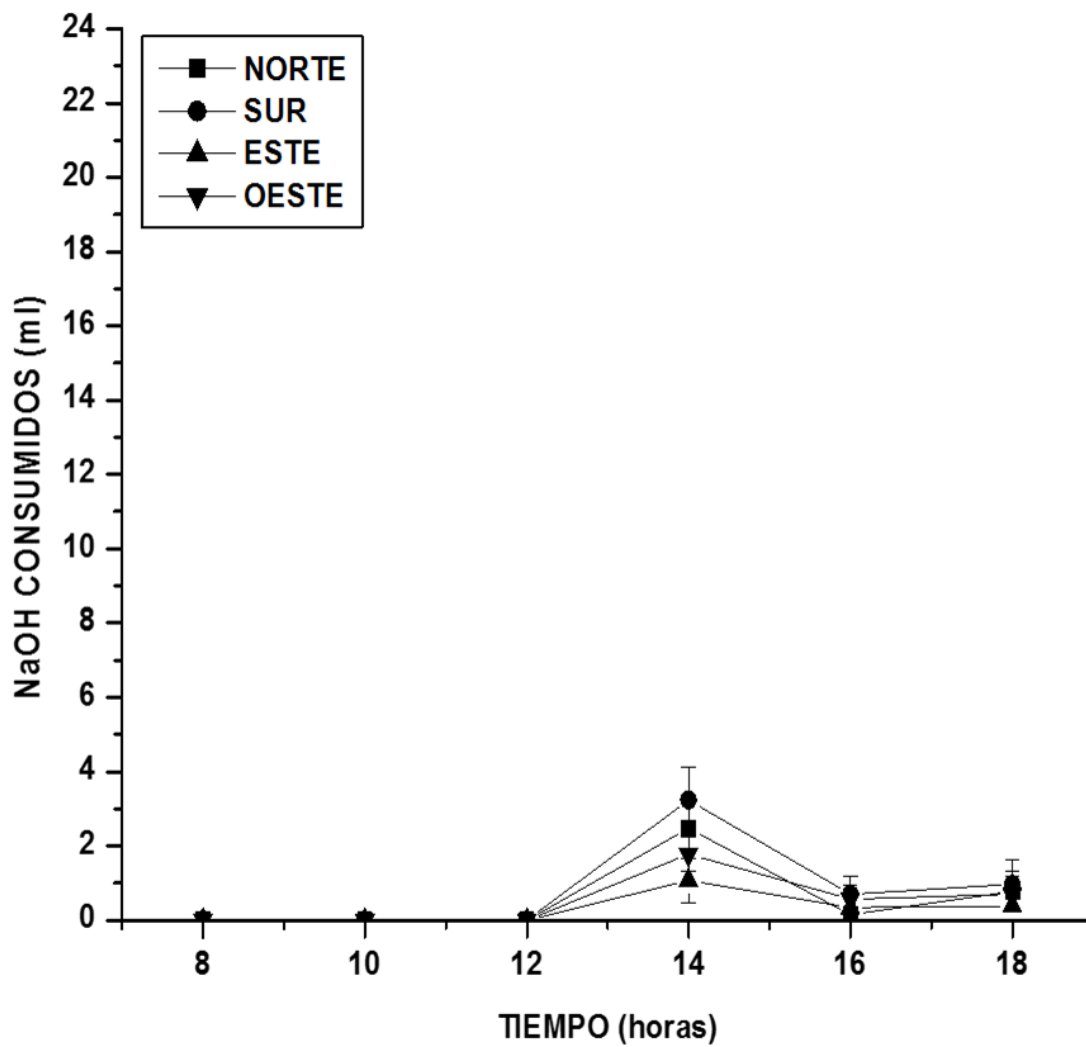


Figura 10. Cuantificación de ácidos orgánicos durante el mes de mayo, antes de la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Durante la fructificación no se encontraron diferencias en lo referente al contenido de ácidos orgánicos, sin embargo se encontró una elevación de consumo de NaOH con respecto al mes de mayo registrándose entre 11-14 ml consumido de NaOH, excepto las 18:00 bajando a 6 y 9 ml consumidos de NaOH sin embargo, se muestran dos puntos en la orientación norte de las 10:00 y 14:00 de 6ml de consumo de NaOH, cabe aclarar que esto se puede deber a error de muestreo. Hay que tener en cuenta que las plantas están produciendo energía la cual se está canalizando hacia la producción de frutos (Figura 11).

