

Informe final* del Proyecto GN047
Especies ornamentales invasoras: el caso de *Kalanchoe delagoensis*

Responsable: Dr. Jordan K Golubov Figueroa
Institución: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento El Hombre y su Ambiente
Dirección: Calzada del Hueso # 1100, Villa Quietud, Coyoacán, México, DF, 04960 , México
Correo electrónico: gfordan@correo.xoc.uam.mx
Teléfono/Fax: 54837000 ext. 7153; fax 54837469
Fecha de inicio: Marzo 31, 2009.
Fecha de término: Julio 20, 2012.
Principales resultados: Hojas de cálculo, cartografía, fotografías, informe final.

Forma de citar el informe final y otros resultados:** Golubov Figueroa, J. K. 2012. Especies ornamentales invasoras: el caso de *Kalanchoe delagoensis*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. GN047**. México D. F.

Resumen:

Las invasiones biológicas son actualmente el segundo factor de pérdida de biodiversidad a nivel mundial. La introducción de especies no nativas pueden llegar a ser invasoras y así afectar procesos ecosistémicos y afectar la biodiversidad. Hasta ahora no tenemos un marco teórico general de los atributos poblacionales y genéticos que pueda ser utilizado para predecir invasiones biológicas, aunque se han propuesto tres factores importantes (1) un factor ambiental en donde la invasión es más o menos probable si existen las condiciones climáticas adecuadas (climate matching) entre el lugar de origen y la zona de invasión, (2) Características biológicas como la clonalidad y/o la sexualidad, y (3) atributos de historia de vida (edad a la primera reproducción, tasa de crecimiento etc) que generan una estrategia de historia de vida característica de especies invasoras.

Este trabajo pretende establecer las condiciones abióticas para el establecimiento de *K. delagoensis*. Para esto, utilizaremos estudios ecológicos que ayuden a definir los atributos de historia de vida y demográficas y los factores climáticos que puedan ayudar a entender el proceso de invasión de una planta modelo el *Kalanchoe delagoensis*. Esta especie es originaria de Madagascar y se considera ya una invasora en otros países como Australia. En México se tiene registrada para los estados de Querétaro, Veracruz e Hidalgo, aunque se ha observado en Tamaulipas, San Luis Potosí y en la península de Yucatán. Dos especies de *Kalanchoe* son consideradas plagas altamente nocivas, conocidas como madre de millones (*Kalanchoe delagoensis* y *L. diagamontiana*). En México es especialmente preocupante porque el control biológico propuesto es capaz de consumir otras plantas como *Echeveria* sp, *Crassula* sp y *Opuntia* sp. En este trabajo pretendemos hacer tres cosas 1) generar mapas de distribución potencial que nos ayuden a establecer zonas de riesgo y los atributos ambientales que determinan el nicho de *K. delagoensis*, 2) determinar el crecimiento y efecto de *K. delagoensis* sobre flora nativa y 3) por medio de experimentos en campo e invernadero encontrar los requerimientos de luz y agua necesarios que determinan el crecimiento y sobrevivencia de *K. delagoensis*. Esta combinación de metodologías nos podrá dar una pauta de los atributos de historia de vida que pueden compartirse con otras especies exóticas (posiblemente invasoras) y poder llegar a un marco biológico que pueda ser utilizado para asignar riesgo a la introducción de especies exóticas vegetales. Aunado a esto se podrá tener una primera aproximación en términos geográficos de las zonas de riesgo en el país y poder planear en el futuro programas que coadyuven a mejorar las estrategias nacionales de prevención, erradicación y control de especies exóticas. En términos de formación de recursos humanos, esta investigación podrá sentar las bases metodológicas en estudiantes de la licenciatura para enfrentar el problema creciente de las especies exóticas.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Especies ornamentales invasoras: el caso de *Kalanchoe delagoensis*

Proyecto GN047

Responsable: Jordan K. Golubov. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

Informe marzo 9 2011

Antecedentes

El kalancho (género *Kalanchoe*) es una planta originaria de Mozambique y Madagascar (Boiteau y Boiteau, 1995) encontrada en pastizales abiertos y pendientes rocosas (Eggli, 2003). Esta planta es utilizada como insecticida (bufadienólidos, briofilinos A y C) y en la medicina tradicional de Indonesia para tratar infecciones, reumatismo, tos, fiebre e inflamación (Hutapea, 1994). Las especies del género se encuentran ampliamente distribuidas en países tropicales y subtropicales (Berger, 1930; Beckett, 1990), y en México diversas especies del género *Kalanchoe* se distribuyen en Chiapas, México Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla Querétaro, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (REMIB, 2008). En particular la distribución de *Kalanchoe delagoensis* se tiene registrada para los estados de Querétaro, Veracruz e Hidalgo (REMIB, 2008), aunque se ha observado en Tamaulipas, San Luis Potosí y en la Península de Yucatán (obs. pers.).

El género *Kalanchoe* (Crassulaceae, Mort et al., 2001) de la subfamilia Kalanchoideae tienen su centro de radiación filogenética en Madagascar (Gehrig, 2001) y está formada por tres géneros *Kitchingia*, *Bryophyllum* y *Kalanchoe*, aunque hay autores que consideran que la subfamilia solamente está formada por el género *Kalanchoe* y que los otros dos son secciones de ésta última (Mort et al., 2001). El género *Kalanchoe* tiene un metabolismo CAM obligado, es originario de zonas extremadamente secas de Madagascar y de regiones áridas de África oriental (Gehrig, et al., 2001) y ninguna especie del género es endémica de México (Meyrán-Gracia y López-Chavéz, 2003).

Los híbridos *K. delagoensis x daigremontiana* y *K. daigremontiana x tubiflora* no han sido encontrados naturalmente, y se considera que son de origen ornamental (Hannan-Jones y Playford, 2002). El género *Kalanchoe* es un invasor en diversos países. En Australia, se piensa que escapó de su uso ornamental y se naturalizó después de la segunda guerra mundial (Hannan-Jones y Playford, 2002); en otros países donde se ha cultivado y posteriormente se ha naturalizado son: México, Sudáfrica y E.U.A (GISP, 2009). En México se tienen registradas ocho especies (*K. pinnata*, *K. tubiflora*, *K. blossfeldiana*, *K. fedtschenkoi*, *K. daigremontiana*, *K. calcynum*, *K. laciniata* y *K. integra*, (Red Mundial de Información sobre Biodiversidad, 2008), de las cuales cuatro se consideran naturalizadas (*K. blossfeldiana*, *K. fedtschenkoi*, *K. pinnata* y *K. delagoensis*) principalmente presentes en el estado de Veracruz (Meyran-García y López-Chavéz, 2003).

Dos especies de *Kalanchoe* son consideradas plagas altamente nocivas, estas especies son conocidas como madre de millones (*Kalanchoe delagoensis*) y madre de millones híbrida. Estas especies se han dispersado ampliamente en Australia y otros países; son alelopáticas (Hannan-Jones y Playford, 2002); son venenosas para el ganado y aves domésticas (gallinas) debido a su contenido de glicosidos de bufadienolido (Capon et al., 1986; McKenzie et al., 1987; Williams y Smith, 1984); y sus flores, son las partes más palatables de la planta y son las partes que contienen mayor nivel de toxinas (McKenzie et al., 1987). El ganado en tránsito o con poca experiencia es el más susceptible a ingerir las flores (McKenzie et al., 1987). El ganado y aves envenenados sufren de torpeza, anorexia, diarrea y cardiopatías, (McKenzie et al., 1987; McKenzie y Dunster, 1986; Williams y Smith, 1984). La invasión de *Kalanchoe delagoensis* es preocupante debido a que, en casos como el de Australia, la densidad de la infestación de estas especies es tal que la pastura y especies nativas son excluidas y en algunos casos las funciones ecológicas comprometidas (Gobierno de Australia, 2010); como ya se mencionó especies de *Kalanchoe* son nocivas para animales domésticos (Hannan-Jones y Playford, 2002; Capon et al. 1986; Williams y Smith, 1984) y posiblemente para fauna silvestre; y se ha comprobado que la

germinación de semillas y el desarrollo de plántulas de diversas especies en sitios donde *Kalanchoe delagoensis* había o estaba creciendo fue inhibido (Groner, 1975). Por lo anterior en Australia desde 1993 especies de *Kalanchoe* han sido declaradas plantas nocivas en el Noxious Weed Act (Gobierno de Australia, 2010).

Aunque se han experimentado métodos de control con herbicidas (2,4-D), estos métodos han resultado costosos e ineficaces, debido a que las plantas pueden rebrotar de pseudobulbilos formados en las hojas y el alto costo del seguimiento y monitoreo de las poblaciones controladas (Hannan-Jones y Playford, 2002). Otros métodos utilizados es el control por fuego y control biológico con el coleóptero *Ospilia tenuipes*, sin embargo esto podría resultar dañino en el caso de México, dado que en pruebas de especificidad de huésped, se ha visto que este insecto es capaz de consumir otras plantas como *Echeveria* sp, *Crassula* sp y *Opuntia* sp., importantes en México (Witt, 2004).

Objetivo General: Estudiar la invasividad e impacto de *Kalanchoe delagoensis* en poblaciones de flora silvestre en México.

Objetivos particulares:

- I) Estimar la forma y tasa de dispersión de *Kalanchoe delagoensis*, además realizar un modelo de distribución actual y potencial dentro de México
- II) Realizar un estudio de la dinámica poblacional de *Kalanchoe delagoensis* para determinar los estadios más susceptibles de control.
- III) Observar y cuantificar si *Kalanchoe delagoensis* requieren de una interacción obligada para su establecimiento y si afecta el establecimiento de las especies asociadas.
- IV) Determinar el tipo de impacto de las poblaciones de *Kalanchoe delagoensis* sobre los recursos edáficos de las comunidades (Williams y Smith, 1984).

Métodos

1. Distribución

En el caso del modelaje de la distribución actual y potencial este se realizará con SIG y con Maxent (Phillips et al., 2006), donde se busca una relación entre las características de las áreas de distribución conocidas de las especies y las áreas similares en la región de estudio, en este caso en México. En MAXENT, la verdadera distribución de una especie se representa como una distribución de probabilidad β sobre un juego de sitios Y en el área de estudio. Se produce un modelo de β que esta contenido por las variables climáticas en las zonas de ocurrencia. Este modelo es en principio una modificación del teorema de Bayes en donde se puede asignar una probabilidad condicionada a información previa. El modelo converge en la mejor distribución de Gibbs y la salida es una función exponencial que asigna una probabilidad a cada sitio. Esto es, predice una probabilidad de que las condiciones sean adecuadas. Además de generar el modelo probabilístico, el programa genera información acerca de las variables que contribuyen más al modelo. De esta manera, podemos identificar cuáles son las variables (en este caso ambientales) que determinan de alguna manera la distribución de la especie. En especial el programa Maxent genera las variables climáticas más importantes para la determinación del nicho Eltoniano los cuales darán la información para establecer los factores abióticos de esta especie. Se utilizaron bases de datos digitales de REMIB (Red Mundial de Información sobre Biodiversidad), GISP (Global Invasive Specialist Group) y datos colectados de recorridos de campo. En cuanto a las coberturas climáticas usamos las 19 variables bioclimáticas de interpolación de datos puntuales (1950-2000) a una resolución de 30 segundos de arco (Hijmans et al., 2005). Se hicieron ejemplares de herbario de las colectas de *K. delagoensis* en Tula y Cadereyta que

serán depositadas en MEXU. La información de los ejemplares de herbario se incluirá siguiendo los lineamientos propuestos por CONABIO en el Instructivo para la conformación de bases de datos taxonómico-biogeográficas compatibles con el Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad 2008. La resolución de los puntos colectados en campo fue asociado al GPS utilizando el datum WGS84 y en el sistema de coordenadas grados-minutos-segundos.

2. Aspectos demográficos

Se montaron 7 parcelas (GN047A1) de 1 x 1m para el estudio demográfico en el sitio de Cadereyta de Montes Qro. y 8 parcelas en Tula agrupadas en dos sitios. Cada parcela correspondió a un manchón definido de *K. delagoensis*. Se construyeron cuadros de pvc de ½ pulgada dentro de cada cuadrante y se establecieron subcuadrantes de 10 cm x 10 cm con hilo. Dentro de cada subcuadrante se contaron el número de individuos de *K. delagoensis* y de cada individuo se midió la altura y un diámetro con flexómetro. Los individuos con dimensiones menores a 3 mm se agruparon en un solo grupo y no se medían solo se contaban. Esto hizo que fuera difícil el seguimiento de los individuos más pequeños y se estimó la sobrevivencia de pseudobulbilos y las probabilidades de transición de pseudobulbilo a la siguiente categoría de tamaño por medio de simulación. Estos cuadrantes se establecieron en el mes de febrero 2009 en Cadereyta y febrero 2010 en Tula. Sin embargo para poder hacer los datos comparativos entre sitios, utilizamos los datos de marzo 2010 a febrero de 2011 para Tula y abril 2010 a marzo 2011 para Cadereyta. Cada individuo de *K. delagoensis* se etiquetó de manera permanente para su seguimiento en los meses de febrero (cuando es la floración y finalmente el segundo censo de agosto 2009). El tamaño de los cuadrantes se estableció dependiendo de la densidad de los individuos en las áreas de estudio. Se utilizarán matrices de Lefkovitch que nos permitieron la caracterización de especies con ciclo de vida complejo (diferentes tipos de vástagos, y diferentes procesos demográficos

como la permanencia y los regresos; Caswell, 1989). El crecimiento de la población en una unidad de tiempo es el producto de la matriz \mathbf{A} por el vector \mathbf{n}_t (Caswell, 1989):

$$\mathbf{n}_{t+1} = \mathbf{A} \mathbf{n}_t$$

Se calculó una matriz de transiciones para estimar la tasa de crecimiento poblacional anual. La información de una matriz de transición \mathbf{A} está organizada por contribuciones de la columna (j) al renglón (i), en donde el primer renglón corresponde a la fecundidad F_{1j} = número de pseudobulbilos producidos por individuo en la clase de tamaño j . La diagonal principal contiene las probabilidades de sobrevivencia en la misma clase de tamaño (P_{ii}). La subdiagonal contiene las probabilidades de crecimiento (G_{ij}), y las diagonales superiores corresponden al regreso de individuos a categorías de menor tamaño (R_{ij} = número de individuos de tamaño i al tiempo $t + 1$, que estaban en la categoría j al tiempo t / número total de individuos en la clase j al tiempo t , donde $i < j$) (Mandujano et al., 2001). El análisis matricial se realizó con el programa **popbio** (Stubben y Milligan, 2007) de **R** (R development Core Team, 2005) y Matlab. Entre otros parámetros demográficos se estimó la tasa finita de crecimiento (λ , el eigenvalor dominante de la matriz), la estructura estable de edades (\mathbf{w} , eigenvector derecho asociado a λ), y el valor reproductivo (\mathbf{v} , vector izquierdo asociado a λ). Las contribuciones absolutas y relativas a λ de los procesos de crecimiento, permanencia, regreso a clases menores y reproducción se evaluaron por análisis de sensibilidad y elasticidad (Caswell, 1989, de Kroon et al., 1986). La sensibilidad es una medida absoluta del cambio producido en λ por un cambio en cada uno de los elementos a_{ij} de la matriz \mathbf{A} . Caswell (1989) ha demostrado que los elementos de la matriz de sensibilidad ($\mathbf{S}=[s_{ij}]$) pueden ser estimados directamente de los eigenvectores de \mathbf{A} como: $s_{ij} = v_i w_j / \mathbf{w} \mathbf{v}$, donde v_i y w_j corresponden al i -ésimo y j -ésimo valor de los eigenvectores izquierdo y derecho respectivamente, y $\mathbf{w} \mathbf{v}$ es el producto escalar de estos dos eigenvectores. Por otro lado, la elasticidad ($\mathbf{E}=[e_{ij}]$), mide la sensibilidad de λ a cambios proporcionales en los coeficientes de la matriz \mathbf{A} . Las elasticidades suman uno, haciendo este análisis útil para estudios de simulación en donde se pueda

identificar los procesos demográficos o transiciones que afectan λ . Las simulaciones para un posible manejo de la especie se hicieron modificando las entradas de la matriz de transiciones, además de simulaciones continuas de cómo van afectando los cambios en cada entrada de la matriz al valor de λ .

