

UNIVERSIDAD DE LA SIERRA JUÁREZ



Ecología y distribución de *Pachyphytum caesium* (Crassulaceae) especie endémica del estado de Aguascalientes, México.

Responsable y colaboradores: Clark-Tapia, R¹, Alfonso-Corrado, C¹, González-Adame, G¹ y Campos Contreras Jorge².

Adscripción de los autores:

¹Universidad de la Sierra Juárez. Instituto de Estudios Ambientales. Av. Universidad s/n, Ixtlán de Juárez, Oaxaca. C.P. 68725. Fax: (951) 553-63-64. Correo electrónico: rclark@juppa.unsij.edu.mx; liana@juppa.unsij.edu.mx

²Laboratorio de Bioquímica Molecular, UBIPRO, FES-Iztacala, UNAM. Avenida de los Barrios No. 1. Los Reyes Iztacala, C.P. 54090. Tlalnepantla, Estado de México. jcampos@servidor.unam.mx

CA: Biología.

Fecha: 24 de febrero del 2010.

Clave de la unidad programática: **2-EA-0714**

RESUMEN

Pachyphytum caesium Kimnach y Moran es una crasulácea endémica de la región subtropical del estado de Aguascalientes. El hábitat de esta especie se encuentra amenazado debido al cambio del uso de suelo hacia actividades del cultivo de la guayaba. El presente proyecto tiene como finalidad conocer el estatus ecológico de la especie, realizar una caracterización del hábitat de esta especie. Se ubicó geográfica y espacialmente cada población y se realizó una caracterización (florística, poblacional, climática y edáfica) de cada población, para ello se establecieron seis parcelas de 25 m² en cada población. Se encontró que la especie presenta poblaciones fragmentadas con rango de distribución geográfica y espacial muy reducida, particularmente distribuidas en Río Gil. Sus poblaciones presentan una densidad promedio de 1.60 ± 0.490 ind/m² y están conformadas principalmente por individuos reproductivos que presentan dos periodos reproductivos (verano e invierno). Se observó un patrón edáfico y climatológico que propicia un mecanismo regulador del crecimiento de las poblaciones. Los resultados obtenidos sugieren que la especie se encuentra amenazada no sólo por factores antropogénicos y por procesos naturales de su entorno. Finalmente, con base en la información obtenida, se propone la creación de una reserva Estatal o Federal como una estrategia viable de conservación para esta especie, particularmente se propone el área de Río Gil. Esta área presenta una gran riqueza y diversidad de especies, además de ser uno de los sitios con menores niveles de perturbación en los que se distribuye la especie.

Palabras clave: Aguascalientes, amenazada, crasulácea, endémica, hábitat.

1.- INTRODUCCIÓN

El estudio de la caracterización del hábitat es importante en la ecología y biología de la conservación de especies raras y amenazadas (i.e. Soulé 1986; Schemske *et al.* 1994; Izco 1998; de Lange & Norton 2004). La rareza es una característica normal de todas las comunidades biológicas, generalmente compuestas por una gran diversidad de especies poco abundantes y con pocos individuos en sus poblaciones (Rabinowitz *et al.*, 1986; Gaston, 1994), además de que representa una característica emergente de la interacción población, individuo y ambiente (Kunin 1997). De manera natural la rareza se puede presentar en una especie a través de: (1) una distribución geográfica restringida, (2) especificidad en el hábitat y (3) bajo tamaño poblacional (Rabinowitz *et al.*, 1986). No obstante, el impacto de las actividades humanas en ambientes naturales ha generado la formación de nuevas especies raras, especies que antiguamente eran abundantes, se han convertido en raras debido a la pérdida y fragmentación del hábitat de las poblaciones. Esto ha ocasionado pequeños fragmentos de hábitat, que la mayoría de las veces impide el intercambio o desplazamiento de los organismos entre poblaciones (Forman, 1995; Fahrig, 1997). Esta fragmentación o pérdida del hábitat normalmente conlleva a una pérdida de la continuidad del hábitat, lo que en conjunto o por separado, pueden afectar las dinámicas poblacionales, los niveles de variación genética y la estructura comunitaria de los organismos asociados (Laurance y Birregaard, 1997; Clark-Tapia, 2004) y consecuentemente afectar la viabilidad de las poblaciones (Clark-Tapia, 2004).

A pesar del gran interés biológico que ha habido en torno al estudio de plantas endémicas y raras en las últimas dos décadas, nuestro conocimiento actual sobre aspectos ecológicos y su estatus de conservación, en asociación con otro tipo de estudios (i.e. genéticos y demográficos) de las plantas es aún escaso. La familia Crassulaceae ha sido un grupo ignorado biológicamente en México, ya que no ha existido un gran interés por realizar evaluaciones sobre el estatus de las poblaciones que están siendo objeto de una explotación humana o afectadas de manera directa por la destrucción y fragmentación de sus hábitats. Particularmente, el género *Pachyphytum* no es la excepción, ya que sólo existen estudios

descriptivos morfológicos (i.e. Kimnach & Moran 1993; Pérez-Calix & Glass 1999; García *et al.* 1999) y uno citológico (Uhl & Moran 1973); sin embargo ninguno de estos estudios investiga aspectos ecológicos, con el objeto de proponer estrategias de conservación. Este género está constituido por 18 especies, cuyas poblaciones presentan una distribución geográfica restringida, tamaños poblacionales pequeños y alta especificidad en su hábitat, ya que se le encuentra exclusivamente en cañadas y barrancas húmedas y profundas (Pérez-Calix 1995).