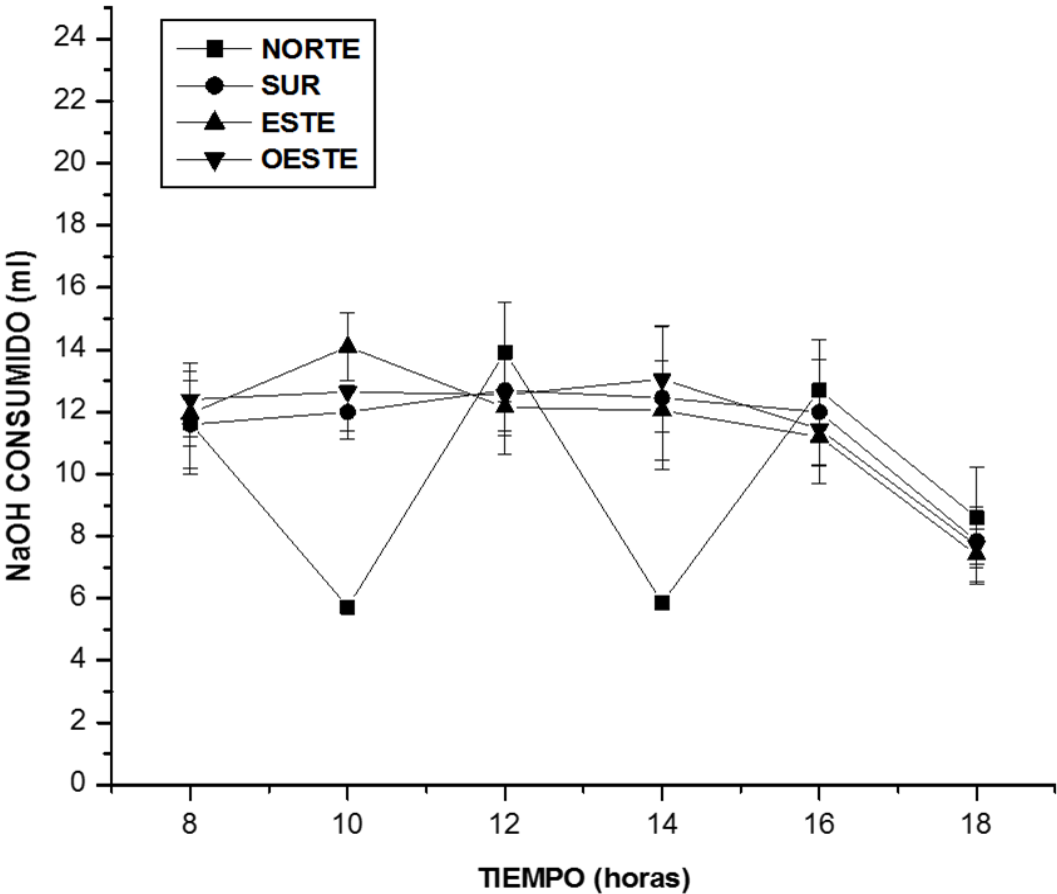


Figura 11 Cuantificación de ácidos orgánicos durante el mes de junio, durante la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Después de la fructificación la producción de ácidos se mantiene igual que en el mes de junio con un consumo de NaOH de entre 10-13 ml exepcto a las 14:00, 16:00 y 18:00 horas donde se registra un consumo de NaOH(ml) entre 7-11, sin presentarse diferencias significativas, esta energía se puede estar canalizando hacia las estructuras vegetativas para el mantenimiento general de las plantas (Figura 12).