2.1 Producción de Semillas

Dado que la construcción de matriz requiere de un ingreso por fecundidad colectamos al azar de las poblaciones de Cadereyta 70 inflorescencias secas de *K. delagoensis*, cada una de las cuales está conformada por entre 40 y 70 flores. Empleando un microscopio estereoscópico, se buscaron semillas. Debido a que cada individuo solo es capaz de formar una inflorescencia, cada inflorescencia revisada proviene de un individuo fisiológico diferente. De las inflorescencias colectadas no encontramos producción de semillas por lo que suponemos que existe una limitante genética para la producción de semillas ya sea por autoincompatibilidad o depresión por endogamia, algo que ya se ha descrito anteriormente (Garcés et al., 2007). Por lo tanto la matriz que se construyó únicamente tiene entradas en el primer renglón que fueron las contribuciones de cada categoría por vía asexual (la producción de pseudobulbilos).

Además de los aspectos demográficos se hicieron observaciones en poblaciones de *K. delagoensis* durante los dos periodos de campo. No hemos encontrados visitantes florales durante la temporada de floración en ninguno de los sitios. Sin embargo colectamos ejemplares de *Aphis gossypii* en ambos sitios, que fueron identificadas como formas hembras ápteras vivíparas patenogénicas por la Dra. Rebeca Peña Martínez del Laboratorio de Entomología ENCB-IPN. Estos insectos dañan la inflorescencia y parte de las estructuras vegetativas. Es un insecto de amplia distribución en México que afecta a otros cultivos.

3. Caracterización de condiciones abióticas y bioensayos

3.1 Caracterización abiótica

Dentro del Jardín Botánico Regional de Cadereyta se tomaron medidas de luz fotosintéticamente activa (PAR) en tres periodos de tiempo a lo largo del día: entre las 1000 y 1230; entre la 1300 y las 1400 ; y entre las 1600 y 1730 p.m. (GN047A2). Las medidas se tomaron en diez puntos donde se encontraron pseudobulbilos recientemente establecidos y en diez puntos cercanos a los anteriores en donde no se encontraron propágulos de *K. delagoensis*. En un punto se midió la PAR empleando un fotómetro (LICOR lightmeter LI-259) por cinco minutos y se promediaron las medidas obtenidas durante este tiempo; se repitió el procedimiento en cada uno de los 20 puntos seleccionados.

Posteriormente se tomaron datos de PAR bajo condiciones controladas en la Ciudad de México. En este caso se situó el sensor del fotómetro dentro de una maceta y sobre esta una malla de 20% de extinción de luz; se repitió este procedimiento con mallas de 60 y 70% de extinción de luz; y para el caso de 0% de extinción no se colocó malla. Cada dato corresponde al promedio de dos minutos de mediciones, y se realizó una medición de cada porcentaje de extinción de luz en diez macetas entre las 1000 y las 1230; nuevamente se tomaron mediciones siguiendo el mismo procedimiento entre las 1630 y 1730. Se llevó a cabo una prueba de ANOVA y posteriormente una de Tukey para comparar las mediciones de PAR en campo con las obtenidas en el invernadero con las diferentes mallas.

Por otro lado, se realizó una mezcla constituida 50% de tierra y 50% de agrolita. Esta mezcla se agregó a macetas y se igualó el peso de cada maceta a 130 g. Se colocaron en charolas con agua por 24 horas y se estandarizó el peso a 250 g. Con base a la diferencia en peso se obtuvo la cantidad de agua necesaria para que la tierra se encontrara a 50 y 25% de saturación de agua.

Se formaron 16 tratamientos a partir de la combinación de cuatro niveles de saturación de agua: 0%, 25%, 50% y 100%; y cuatro niveles de extinción de luz: 0%, 40%, 60% y 70%. Cada uno de estos representado por 25 macetas con pseudobulbilos, cinco macetas con hojas y cinco macetas controles. En el caso de las macetas con hojas, debido a que ya se había realizado una prueba piloto en la que no se establecieron, no se colocaron la misma cantidad que de macetas con pseudobulbilos. Previamente los pseudobulbilos y las hojas se obtuvieron retirándolos manualmente de las plantas colectadas en Cadereyta; se colocaron tres unidades de una estructura por maceta, y cada maceta fue cubierta con malla del porcentaje de luz correspondiente.

Las macetas fueron colocadas dentro del invernadero del Depto. El Hombre y Su Ambiente UAM Xochimilco donde se ordenaron de forma aleatoria. Diariamente cada maceta fue pesada y se le agregó el agua necesaria de acuerdo al porcentaje de saturación de agua que le correspondía, excepto en las que la saturación de agua era del 100% ya que éstas se encontraban sobre charolas con agua. La sobrevivencia de cada pseudobulbilo y hoja también fue registrada. El experimento se mantuvo por 9 semanas. Los datos se analizaron con un modelo lineal generalizado con distribución binomial ya que la variable de respuesta es una proporción (Crawley, 2007). Los datos obtenidos se analizaron de realizando un modelo lineal generalizado con distribución binomial del error, y posteriormente los diferentes niveles de agua y luz fueron comparados entre sí empleando pruebas de χ^2 ajustando modelos de sobrevivencia con **survfit** y comparando las curvas con **curvdiff** (R Development Core Team, 2005, Oksanen et al., 2005).

3.1.1 Producción de pseudobulbilos

Se llevó a cabo otro experimento similar al anterior, en el que nuevamente se empleó una mezcla de 50% de agrolita y 50% de tierra, pero se colocaron 5 pseudobulbilos por maceta y con variación

únicamente en el factor luz. Se tuvieron tres tratamientos: 0%, 20% y 70% de extinción de luz, cada uno representado por 25 réplicas (macetas) y con 100% de saturación de agua. Cada semana se registró la sobrevivencia y la producción de pseudobulbilos en las zonas terminales de las hojas. El experimento comenzó el 9 de julio 2009 y se terminaron los censos el 28 de octubre de 2009.

3.2 Bioensayos

3.2.1 Bioensayo de Germinación:

Se realizaron bioensayos sobre la germinación de Maíz negro y blanco (*Zea mays*) de dos procedencias (M₁ Hidalgo y M₂, Edo. México), Trigo (*Triticum* sp), Amaranto (*Amaranthus* sp), Mesquite (*Prosopis laevigata*) y ayocote (*Phaseolus dumosus*). Se colectó material proveniente de Cadereyta, Qro. La preparación de los lixiviados se realizó con hojas frescas de *K. delagoensis* que fueron remojadas en 500 ml de agua destilada con las siguientes concentraciones: 10, 25, 50 y 100g de hoja. Se dejaron en remojo por 3 horas y al término de éste tiempo se retiraron las hojas, el control fue tratado sólo con agua destilada. Las semillas de cada especie receptora se escarificaron con Hipoclorito de Sodio (NaClO) al 2% dejándolas reposar por 10 minutos, después fueron enjuagadas con agua destilada. En cajas Petri estériles de 6cm con papel filtro se colocaron 5 semillas, inoculándose 5 ml. del lixiviado para cada tratamiento. Se realizaron 10 réplicas por tratamiento por especie y control. El total de semillas por especie en los tres tratamientos fue de 150 y el control para cada especie fue de 50 semillas. Las muestras, fueron colocadas en la cámara de crecimiento a 25±1 °C durante 72 horas (Labline, Biotronette Plant Growth Chamber), para determinar el número de semillas germinadas. Se consideró como semilla germinada sólo aquella que presentara crecimiento radicular, de las cuales se registró también la longitud de vástago, longitud de la radícula principal y las radículas secundarias.

Los dos parámetros, longitud vástago, y longitud radícula principal, de las especies receptoras fueron comparados por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey-Kramer ($p < 0.05$), utilizándose el programa **R** (R Development Core Team, 2005).

3.2.2 Bioensayo para el análisis de crecimiento de Maíz (*Zea mays*) y trigo (*Triticum*).

La obtención de plantas de *K. delagoensis* se realizó en el jardín botánico de Cadereyta, Querétaro. Las plantas colectadas se extrajeron de manera completa y se colocaron en bolsas negras, y trasladadas a la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Depto. El Hombre y Su Ambiente Laboratorio de Ecología, Sistemática y Fisiología Vegetal. Para el análisis de crecimiento de *Z. mays* se montaron dos bioensayos en el invernadero, con las siguientes condiciones: 20, 50 y 100 g de *K. delagoensis* en condiciones de luz y 20, 50 y 75 g de *K. delagoensis* en condiciones de sombra (malla sombra de 20%). La preparación de los sustratos se realizó con tierra negra, tezontle, agrolita y hojas frescas de *K. delagoensis* previamente cortadas en trozos de 2cm aproximadamente.

Se sembraron 10 semillas de *Z. mays* y *Triticum sp.* por maceta, las cuales fueron desinfectadas y germinadas en una cámara de crecimiento. Cada tratamiento, incluyendo al control tuvo 5 réplicas. Después de 8 días se realizó un muestreo destructivo, cosecha, al azar de una planta por maceta, de las cuales se registró: longitud de tallo y raíz con un vernier (Digimagic caliper, Mitutoyo, Corp. Japón); área foliar, registrada a través del conteo del área de las hojas bajo un acetato milimétrico, y por último, el peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz por medio de una balanza analítica (GT480, Ohaus, NY, USA). Se realizaron cosechas cada semana durante 1 mes; después las cosechas se realizaron cada 15 días, los 2 meses siguientes. Se determinó la tasa de crecimiento absoluto, relativo, índice de área foliar, tasa del área de las hojas y peso total, tasa neta de asimilación, tasa raíz-vástago mediante el método de análisis de crecimiento clásico (Hunt et al., 2002).

4. Análisis de suelos

La toma de muestras de suelo, se realizó con base en Schoeneberger et al., (2002), mientras que la designación de los horizontes del suelo se llevó a cabo con base en FAO-ISRIC-ISSS (2006). Se tomaron 20 muestras de suelo por sitio, de las cuales 10 se encontraban bajo la influencia de *K. delagoensis* y 10 muestras pareadas en donde no se encontraba *K. delagoensis*. Se tomaron aproximadamente 1.5 Kg de muestra que se guardó en bolsas de polietileno para su posterior procesamiento en laboratorio. **Antes de iniciar el trabajo en laboratorio las muestras de suelos se secaron a temperatura ambiente bajo sombra. Posteriormente se tamizó utilizando una malla de 2 mm de diámetro de abertura y se guardaron en recipientes de plástico herméticos.**

4.1 Determinaciones físicas de suelos.

4.1.1 Color.- Se determinó en muestras de suelo seco y húmedo, el cual estaba tamizado con malla de 2 mm de diámetro y se comparó el color del suelo con los patrones de las tablas de Munsell (2000) y USDA (2004), indicando el matiz, valor y croma respectivos.

4.1.2 El contenido de humedad.- Se determinó utilizando el método propuesto por Jackson (1982). Se pesó cada muestra de suelo en un crisol de peso conocido pesado y se secó hasta peso constante, de 24 a 48 horas dependiendo del estado de humedad del suelo a 105 °C y por diferencia de peso se determinó el porcentaje de humedad.

4.1.3 *La densidad aparente (Da)*.- Se estimó a partir de una muestra de suelo sin alterar, por lo que se tomó un agregado firme de un tamaño aproximado a 2 cm de diámetro. Se sujetó con hilo de cáñamo, se pesó y se sumergió en parafina líquida a 60 °C (sin que se formen burbujas), se dejó enfriar y se pesó. Se pesó nuevamente en agua. De una muestra del mismo suelo se tomó otra porción para determinar la humedad a 105 °C. (Gavande, 1987; SEMARNAT, 2002).

4.1.4 *La densidad real (Dr)*.- Se determinó de acuerdo con SEMARNAT (2002), empleando el método del picnómetro que consistió en colocar una muestra de suelo seco a 105 °C, en un picnómetro, previamente pesado, se adicionó agua destilada y sometió a succión por vacío durante 2 horas. Se retiró y aforó hasta dos tercios. Se volvió a someter a vacío por 1 hora, se completó el volumen y se pesó. Se pesó el picnómetro con el volumen completo de la muestra con agua destilada.

4.1.5 *La porosidad total*. Se estimó con base en los resultados obtenidos de D_a y D_r de acuerdo con la ecuación propuesta en Gavande (1987).

4.2 *Determinaciones químicas de suelos.*

4.2.1. *El pH del suelo*.- Se determinó en una relación 1:2.5 de suelo en H₂O y de suelos en solución salina de KCl y NaF. Se utilizó un potenciómetro con electrodo de vidrio.

4.2.2. *Materia orgánica (MO)*.- El contenido de materia orgánica (MO) es un buen indicador de su fertilidad, principalmente de su capacidad potencial para proporcionar nutrimentos como nitrógeno, fósforo, azufre, etc. Se usó método de Walkley-Black, (USDA, 2004) el cual consistió en la combustión de la materia orgánica con una mezcla de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₄) y ácido sulfúrico

(H₂SO₄). Después de la reacción, el dicromato residual se tituló con una solución de sulfato ferroso FeSO₄ 1N, pH 7.

