



Condiciones ambientales para el óptimo desarrollo de plantas ornamentales y fitorremediadoras

Tanner Alexis Boyás García¹, Luis Manuel Álvarez-Hernández², José Luis Marín-Muñiz²,
María del Carmen Celis-Pérez², Sergio A. Zamora-Castro³, María Guadalupe Landa Muñoz¹

¹Universidad Politécnica del Estado de Guerrero, Carretera federal Iguala-Taxco km. 105 Puente Campuzano, Taxco de Alarcón Gro., CP. 40325, México.

²El Colegio de Veracruz, Academia de Desarrollo Regional Sustentable, Carrillo Puerto 26, Centro, C. P. 91000, Xalapa, Veracruz, México.

³Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería, Construcción y Hábitat, Bvd. Adolfo Ruiz Cortínez 455, Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Veracruz, México.

*Email del Autor: soydrew@hotmail.com

Resumen

Los humedales construidos (HC) son sistemas de tratamiento de aguas residuales por medio de plantas y bacterias, las cuales tienen funciones de fijación, absorción/adsorción de contaminantes. Gracias a tales características físico-químicas, se han adaptado plantas ornamentales al ambiente de humedales, y favoreciendo la remoción de contaminantes. En este estudio se evaluaron aspectos ambientales en el crecimiento de plantas ornamentales en HC (*Alpinia purpurata*, *Zingiber spectabile*). Se tomaron en cuenta la luz solar (172-29,600 lux), humedad relativa (23.7-89%) y temperatura (22-32°C), entre otras condiciones físico-químicas. Los datos revelaron que en los HC no es necesaria la presencia de luz solar directa respecto a *Zingiber*, ya que se dañaron sus hojas. En el caso de *Alpinia* fueron resultados contrarios, ya que esta sí necesita luz directa para su crecimiento adecuado. Por otro lado la humedad dentro del sistema es indispensable, ya que se detectó un índice de humedad alto en las plantas que se encuentran mejor desarrolladas.

Palabras claves: Humedales construidos, vegetación ornamental, aguas residuales, biorremediación.

Abstract

Constructed wetlands (HC) are wastewater treatment systems through plants and bacteria, which have functions of fixation, absorption/adsorption of pollutants. Thanks to such physical-chemical characteristics, ornamental plants have been adapted to the wetland environment, favoring the removal of contaminants. In this study, environmental aspects in the growth of ornamental plants in HC (*Alpinia purpurata*, *Zingiber spectabile*) were evaluated. Sunlight (172-29,600 lux), relative humidity (23.7-89%) and temperature (22-32°C), among other physical-chemical conditions, were taken into account. The data revealed that in the HC the presence of direct sunlight is not necessary with respect to *Zingiber*, since its leaves were damaged. In the case of *Alpinia*, the results were the opposite, since it does need direct light for proper growth. On the other hand, the humidity inside the system is essential, since a high humidity index was detected in the plants that are better developed.

Keywords: Constructed wetlands, ornamental plants, wastewater, biorremediation.

Recibido: 15 de febrero 2022. Aceptado: 05 de abril de 2022. Publicado: 15 de agosto 2022.

1. Introducción

El agua es un recurso vital para el ser humano y la biodiversidad en general, sin embargo debido al crecimiento demográfico y a la urbanización este recurso se está sobreexplotando, esto genera un gran desperdicio y contaminación de este líquido, por ende resulta una escasez progresiva sobre todo en zonas rurales y territorios donde se llevan a cabo actividades de agricultura [1].



Debido a este problema se han buscado y aplicado alternativas de reutilización y limpieza de aguas por medio de sistemas de tratamiento convencionales como lodos activados, lagunas de oxidación, etc. Sin embargo la desventaja de estas estrategias es su elevado costo de construcción y mantenimiento además de los altos costos por consumo de energía eléctrica [2], por este motivo se han determinado nuevas eco-tecnologías económicamente viables, las cuales son enfocadas principalmente a zonas rurales donde hay poco servicio de agua potable o que no cuentan con ningún sistema de tratamientos de aguas residuales.

Una de estas alternativas son los humedales artificiales o construidos (HC) que con el paso del tiempo esta eco-tecnia se ha convertido en una opción rentable económicamente además de seguir en investigaciones para su evolución debido a su gran dinamismo respecto a su estructura, flujo, dimensiones, sustrato e incluso vegetación [3, 4].