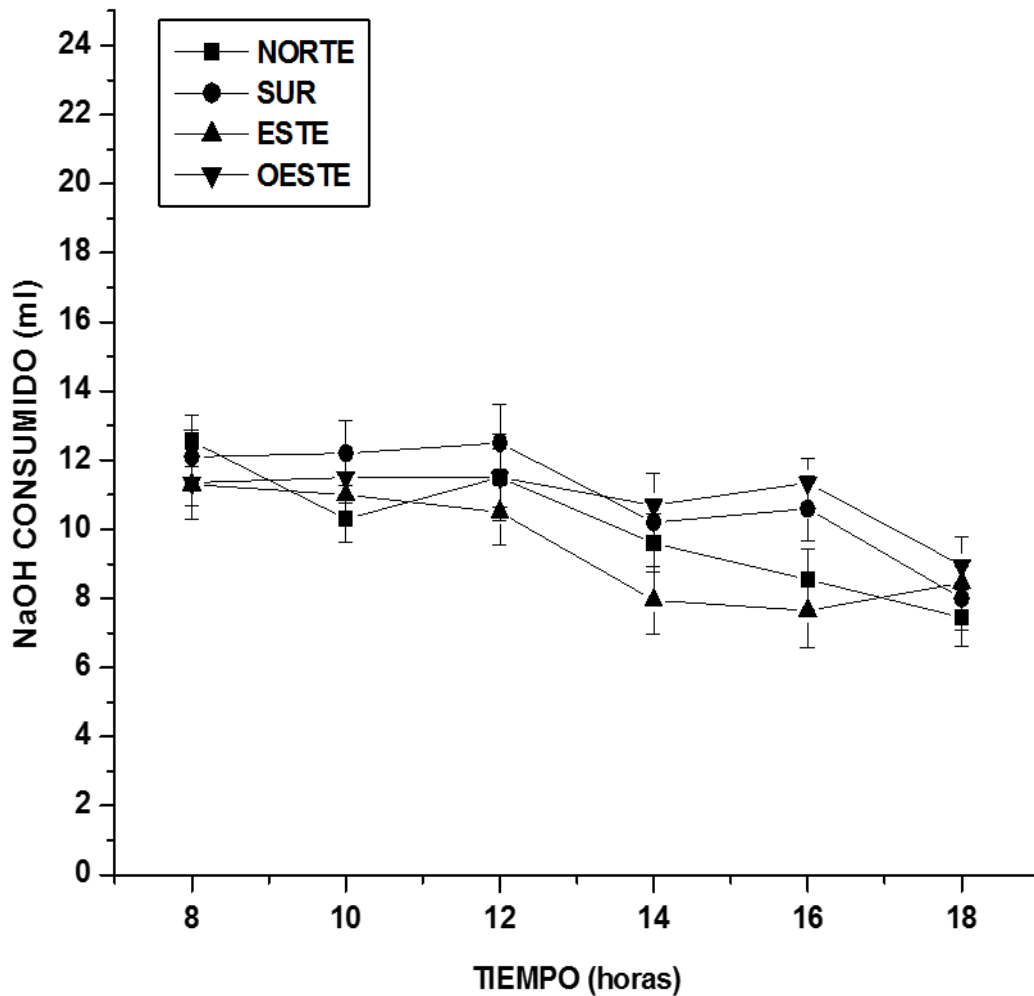


Figura 12. Cuantificación de ácidos orgánicos durante el mes de julio, después de la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

En cuanto al análisis de correlación de Pearson, este mostró que no existen diferencias significativas entre las distintas orientaciones con respecto a la producción de ácidos orgánicos antes de la fructificación (Figura 13, Tabla 1), durante la fructificación (Figura 14, Tabla 2) y después de la fructificación (Figura 15, Tabla 3), es posible que la calidad de luz esté involucrada en la producción de estructuras reproductivas por orientación.