4.2.3. *Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*.- Es la suma de los cationes intercambiables de un suelo, expresada en cmol₍₊₎ Kg⁻¹ de suelo seco a 105 °C., donde la CIC depende: 1) de la naturaleza del mineral arcilloso que forma parte del suelo, y del tamaño de las partículas; y 2) de los cationes de intercambio específicos, cuya absorción está en función de la valencia del ión, radios iónicos hidratados, concentración de la solución y porcentaje de posiciones iónicas ocupadas. Para realizar esta determinación se pesó 1g de suelo y se colocó en un tubo de centrífuga. Posteriormente se agregó CaCl₂ 1N; pH 7 y se centrifugó durante 5 minutos a 3,000 rpm., desechando el sobrenadante. Este procedimiento se realizó 5 veces. Posteriormente la muestra de suelo se centrifugó con metanol, para eliminar el exceso de CaCl₂ y por último se centrifugó otras 5 veces utilizando una solución de NaCl 1N; pH 7., la cual se guardó para titular por el método del Versenato (EDTA).

4.2.4. *Nitrógeno total*.- El método que se empleó fue el Kjeldahl (SEMARNAT, 2002) el cual consistió en tres fases:

- 1) Digestión de la muestra de suelo por calentamiento con ácido sulfúrico y una mezcla de sales que aceleran la oxidación de la materia orgánica y la conversión de todas las formas de nitrógeno en N³⁺, que en medio ácido se encuentran en forma de radical amonio (NH₄⁺).
- 2) Una destilación, una vez transformado el nitrógeno en NH₄⁺ se expuso a una base fuerte como el NaOH para formar hidróxido de amonio, que por la acción del calor se descompone en amoníaco (NH₃) y H₂O.

3) El amoníaco desprendido por la reacción se recogió en un volumen conocido de solución valorada de ácido bórico y por comparación con un blanco se determinó la cantidad de ácido que se combinó con el NH_3

4.2.5. *Ca²⁺ y Mg²⁺ intercambiables.*- Se determinaron mediante la técnica descrita en Jackson (1982); empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante. El método consistió en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ión amonio; lavando del exceso de saturante con alcohol; desplazamiento del catión índice con potasio y determinación del amonio mediante destilación. El amonio se empleó como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usó asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con alcohol pretendió desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido. El Na^+ y K^+ *intercambiables*, se obtuvieron mediante el fotómetro de llama Corning 400.

4.2.6. *Fósforo aprovechable (P).*- Se cuantificó por colorimetría, utilizando el método de Bray 1, incluido en SEMARNAT (2002) ampliamente utilizado en la determinación de fósforo disponible en suelos ácidos y neutros. Se preparó una solución extractora de P que consistió de una combinación de HCl y NH_4F la cual remueve formas de fósforo ácido solubles como los fosfatos de calcio y una porción de fosfatos de aluminio y hierro. El NH_4F disuelve los fosfatos de aluminio y de hierro al formar un ión complejo con estos iones metálicos en solución ácida. Se pesó 2.5 g de suelo previamente tamizado por malla de 2 mm y se colocó en un tubo de polietileno de 50 ml. Se prepararon blancos siguiendo el mismo procedimiento que en las muestras. Se preparó una curva de calibración que contenía puntos correspondientes a 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg L^{-1} de P. Para ello se colocaron en matraces

aforados de 50 ml 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ml de la solución de 10 mg L⁻¹ de P. Se adicionó un volumen de solución extractante igual a la alícuota empleada para medir en las muestras conocidas, se llevó a aproximadamente 40 ml con agua, se adicionaron 5 ml de la solución reductora y se completó a volumen. Se esperó 30 minutos y se leyó la intensidad de la absorción de luz a 862 nm. (nanómetros).

Resultados

1. Distribución

1.1 Mapa preliminar con datos georeferenciados de herbarios

De los datos de herbario registrados en los informes anteriores ($N = 11$) se encontraron 4 más en los herbarios ARIZ, GBH, Hinton y TROPICOS. Además ingresamos 2 sitios más de este estudio (GN047A5) (Se buscó *K. delagoensis* y sus sinonimias (syn = *K. tubiflora*, *K. verticillata*; Tabla 1.1). A partir de enero 2011 se encontró otro sitio (Vizarrón, Qro) que será incluido en el mapa final.

Tabla 1.1. Registros encontrados en diversos herbarios y los encontrados en este estudio como *K. delagoensis*. (Georeferencias en grados-minutos-segundos)

Especie	Origen del dato	Longitud	Latitud
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-100° 3' 0"	21° 17' 24"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-97° 19' 48"	18° 42' 36"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-96° 47' 24"	19° 25' 12"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-94° 51' 36"	18° 14' 24"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-96° 19' 12"	19° 13' 48"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-99° 41' 24"	21° 33' 0"

<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-99° 28' 12"	21° 13' 12"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-98° 12' 36"	22° 4' 48"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	Remib	-99° 45' 36"	21° 27' 0"
<i>Kalanchoe tubiflora</i>	ARIZ	-97° 28' 12"	18° 10' 48"
<i>Kalanchoe verticillata</i>	Hinton	-99° 48' 54"	24° 9' 36"
<i>Kalanchoe verticillata</i>	GBH	-99° 49' 12"	24° 9' 26"
<i>Kalanchoe verticillata</i>	Trópicos	-99° 49' 12"	24° 6' 0"
<i>Kalanchoe delagoensis</i>	Este estudio	-99° 48' 15"	20° 41' 10.3"
<i>Kalanchoe delagoensis</i>	Este estudio	-99° 44' 27.5"	23° 0' 57.7"
<i>Kalanchoe delagoensis</i>	Este estudio	-99° 24' 21.1"	23° 22' 21"
<i>Kalanchoe delagoensis</i>	Este estudio	-99° 41' 29.6"	23° 10' 5.8"
<i>Kalanchoe delagoensis</i>	Este estudio	99° 43' 3.4"	20° 50' 15.1"
<i>Kalanchoe delagoensis</i>	Este estudio	-99° 46' 38.7"	23° 0' 57.4"

Se usaron las siguientes condiciones del modelo: 17 datos de presencia (de los cuales 2 son repetidos), 10,002 puntos usados para determinar la distribución de Maxent en las capas bioclim: bio1-bio19. La salida es un modelo logístico, con 500 iteraciones, con remuestreo sin reemplazo (jackknife). Los resultados del modelo sugieren en principio una distribución sesgada a las costas con poca presencia en las zonas secas del país (ver Archivo girdkdelagoensis.zip para los mapas en formato grid). En cuanto a las contribuciones del modelo, la estacionalidad es la variable más importante seguido por la precipitación en el mes más seco y en el mes más frío. Las distribuciones de la probabilidad nos indican que prefiere ambientes con poca precipitación en el mes seco y en el mes más frío. Las primeras 3 variables explican una gran parte (85.7%) del modelo (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Contribuciones relativas de cada variable al modelo.

Variable	Porcentaje de contribución al modelo
Estacionalidad en Temp. (bio4)	20.7
Precipitación del mes más seco (bio14)	29.2
Precipitación del cuarto más frío (bio19)	18.2
Temp. promedio del cuarto más cálido (bio18)	4.8
Temperatura mínima de mes más frío (bio6)	3.9
Isotermalidad (bio3)	3.2
Rango promedio diario (Promedio mensual (temp. max –temp. min) bio2)	2.7
bio15,bio8, bio16, bio17, bio11, bio10, bio7	<1

1.2 Georeferenciación de poblaciones

Se tienen localizadas las poblaciones de *K. delagoensis* en Tula, Cadereyta y una en Vizarrón (GN047A3). De las primeras localidades se colectaron ejemplares que se crecieron en el invernadero de la Universidad Autónoma Metropolitana para que puedan ser identificadas y sometidas al herbario con todos los atributos. De los ejemplares que se colectaron no se logró la floración en condiciones de invernadero por lo que volvimos a colectar ejemplares a finales del año 2010 para poder obtener ejemplares de herbario con inflorescencia. Ya tenemos colectados los ejemplares de Tula que están en

proceso de secado y montado para ser ingresados en el herbario de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Para las poblaciones de Querétaro no hemos podido obtener inflorescencias por lo que tendremos que esperar una floración en campo.

2. Aspectos demográficos

2.1 Censo demográfico

Para la construcción de la matriz dada la densidad de individuos en las parcelas se va a tomar el modelo matricial de Lefkovitch. Dado que en los muestreos de inflorescencias no encontramos semillas, la categoría de fecundidad (el primer renglón de la matriz) fue designada por la producción de pseudobulbilos y no a la reproducción sexual (vía semilla). Los resultados del primer censo demográfico (GN047A4) muestran una distribución sesgada a la izquierda con un número importante de plántulas pequeñas (Tabla 2.1.1) significativamente mayores en Cadereyta que en Tula (1337 vs 86, respectivamente). Esto nos indica que existe un reclutamiento importante en ambas poblaciones básicamente por vía asexual. Esperamos que dada la mortalidad de pseudobulbilos en el invernadero (ver abajo) tengamos una mortalidad alta en condiciones de campo. Un análisis de ji cuadrada (excluyendo los pseudobulbilos) nos muestra que la estructura de la población depende del sitio ($\chi^2 = 112.01$, $gl= 10$, $p < 0.01$).

Tabla 2.1.1. Frecuencia de individuos de *K. delagoensis* bajo un criterios de clasificación por tamaño en las parcelas permanentes en Cadereyta Qro.

Categoría de tamaño (cm)	Frecuencia	
	Cadereyta	Tula
< 0.4	1337	86
0.4 < x <= 3	82	179
3 < x <= 5	29	100
5 < x <= 10	50	84
10 < x <= 20	83	75
20 < x <= 30	50	37
30 < x <= 40	31	11
40 < x <= 50	17	7
50 < x <= 60	12	5
60 < x <= 70	4	0
70 < x <= 180	9	1
x > 180	13	0

2.2 Análisis poblacional

De las medidas que se tomaron, encontramos que la altura de los individuos es la que más tiene efecto sobre la sobrevivencia y la fecundidad (Devianza = 34.871, $p < 0.05$, Devianza = 28.566, $p <$

0.05). Clasificamos a los individuos en una categoría de estado (pseudobulbilos $\text{Altura} < 3 \text{ cm}$) y 4 categorías de tamaño ($3 \text{ cm} < \text{Categoría 2} < 13 \text{ cm}$, $13 \text{ cm} < \text{Categoría 3} < 25.6 \text{ cm}$, $25.6 \text{ cm} < \text{Categoría 4} < 50.7 \text{ cm}$ y $\text{Categoría 4} > 50.7 \text{ cm}$).

La matriz resultante de Cadereyta (Tabla 2.2.1) sugiere una tasa de crecimiento de 1.91 anual. Esto significa que la población está creciendo a una tasa de 91% anual, un crecimiento importante. Separando la matriz de elasticidad (Tabla 2.2.2) por proceso demográfico encontramos que la sobrevivencia es el proceso más importante seguido de la disminución en tamaño (Figura 2.2.1). Para el caso de Tula, la tasa finita de crecimiento poblacional fue de 1.09 o un 9% anual con el proceso demográfico de sobrevivencia como el más importante (Fig. 2.2.2) En ambos casos el proceso demográfico de crecimiento es bajo comparado y el más alto es la sobrevivencia. Cambia la importancia de los procesos de Fecundidad y Regreso entre Tula y Cadereyta. Para Tula, el orden de importancia es de Sobrevivencia $<$ Regreso $<$ Fecundidad $<$ Crecimiento mientras que para Cadereyta el orden cambia ligeramente se Sobrevivencia $<$ Fecundidad $<$ Regresos $<$ Crecimiento.

Tabla 2.2.1 Matriz de transiciones de *K. delagoensis* en Cadereyta, Qro. La diagonal principal (excepto la entrada a_{11}) es la probabilidad de sobrevivencia, la subdiagonal representa las probabilidades de crecer y las subdiagonales las probabilidades de retrocede en tamaño. El primer renglón corresponde a la fecundidad medida como número de pseudobulbilos generados del tiempo t al tiempo t_{+1} . La casilla a_{11} corresponde a la probabilidad de sobrevivencia de pseudobulbilos. \mathbf{w} = estructura estable de tamaños y \mathbf{v} = valor reproductivo.

	Categoría de tamaño					w	v
	1	2	3	4	5		
1	0.66	9.41	59.45	79.06	124.55	0.78	1
2	0.22	0.1774	0.0379	0.0333	0.05	0.21	2.98
3	0	0.0126	0.1392	0.0167	0	7.8×10^{-4}	18.59
4	0	0	0.0506	0.15	0	1.19×10^{-5}	24.74
5	0	0	0.0253	0.0667	0.15	6.21×10^{-6}	37.64

Tabla 2.2.2. Matriz de elasticidades de *K. delagoensis* en Cadereyta, Qro. La diagonal principal (excepto la entrada a_{11}) es la elasticidad de sobrevivencia, la subdiagonal representa las elasticidades de crecimiento y las subdiagonales las elasticidades de retrocedes en tamaño. El primer renglón corresponde a las elasticidades de fecundidad. La casilla a_{11} corresponde a la elasticidad de sobrevivencia de pseudobulbilos.