Esto parece ser el caso de *Pachyphytum caesium*, una crasulacea rara del estado de Aguascalientes. Esta especie aparentemente endémica del estado de Aguascalientes, es una especie interesante desde el punto de vista biológico ya que se descubrió apenas en 1993 (Kinnach y Moran, 1993). Su distribución se restringe a la región subtropical del estado, principalmente en el municipio de Calvillo y se localiza exclusivamente en cañadas cerradas y húmedas. Estas zonas, debido a sus condiciones ambientales, son las más idóneas para el cultivo de la guayaba, por lo que el hábitat que ocupa está en riesgo inminente por el avance de las actividades antropogénicas en el área. Actualmente, se desconoce por completo la ecología y biología de las poblaciones *P. caesium*, por lo que se desconoce el grado de fragmentación y perturbación en que se encuentran sus poblaciones debidas al cultivo de guayaba. Este estudio caracterizará el hábitat de las poblaciones de *P. caesium* en toda su área de distribución, esto permitirá por un lado evaluar el estatus ecológico en que se encuentran las poblaciones de esta especie y por otro proponer estrategias de conservación para garantizar la viabilidad de sus poblaciones.

2.- OBJETIVOS

2.1.- General

- Caracterizar el hábitat de las poblaciones de *Pachyphytum caesium* Kimnach & Moran (Crassulaceae) en toda su área de distribución, para así determinar el estatus ecológico de la especie y proponer algunas estrategias para su conservación.

2.2 Particulares:

- Delimitación del rango de distribución de *Pachyphytum caesium*.
- Describir las propiedades poblacionales de cada población muestreada.
- Evaluar las características edáficas y climatologías en cada población muestreada.
- Proponer estrategias conservación en base al estatus ecológico en que se clasifique a la especie.

3.- MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio.- Reportes realizados por Kimnach & Moran (1993), García et al. (1999) sugieren que *Pachyphytum caesium*, se distribuye particularmente en la región subtropical del estado de Aguascalientes, para corroborar esto durante los meses de junio a diciembre de 2006 se realizó una búsqueda exhaustiva de nuevas poblaciones de la especie en la región subtropical, incluyendo además, una búsqueda en las región templada y desértica del estado. Para ello, se establecieron aleatoriamente 90 sitios de muestreo, 30 por cada región, en los cuales se registro la presencia o ausencia de *P. caesium*. Una vez localizado el hábitat de la especie, se realizó un muestreo dirigido durante 2007 y 2008 a 10 localidades del estado de Zacatecas y 10 localidades del estado de Jalisco, con la finalidad de determinar si la especie es endémica del estado de Aguascalientes o comparte distribución con estos estados colindantes.

Cada población localizada de *P. caesium*, se ubico geográfica y espacialmente en una carta topográfica del estado. Esto se realizó tomando las coordenadas con un geoposicionador (Garmin Mod. Summit) y estimando las distancias con distanciometro laser (Stanley mod. 300) la distribución espacial que ocupa cada población, con la finalidad de tener mapeado el rango de distribución real que ocupa la especie.

3.2. Análisis de las propiedades poblaciones.- En cada población localizada de *P. caesium* se establecieron aleatoriamente seis parcelas de 50 m² (5 x 5 m) a lo largo de su distribución espacial. Dentro de cada parcela se clasifico a los individuos de *P. caesium* de acuerdo a su tamaño (Cuadro 1) y se estimó su abundancia y densidad de acuerdo a Browen *et al.* (1989). Adicionalmente, se

realizo una caracterización del tipo de vegetación registrando la presencia y ausencia de todas las especies presentes (i.e. perenes, anuales, pteridofitas, musgos, etc.) con la finalidad de evaluar la similitud/disimilitud entre poblaciones. Para ello, se utilizó el coeficiente de asociación de Jaccard y análisis de agrupamiento utilizando el software Gikgo v.1.5.1 (De Cáceres, 2003).

Cuadro 1.- Categorías de tamaño esperado de *Pachyphytum caesium*.

Categoría	Longitud de la planta (cm)
1.- Plántulas	0-2 cm
2.- Juveniles	2.1-10 cm
3.- Adulto I	10.1-40 cm
3.- Adulto II	40.1-60 cm
4.- Adulto III	60.1-80 cm
5.- Adulto III	> 80.1 cm

3.3. Análisis edáfico y climatológico.- Los parámetros edáficos que se estimaron de cada población son: pH, conductividad y materia orgánica. Para evaluar este análisis se tomaron aleatoriamente tres muestras homogéneas de suelo de cada población (aproximadamente de 1.0 a 2.0 kg de muestra) la cual se almaceno en bolsas ziplot. Una vez colectada la muestra, está se analizo en laboratorio de acuerdo a Petersen & Calvin (1986). Adicionalmente, se realizo un análisis de fertilidad del suelo (macro y micronutrientes) en sitios con cultivo de guayaba, sitios cultivados abandonados (≈ 20 años) y sitios con presencia de *P. caesium*, con la finalidad de evaluar el efecto del cultivo de guayaba en el suelo y posibles consecuencias para la especie.

De cada población analizada se registro además: la altitud, temperatura, periodos de heladas, precipitación, pendiente, orientación de las laderas y nivel de perturbación. La altitud (m) se calculo utilizando un geoposicionador (Garmin Mod. Summit) y se corrigió con una carta topográfica (INEGI, 1996). La temperatura ($^{\circ}\text{C}$), periodos de heladas y precipitación (mm) se obtuvieron de las estaciones meteorológicas localizadas en el sitio de estudio, dicha información fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua. La pendiente se midió en

campo utilizando un clinómetro Brunton (en grados). La exposición de la ladera se obtuvo en campo mediante una brújula (en grados), y se estimó el coeficiente de Roberts (1986) modificado:

$$e_t = (\cos (e_o - 30^\circ) + 1) / 4$$

donde: e_t : exposición transformada y e_o : exposición observada

Para la variable de perturbación se utilizó una escala cualitativa de intensidad: ausencia (cero), baja (uno), media (dos) y alta (tres).