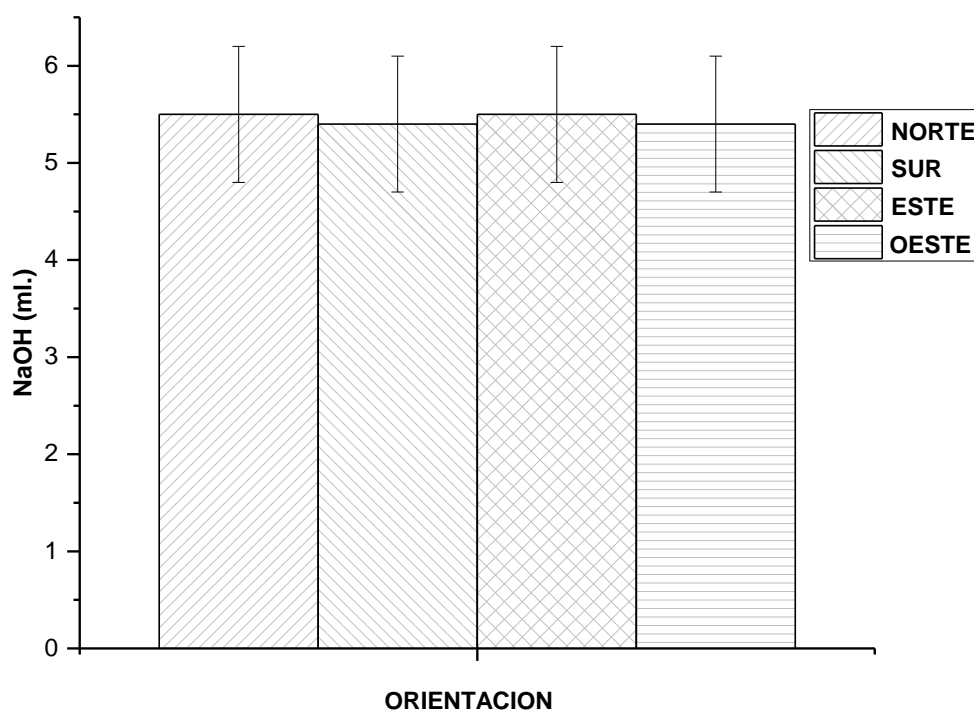


Figura 13. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de mayo, antes de la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Tabla 1. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de mayo, antes de la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Pearson r	Norte	Sur	Este	Oeste
R	0.1987	0.2792	0.3302	0.3038
99% intervalo de confidencialidad	-0.3332 a 0.9340	-0.3339 a 0.9441	-0.3180 a 0.9448	-0.3258 a 0.9475
Cuadrado del error	0.03950	0.07795	0.1091	0.09321
P (dos cálculos)	0.7038	0.5921	0.5228	0.5518

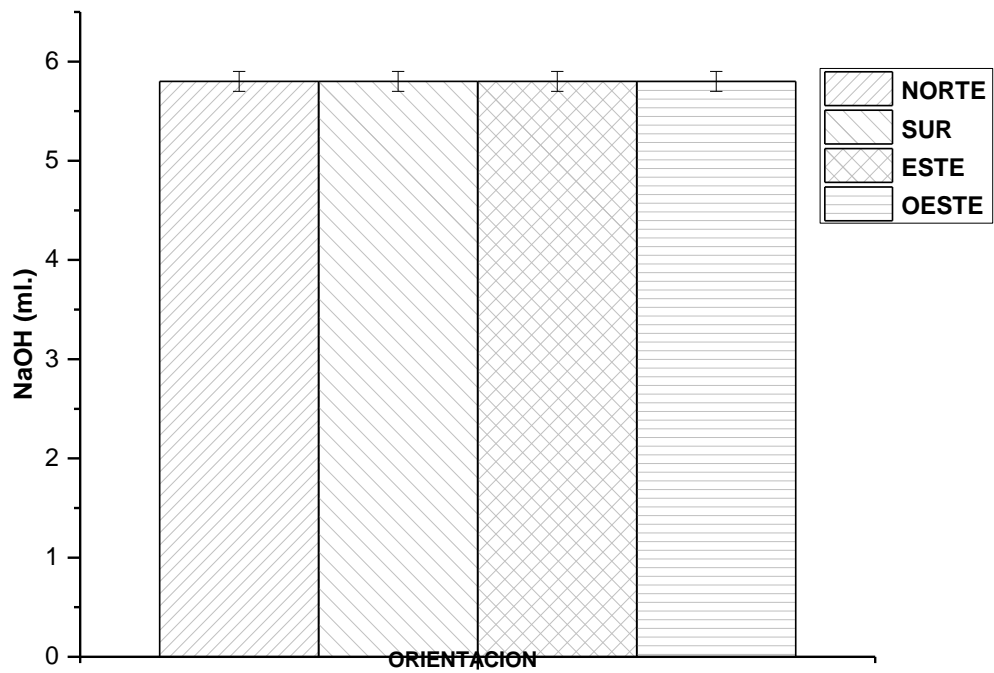


Figura 14. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de junio, durante la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Tabla 2. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de junio, durante la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Pearson r	Norte	Sur	Este	Oeste
R	0.8917	0.9715	0.9734	0.9750
99% intervalo de confidencialidad	-0.05728 a 0.9942	0.5555 a 0.9935	0.5815 a 0.9956	0.8024 a 0.9957
Cuadrado del error	0.7952	0.945	0.1091	0.09321
P (dos cálculos)	0.7038	0.5921	0.5228	0.5518