	Categoría de tamaño				
	1	2	3	4	5
1	0.1971	0.3563	0.0153	5.87×10^{-4}	4.9×10^{-4}
2	0.3728	0.0381	0.00005	1.4×10^{-6}	01.13×10^{-6}
3	0	0.1651	0.0012	4.47×10^{-6}	0
4	0	0	0.00063	5.36×10^{-5}	0
5	0	0	0.00046	3.51×10^{-5}	$.25 \times 10^{-5}$

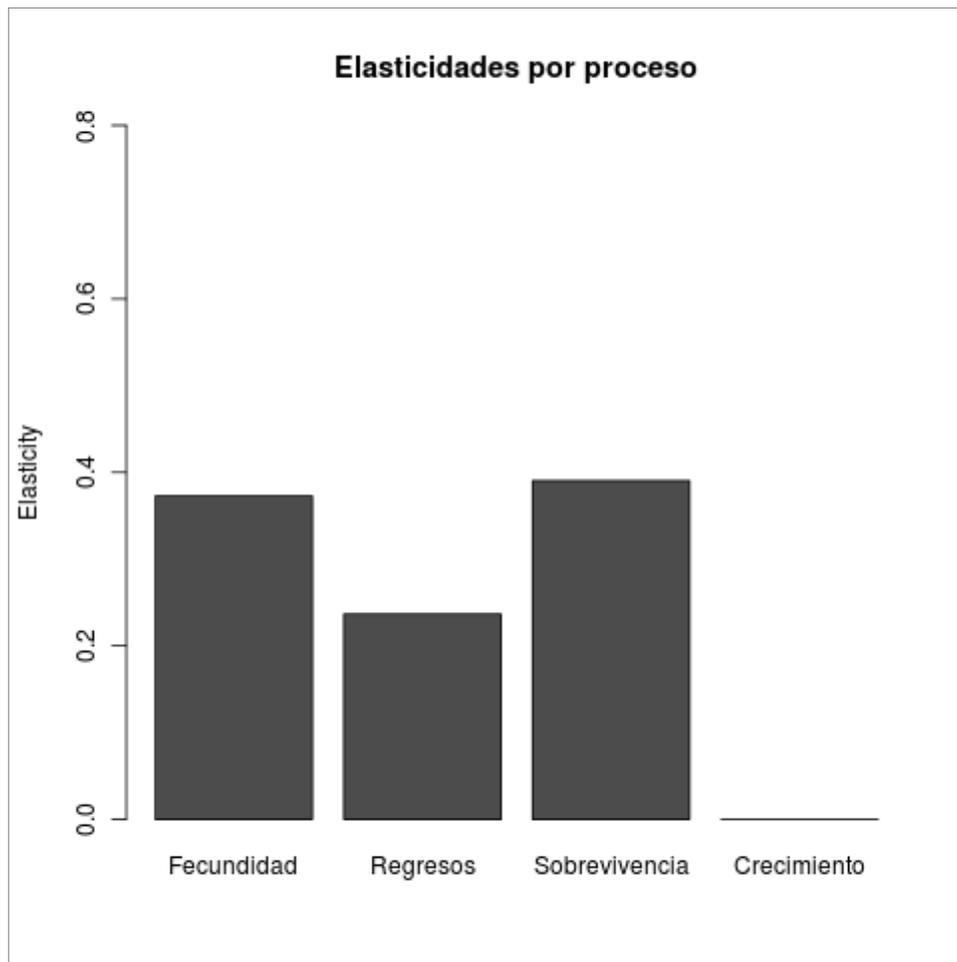


Figura 2.2.1. Elasticidad por proceso demográfico a partir de la matriz de elasticidades de Cadereyta Qro.

Tabla 2.2.3 Matriz de transiciones de *K. delagoensis* en Tula, Tamps. La diagonal principal (excepto la entrada a_{11}) es la probabilidad de sobrevivencia, la subdiagonal representa las probabilidades de crecer y las subdiagonales las probabilidades de retrocede en tamaño. El primer renglón corresponde a la fecundidad medida como número de pseudobulbilos generados del tiempo t al tiempo t_{+1} . La casilla a_{11} corresponde a la probabilidad de sobrevivencia de pseudobulbilos. \mathbf{w} = estructura estable de tamaños y \mathbf{v} = valor reproductivo.

	Categoría de tamaño					\mathbf{w}	\mathbf{v}
	1	2	3	4	5		
1	0.466417	1.388	0.88105	1.880	1.5909	0.577	1
2	0.22	0.264	0.0434	0	0.0454	0.3359	1.03
3	0.0373	0.0208	0.1159	0.120	0.0909	0.056	0.76
4	0.0149	0.024	0.1884	0.200	0.0909	0.017	1.27
5	0.0075	0.024	0.1014	0.080	0.2727	0.012	1.17

Tabla 2.2.4. Matriz de elasticidades de *K. delagoensis* en Tula, Qro. La diagonal principal (excepto la entrada a_{11}) es la elasticidad de sobrevivencia, la subdiagonal representa las elasticidades de crecimiento y las subdiagonales las elasticidades de retrocedes en tamaño. El primer renglón corresponde a las elasticidades de fecundidad. La casilla a_{11} corresponde a la elasticidad de sobrevivencia de pseudobulbilos.

	Categoría de tamaño				
	1	2	3	4	5
1	0.2106	0.1715	0.0423	0.0426	0.0253
2	0.2260	0.0742	0.0047	0	0.00164
3	0.0299	0.0456	0.0098	0.0048	0.0025
4	0.0173	0.0076	0.0233	0.1169	0.0037
5	0.0086	0.0076	0.0124	0.0046	0.0111

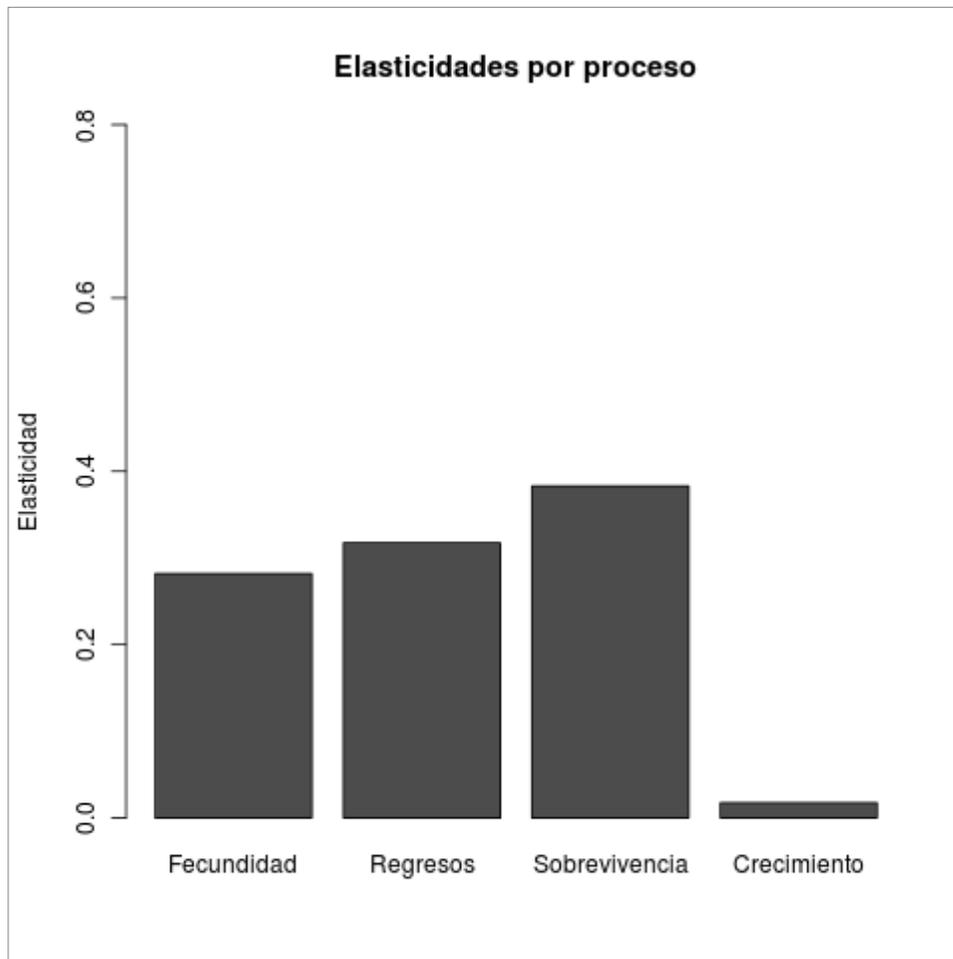


Figura. 2.2.2. Elasticidad por proceso demográfico a partir de la matriz de elasticidades de Cadereyta Qro.

2.3. Simulaciones numéricas

Simulamos cambios en la entrada a_{11} que corresponde a la supervivencia de pseudobulbilos usando las matrices de Cadereyta y de Tula. También modificamos las entradas de la transición de pseudobulbilos (entrada a_{21}) a plántulas que son elementos importantes tanto en el ciclo de vida como en las contribuciones a la tasa finita de crecimiento. Estas simulaciones nos indican que el aumento en

la sobrevivencia de pseudobulbilos afecta la tasa de crecimiento de manera importante para ambas poblaciones. Con una sobrevivencia de un poco baja para Cadereyta y de 20% para Tula la tasa de crecimiento poblacional es mayor al equilibrio (λ ; Fig. 2.3.1).

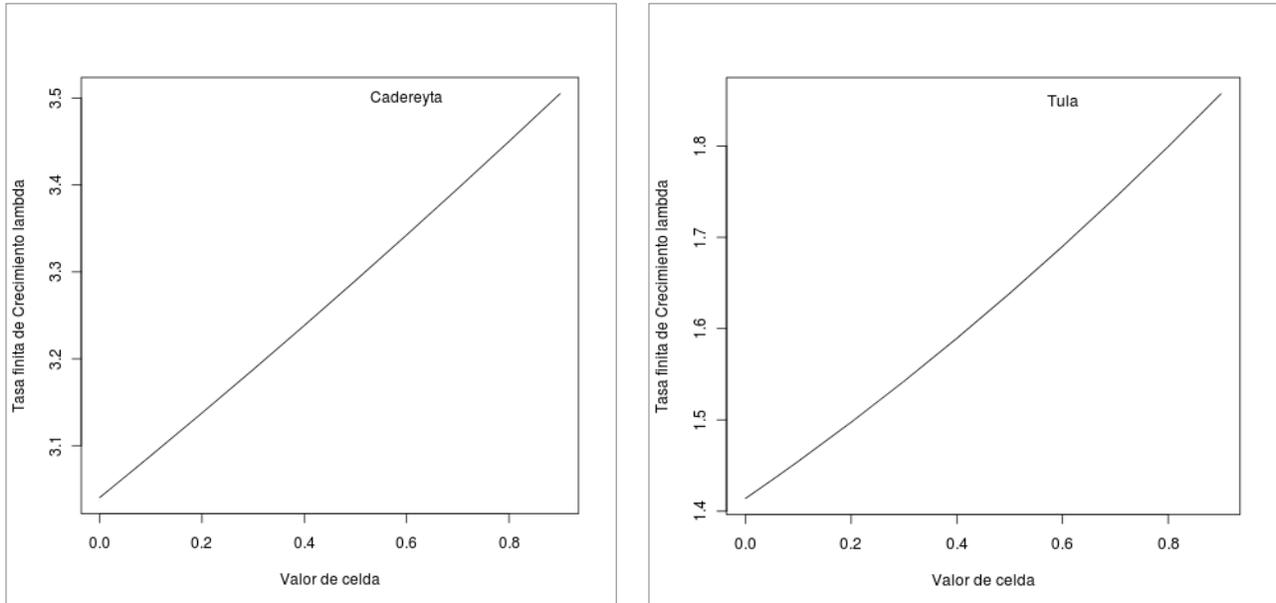


Figura 2.3.1. Simulación de la entrada a_{11} , para las matrices de transición de *Kalanchoie delagoensis* en Cadereyta y Tula, México.

Cuando simulamos el cambio en la probabilidad de transición de pseudobulbilo a plántula (entrada de la matriz a_{21}) encontramos que aún con probabilidades de transición pequeñas ($< 10\%$), la tasa finita de crecimiento es mayor al equilibrio en ambas poblaciones (Fig. 2.3.2.)

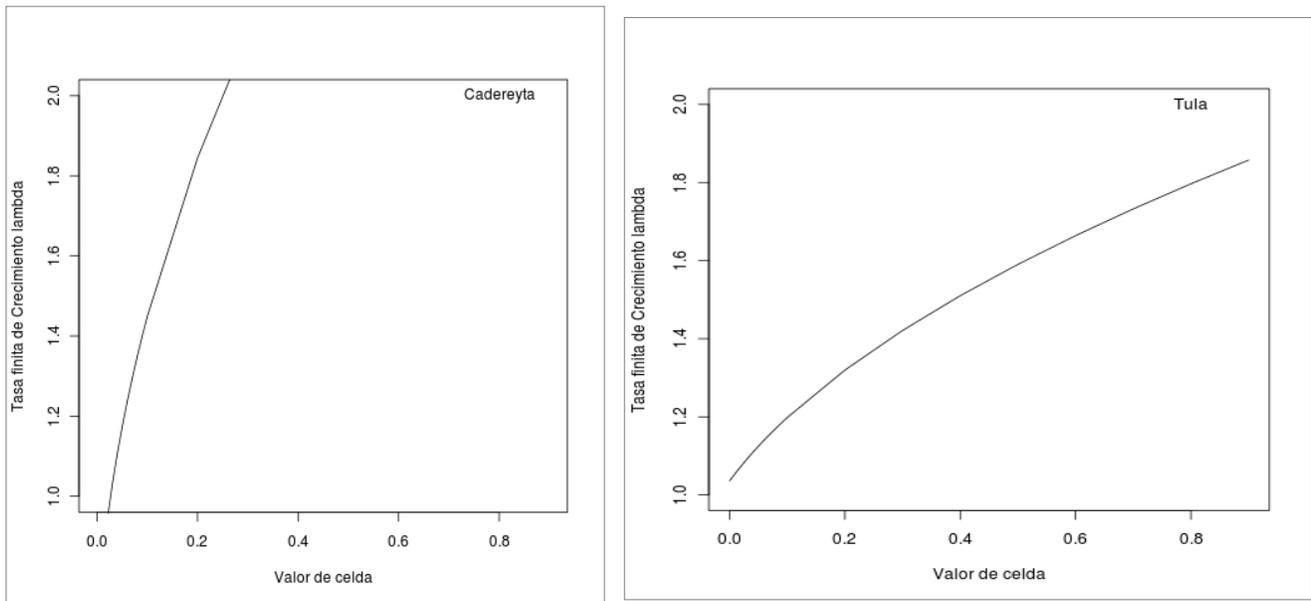


Figura 2.3.2. Simulación de la entrada a_{21} , para las matrices de transición de *Kalanchoe delagoensis* en Cadereyta y Tula, México.

Cuando simulamos disminuciones en las celdas por proceso demográfico a partir de la matriz inicial (i.e OV Fig. 2.3.3), en Cadereyta únicamente con solo el 10% de fecundidad observada podemos encontrar valores de la tasa de crecimiento menores al equilibrio. En términos de sobrevivencia aún reduciendo los valores iniciales de sobrevivencia a 10% (esto quiere decir que se eliminan el 90% de los individuos en cada categoría de tamaño) el valor de λ sigue estando muy por arriba del equilibrio. Esto nos sugiere que en cualquier forma de manejo sería mejor si se afectan las entradas de fecundidad que la sobrevivencia. En Tula, una disminución de 25% en fecundidad o en sobrevivencia disminuye el valor de $\lambda < 1$.