Se utilizó un análisis de correspondencia canónica el Detrended Canonical Correspondence Analysis (DCCA, Hill y Gauch 1980, Ter Braak, 1988). El DCCA combina la información ambiental con los datos de las especies dentro de un mismo análisis. El uso de los análisis multivariados permitirá interpretar de manera rápida un conjunto complejo de datos, mediante la generación de variables teóricas (los ejes de ordenación) los cuales representan clines en la estructura de la comunidad. La posición de cada especie en las gráficas de ordenación, proporcionará una representación visual de su respuesta al ambiente (Vickery *et al.* 1997). En el diagrama de dos ejes, la orientación y magnitud de cada variable ambiental con relación a los ejes, está representada por una flecha y señalará la importancia de la variable en la distribución de la especie.

4.- Resultados y Discusión de la Investigación.

La rareza es una característica normal de todas las comunidades biológicas, generalmente compuestas por una gran diversidad de especies poco abundantes y con pocos individuos en sus poblaciones (Rabinowitz *et al.*, 1986; Gaston, 1994). Este patrón es característico de *Pachyphytum caesium*, ya que se encontró que la especie presenta poblaciones fragmentadas con rangos de distribución geográfica y espacial muy reducidos, particularmente a la región de Río Gil (Fig. 1). En general, la rareza se puede presentar de manera natural en una especie a través de: (1) una distribución geográfica restringida, (2) especificidad en el hábitat y (3) bajo tamaño poblacional (Rabinowitz *et al.*, 1986) y

de manera antropogénica a través de una pérdida y fragmentación del hábitat de las poblaciones (Fahrig & Grez, 1996; Laurance & Birregaard, 1997).

En este trabajo se encontró que *P. caesium*, es una especie endémica del estado de Aguascalientes, dado que no se encontró en los estados colindantes (Jalisco y Zacatecas). Adicionalmente, a la distribución geográfica restringida, se encontró que la especie presenta alta especificidad en el hábitat restringida a cañadas de la región subtropical del estado. Estos dos factores clasificarían a *P. caesium* como una especie rara y microendémica de acuerdo Rabinowitz *et al.*, (1986). El daño ecológico a sus poblaciones por actividades humanas (cambio de uso de suelo) y factores naturales (cambio climático) han ocasionado un incremento en la fragmentación de sus poblaciones y una reducción en sus tamaños poblacionales (como se verá más adelante) que refuerzan la clasificación de esta especie como rara (cfr. Rabinowitz *et al.*, 1986; Laurance y Birregaard, 1997). Al ser catalogada como una especie rara y micro-endémica las estrategias de conservación de sus poblaciones deben ser prioritarias.



Fig. 1.- Distribución geográfica y espacial de *Pachyphytum caesium* en el estado de Aguascalientes. Poblaciones en color rojo presentan densidades menores a 500 individuos, Poblaciones en color blanco presentan densidades entre 501 y 2500 individuos y poblaciones en color verde presentan densidades mayores a

2501 individuos.

El análisis florístico realizado en siete poblaciones de *Pachyphytum caesium* indica que las poblaciones de Mesa Montoro, Barranca Tortuga y Presa Cebolletas presentan menores valores de Número de individuos total, Riqueza de especies, Abundancia y densidad de *P. caesium*, que difieren significativamente (ANOVA, $H = 5.23$, $P = 0.05$) de las poblaciones Presa Malpaso, Puentes Cuates y Río Gil (Tabla 1). Asimismo, se encontró que la población de Río Gil es la que presenta significativamente mayores de índices de diversidad de Shannon-Weiner (TEST G, $G = -0.567$, $p = 0.05$), siendo Barranca Tortugas la población que presenta significativamente menores valores de este índice ($G = -0.257$, $p = 0.05$; Cuadro2).

Cuadro 2.- Características poblacionales de cada sitio analizado. Número de individuos total incluidas todas las especies (N), Riqueza de especies (S), Abundancia de *P. caesium* (A.P.c), Densidad de individuos por área (D), índice de diversidad de Shannon-Weiner (H').

Población	N	S	A. P. c	D (Ind/m ²)	H'
Mesa Montoro	457	31	141	0.94	2.350 ^{ab}
Presa Malpaso	784	48	240	1.6	2.363 ^{ab}
Barranca Tortugas	241	18	81	0.54	1.930 ^a
Puentes Cuates	622	36	176	1.17	2.31 ^{ab}
Río Gil	1342	53	277	1.85	2.638 ^a
Presa Cebolletas	354	35	128	0.85	2.493 ^{ab}

*a- difieren significativamente de Río Gil ($G = -0.567$, $p = 0.05$); b- Poblaciones que no difieren significativamente entre ellas.

En base al análisis florístico se encontró dos grupos de poblaciones (Fig. 2). La población de Montoro y Tortugas conformando un grupo y las poblaciones de Malpaso, Cebolletas y Puente Cuates conformado el segundo grupo y de manera aislada la población de Río Gil. Este resultado apoya la observación de Kimnach

& Moran (1993) y García *et al.* (1999) quienes sugieren que la especie se distribuye particularmente a la región subtropical del municipio Calvillo. Por ejemplo la vegetación predominante del primer grupo es una transición de vegetación templada a subtropical con una predominancia del segundo tipo, mientras que en los grupos restantes la vegetación predominante es subtropical.