Respecto al sustrato y la vegetación tienen como características generales la fijación y absorción de contaminantes, comúnmente la vegetación utilizada en estos sistemas son plantas de humedales naturales pero en la actualidad y gracias a estudios recientes [5, 6] se ha experimentado con un cambio de vegetación, en este caso de tipo ornamental buscando una adaptación a las condiciones de los humedales con un objetivo de carácter social, esto es que sean más llamativos visualmente y sean tomados en cuenta para su adopción [7].

De acuerdo a esto fue establecido este estudio de humedales domiciliarios para tratar las aguas grises generadas dentro de un hogar donde fueron utilizadas 2 tipos de plantas de tipo ornamental (*Zingiber spectabile* y *Alpinia purpurata*) con el objetivo de evaluar su adaptación, desarrollo y su efectividad en remoción de contaminantes, también se tomó en cuenta el entorno de las celdas donde se encuentra la vegetación, fueron tomados en cuenta parámetros físicos como la luminosidad solar y la humedad para determinar las condiciones favorables individuales de las plantas.

2. Antecedentes o marco teórico

Los HC son una alternativa ecológica y económicamente viable para mejorar la calidad del agua. Son sistemas que imitan la función de limpiar el agua de los humedales naturales, tales sistemas son diseñados de manera ingenieril y consisten en canales rellenos de un material sustrato como filtro, y entre los más comunes se encuentran la grava, arena, residuos rugosos de pet o zeolita u otros materiales petreos rugosos y donde se siembran plantas, en tales celdas es por donde el agua a tratar fluye, y donde los contaminantes son removidos del agua a través de procesos físicos, químicos y biológicos [8]. Existen dos tipos de HC respecto al flujo de agua, humedales de flujo superficial y, humedales de flujo subsuperficial. En los primeros el agua fluye por arriba del sustrato que generalmente es suelo y el agua está en contacto con la atmósfera; en los segundos el agua fluye internamente sobre el sustrato sin que esté en contacto con la atmósfera, por lo que se eliminan olores y se disminuye la presencia de insectos como mosquitos [9]. Los HC son una alternativa para eliminar contaminantes de las aguas residuales, industriales, agrícolas y pluviales.

En comparación con las PTAR, los HC son una tecnología más barata y menos compleja. Otros estudios [7, 10] han reportado la replicabilidad de esta ecotecnología en México, y que esta puede ser relevante debido al gran número de comunidades rurales pequeñas, aisladas y de baja densidad que aún carecen de alternativas económicas para limpiar el agua y con ello evitar que las aguas negras se sigan vertiendo a cielo abierto contaminando el subsuelo o vertidas a otros cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas o el océano. La replicabilidad de los HC y el buen funcionamiento de los mismos depende en gran medida del diseño del humedal, es decir que integre el sustrato y la vegetación óptima para su desarrollo. En ese

sentido, resulta pertinente detectar cuáles son las condiciones necesarias para el buen desarrollo de la vegetación, la cual tiene un rol importante en la biorremediación o remoción de contaminantes del agua [11].

3. Metodología experimental

El estudio se realizó en un humedal domiciliario para 3 habitantes en la comunidad de San José Pastorías, Actopan, del estado de Veracruz; está ubicado en los paralelos 96°34'14" longitud y 19°33'52" latitud, con una altitud de 251 metros sobre el nivel del mar (msnm); su clima es semi-cálido húmedo y templado húmedo; la población total es de 552 habitantes, de las cuales 51.9% son hombres y 48.1% mujeres [12]. Los humedales en estudio fueron 8 celdas de 1.5m de largo por 0.35m de ancho y con una profundidad de 0.7m (Figura 1).



Figura 1. Humedal en estudio. Fuente: elaboración propia.