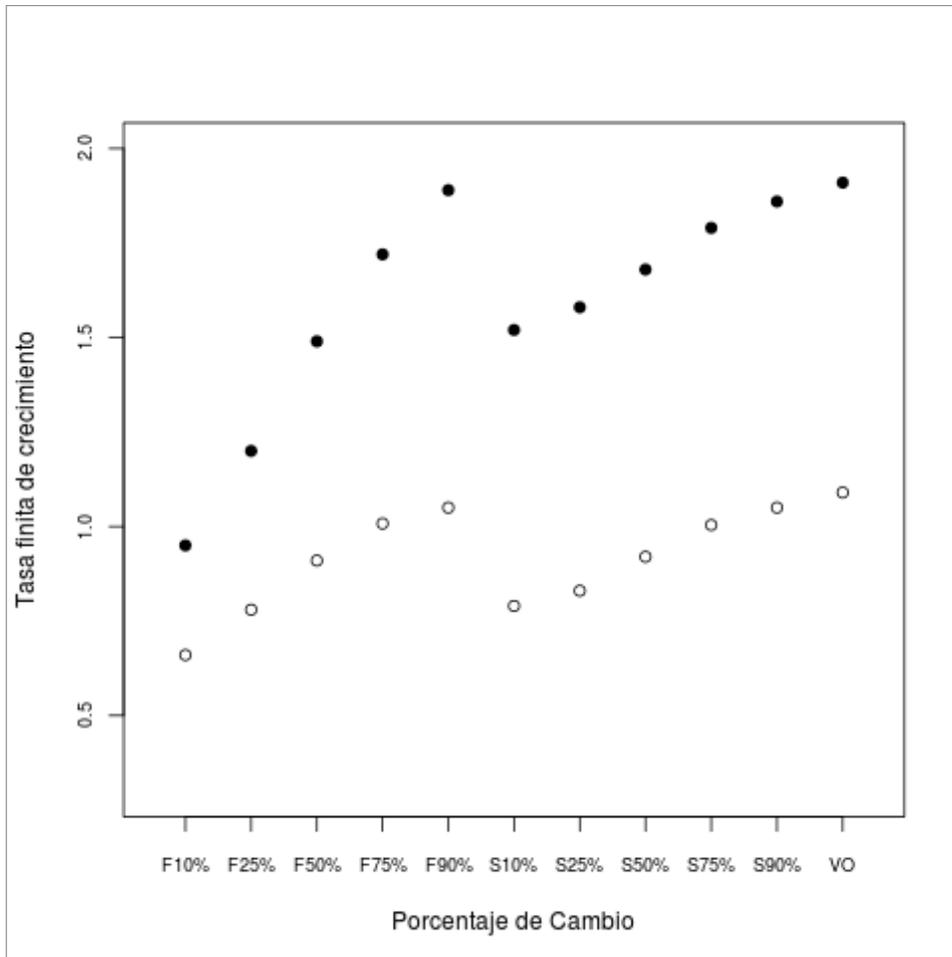


Fig. 2.3.3. Simulaciones cambiando celdas del proceso demográfico. Los puntos blancos corresponden a la población de Tula y los puntos negros a la población de Cadereyta. VO = valor original de la matriz. F = disminución (en porcentaje) en las celdas de fecundidad ($a_{1,j}$), S = disminución (en porcentaje) en las celdas de sobrevivencia ($a_{i,j} | i=j$).

2.4. Estimación de la capacidad de invasión

En Cadereyta, alrededor de cada parcela de los censos demográficos, se removieron en un espacio de 30 cm alrededor del cuadro todos los individuos de *K. delagoensis* que se encontraban. El

análisis sugiere que la capacidad de invasión de *K. delagoensis* es extremadamente variable y seguramente depende de la cantidad de individuos grandes y la cantidad de pseudobulbilos producidos (Tabla 2.4.1). En la zona de amortiguamiento invadieron 856 propágulos de *K. delagoensis* lo que nos sugiere que la capacidad de invasión puede ser considerable. Sin embargo, solo 8 individuos se encontraban al terminar una año en la zona de amortiguamiento lo que nos sugiere que la zona de amortiguamiento (de 30 cm alrededor de el manchón) es invadido por alrededor de 1.05% de propágulos.

Tabla 2.4.1. Frecuencia de propágulos de *K. delagoensis* en una región de amortiguamiento de 30 cm alrededor de las parcelas permanentes de demografía. El seguimiento anual únicamente se realizó con las parcelas de Cadereyta.

Cuadrante	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1 alfa (Qro)	1	3	5	11	9	0	0	0	0	0	0	0	0
2 alfa (Qro)	31	32	37	87	49	71	103	20	16	22	10	0	5
2 beta (Qro)	5	11	16	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
3 alfa (Qro)	41	34	28	30	18	57	0	0	0	0	0	0	4
3 beta (Qro)	25	21	29	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4 alfa (Qro)	2	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 beta (Qro)	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
1 (Tamps)	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2 (Tamps)	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 (Tamps)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 (Tamps)	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 (Tamps)	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 (Tamps)	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 (Tamps)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 (Tamps)	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3. Caracterización de condiciones abióticas y bioensayos

3.1. Caracterización de condiciones abióticas

El promedio de las mediciones de PAR en el área de estudio y bajo condiciones controladas se muestran en la Tabla 3.1.1 y 3.1.2. Los resultados del ANOVA y de la prueba de Tukey indican que no hay diferencias significativas entre la PAR en los sitios con pseudobulbilos en las distintas horas del día en que se llevaron a cabo las mediciones, con la PAR en condiciones controladas empleando malla de 70% ($p = 0.72$) y 60% de extinción de luz ($p > 0.05$). Esto significa que las condiciones de campo donde hay pseudobulbilos son iguales en incidencia de PAR a las de malla de 60 y 70%.

Tabla 3.1.1. Medias de luz fotosintéticamente activa registrados en el área de estudio.

Hora	PAR en sitios con pseudobulbilos	PAR en sitios sin pseudobulbilos
	($\mu\text{mol/s/m}^2$)	($\mu\text{mol/s/m}^2$)
1000 -1230	350.37	1254.17
1300 -1400	355.38	1421.45
1600 -1730	52.96	78.70

Tabla 3.1.2. Medias de luz fotosintéticamente activa registradas bajo condiciones controladas.

Hora	0% extinción de luz	20% extinción de luz	60% extinción de luz	70% extinción de luz
	($\mu\text{mol/s/m}^2$)	($\mu\text{mol/s/m}^2$)	($\mu\text{mol/s/m}^2$)	($\mu\text{mol/s/m}^2$)
1000-1230	914.18	497.46	355.68	231.20
1630-1730	382.35	183.15	125.31	63.94

Los resultados de sobrevivencia de pseudobulbilos muestran que tanto el factor agua como el factor luz son significativos ($p < 0.01$; Anexo GN047A7, Fig. 3.1.3). Por otro lado, al comparar las curvas de sobrevivencia de los diferentes niveles de agua encontramos que todos difieren significativamente entre sí ($p < 0.05$); mientras que para el factor luz, únicamente las curvas de 20 y 60% de extinción no son diferentes entre ellas, en todos los demás casos si difieren ($p < 0.05$).

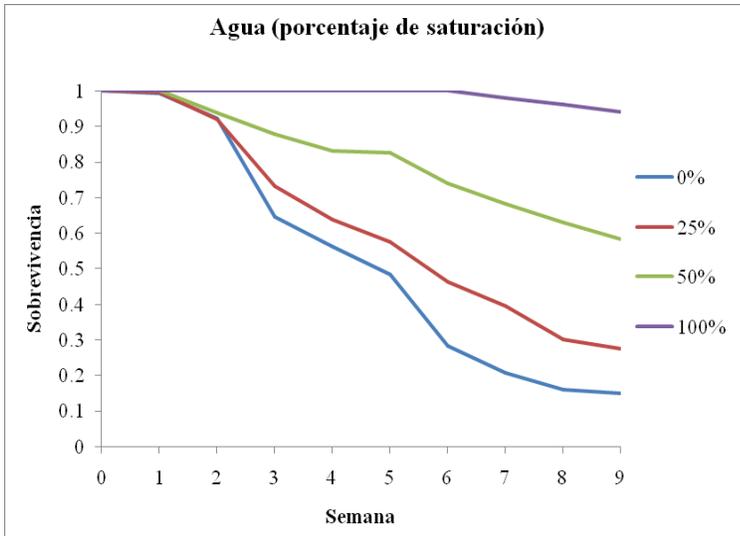


Figura 3.1.3. Sobrevivencia de pseudobulbilos de *K. delagoensis* por semana bajo diferentes condiciones de humedad en suelo.

3.2 Producción de pseudobulbilos

El experimento se mantuvo por un total de 20 semanas, pero fue hasta la quinta semana que se las plantas comenzaron a producir pseudobulbilos (GN047A10). Fue en el caso de 0% de extinción de luz que la producción de propágulos exitosa, ya que para el final del experimento las plantas de este tratamiento habían producido alrededor de 700 pseudobulbilos. Por el contrario, en el caso del tratamiento de 20% de extinción de luz tan solo fueron registrados 4 pseudobulbilos, mientras que en el tratamiento de 70% de extinción de luz no hubo producción alguna de propágulos (Tabla 3.2.1).

Tabla 3.2.1. Promedio de pseudobulbilos producidos hasta la semana 20.

	Promedio de pseudobulbilos por planta	Promedio de pseudobulbilos por maceta
0% extinción de luz	5.69	28.48
20% extinción de luz	0.03	0.16
70% extinción de luz	0	0

En la Figura 3.2.2 se observa que en las siguientes siete semanas el aumento en el número de pseudobulbilos fue rápido, sin embargo, después de este periodo disminuye y la curva que nos muestra la producción de estos propágulos se estabiliza y se mantiene sin grandes cambios. Datos presentados en Guerra García et al., 2010). Ver cartel kalachoe.pdf en CD.

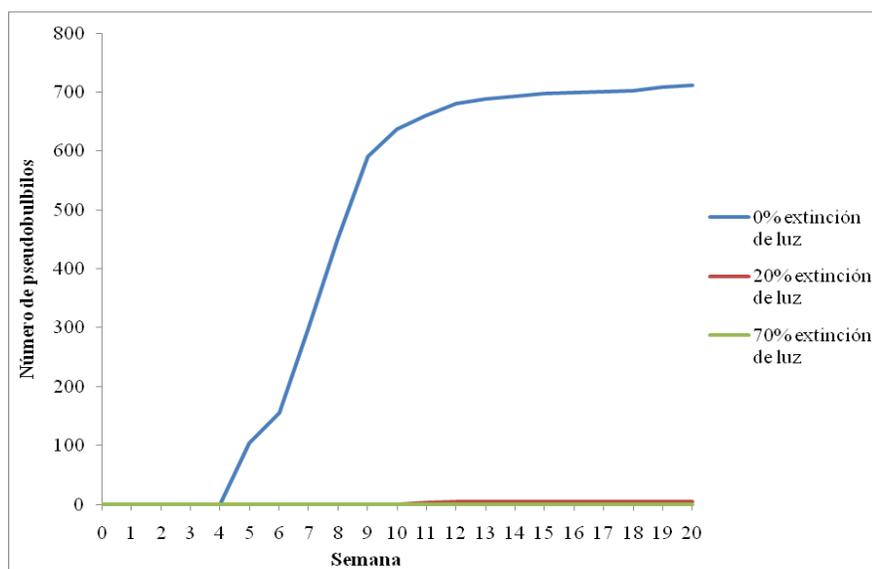


Figura 3.2.2. Número de pseudobulbilos producidos por semana bajo tres diferentes tratamientos de extinción de luz (0%, 20% y 70%) con macetas a capacidad de campo en condiciones de invernadero.

3.3 Bioensayos (anexo GN047A8)

No encontramos diferencias en la longitud de la plántula bajo los diferentes tratamientos de concentración de *K. delagoensis* ($p > 0.05$) para en ninguna de las especies estudiadas. Sin embargo encontramos que para el tratamiento de *Triticum* sp la concentración de lixiviado tuvo un efecto significativo sobre la longitud de la radícula ($p < 0.01$) de tal manera que existe una disminución significativa del crecimiento de la radícula para trigo conforme aumenta la concentración de lixiviado de *K. delagoensis* (Tabla 3.3.1).

Tabla 3.3.1. Crecimiento de la radícula de *Zea mays* y *Triticum* sp. bajo 3 concentraciones de lixiviados de *K. delagoensis* (promedio +/- DS).

Especie	Control	Peso de lixiviado con hojas de <i>Kalanchoe delagoensis</i>			Prueba de significancia Tukey ($p < 0.05$)
		10g	25g	100g	
<i>Zea mays</i> Hidalgo (M1)	5.46 (1.83)	7.32 (2.62)	7.4 (4.15)	7.39 (3.49)	a,a,a,a
<i>Zea mays</i> (M2)	5.64 (2.12)	5.73 (2.74)	4.5 (4.57)	6.91 (3.18)	a,a,a,a
<i>Triticum</i>	6.05 (2.05)	5.19 (1.74)	4.52 (1.1)	4.23 (1.0)	a,ab,b,b

En términos de la germinación encontramos una disminución significativa conforme aumenta la concentración de lixiviado de *K. delagoensis*, para *Zea mays* (Tn), *Amaranthus* (Am) y *Phaseolus dumosus* (Ay). Las demás especies no mostraron diferencias importantes con el control (Tabla 3.3.2).

Tabla 3.3.2 Porcentajes de germinación de *Zea mays* procedente de Hidalgo (MH1), *Zea mays* procedente de Edo. de Mex. (ME2), *Zea mays L.ssp.* Teocintle negro (Tn), *Zea mays L.ssp.* Teocintle blanco (Tb), *Amaranthus sp.* (Am), *Triticum sp.* (T), *Prosopis sp.* (Pr) y *Phaseolus dumosus Ayocote* (Ay) con lixiviados de hojas de *K. delagoensis*.

Especie	Control	10g	25g	50g	100g
<i>Zea mays</i> p (M1)	56%	76%	64%	NA	56%
<i>Zea mays</i> (M2)	46%	76%	56%	NA	68%
<i>Triticum sp.</i> (T)	68%	64%	68%	NA	60%
<i>Zea mays L.ssp.</i> Teocintle negro (Tn)	55%	NA	50%	30%	43.3%
<i>Zea mays L.ssp.</i> Teocintle blanco (Tb)	0%	NA	20%	10%	10%
<i>Amaranthus sp.</i> (Am)	100%	NA	86.6%	90%	93.3%
<i>Prosopis sp.</i> (Pr)	70%	NA	86.6%	66.6%	66.6%
<i>Phaseolus dumosus Ayocote</i> (Ay)	65%	NA	46.6%	26.6%	36.6%

Para el crecimiento (anexo GN047A9) sobre *Z. mays* bajo luz, encontramos que la tasa de crecimiento relativo (Rbar luz, Fig 3.3.3) fue menor en la concentración más alta (Kd100) de *K. delagoensis*, mientras que en el tratamiento de sombra (Rbar sombra, Fig. 3.3.4) el menor crecimiento fue en la concentración más baja (Kd25) de *K. delagoensis*. Esto nos indica que la presencia de *K. delagoensis*

bajo dos condiciones de crecimiento de *Z. mays* tiene un efecto negativo sobre su crecimiento. En términos de la proporción de área foliar, bajo luz (Fbar luz, Fig. 3.3.5), *Z. mays* fue el más afectado en la concentración media de Kd (Kd50), y en la sombra (Fbar sombra, Fig. 3.3.6) la menor tasa fue para la concentración más alta de Kd (Kd75). En peso de la hoja (Pbar luz, Fig. 3.3.7) la peor condición fue el de mayor condición bajo luz (Kd100) y para sombra fue Kd50 (Pbar sombra, Fig. 3.3.8).