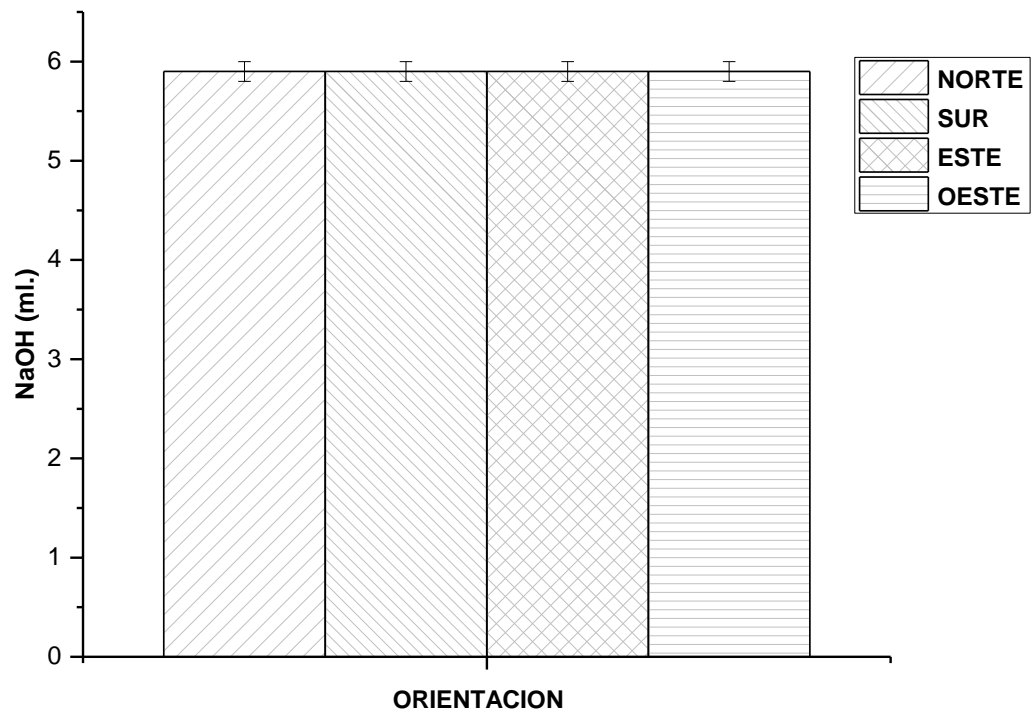


Figura 15. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de julio, después de la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Tabla 3. Correlación de Pearson de ácidos orgánicos durante el mes de julio, después de la fructificación de las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* (Bravo) Backeb. en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla.

Pearson r	Norte	Sur	Este	Oeste
R	0.9528	0.8858	0.9194	0.9525
99% intervalo de confidencialidad	0.3333 a 0.9975	-0.1708 a 0.9927	0.09824 a 0.9957	-0.7818 a 0.9822
Cuadrado del error	0.9075	0.7492	0.3452	0.2048
P (dos cálculos)	0.0033	0.0258	0.0083	0.3878

En lo referente al número de frutos por orientación no se presentaron diferencias significativas, aunque hay que notar que fueron muy pocos individuos muestreados, por lo que hay que volver a rectificar este parámetro (Tabla 4).

Tabla 4. Número de frutos por orientación en plantas de *Neobuxbamia mezcalensis* (Bravo) en Santo Domingo Huehuetlán el Grande, Puebla.

Número de planta	Orientación			
	Norte	Sur	Este	Oeste
1	9	23	5	2
2	13	12	14	2
3	9	3	11	3
4	1	9	8	3
Media	8.0 a	11.8 a	9.5 a	2.5a

Letras iguales no denota diferencias significativas con una $P \leq 0.05$

VII. DISCUSIÓN.

La zona de estudio al presentar suelos poco desarrollados y someros con laderas pedregosas de fuerte pendiente, y donde el agua se retiene poco con una pérdida grande por evaporación y evapotranspiración y donde se registró una precipitación pluvial baja en los meses de muestreo con una alta temperatura en promedio y presentar una vegetación propia de la Selva Tropical Caducifolia (Rzedowski, 1978), la hace ubicarse como una zona semiárida, según González (2012).