Las celdas de humedales están rellenas de material pétreo de río, con la característica de ser poroso, donde se favorece la creación de familias microbianas. Las celdas de los humedales tienen sembradas plantas ornamentales (*Zingiber spectabile* y *Alpinia purpurata*) o también conocidas como maracas y platanillo o jengibres como nombre común. El agua que se trató mediante los HC fueron aguas grises de un hogar con 3 habitantes, la cual incluyó agua de regadera, lavadero, lavadora y de lavado de trastes. Todas las celdas contaban con la combinación de las especies en estudio, lo que las hacía diferentes es que las celdas 1 y 2 estaban expuestas a mayor sombra. Las celdas 3 y 4 tenían sombra intermedia, y las celdas 5 y 6 estaban con mayor exposición solar. Mientras que las celdas 7 y 8 se encontraban bajo una exposición solar menor como se muestra en la figura 1.

Para evaluar el crecimiento de las plantas, se midió la altura de las mismas con un flexómetro mediante 16 muestreos durante 390 días. A la par de la medición de altura, también se tomaron datos de la luminosidad a tres diferentes horarios, durante la mañana (8-9 am), medio día (12 a 13 horas) y tarde (5-6 pm). A esos mismos horarios también se midió la luminosidad, humedad relativa y temperatura ambiental mediante un higrómetro (modelo: Htc-2, marca: Reddragon), esto con el fin de medir las condiciones óptimas para el buen desarrollo de la vegetación, ya que el crecimiento de las mismas está directamente relacionado con la eliminación de contaminantes.

Algunos parámetros químicos del agua fueron medidos de manera mensual durante 5 meses como base de la eficiencia de remoción de los contaminantes del HC, los cuales fueron medidos mediante técnicas colorimétricas para el caso de amonio ($N-NH_4$), fosfato ($P-PO_4$) y nitrato ($N-NO_3$). Mientras que para sólidos disueltos totales (SDT), se utilizó un medidor digital (modelo: TDS-3, marca: water quality).



4. Resultados experimentales

El análisis de remoción de contaminantes mediante humedales construidos sembrados con plantas ornamentales reveló un promedio de 60.3 ± 11.1 para amonio y de 71.6 ± 10.2 para fosfatos (Tabla 1). La concentración de nitratos fue mínima dentro del sistema y remociones no fueron detectadas. Par el caso de SDT como parte de la remoción de materia orgánica de las aguas residuales fue de 42.3 ± 6.3 . Tales remociones indican una funcionalidad del sistema en la eliminación de contaminantes y por lo cual se recomienda su uso. Lo anterior demuestra la importancia de la biorremediación de contaminantes mediante fitorremediación. La presencia de compuestos nitrogenados es un elemento básico como nutriente para las especies en estudio. Se ha reportado que ausencia de nitrógeno afecta en el buen crecimiento de especies de *Zingiber s.* [13] con menor altura, decoloración de las hojas y tamaño más pequeño de estas.

Tabla 1. Promedio de porcentaje de remoción de contaminantes mediante humedales construidos sembrados con plantas ornamentales. Los datos promedio corresponden a 40 muestras durante el estudio. Promedio \pm error estándar. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Concentración Influyente (mg L^{-1})	Remoción (%)
N-NH₄	24.6 ± 12.6	60.3 ± 11.1
P-PO₄	6.1 ± 1.0	71.6 ± 10.2
N-NO₃	0.16 ± 0.09	No detectado
SDT	1104.6 ± 152	42.3 ± 6.3

El uso de plantas ornamentales en sistemas de humedales construidos fueron seleccionadas tomando en cuenta que estas puedan ser reutilizadas para su comercialización e incluso para la elaboración de manualidades o ramos florales, con el objeto de ayudar a las personas que disponen de ellos, dando así un segundo beneficio económico después de un ahorro de agua.

Los factores ambientales que se analizaron para el desarrollo de plantas ornamentales en HC fueron la humedad, la temperatura y la luminosidad, por días en los años 2019-2021, en tres diferentes horarios de lectura tomando en cuenta 8 celdas del humedal artificial. Así mismo midiendo mensualmente la altura de las plantas. Tomando en cuenta a la humedad en porcentaje, dando como resultado el 03 de febrero del 2020 fue el día con menos humedad con un 50%, los días 28 de noviembre 2019 y 24 de noviembre 2021 fueron los días con mayor humedad con un 80% (Figura 2).