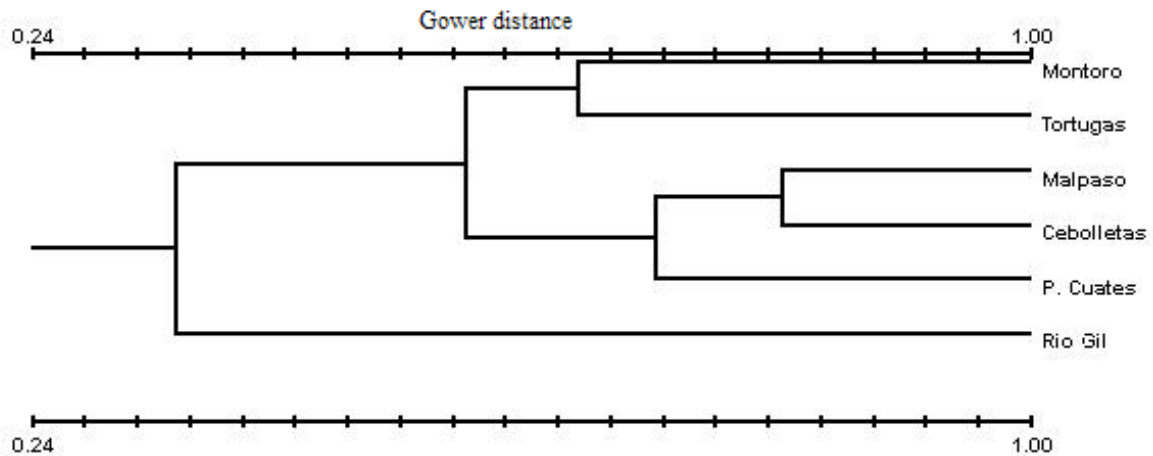


Fig. 2- Dendrograma de similaridad (presencia/ausencia de 53 especies) entre las poblaciones de *P. caesium* en base a los análisis de vegetación.

La estructura de tamaños de las poblaciones de *P. caesium* indican que las poblaciones de Mesa Montoro, Barranca Tortuga y Presa Cebolletas presentan una dinámica poblacional en decremento, debido a la ausencia de plántulas y escasos de individuos reproductivos en las últimas categorías de tamaño. En contraparte, las poblaciones de Presa Malpaso, Puentes Cuates y Río Gil presentan una estructuración de individuos en todos los tamaños, con plántulas, individuos juveniles y adultos reproductivos, lo cual permiten a largo plazo una dinámica poblacional continua dentro de estas poblaciones (Fig. 1)(Schemske *et al.* 1994; Clark-Tapia, 2004).

Los resultados de las características poblacionales y estructuras de tamaños de cada sitio analizado sugieren que las poblaciones de Mesa Montoro, Barranca Tortuga y Presa Cebolletas están siendo afectadas en su dinámica poblacional. Si a estos datos incorporamos la bandera de alerta (Fig. 1) en base a la densidad poblacional de *P. caesium*, se verá que dos poblaciones (Mesa

Montoro y Barranca Tortuga) prácticamente han desaparecido de su hábitat, mientras Presa Cebolletas se dirige a correr el mismo riesgo. Es importante mencionar que la población de Presa Los Serna antiguamente albergó a la especie (de acuerdo a registros de Kimnach & Moran, 1993; García et al., 1999), sin embargo en el presente estudio la especie no se encontró a la especie en dicho sitio, por lo cual se considera una población extinta.