El crecimiento de *Z. mays* presenta una disminución en la Tasa de Crecimiento Relativo (Rbar) de las plantas con presencia de *K. delagoensis* en el sustrato en los tratamientos luz y sombra. En el tratamiento con luz, el promedio que abarca un período de crecimiento de 8-83 días, el valor más bajo de Rbar lo presenta k100. Mientras que en el tratamiento con sombra (promedio que comprende de 8-94 días de crecimiento) k25 obtiene el mínimo valor de Rbar. Esto indica que la presencia de *K. delagoensis* incorporado al sustrato en diferentes concentraciones y bajo distintas condiciones de luz, tiene un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento relativo de *Z. mays*. La Razón de Área Foliar (Fbar), en condiciones de luz y con respecto al control, nos indica que k25 es ligeramente mayor, k50 es menor, presentando el valor más bajo y k100 tiene un valor similar al control. En el tratamiento con sombra se presenta una disminución gradual de Fbar conforme aumenta la concentración de *K. delagoensis* en el sustrato, por lo cual, el valor más bajo de Fbar es de k75. En términos de la Tasa de Fracción del Peso de las Hojas (Pbar) en condiciones de luz al 100% se presenta un comportamiento similar al de Fbar en sombra, hay disminución constante y gradual de Pbar conforme es incrementada la cantidad de *K. delagoensis* en el sustrato. Siendo k100 el tratamiento con menor peso de las hojas. En condiciones de sombra el tratamiento más afectado fue k50, ya que tiene una disminución amplia en su valor de Pbar, k25 y k75 presentan valores similares al control.

Rbar Luz

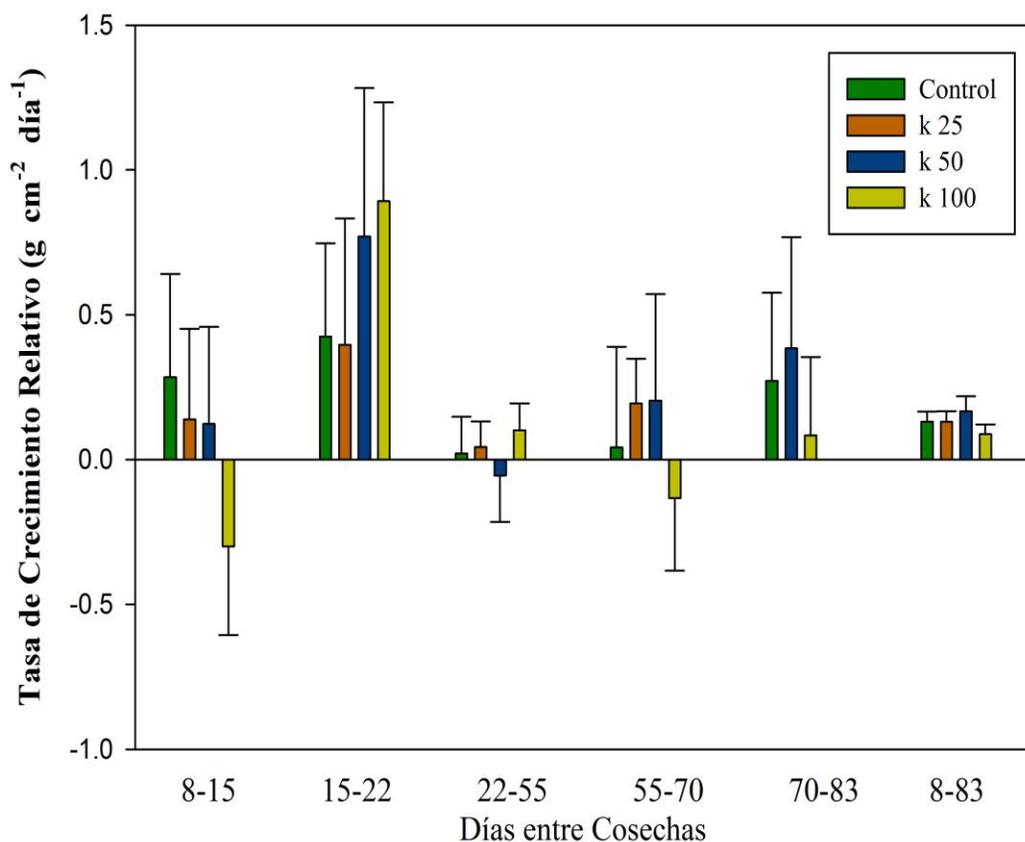


Figura 3.3.3. Rbar Tasa de Crecimiento Relativo (g cm⁻² día⁻¹) de *Z. mays* bajo diferentes concentraciones de *K. delagoensis* incorporado al sustrato con luz (100%) en un período de crecimiento de 83 días.

Rbar Sombra

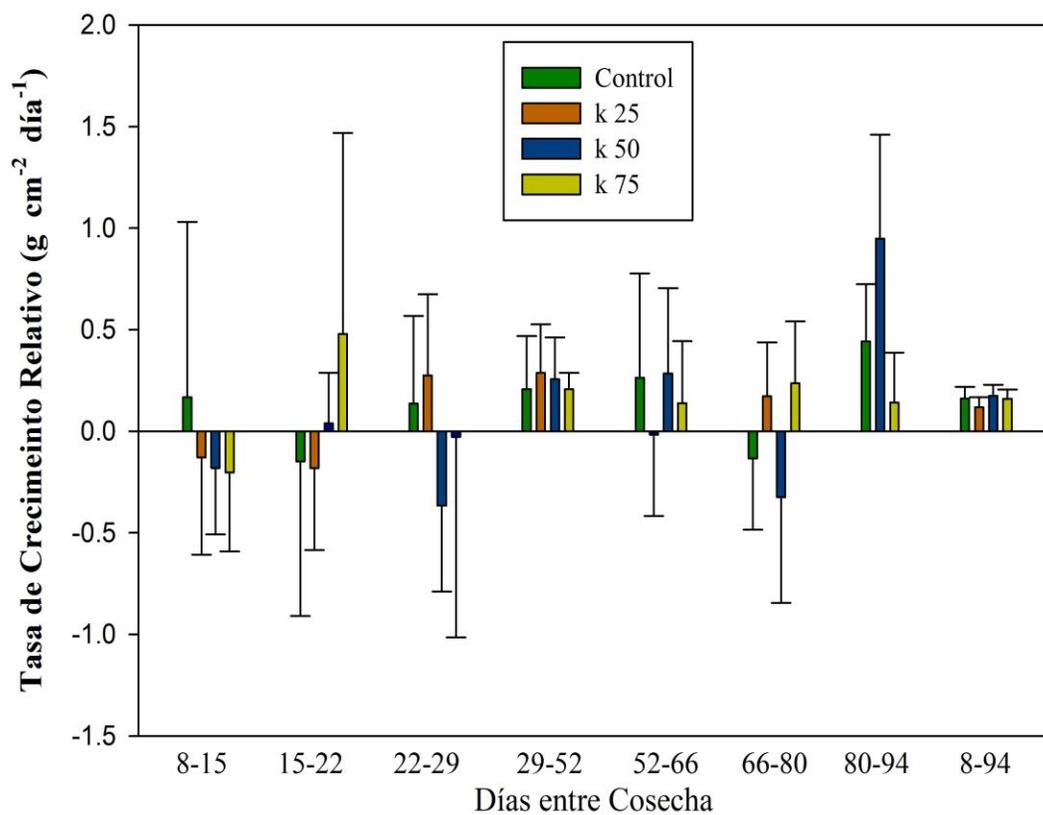


Figura 3.3.4. Rbar Tasa de Crecimiento Relativo (g cm⁻² día⁻¹) de *Z. mays* bajo diferentes concentraciones de *K. delagoensis* incorporado al sustrato con sombra (20% de extinción de luz) en un período de crecimiento de 94 días.

Fbar Luz

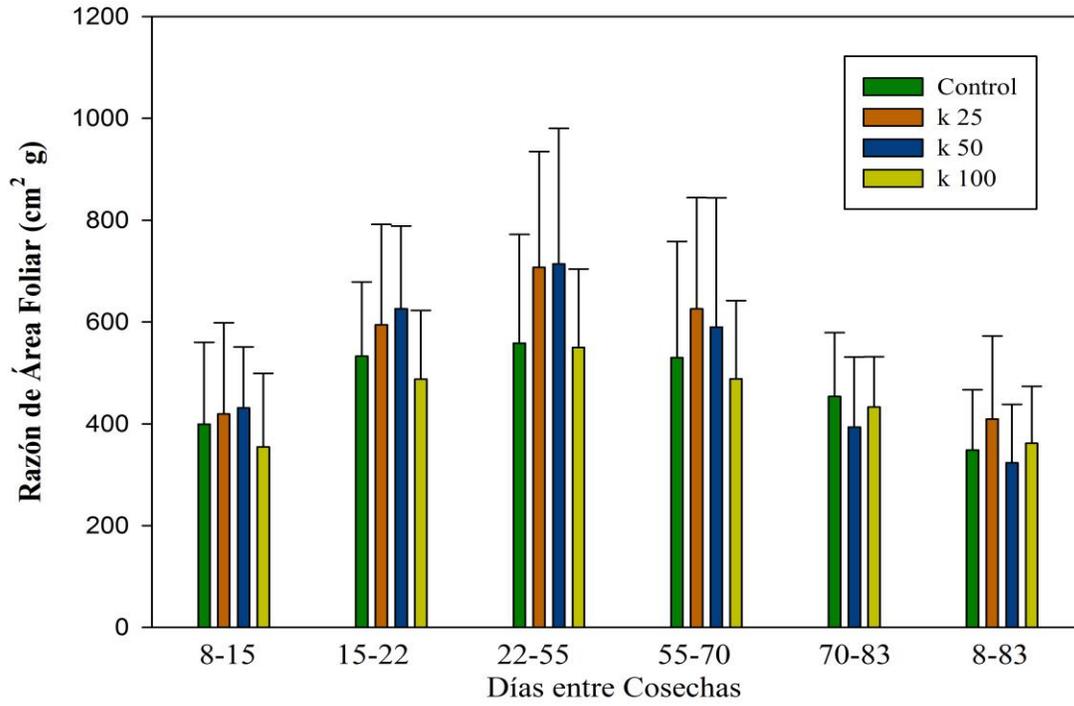


Figura 3.3.5. Fbar Razón de Área Foliar (cm² g) de *Z. mays* bajo diferentes concentraciones de *K. delagoensis* incorporado al sustrato con luz (100%) en un período de crecimiento de 83 días.

Fbar Sombra

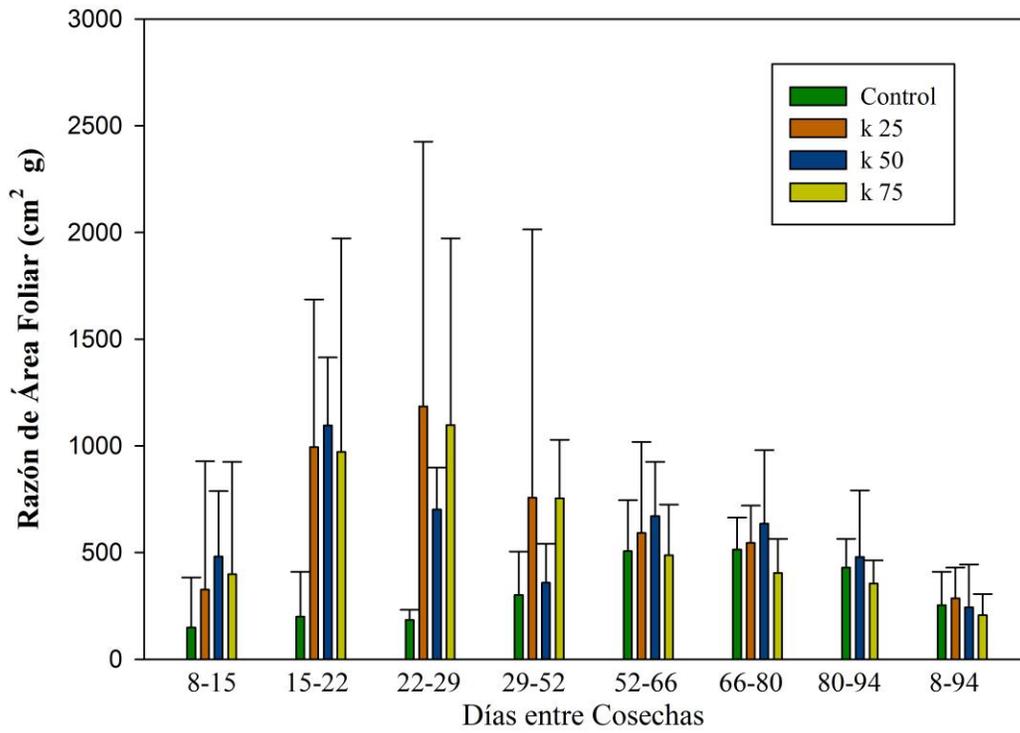


Figura 3.3.6. Fbar Razón de Área Foliar ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) de *Z. mays* bajo diferentes concentraciones de *K. delagoensis* incorporado al sustrato con sombra (20% de extinción de luz) en un período de crecimiento de 94 días.