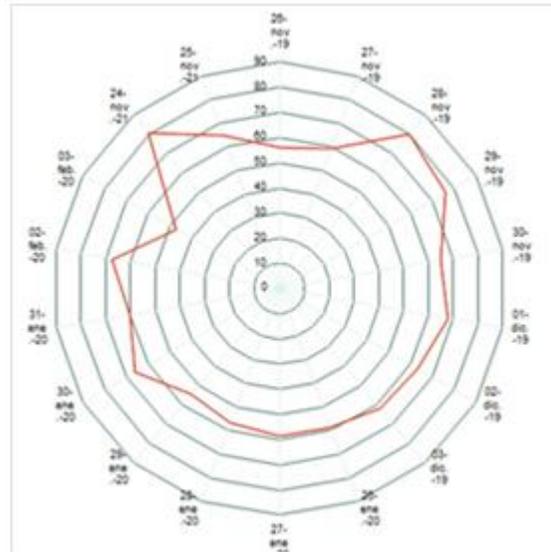


Figura 2. Humedad relativa en los humedales en estudio. Fuente: elaboración propia.

En el caso de la temperatura hubo una constante entre los 23-25 °C, alcanzando hasta los 31 °C al final e inicio de cada año (Figura 3). Temperatura por días en los años 2019-2021). El mejor crecimiento de la especie ha sido reportado en climas con temperaturas mayores a los 10 °C, por lo que región tropical es óptima para el cultivo de tales especies, otra de las ventajas de la inflorescencia de esta planta es que su costa oscila entre 0.6 y 1 dólar, lo cual puede ser un incentivo para el uso de estas plantas en humedales, una vez observado en este estudio su adaptabilidad en tales ecosistemas [14]. Para el caso de *Alpinia p.* se ha reportado que su tasa de crecimiento depende en gran medida de la mejor exposición al sol, con temperaturas arriba de los 15 °C, lo cual está dentro del rango de temperaturas detectadas en este estudio [15].

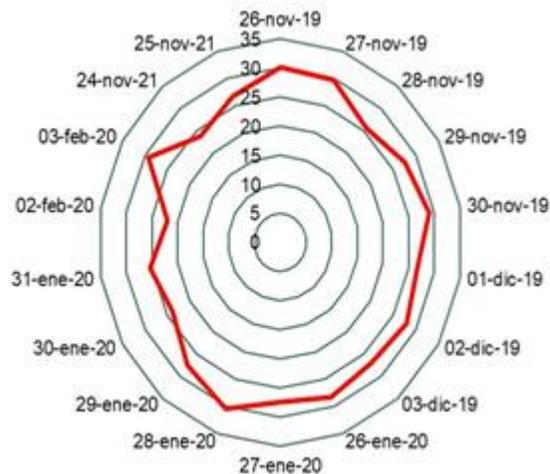


Figura 3. Temperatura en los humedales en estudio. Fuente: elaboración propia.

Dando como resultado la luminosidad, el parámetro más relevante para el desarrollo de las plantas ornamentales en estas biotecnologías, observando que en las celdas 5 y 6 con mayor exposición solar fue donde se detectó la mayor luminosidad promedio, señalado en líneas amarillas con hasta 20,000

luxes, seguido con los luces de hasta 9000 en las celdas 7 y 8 señaladas con líneas verdes. Menores rangos de luminosidad fueron observados en las celdas 1-4 (Figura 4). La sombra proporcionada para las celdas fue debido a un árbol como se muestra en la figura 1.

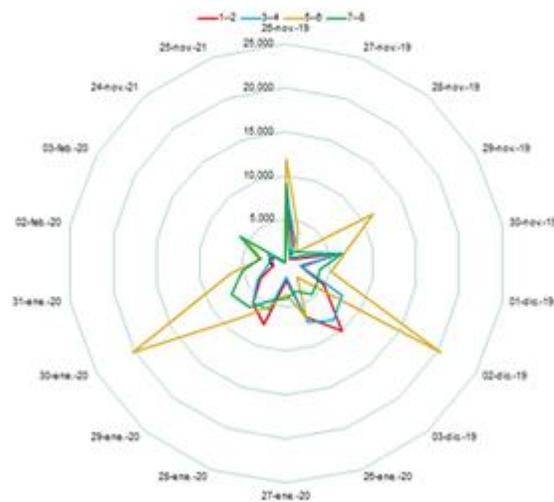


Figura 4. Intensidad luminosa por días en los años 20219-2021. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al crecimiento de las plantas ornamentales, se detectó una influencia de la luminosidad para el mejor desarrollo de las mismas (Figura 5). Las maracas crecieron hasta 1.4m en las celdas con mayor sombra y por lo tanto menor luminosidad.