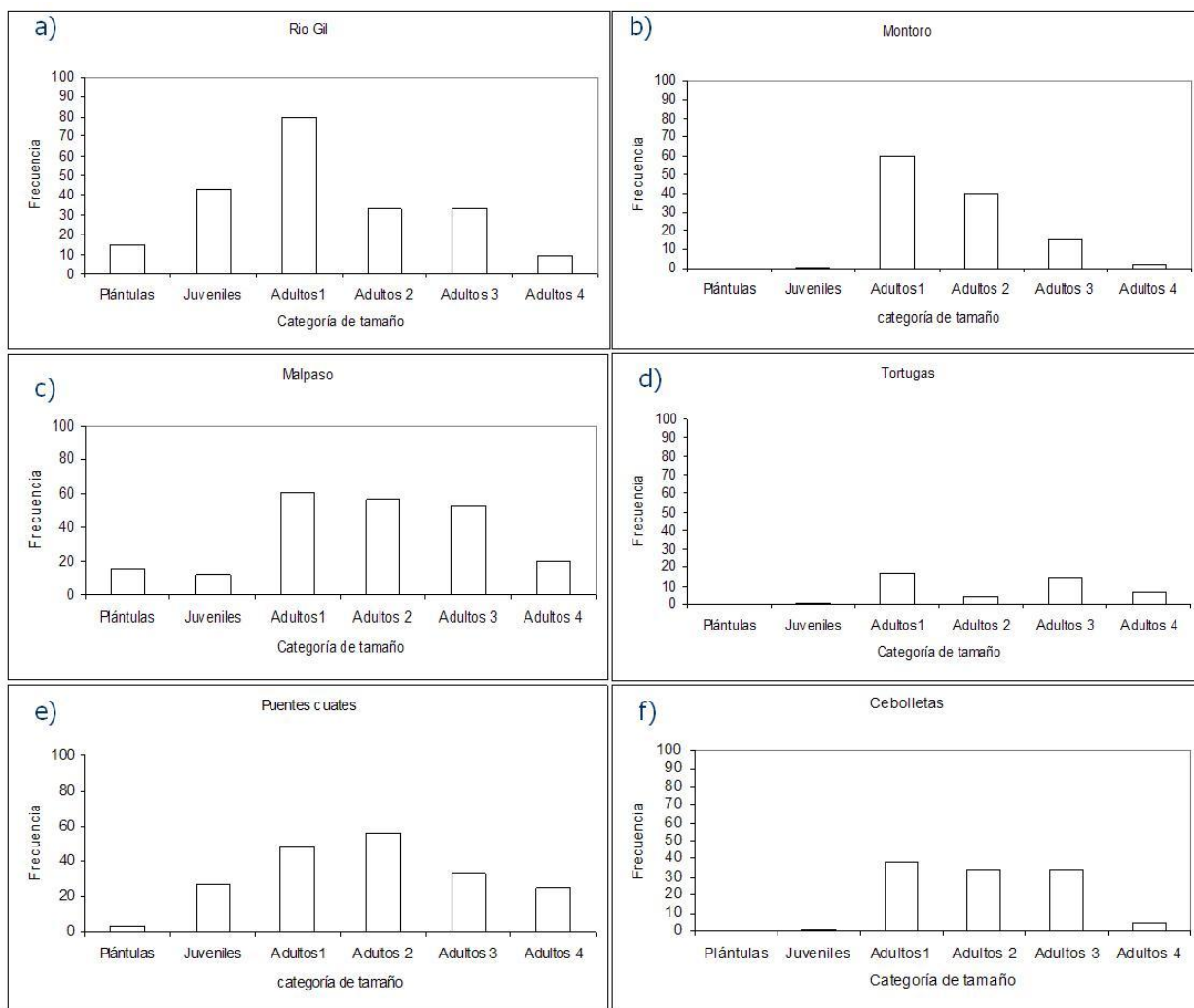


Fig. 3.- Estructura de tamaños de seis poblaciones de *Pachyphytum caesium*, a) Río Gil, b) Mesa Montoro, c) Presa Malpaso, d) Barranca Tortuga, e) Puentes Cuates y f) Cebolletas.

El análisis edáfico realizado en las siete poblaciones (Cuadro 3) indica que existen diferencias significativas entre poblaciones en los valores conductividad

eléctrica y porcentaje de materia orgánica (ANOVA, H=8.31, P=0.02). Esto refuerza la situación crítica de las poblaciones de Montoro, Cebolletas y Tortugas, y la condición estable de las poblaciones de P. Cuates, Río Gil y Malpaso. Zavala-Hurtado *et al.* (2003) sugieren que cambios pequeños en la composición química del suelo afectan el hábitat de una especie, en particular si está presente especificidad. Estos cambios se observan al analizar la composición de suelos en poblaciones de *P. caesium* y suelos con presencia de guayaba y abandonados (Cuadro 4).

Cuadro 3.- Valor promedio de tres parámetros edáficos evaluados en seis poblaciones de *Pachyphytum caesium*: potencial de hidrogeno (pH), Conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de materia orgánica (MO%). En paréntesis se da la desviación estándar.

	P. Cuates	Rio Gil	Malpaso	Tortugas	Cebolletas	Montoro
pH	4.81 (0.46)	4.71 (0.34)	4.69 (0.48)	5.79 (1.67)	5.20 (0.33)	5.04 (0.39)
CE	0.44 (0.08)	0.38 (0.16)	0.47 (0.23)	0.69 (0.27)	0.61 (0.15)	0.65 (0.28)
MO%	29.9 (7.95)	32.9 (4.73)	26.13 (4.60)	13.33 (6.19)	18.8 (3.01)	17.77 (3.04)

Cuadro 4.- Valor promedio de siete parámetros edáficos evaluados en sitios con *Pachyphytum caesium*, cultivo de guayaba y cultivo abandonados (sin guayaba): porcentaje de materia orgánica (MO%), potencial de hidrogeno (pH), Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn). En paréntesis se da la desviación estándar.

	<i>P. caesium</i>	Con Guayaba	Sin Guayaba*
%M.O.	13.90 (1.15)	19.43 (1.46)	6.033 (0.33)
pH	4.50 (0.50)	7.40 (0.25)	7.73 (0.21)
N (mg/kg)	323.33 (28.50)	122.33 (5.68)	174.33 (10.02)
P (mg/kg)	4.366 (0.81)	156.83 (12.07)	8.50 (1.66)
K (mg/kg)	270.00 (12.48)	3741.33 (94.55)	1788.66 (102)
Fe (mg/kg)	39.033 (2.01)	14.966 (1.00)	0.93 (0.25)
Mn (mg/kg)	20.03 (1.01)	2.23 (0.16)	0.96 (0.21)

Se ha argumentado que el cambio de uso de suelo solo puede afectar en cuanto al incremento en pérdida y fragmentación del hábitat, sin embargo nuestros resultados sugieren que el efecto del cambio de uso de suelo (cultivo de guayaba y/ otro cultivo) puede afectar la dinámica poblacional de *P. caesium*. Después de examinar el análisis de macro y micronutrientes de sitios conservados con presencia de la especie, sitios cultivados con guayaba y sitios abandonados (Cuadro 4) se refuerza la hipótesis de un efecto negativo provocado por el cambio de uso de suelo hacia cultivo de guayaba. Dado que existen diferencias significativas en todos los elementos analizados ($H=3.87$, $P=0.05$), se puede inferir que procesos de lixiviación o escorrentías con productos químicos (fertilizantes, u otros productos) arrastrados y acumulados en las poblaciones de *P. caesium* van a ir afectado de manera paulatina el desarrollo de una población, que se encuentre rodeada por cultivos de guayaba.

Al momento de realizar un recorrido prospectivo por dos poblaciones de *P. caesium*, se observó un patrón cardinal, de ahí que se realizará un análisis circular de las poblaciones, utilizando el paquete estadístico Oriana v. 1.2. El análisis estadístico indica que efectivamente existen diferencias significativas en la orientación cardinal entre poblaciones (Cuadro 5), lo cual puede tener consecuencias en las poblaciones, particularmente de manera reproductiva (asignación de recursos diferencial, dispersión de semillas o polen, captación de humedad, etc), sin embargo es necesario en un estudio posterior para evaluar estos efectos.