Pbar Luz

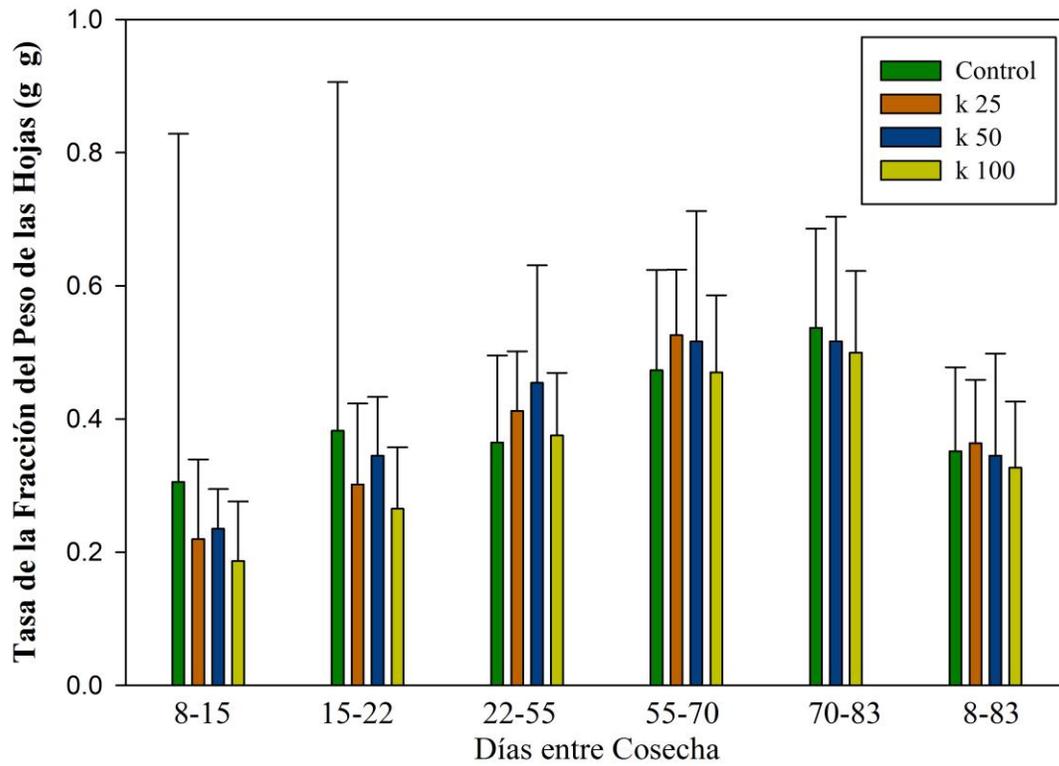


Figura 3.3.7. Pbar Tasa de Fracción del Peso de las Hojas (g g) de *Z. mays* bajo diferentes concentraciones de *K. delagoensis* incorporado al sustrato con luz (100%) en un período de crecimiento de 83 días.

Pbar Sombra

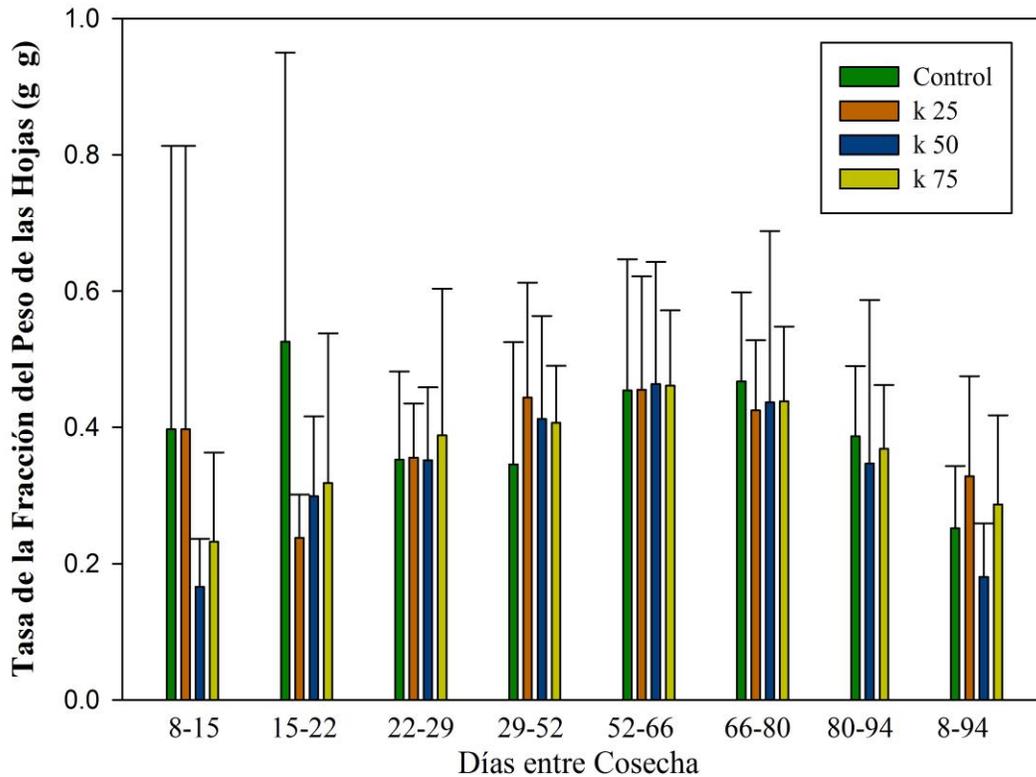


Figura 3.3.8. Pbar Tasa de Fracción del Peso de las Hojas (g g) de *Z. mays* bajo diferentes concentraciones de *K. delagoensis* incorporado al sustrato con sombra (20% de extinción de luz) en un período de crecimiento de 94 días.

4. Análisis de suelos

Se colectaron 10 muestras de suelo en donde se encontraba *K. delagoensis* y 10 muestras de suelo en donde no se encontraba *K. delagoensis* en los sitios de Cadereyta de Montes, Qro. y Tula Tamaulipas ($N = 40$ muestras). Los resultados de suelos (GN047A6) muestran que la diferencia principal considerando todas las muestras es el pH (análisis mediante un árbol de clasificación; Tabla

4.1). Los suelos de Querétaro son más ácidos ($pH_{\text{Querétaro}} = 7.975$, $pH_{\text{Tula}} = 6.068$, $F_{1,37} = 183.1$, $P < 0.01$) que los que se encuentran en Tula. Dentro de cada sitio, encontramos diferencias en algunas de las variables de suelo.

Tabla 4.1. Variables de suelo analizadas de 20 muestras en cada sitio (Tula y Cadereyta) de las cuales 10 se encontraban con *K. delagoensis* y 10 sin *K. delagoensis*. Los valores de *p* corresponden a pruebas pareadas entre sitios con presencia y ausencia de *K. delagoensis*. En negritas los valores significativos.

Variable	Querétaro (valor de p)	Tula (valor de p)	Rangos de valores con <i>K. delagoensis</i>
pH	0.36	<0.01	4.9-8.1
Densidad aparente	0.49	0.47	0.71-1.32
Densidad real	0.71	0.78	1.56-2.7
Porosidad	0.8	0.78	31.84-59.73
Humedad	0.08	0.10	0.63-11.59
Materia Orgánica	0.37	0.28	4.05-32.98
CO (Carbono Orgánico)	0.37	0.28	2.35-19.13
Nitrógeno total	0.36	0.28	0.203-1.65
Proporción C:N	0.15	0.67	11.46-11.74
Capacidad Intercambio Catiónico	0.19	0.23	26.79-48.35
Ca (Calcio)	0.37	0.02	31-112.5
Mg (Magnesio)	0.76	0.02	-20-45.5
Na (Sodio)	0.05	0.62	0.87-11.09
K (Potasio)	0.26	0.43	0.58-9.8
Proporción K:Ca	0.27	0.98	0.1-0.16

Encontramos que las diferencias más importantes son en la cantidad de Na en Querétaro. La sal fue menor en los sitios con presencia de *K. delagoensis* (promedio = 5.65 meq/100g) que en los sitios sin *K. delagoensis* (promedio = 9.022 meq/100g). En Tula se encontraron diferencias en 3 variables medidas: pH, Ca y Mg. Tanto el pH (promedio = 6.19) como el Ca (promedio = 53.30 meq /100g) fueron mayores en los sitios con presencia de *K. delagoensis*. Para Mg, los sitios con *K. delagoensis* tuvieron menor concentración (promedio 29.66). Al parecer nuestros resultados indican que *K. delagoensis* es capaz de habitar una variedad de sitios lo que la hace una especie plástica en términos de su respuesta de adaptación a diversas condiciones ambientales. Aunque encontramos diferencias en algunas de las variables de suelo entre sitios con presencia y sitios con ausencia de *K. delagoensis*, la presencia de *K. delagoensis* no parece provocar una dirección clara de cambio de suelo.

Acervo Fotográfico

En cuanto se procesen más fotografías serán incluidas posteriormente siguiendo el mismo formato que el entregado anteriormente. Incluimos 22 fotografías (12 fotografías más de las que se entregaron en el primer informe).

Póster Informativo especies invasoras

Con la colaboración del Dr. Emiliano Sánchez, director del Jardín Botánico de Cadereyta, Qro., se generó un poster informativo para el público en general acerca de las especies más relevantes que son consideradas exóticas invasoras en la región de Cadereyta. La idea principal es poder involucrar a los jardines botánicos a nivel nacional para que generen información como la que se encuentra en el poster y difundirla en sus ambientes específicos (ver archivo cartel kalanchoe.pdf).

Discusión

La distribución de *K. delagoensis* nos indica que es una especie que puede colonizar una diversidad de ambientes en México. Esto se refuerza con los rangos edafológicos en los que la encontramos y la plasticidad de las condiciones abióticas a las que fueron sometidas en los experimentos que controlaban luz y humedad. El modelo bioclimático sugiere que las variables más importantes son la estacionalidad y la precipitación en el mes más seco y en el cuarto anual más frío. Esto seguramente es consecuencia del metabolismo CAM y la suculencia de *Kalanchoe*. La suculencia es una adaptación a ambientes áridos (Eggli y Nyffeler, 2009) y por lo general se evita la humedad en las temporadas frías por el daño térmico que puede suceder en plantas con alta porcentaje de humedad en tejido (característica de las suculentas). Ya se encuentran variantes de *Kalanchoe diagremontiana* adaptadas a ambientes de altas temperaturas (Grams et al., 1995) por lo que el riesgo aunque no probado en *K. delagoensis* aumenta. La cercanía taxonómica y ecológica (al menos en Cadereyta) que tiene con *K. diagremontiana* abre la posibilidad de incrementar su rango de distribución si puede adaptarse a ambientes más cálidos. Los estudios ecofisiológicos en Madagascar muestran que el metabolismo CAM en *Kalanchoe* es adaptable a una variedad de ambientes (Kluge et al., 1991) lo que también incrementa el riesgo en México. El mapa de distribución nos indica que *K. delagoensis* puede encontrarse principalmente en la costa del Pacífico y en la costa del Atlántico básicamente evitando las zonas altas. Sin embargo, aún no conocemos la distribución real de *K. delagoensis* en México. Es claro

que para conocer el rango potencial de *K. delagoensis* necesitamos la colecta más intensiva de sitios en donde ya se encuentra establecida. Esto implica que se necesita hacer un esfuerzo mucho más grande de colecta dirigida utilizando como base el mapa de distribución generado aquí. Hasta el momento hemos identificado 3 sitios (2 originalmente donde se llevan a cabo los monitoreos y uno denominado Vizarrón a 60 km de Cadereyta). Hay aún dos zonas más en el centro de México (Amozoc, Puebla y cerca de Sola de Vega, Oaxaca) y una en Tamaulipas que tenemos que visitar para corroborar su presencia y actualizar el mapa de distribución.

Hemos encontrado que *K. delagoensis* tienen un comportamiento altamente asexual. No encontramos producción de semillas en las plantas colectadas del campo por lo que seguramente las poblaciones que se encuentran son el resultado de introducciones de pocos individuos seguido por una propagación sumamente exitosa asexual. La única manera de comprobar esto es por medio de análisis genéticos entre y dentro de las poblaciones. En términos demográficos, los resultados nos muestran una estructura poblacional sesgada a tamaños pequeños que es indicativo de poblaciones en crecimiento, aunque hay diferencias importantes entre sitios. La matriz de Cadereyta y de Tula dan una tasa neta de crecimiento superior a la unidad como lo que se encuentra para otras exóticas invasoras (Prevey et al., 2010). También encontramos que el proceso demográfico más importante es la sobrevivencia seguido por la fecundidad en Cadereyta y por lo regresos en Tula. Esto implica que la sobrevivencia de individuos y la producción de pseudobulbilos de población de Cadereyta es la que contribuye más al valor de crecimiento de la población. Para el caso de Tula, la sobrevivencia de individuos y los cambios en su tamaño son los que contribuyen más a la tasa de crecimiento poblacional. Es claro, en ambos sitios, que el crecimiento no es uno de los procesos demográficos menos importantes. Las simulaciones nos muestran que las plántulas son uno de los procesos más importantes y que afecta el valor de crecimiento de manera muy significativa. Esta importancia de los pseudobulbilos también fue encontrado por Herrera y Nassar, 2009 para la especie hermana *K. diagremontiana* en Venezuela. Las

simulaciones nos mostraron que la población de Cadereyta va a ser muy difícil de erradicar, va a ser necesario la eliminación de más del 90% de los pseudobulbilos y la remoción de adultos va a tener un efecto negativo pero aún con el 10% de la población se mantiene con crecimiento positivo. En el caso de Tula hay dos estrategias posibles, la primera es la disminución de la fecundidad (producción de pseudobulbilos) en más del 75% y/o la remoción del 75% de la biomasa (sobrevivencia) en pie de la población.

De los experimento de condiciones abióticas, la luz y la humedad juegan un papel importante en la sobrevivencia de pseudobulbilos de *K. delagoensis*. Además nos indican el potencial de sobrevivencia de los pseudobulbilos ya que son capaces de permanecer viables sin riego y bajo 100% de luz al menos por la duración del experimento. En la especie hermana *K. diagremontiana* Herrera y Nassar (2009) encuentran que los pseudobulbilos son más propensos a sobrevivir que las plántulas que nacen a partir de semilla (por vía sexual). Esto tiene dos implicaciones importantes: 1) la variabilidad genética de *K. delagoensis* es probable que sea baja y esto puede limitar su capacidad de adaptación y restringir su distribución. 2) La capacidad de reproducción asexual hace que su capacidad de dispersión aumente considerablemente, implicando que va a ocupar rango de distribución (nicho realizado) en poco tiempo.

Encontramos que los lixiviados de *K. delagoensis* tienen un efecto alelopático importante sobre la germinación de tres especies (*Zea mays*, *Amaranthus sp.* y *Triticum sp.*) y sobre el crecimiento en dos de ellas (*Zea mays* y *Triticum sp.*). *K. delagoensis* ha sido documentada que tiene efectos alelopáticos (Groner, 1975), y al parecer es una característica común al menos con su especie hermana (Groner, 1974; 1975) de las especies que estudiamos, encontramos un efecto importante sobre el crecimiento de *Z. mays*. Además ya se hay documentación clara sobre el efecto que tiene sobre el ganado en Australia (McKenzie y Dunster, 1986). Esto implica que la presencia de *K. delagoensis* potencialmente puede tener efectos negativos en la ganadería y en la agricultura en México.

Los suelos en donde habita *K. delagoensis* son muy heterogéneos. Los análisis muestran que la presencia de *K. delagoensis* está modificando la acidez del suelo además de la salinidad (en el caso de Querétaro) y el contenido de Mg y Ca en el caso de Tula. Podemos pensar que la presencia de *K. delagoensis* está afectando el suelo, aunque la dirección de cambio no es clara.