Puesto que la mayoría de las cactáceas realizan la fotosíntesis por medio del Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (MAC) (Winter y Smith, 1996 a), las plantas de *Neobuxbaumia mezcalensis* pertenecen a las Cactáceas (Bravo-Hollis, 1978) y presentan este tipo de metabolismo. Por esta razón se cuantificaron los ácidos orgánicos totales por orientación antes de la fructificación, durante la fructificación y después de la fructificación, los resultados de acidez demostraron que durante el mes de mayo (antes de la fructificación) no se presentaron diferencias significativas entre las orientaciones, siendo muy bajos los ácidos orgánicos. Es posible que durante este mes la humedad relativa sea baja y las temperaturas elevadas (se debe mencionar que no se realizaron mediciones de humedad relativa y temperatura durante la noche), lo cual propicie que los estomas permanezcan abiertos en corto tiempo, lo que podría estar provocando que la toma de CO₂ no sea la adecuada para producir ácido málico (esto deberá probarse en futuros estudios). Esto no coincide con lo reportado para otras especies como lo mencionado por Silva (2013) para plantas de *Pachycereus weberi* en la misma zona y durante este mes, ella registró una elevada concentración de ácidos orgánicos con temperaturas similares, es probable que la posición del tejido muestreado para determinar la cantidad de ácidos orgánicos este determinando que los estomas permanezcan abiertos durante la noche a pesar de que la humedad relativa sea baja y la temperatura elevada, pues existe la posibilidad de que estos parámetros a nivel de microatmósfera sean distintos y la humedad sea elevada y la temperatura baja (parámetros que deberían medirse durante la noche y en los meses más secos donde la humedad es baja y la temperatura elevada). Con respecto al mes de junio la acidez titulable se incrementó debido posiblemente a que durante este periodo las lluvias se inician, lo que propicia que la humedad relativa se incremente y la temperatura disminuya esto a nivel de la microatmósfera, para que durante la noche los estomas permanezcan abiertos para la toma de CO₂ y su posterior transformación a fotosintatos por el ciclo de Calvin. Lo que propicia que se genere nueva biomasa o estos sean utilizados para la fructificación. Este mismo parámetro ocurrió durante el mes de julio, pero aquí ya había pasado la fructificación, y es posible que todos

los fotosintatos sean canalizados a la creación de nueva biomasa vegetativa o para el mantenimiento y reparación de la planta en su totalidad.

Puesto que la producción de ácidos orgánicos son distintos durante los meses de muestreo se procedió a llevar a cabo la correlación de Pearson para ácidos orgánicos por orientación en los distintos meses, y se observó que no hay correlación de ambos parámetros, lo que significa que la orientación no tiene nada que ver con la producción de ácidos orgánicos, aunque Nobel (1986), menciona que para los individuos de *Opuntia ficus-indica* en las latitudes pueden fijar $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2 como respuesta a la intercepción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), para plantas que se encuentran en latitudes de 18° norte, el aprovechamiento de luz se lleva a cabo eficientemente para una buena producción de frutos, esto podría estar pasando en los individuos de *Neobuxbaumia mezcalensis* en la zona de Huehuetlán el Grande, ya que se encuentran a los 18° de latitud norte. Entonces la orientación del tejido fotosintético es importante para la captación de RFA y una temperatura óptima para que el tejido reciba el mayor incremento de $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, pues Tinoco-Ojanguren y Molina-Freaner (2000) mencionan que en individuos de *Pachycereus pringlei* las costillas del lado norte experimentan una baja temperatura y el tejido solo recibe $6.19 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y las del lado sur experimentan una elevada temperatura por lo que reciben $38.15 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lo que propicia que las flores se abran, además esta hipótesis indica que la inducción de la aréola depende de la acumulación de carbohidratos y temperatura óptima alrededor del tejido y que no hay translocación entre las costillas. Esto confirma lo descubierto por Fanjul (1978) quién descubrió que la hoja más cercana a la estructura reproductiva en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) era la encargada de translocar los fotoasimilados para su desarrollo y que los fotoasimilados producidos por las demás hojas eran utilizados para reparación y mantenimiento.

En cuanto a la producción de frutos por orientación no se presentaron diferencias significativas, lo que refleja que la orientación del tejido fotosintético puede ser el responsable del desarrollo de la fructificación en plantas de *Neobuxbaumia*

mezcalensis, aunque el número de plantas muestreadas fue pobre, por lo que se deben realizar más estudios referentes al tema de fuente-demanda.