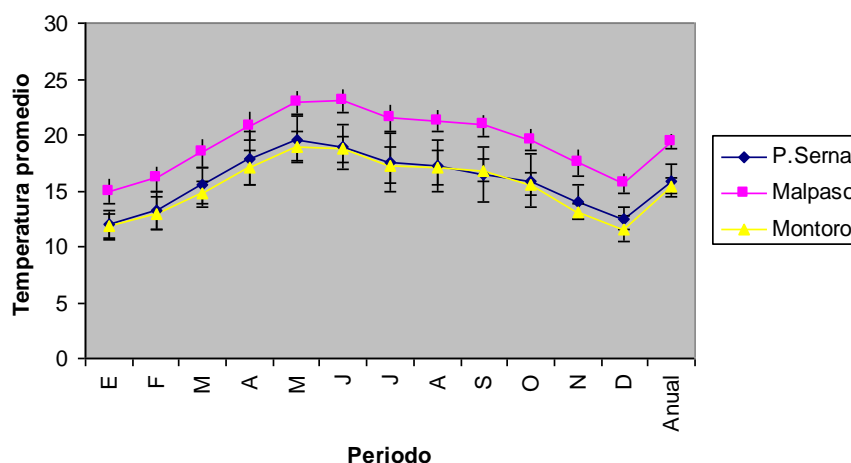
Cuadro 5.- Estadística circular para las poblaciones de *P. caesium*. Vector promedio (u), desviación estándar circular (DE) y Prueba de uniformidad de Rayleigh (P).

	Montoro	Malpaso	Cebolletas	P. Cuates	Tortugas	R. Gil
u	13.2	326	25	107	33.4	189
DE	51.16	97.46	61.57	60.52	57.95	45.23
P	0.001 ^{ab}	0.065 ^a	0.001 ^{ab}	0.026 ^a	0.001 ^{ab}	0.055 ^{ab}

*a-poblaciones que difieren significativamente de Malpaso. b- poblaciones que difieren significativamente de R. Gil.

Se ha reportado que en especies raras los factores ambientales son importantes, ya que estos limitan la distribución de una especie (Rabinowitz *et al.*, 1986; Zavala-Hurtado *et al.*, 2003; Lange & Norton, 2004). El análisis climático realizado con los datos proporcionados por CNA (solo tres localidades disponibles) permite dar una visión al esquema de distribución de la especie. Se encontró que no existen diferencias significativas en cuanto a precipitación promedio mensual o anual entre estas tres localidades ($\chi^2 = 14.52$, $P=0.65$). Sin embargo, cuando se comparo la temperatura mensual y anual, se encontró diferencias significativas entre localidades ($\chi^2 = 3.02$, $P=0.05$).

a)



b)

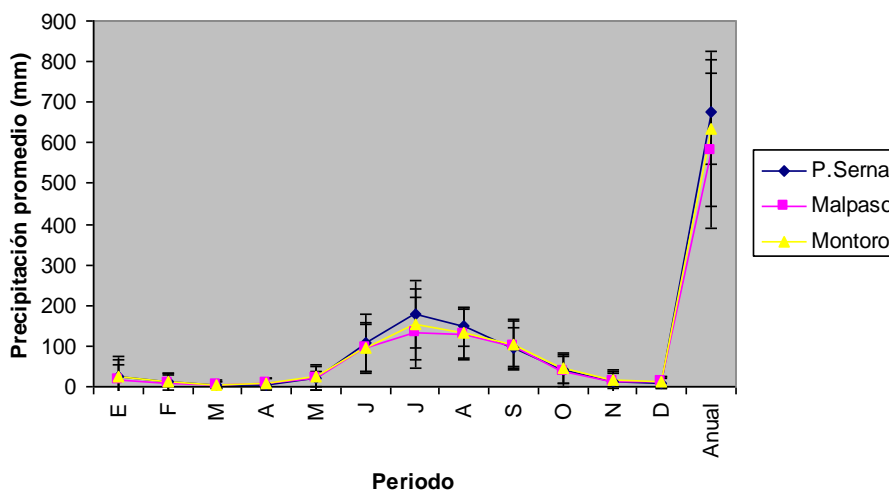


Fig. 4.- Datos climatológicos de tres poblaciones de *Pachyphytum caesium*. Presa los Serna (-◆-), Malpaso (-■-) y Mesa Montoro (-▲-). a) Temperatura promedio mensual y anual y b) precipitación promedio mensual y anual. Las barras son desviación estándar.

Hasta el momento se había discutido del efecto antropogénico (cambio de uso de suelo hacia cultivo de guayaba) como principal factor en la disminución del tamaño poblacional de *P. caesium*. Sin embargo, al evaluar los datos climatológicos se observa que poblaciones como Montoro y Presa Los Serna presentan una temperatura menor a la observada en Presa Malpaso (Fig. 4). Al integrar este resultado con los de distribución geográfica, características poblacionales y estructura de tamaños se encontró que la población de Mesa Montoro presenta una densidad poblacional menor, además de tener individuos de *P. caesium* muy fragmentados y de tamaño pequeño (ver Fig. 3), lo cual sugiere que esta especie es susceptible a bajas temperaturas. Esto se vio de manifiesto en la población de Presa los Serna, la cual desapareció en 1997, año en que se presentó un período de heladas severas, de acuerdo al registro climatológico.

Con esta información surge un cuestionamiento:

¿La problemática y riesgo de extinción de *Pachyphytum caesium* es antropogénica o natural?

Esta pregunta se puede contestar con el análisis de componentes principales y evidencia de campo. Este análisis separa claramente cuales poblaciones son afectadas de manera antropogénica y cuáles de manera natural (Fig. 5). Las poblaciones de Cebolletas y Tortugas son afectadas debido al cambio de uso de suelo (disminución de materia orgánica o desmonte). Caso particular es el de Tortugas, en esta población González-Adame (com.pers.) observo en 1995 una abundancia de *P. caesium* en la zona baja de la barranca, sin embargo en este estudio, no se detecto ningún individuo en esta zona, estando en su lugar cultivos de guayaba.