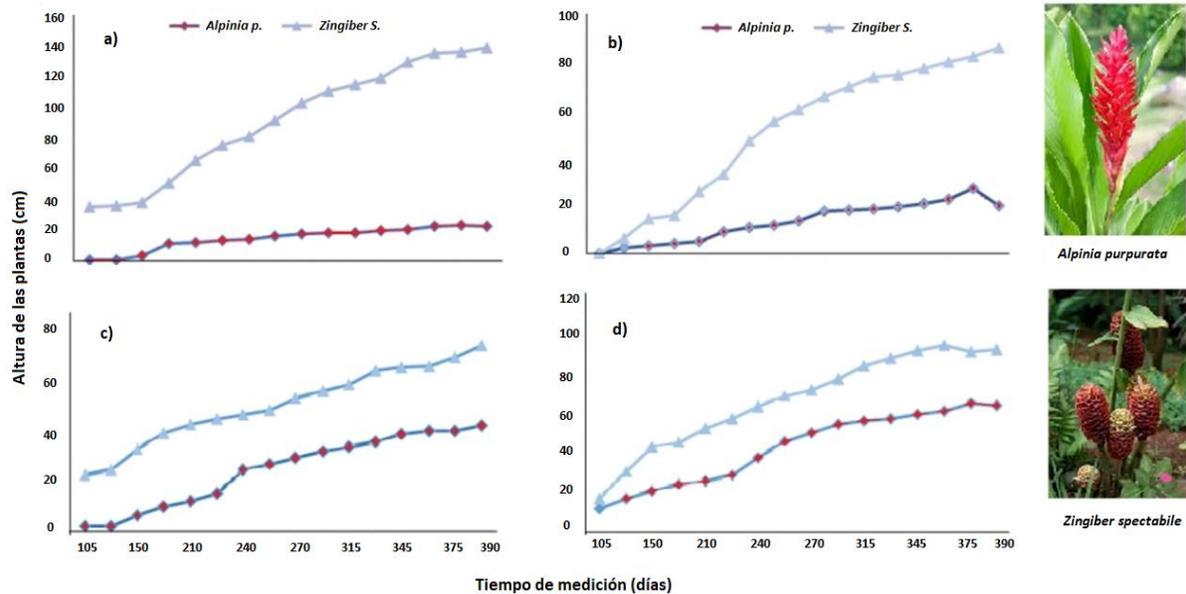


Figura 5. Crecimiento de las plantas sembradas en el humedal en estudio. a) celdas 1 y 2, b) celdas 3 y 4, c) celdas 5 y 6 y d) celdas 7 y 8. Fuente: elaboración propia.



Lo contrario ocurrió para la especie de *Alpinia p.*, la cual en las mismas celdas solo se desarrollaron hasta una altura máxima de 0.2m como se observa en la figura 5a. En las celdas con sombra intermedia las maracas solo crecieron hasta los 0.9m y la *Alpinia p.*, hasta 0.3m, siguiendo la misma logística que la mayor luminosidad favorece el crecimiento de *Alpinia p.* y en contrario para las maracas (Figura 5b). Detectando que estas dependen en gran medida de la cantidad de luz para su óptimo desarrollo. En las celdas 5 y 6 la exposición solar (luminosidad) fue mayor, como se representa en la figura 5c, lo cual favoreció una altura hasta de casi 0.5m para *Alpinia p.* y solo de 0.7m para las maracas. En el caso de las celdas 7 y 8 con poca exposición solar (Figura 5d), el crecimiento de *Alpinia p.* fue de hasta 0.65m y para la maraca de 0.9m.

Los resultados encontrados confirman que la especie de *Zingiber s.*, crece mejor en condiciones de menor exposición solar, por lo que se recomienda colocar malla sombra en los humedales que contemplen el uso de esta especie. Algunos autores sugieren que para evitar quemaduras del follaje de la planta, una malla sombra al 50% es la más recomendada [14]. Mientras que para la especie de *Alpinia p.*, su exposición directa al sol sin necesidad de techado o malla sombra es mejor.