VIII. CONCLUSIONES.

Con relación al consumo de NaOH (ml) se encontró que no hay diferencias significativas en la producción de ácidos orgánicos antes durante y después de la fructificación en *Neobuxbaumia mezcalensis*

Hay que notar que el consumo de NaOH es baja antes de la fructificación con 0-1 ml de NaOH consumidos durante el mes de mayo (antes de la fructificación) y hay una elevación de consumo de NaOH en la fructificación de 11-14 ml NaOH consumidos en el mes de junio, la cual se mantiene después de esta teniendo un consumo de 10-13 ml NaOH en el mes de julio época en la cual la especie ya fructifico.

En el caso de *Neobuxbaumia mezcalensis* podría estar provocando una baja en la toma de CO₂ y por consiguiente una baja concentración de ácidos orgánicos. Además de que los análisis de correlación de Pearson demostraron que no hay una correlación entre orientación y producción de ácidos orgánicos teniendo una $P \leq 0.5$.

En lo referente al número de frutos por orientación no se presentaron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

- Acevedo, E., Badilla, I. y Nobel, S.P. 1983. Water relations, diurnal acidity changes, and productivity of a cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. Plant Physiol. 72: 775-780
- Aguilar-Gastelum, I. y Molina-Freaner, F. 2015. Orientación de las flores de dos poblaciones norteñas de *Pachycereus pecten-aboriginum* (CACATACEAE). Botanical Sciences 93(2): 1-7.
- Andrade, J.L., De la Barrera, E., Reyes-García, C., Ricalde, M.F., Vargas-Soto, G y Cervera C.J. 2007. El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. Bol.Soc.Bot.Méx. 81: 37-50.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. McGraw-Hill Interamericana, Barcelona, España.
- Beltrán E. 1964. Las zonas áridas del centro y noroeste de México y el aprovechamiento de sus recursos. Ed. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Volumen I. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 743 P.
- Ehleringer, J.R. Money, H.A. Gulmon, S.L. y Rundel, P. 1980. Orientation and its consequences for *Copiapoa* (Cactaceae) in Atacama Desert. Oecologia 46: 63-67.
- Enciclopedia de los municipios de Puebla, México.2009. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Puebla.
- Fanjul, P.L 1978. Análisis de crecimiento de una variedad de *Phaseolus vulgaris* L. de hábito de crecimiento indeterminado y ensayo para el estudio de las relaciones entre la fuente y la demanda de los fotosintatos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. 157 p.

- Figuroa-Castro, D.M. y Valverde, P.L. 2011. Flower orientation in *Pachycereus weberi* (Cactaceae): effects on ovule production, seed production and seed weight. *Journal of Arid Environmental* 75: 1214-1217.
- Flores, S. J. 2006. Fluctuación fotosintética en *Escontria chiotilla* (Weber) Rose, en la localidad de San Juan de los Ríos en el municipio de Chiautla de Tapia, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. 77P.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie libros No. 6. Ed. Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México.
- Geller, G.N. y Nobel, S.P. 1987. Comparative cactus architecture and PAR Interception. *Amer.J.Bot.* 74(7): 998-1005.
- Glantz, H.M. 1977. Desertification. Environmental degradation in and around arid lands. Westview Press. U.S.A.
- González, M.F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Ed. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México.
- Guzmán, U., Arias, S. y Dávila, P. 2003. Catálogo de Cactáceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. México.
- José, J. y Martínez, M.D. 1992. Efecto de la orientación en la producción de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose en la localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Puebla. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. Tomo XXXVII: 46-51.
- Lira, S.R.H S.P. 1998. 2007. Fisiología vegetal. Ed. Trillas, México.
- Martínez, M.D. 1987. Fluctuación fotosintética de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose, en la localidad de Venta Salada, municipio de Coxcatlán, Puebla. Tesis de licenciatura en Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, Edo. De México.
- Martínez, M., D., Reyes, M., J., Figuroa, C., D.Ma. y Rodríguez, R., T. 2014. Efecto de los ácidos orgánicos en la producción de frutos de *Pachycereus*