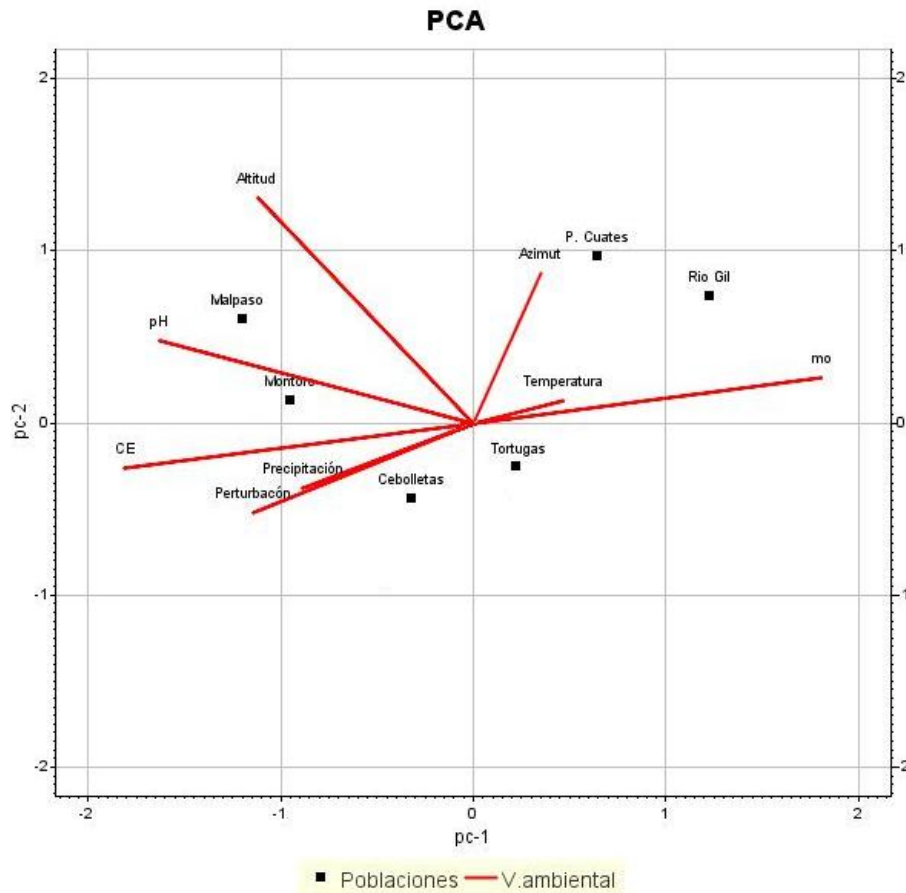


Fig. 6.- Análisis de componentes principales en el cual se incluyen siete variables ambientales (porcentaje de materia orgánica (mo), potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE), orientación (azimut), temperatura, precipitación y altitud) y nivel de perturbación.

En contraparte, se puede observar que el resto de las poblaciones son afectadas en menor o mayor por los factores ambientales. No obstante, varias de las variables incluidas como ambientales (porcentaje de materia orgánica, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica) pueden ser afectas por las prácticas de cultivo. Incluso las variables ambientales de temperatura y precipitación pueden ser afectadas por el cambio de uso de suelo de vegetación subtropical a cultivo de guayaba al generarse un cambio microclimático en la región, sin embargo para sustentar esta hipótesis se requiere un estudio a largo plazo.

En base a la a los datos obtenidos en este trabajo y siguiendo los criterios

del Método de Evaluación de Riesgo (MER) de las especies silvestres en México de la NOM-059-2001, se considera que *P. caesium* es una amenazada. Al ser una especie rara endémica y amenazada no sólo por factores antropogénicos (modificación y pérdida de su hábitat ocasionada por el cambio del uso de suelo hacia actividades del cultivo de la guayaba, cultivos de temporal y/o desmonte para pastizales), sino también por procesos naturales de su entorno (cambio climático) es necesario tomar medidas para la conservación de esta especie. En este sentido, con base en la información obtenida en este estudio, se propone la creación de una reserva Estatal o Federal como una estrategia viable de conservación para esta especie, particularmente se propone el área de Río Gil. Esta área presenta una gran riqueza y diversidad de especies, además de ser uno de los sitios con menores niveles de perturbación en los que se distribuye la especie.

5.- Conclusiones y recomendaciones.

- El estudio demostró que *Pachyphytum caesium* es una especie rara endémica y amenazada por factores antropogénicos y naturales, por lo cual es necesario conservarla y para ello se propone la creación de una reserva estatal o federal en Río Gil.
- Es necesario profundizar en el conocimiento ecológico y genético de la especie, para determinar si el estatus de amenazada se conserva o se cambia a peligro de extinción o protección especial. Los estudios ecológicos recomendados son la biología reproductiva, , estudios de la dispersión y demográficos, así como estudios de la genética de poblaciones de la especie.
- Se ha dado inicio (junio de 2007) a los estudios demográficos y genéticos, y para medianos de año (2010) se dará inicio a los estudios reproductivos.

6.- REFERENCIAS.

Brower, J.E., J.H. Zar & C.N. von Ende. 1989. Field and Laboratory methods for General Ecology. 3er ed. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, USA.
Clark-Tapia, R. 2004. Estructura clonal, demografía y biología reproductiva de