K. delagoensis claramente tiene características tanto biológicas como abióticas que la pueden hacer una especie potencialmente importante como especie invasora en México. Los mapas de distribución nos muestran que pueden estar en una zona grande del país. Además, tiene especies hermanas documentadas como invasoras (*K. diagremontiana*), es resistente a la sequía (puede vivir en la zona de Tula con precipitación de 370mm), es una plaga en jardines, alelopática y tóxica, tolerante a la sombra, forma manchones, hibridiza, tiene propagación vegetativa entre otras. No cabe duda que *K. delagoensis* y muy probablemente su especie hermana *K. diagremontiana* son una especie invasora en México.

Bibliografía:

Beckett K y A Simon Schuster. 1990. The Australian and New Zealand Encyclopedia of House Plants. Australia. 1. 312–314.

Berger A. 1930. Crassulaceae. In A. Engler and K. Prantl, eds., Die Natürlichen Pflanzenfamilien. 352-483.

Boiteau P y Allorge Boiteau L Allorge-Boiteau. 1995. Kalanchoe de Madagascar. ICSN, Karthala. 252 págs.

Capon RJ, JK MacLeod y PB Oelrichs. 1986. Bryotoxins B and C, toxic bufadienolide orthoacetates from flowers of *Bryophyllum tubiflorum* (Crassulaceae). Australian Journal of Chemistry. 39. 1711–1715.

Caswell H. 1989. Matrix Population Models, Construction, Analysis, and Interpretation. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts, USA.

Crawley M. 2007. The R Book. John Wiley and Sons, UK.

de Kroon H Plaiser A van Groenendael JM y H Caswell. 1986. Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. Ecology 67:1427–1431.

Eggl U. 2003. Illustrated handbook of succulent plants: Crassulaceae. Springer Verlag, Berlin.

environment.gov.au/biodiversity/trade-use/invitecomment/osphilia.html#agent

Eggl U y R Nyffeler. 2009. Living under temporarily arid conditions – succulence as an adaptive strategy. Bradleya 27: 13-36.

FAO-ISRRIC-ISSS. 2006. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

Garcês, HMP Champagne CEM Townsley BT Park S Malhó R Pedroso MC Harada JJ y NR Sinha. 2007. Evolution of asexual reproduction in leaves of the genus *Kalanchoë*. PNAS 104: 15578-15583

Gavande SA. 1987. Física de suelos. Editorial Limusa, México.

Gehrig H Gaussmannm O Marx H Schwarzott D y M Kluge. 2001. Molecular phylogeny of the genus *Kalanchoe* (Crassulaceae) inferred from nucleotide sequences of the ITS-1 and ITS-2 regions. Plant Sciences. 160. 827-835.

GISP 2009. Global Invasive Species Group. <http://www.gisp.org>. Consultado el 14 de diciembre de 2009.

Gobierno de Australia, 2010. Australian Weeds committee. Noxious weed list. <http://www.weeds.org.au/noxious.htm>.

Grams TEE Kluge M y U Lüttge. 1995. High temperature-adapted plants of *Kalanchoë daigremontiana* show changes in temperature dependence of the endogenous CAM rhythm. *Journal of Experimental Botany* 46: 1927-1929.

Groner M. 1974. Intraspecific allelopathy in *Kalanchoe daigremontiana*. *Botanical Gazette* 135: 73-79

Groner M. 1975. Allelopathic influence of *Kalanchoe daigremontiana* on other species of plants. *Botanical Gazette*. 136:2. 207-211.

Guerra-García A Golubov J y MC Mandujano. 2010. Evaluación del éxito de la clonalidad en una especie invasora *Kalanchoe delagoensis* (Crassulaceae). XVIII Congreso Mexicano de Botánica. Guadalajara Jalisco. 21-27 Noviembre. Congreso Mexicano de Botánica.

Hannan-Jones, M A y J Playford. 2002. The biology of Australian Weeds 40. *Bryophyllum* Salisb. species. *Plant Protection Quarterly*. 17. 42-57.

Herrera I y JM Nassar. 2009. Reproductive and recruitment traits as indicators of the invasive potential of *Kalanchoe daigremontiana* (Crassulaceae) and *Stepelia gigantea* (Apocynaceae) in a Neotropical arid zone. *Journal of Arid Environments*. 73: 978-986.

Hijmans RJ, Cameron SE Parra JL Jones PG y A Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climat* 25: 1965-1978.

Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley y A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*. 90:485-488.

Hutapea JR. 1994. Inventory of Indonesian Medicinal Plants. Research and Development Agency, Ministry of Health, Jakarta. Indonesia. 117-118.

Kluge M Brulfert J Ravelomanana D Lipp J y H Ziegler. 1991. Crassulacean acid metabolism in *Kalanchoë* species collected in various climatic zones of Madagascar: a survey by $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *Oecologia* 88: 407-414.

Jackson, ML. 1982. Análisis químicos de suelos. 4a ed. Omega Barcelona, España.

Mandujano MC Montana C Franco M Golubov J y A Flores-Martinez. 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82: 344-359.

McKenzie RA y PJ Dunster. 1986. Hearys and flowers: *Bryophyllum* poisoning of cattle. *Australian Veterinary Journal* 63: 222-227

McKenzie RA Franke EP y PJ Dunster. 1987. The toxicity to cattle and bufadienolide content of six *Bryophyllum species*. *Australian Veterinary Journal* 64: 10. 298-301.

Meyrán-García J y L López-Chavez. 2003. Las crasuláceas de México. Sociedad Mexicana de Cactología. México. 52 págs.

Mort ME Soltis DE Soltis PS Francisco-Ortega J y A Santos-Guerra. 2001. Phylogenetic relationships and evolution of Crassulaceae inferred from MATK sequence data. *American Journal of Botany*. 88. 76-91.

Munsell, 2000. Soil Color charts. Greta, Macbeth, New York.

Oksanen J Kindt R y RB O'Hara. 2005. vegan: Community Ecology Package version 1.6-9. <http://cc.oulu.fi/~kjarioska/>.

Phillips SJ Anderson RP y RE Scaphire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model* 190: 231-259.

Prevey JS Geronimo MJ y NJ Huntly. 2010. Loss of foundation species increases population growth of exotic forbs in sagebrush steppe. *Ecological Applications* 20: 1890-1902.

Remib 2008 (red mundial de información sobre biodiversidad) http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html.

Schoeneberger PJ Wysocki DA Benham EC y WD Broderson. 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0: Lincoln, NE, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.

SEMARNAT 2002. Norma oficial mexicana NOM-026-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación martes 31 dic 2002.

Stubben CJ y BG Milligan. 2007. Estimating and analyzing demographic models using the popbio package in R. *Journal of Statistical Software* 22: 1-22.

USDA. 2004. United States Department of Agriculture. Manual de métodos de laboratorio para levantamiento de suelos <http://www.usda.gov/wps/portal/usahome>.

Williams MC y MC Smith. 1984. Toxicity of *Kalanchoe* spp. in chicks. *American Journal of veterinary research*. 45:3. 543-546.

Witt ABR. 2004. Initial screening of the stem boring weevil *Ospilia tenuipes*, a candidate agent for the biological control of *Bryophyllum delagoense* in Asuatrlia. *Biocontrol* 49: 197-209.

Evaluación del éxito de la clonalidad en una especie invasora:

Kalanchoe delagoensis (Crassulaceae)

¹Azalea Guerra García, ²Jordan Golubov Figueroa y ³María del Carmen Mandujano

¹Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, chalis93@hotmail.com

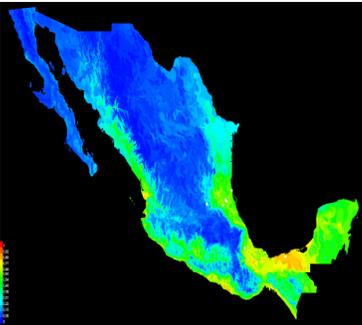
²Laboratorio de Ecología, Sistemática y Fisiología Vegetal, Departamento El Hombre y Su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, gfordan@correo.xoc.uam.mx

³Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

Kalanchoe delagoensis (Crassulaceae) es una especie invasora que se ha naturalizado en México y que se reproduce asexualmente a través de pseudobulbilos que surgen de sus hojas. Se busca identificar qué condiciones de luz y agua determinan el éxito clonal en esta especie. No fueron encontradas semillas en más de 3,500 flores revisadas, lo que nos muestra la importancia del proceso clonal en *K. delagoensis*. Se evaluó la sobrevivencia de pseudobulbilos sometidos a 16 tratamientos formados por cuatro niveles de extinción de luz (0, 40, 60 y 70%) y de saturación de agua (0, 25, 50 y 100%), resultando ambos factores significativos ($p < 0.01$). Se midió la producción de pseudobulbilos bajo diferentes condiciones de extinción de luz (0%, 20% y 70%), obteniéndose producción únicamente con extinción de 0%. Por otro lado, a partir de 1,000 individuos se obtuvo que la biomasa en la raíz explica en gran medida la del tallo ($r^2 = 0.726$, $p = 0.001$), mientras que la relación raíz/tallo, utilizada como referencia del nivel de estrés, fue de 0.28. Por otra parte, esta relación fue de 0.18 en plantas bajo 0% de extinción de luz, que es significativamente superior a la encontrada bajo 20% y 70% de extinción de luz ($p = 0.001$). Lo anterior indica que la luz tiene un gran efecto en el estrés hídrico de la planta, así como en la producción de pseudobulbilos.



Producción de pseudobulbilos en los márgenes de las hojas de *Kalanchoe delagoensis*



Probabilidad de similitud bioclimática con Maxent y coberturas de Worldclim



Inflorescencias de *Kalanchoe delagoensis*

INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas son la segunda causa de pérdida de biodiversidad, y pueden tener efectos económicos y sobre la salud humana. *Kalanchoe delagoensis*, originaria de Mozambique y Madagascar, es una especie invasora en países como Australia y Estados Unidos, y se ha naturalizado ya en México. Es conocida como "madre de millones" ya que numerosos pseudobulbilos surgen de zonas meristemáticas que se encuentran en los márgenes de sus hojas.

Este estudio busca conocer el principal mecanismo por el que esta especie invasora se reproduce en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Querétaro, e identificar qué condiciones de luz y agua determinan su éxito clonal.

MÉTODO

Producción de semillas

70 inflorescencias



Producción de pseudobulbilos

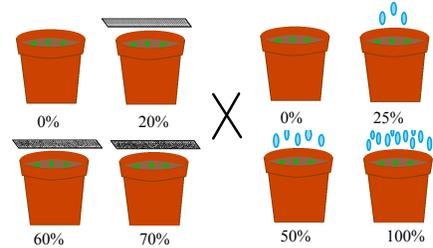
Porcentaje de extinción de luz



Sobrevivencia de pseudobulbilos

Luz (porcentaje de extinción)

Agua (porcentaje de saturación)



Biomasa

1,000 individuos colectados en campo

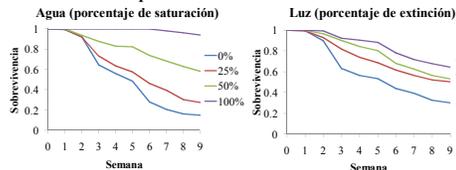
Individuos de experimento de producción de pseudobulbilos



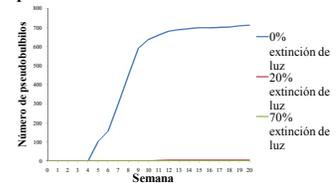
RESULTADOS

Producción de semillas: no se encontraron semillas

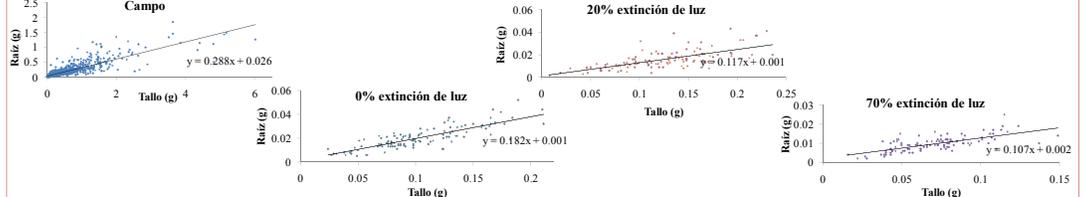
Sobrevivencia de pseudobulbilos:



Producción de pseudobulbilos:



Biomasa:



CONCLUSIONES

- La población estudiada se mantiene fundamentalmente por clonación, proceso presente en la mayoría de las especies invasoras debido a que les confiere ventajas, principalmente durante las primeras fases del establecimiento, sin embargo, la ausencia de reproducción sexual puede resultar desventajosa al disminuir la variabilidad genética y el potencial de evolución y adaptación.
- La reproducción sexual no exitosa puede deberse a un problema genético, a la falta de polinizadores o a que no es autocompatible.
- Tanto el agua como la luz son importantes en el establecimiento de los propágulos. *K. delagoensis* crece en densos manchones, lo que permite que los individuos mayores brinden sombra a los pseudobulbilos que buscan establecerse. Por otro lado, en su hábitat nativo se encuentra en climas secos, por lo que presenta adaptaciones, como la succulencia, que le permiten vivir bajo estas condiciones.
- La proporción raíz/tallo, empleada como un indicador comparativo de estrés hídrico, de individuos bajo 0% de extinción de luz fue mayor a la encontrada bajo 20% y 70%. Esto nos indica que a mayor incidencia de luz, los organismos responden invirtiendo más biomasa en la raíz para compensar la pérdida de agua en la parte aérea.
- La luz es el factor disparador de la producción de pseudobulbilos, por tanto, en ambientes donde la incidencia de luz sea alta se verá favorecido el proceso clonal e invasivo de *K. delagoensis*.

AGRADECIMIENTOS:

CONABIO proyecto GN047

CONACyT CB-2007-01 #83790

Emiliano Sánchez y el Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío"

REFERENCIAS:

- Guo, O. (2006). Intercontinental biotic invasions: what can we learn from native populations and habitats?. *Biological Invasions*. 8: 1451-1459.
- Johnson, M. A. (1934). The Origin of the Foliar Pseudo-Bulbils in *Kalanchoe daigremontiana*. *Torrey Botanical Society*. (61)7: 355-366.
- Lui, J., Dong, M., Li, Z. Y., Song, M. H., & R. Qing. (2006). Invasive alien plants in China: role of clonality and geographical origin. *Biological Invasions*. 8:1461-1470.
- Sala, O. E. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Schulze, E. D., Schilling, K. & S. Nagarajah. (1983). Carbohydrate partitioning in relation to whole plant production and water use of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Oecologia*. 58: 169-177.