- weberi* (J.M.Coult.) Backeb. en el municipio de Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla, México. Revista Iberoamericana de Ciencias, 1(3): 113–125.
- Mandujano, P.M. 1988. Respuesta fotosintética (metabolismo Acido de las Crasuláceas) en *Escontria chiotilla* (Weber) Rose en ambiente controlado. Tesis de licenciatura en Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, Edo. de México.
- Mandujano, P.M. 2002. Evaluación del metabolismo ácido de las crasuláceas en ramas jóvenes y maduras de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose, con orientación norte y sur en el municipio de Coxcatlán, Puebla. Tesis de Maestría en Biología de Recursos Vegetales UNAM-FES, Iztacala, México.
- Munguía-Rosas, M.A. y Sosa, J.V. 2010. Phenology of *Pilocereus leucocephalus* (Cactaceae Tribe Cereae): a columnar cactus with asynchronous pulsed flowering. Plant Ecol. 211: 191-201.
- Nobel, S.P. 1980. Interception of photosynthetically active radiation by cacti of different morphology. Oecologia (Berl.) 45: 160-166.
- Nobel, S.P. 1981. Influences of photosynthetically active radiation on cladode orientation, stem tilting, and height of cacti. Ecology 62: 982-990.
- Nobel, S.P y Hartsock, L.T. 1983. Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO₂ uptake for a Crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. Plant Physiol. 71: 71-75.
- Nobel, S.P. 1986. Form and orientation in relation to PAR interception by cacti and agaves. In: Givnish J.T. (Ed.). On the economy of plant form and function. Cambridge University Press. New York. pp. 83-103.
- Nobel, S.P. 1988. Environmental Biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press. New York. Pp. 83-189
- Nobel, S.P. 1998. Los incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. 211 p.
- Osmond, C.B. 1978. Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context. Annu. Rev. Planta Physiol. 29: 379-414.

- Patistán, P.J., Rodríguez, G.R., Zavala, G.F. y Jasso, C.D. 2010. Conductancia estomática neta de CO₂ en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. Rev. Fitotec. Méx. 33(4): 1-17.
- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J. y García-Galindo, J. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. Agrociencia 40: 699-709.
- Rosas, G.E.M. 2010. Efecto de la orientación preferencial sobre las estructuras reproductivas y vegetativas en *Myrtillocactus geometrizans*. Tesis de Maestría en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. 75P.
- Rzedowski, J. 1998. Diversidad y orígenes de la Flora Fanerogámica de México: En, Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM, México.
- Salisbury, B.F. y Roos, W.C. 1992. Fisiología vegetal. Ed. Iberoamericano S.A. de C.V. México. 759 p.
- Sánchez, V.D. 2008. Composición florística, estructura y manejo de los huertos familiares del municipio de Santo Domingo Huehuetlán el Grande, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 89 p.
- Silva, J.S.B. 2013. Cuantificación de ácidos orgánicos y su efecto en la producción de frutos de *Pachycereus weberi* (J.M.Coult.)Backeb. En el municipio de Huehuetlán el Grande, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. Escuela de Biología de La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 48P.
- Szarek, S.R. y Ting, P. I. 1975. Physiological. Response to rainfall in *Opuntia basilaris* (Cacataceae). Amer.J.Bot. 62(6):602-609.
- Silva, J.S.B. 2013. Cuantificación de ácidos orgánicos y su efecto en la producción de frutos de *Pachycereus weberi* (J.M. Coult.) Backeb., en el municipio de Santo Domingo Huehuetlán el Grande, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. 48 p.

- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. Four Edition, Ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers. U.S.A.
- Ting, P.I. 1985. Crassulacean acid metabolism. Ann.Rev.Plant Physiol. 36: 595-622.
- Ting, P.I. y Rayder L. 1982. Regulation of C3 to CAM shifts: in Crassulacean Acid Matabolism. Ed. I.P. Ting, M. Gibbs. pp. 193-207.
- Tinoco-Ojanguren, C. y Molina-Freaner, F. 2000. Flower orientation in *Pachycereus pringlei*. Canadian Journal of Botany 78: 1489-1494.
- Zeiger, E. y Taiz, L. 2006. Plant Physiology. 4^a. Ed. Sinauer Associates, Inc. EU. 764 p.
- Winter, K. y J.A.C. Smith. 1996a. An introduction to Crassulacean Acid Metabolism biochemical principles and ecological diversity: In. K. Winter and J.A.C. Smith Eds. Crassulacean acid metabolism biochemistry, ecophysiology and evolution Springer Berlin.
- Woodhouse, R.M., Williams, J.G. y Nobel, S.P. 1980. Leaf orientation, radiation Interception, and nocturnal acidity increases by the CAM plant *Agave deserti* (Agavaceae). Amer. J. Bot. 6(8): 1179-1185.