- Stenocereus eruca* (Cactaceae) en las planicies de Magdalena, B.C.S. Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto de Ecología. UNAM, México. 87 pp.
- De Cáceres, A.M., Font X. García R, & Oliva F. 2003. Vegana (Ginkgo 1.4), un paquete de programas para la gestión y análisis de datos ecológicos. VII Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre. 1487-1497 pp.
- de Lange, P. J. & D. A. Norton. 2004. The ecology and conservation of *Kunzea sinclairii* (Myrtaceae), a naturally rare plant of rhyolitic rock outcrops. *Biolog. Conserv.* **117**: 49–59
- Fahrig, L. 1997. Relative effects of habitat loss and fragmentation on species extinction. *Journal of Wildlife Management* **61**: 603-610.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Evol. and System.* **34**: 487-515.
- Fahrig, L. & A.A. Grez. 1996. Population structure, habitat fragmentation and biodiversity. *Revista Chilena de Historia Natural* **69**: 5-13.
- Forman, R.T.T. 1995. Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, New York, U.S.A. 632 pp.
- Izco, J. 1998. Types of rarity of plant communities. *J. Veg. Sci.* **9**: 641-646.
- Kunin, W.E. 1997. Introduction: on causes and consequences of rare-common differences. In: Kunin, W.E. & Gaston, K.J. (eds.) *The biology of rarity: causes and consequences of rare-common differences*, pp. 3-11. Chapman & Hall, London, UK.
- Laurance, W.F. & R.O. Bierregaard. 1997. Tropical forest remnants. Ecology, management, and conservation of fragmented communities. Univ. Chicago Press.
- García, R.G., M., De la Cerda, C. Rosales, & M. Siqueiros. 1999. Listado florístico del estado de Aguascalientes. *Scientiae Nature* Vo. I, No. 2.
- Gaston, J.K. 1994. *Rarity*. Chapman & Hall, London, UK.
- Hill, M.O. & H.G. Gauch Jr. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio*, **42**: 47-58.
- INEGI, 1996. Carta topográfica Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- Kimnach, M. & R. Moran. 1993. *Pachyphytum caesium*, a new species from Aguascalientes, México. *Cact. Succ. Journ.* (U.S.) **65**: 59-62.
- NOM-059-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio -Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 6 Marzo de 2002.
- Pérez-Calix, E. 1995. La Familia Crassulaceae (excepto *Sedum*) en el Bajío y zonas adyacentes (México). Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 126 pp.
- Pérez-Calix, E. & Ch. Glass. 1999. *Pachyphytum brevifolium* Rose (Crassulaceae) a un siglo de su descubrimiento y *Pachyphytum garciae*, una especie nueva del centro de México. *Acta Bot. Mex.* **48**: 1-10.
- Petersen, R.G. & L.D. Calvin. 1986. Sampling In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*, Part 1. 2nd Ed. *Agronomy* **9**: 33-51.

- Rabinowitz, D., Cairns, S. & Dillon, T. 1986. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles. In: Soulé, M. (ed.) *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*, pp. 182-204. Sinauer, Sunderland, MS, US.
- Roberts, D.W. 1986. Ordination on the basis of fuzzy set theory. *Vegetatio*, 66: 123-31.
- Schemske, D.W., B.C. Husband, M.H. Ruckelshaus, C. Goodwillie, I.M. Parker & J.G. Bishop. 1994. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology*. 75: 584-606.
- Soulé, M.E. 1986. *Conservation biology: the science of scarcity and rarity*. Sinauer, Sunderland, MS, US.
- Ter Braak, C. J. F. 1988. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 67: 1167-79.
- Vickery, J.A., W. J. Sutherland, M. O'Brien, A.R. Watkinson & A. Yallop. 1997. Managing coastal grazing marshes for breeding waders and over wintering geese: is there a conflict? *Biolog. Conserv.* 79: 23-34.
- Zavala-Hurtado, A. & P.L. Valverde. 2003. Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera* a threatened endemic Mexican cactus. *J. of Veg. Sc.* 14: 891-898.

7.- Apéndices

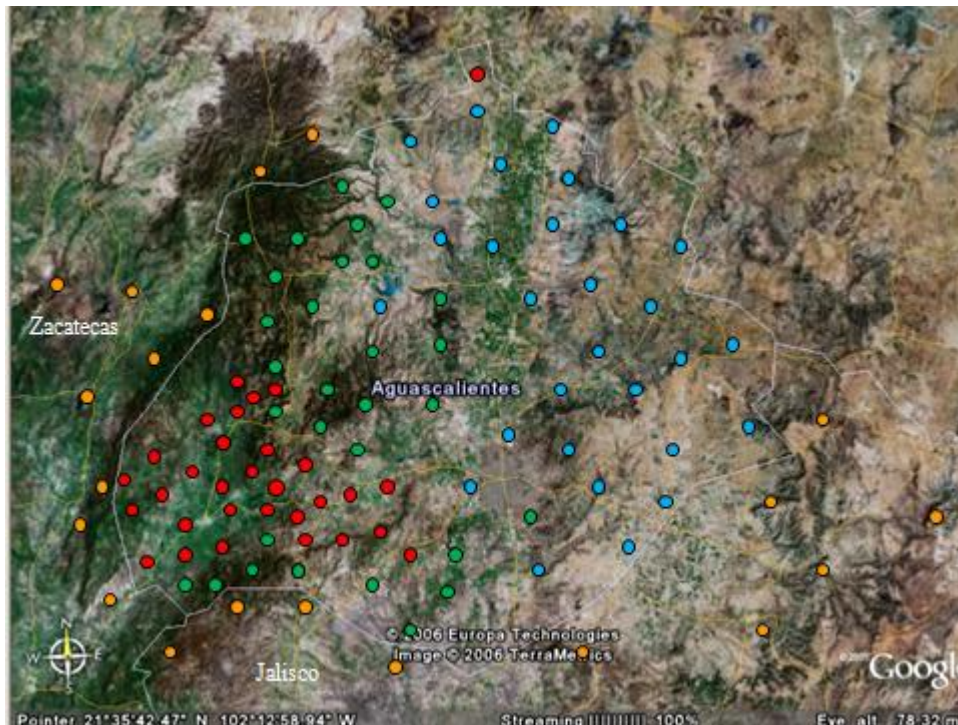


Fig. 7.- Sitios de muestreo con la finalidad de ubicar a *Pachyphytum caesium* en los estados de Aguascalientes, Jalisco y Zacatecas. Círculos en color verde corresponden a vegetación templada, círculos en color azul a vegetación semidesértica y círculos en color rojo a subtropical. En color anaranjado se muestran los sitios de los estados de Jalisco y Zacatecas.



Fig. 8.- Hábitat específico de *P. caesium* en la región subtropical de la región del municipio de Calvillo.



Fig. 8.- Cambio de uso de suelo y modificación edáfica y climatológica al establecerse un cultivo de guayaba.