5. Conclusiones

Los humedales construidos son una estrategia amigable con el ambiente que ha demostrado ser eficiente para eliminación de contaminantes como revela este estudio. La adaptación de plantas ornamentales en los HC ha sido viable tanto para *Alpinia p.* como para *Zingiber s.*, pero es dependiente de las condiciones ambientales. La temperatura ambiental osciló entre los 25 y 30 °C, indicando que tales condiciones de sitios tropicales son adecuadas para el desarrollo de las plantas estudiadas aún en condiciones de HC. A mayor luminosidad, el crecimiento de *Alpinia* es favorecido y lo contrario para *Zingiber*, para esta última especie malla sombra es necesaria cuando sea utilizada, ya que su exposición directa al sol puede afectar su follaje y desarrollo. El crecimiento de plantas ornamentales en HC a gran escala favorecerá la remoción de contaminantes y la producción floral, como un beneficio económico para los operadores de la tecnología, estudios a mayor escala y de economía circular y sustentabilidad con el uso de HC y plantas ornamentales son sugeribles en investigaciones futuras, los cuales al incluir a la población podrían encaminar hacia el desarrollo sustentable. Esta estrategia basada en la naturaleza coadyuvará en beneficios sociales, económicos y ambientales, por lo que su réplica en otros lugares con problemas de contaminación de agua es altamente recomendable.

6. Agradecimientos

Agradecemos al CONACyT por el apoyo otorgado a través de la Beca para Estudios de Maestría en Desarrollo Regional Sustentable del segundo autor. Asimismo, agradecemos a la Universidad Politécnica del Estado de Guerrero y a El Colegio de Veracruz por la estadía de investigación del primer y último autor.

7. Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "Afrontar la escasez de agua", FAO, Roma, 2013.
- [2] Díaz-Cuenca E., Alvarado-Granados AR., Camacho-ClazadaKe., "Tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: El caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de



aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México”, 80-83, REDALYC, 14, Estado de México, 2012.

[3] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), “Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales; Humedales artificiales”, SEMARNAT, México, D.F., 17 de junio 2021.

[4] Vidal G., Hormazábal S., “Humedales construidos”, Universidad de Concepción, 1ra edición, Chile, 2018

[5] Rivas A., Paredes D., “Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua”, Universidad Tecnológica de Pereira, 1ra edición, Michoacán, México, 2014

[6] Rivas A., Paredes D., “Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua”, Universidad Tecnológica de Pereira, 1ra edición, Michoacán, México, 2014

[7] Hernández, M.E., “Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México”. Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable 1., 2., 2016, 1-12.

[8] Marín-Muñiz JL., Zitácuaro I. y Palma E.M., “Participación comunitaria para implementación de humedales para limpiar el agua residual: caso de estudio en Pastorías, Actopan, Ver”. En “Miradas colectivas, rutas y aportes a la sustentabilidad”, 103-115, Secretaría de Medio ambiente del Estado de Veracruz, 11 de marzo 2021.

[9] Marín-Muñiz, JL, “Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reúso del agua”, Agroproductividad, 10, 5, 2017, 90-95

[10] García-García, PL., Ruelas-Monjardín. L. and Marín-Muñiz JL., “Constructed wetlands: a solution to water quality issues in Mexico?”, Water Policy, 18, 2016, 654-669.

[11] Rodríguez-Domínguez, MA., Konnerup, D., Brix, H. y Arias, C., “Constructed wetlands in Latin American and the Caribbean: a review of experiences during the last decade”, Water, 12, 2020, 1744.

[12] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), “Censo de Población y Vivienda 2020”, Base de datos de la población total por localidad en Veracruz, México, 2021.

[13] Matos I., Santos S., Klynger A., Poliana S. et al. “Symptoms, growth, nutritional status and accumulation of nutrients in young *Zingiber spectabile* plants subjected to restriction of macronutrients”, Science and Technology, 10, 2, 2012, 546-550.

[14] Baltazar-Bernal O. y Zavala-Ruiz J., “Cultivo de maracas (*Zingiber* spp.) en la floricultura tropical” Agroproductividad, 5, 3, 2012, 20-27.

[15] Kobayashi K., McEwen J. y Kaufman A., “Ornamental ginger, red and pink”, Ornamental and Flowers, 37, 2007, 1-7.