

Efecto de las aguas residuales negras, grises y tratadas en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de amor de un rato (*Portulaca grandiflora*)

Ángela Yumil Romero Mozqueda¹

María Cecilia Valles Aragón²

Liz Esmeralda Borunda Quintana³

Resumen

En la actualidad se busca por diferentes medios el mitigar la demanda hídrica con la reutilización de aguas residuales tanto en el ámbito agropecuario como doméstico. Para este propósito es necesario identificar los cultivos adecuados y los efectos en sus etapas fenológicas, con diferentes aguas de riego, con el fin de apoyar una actividad económica de manera sustentable sin afectar la calidad de la planta para su comercialización. El objetivo de esta investigación fue precisamente el comparar los efectos en amor de un rato en su etapa de germinación, con riego de agua tratada, aguas residuales negras y grises con sus respectivos controles tanto en ambiente In situ como en laboratorio. El experimento se desarrolló en invernadero sin climatización. Se sembraron 4 charolas de 144 cavidades cada una, Los parámetros de medición fueron: germinación diaria y total durante los primeros 20 días de siembra. En el ensayo en laboratorio se colocaron 3 repeticiones de 20 semillas de cada planta con 5 ml de tipo de riego en cajas Petri de 9 cm de diámetro con papel filtro, fueron colocadas en oscuridad a 20 ± 2 °C durante 120 h en estufa. En ambos ensayos se midieron, el porcentaje de germinación, el crecimiento de la raíz y el hipocótilo. En el ensayo In situ se observó los porcentajes de germinación que amor de un rato (39.58 - 34.04%) y se identificaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la germinación por tipo de riego, donde el riego con mayor germinación fue el de agua tratada. En raíz e hipocótilo no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) por tipo de riego. En el ensayo en laboratorio se observó el mayor porcentaje de germinación (96.66%) en agua destilada, el mayor crecimiento de raíz (4.66 mm) en agua negra y en hipocótilo (13.99 mm) en agua tratada. En las elongaciones de raíz e hipocótilo se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por tipo de agua. En la prueba Tukey en las mediciones del hipocótilo y raíz se definieron dos grupos (A y B), donde el Zn se separa del resto de los tipos de agua. Al final de los resultados el uso de aguas residuales puede resultar una solución viable para el desarrollo de plantas ornamentales, sin perjudicar su reproducción e incluso favorecerla. Sin embargo, es necesario evaluar el desempeño del uso de dichas aguas en las siguientes etapas fenológicas de la planta.

Palabras clave: Plantas ornamentales, Aguas residuales, Germinación.

¹ M.C. Romero-Mozqueda Ángela Yumil. Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. angela.romero@cimav.edu.mx

² Dra. Valles-Aragón María Cecilia. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. valles.cecilia@gmail.com

³ Alumna IH: Borunda-Quintana Liz Esmeralda. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. a310766@uach.mx

Introducción

La escasez de agua dulce y la demanda cada vez más alta de ésta, ha surgido como una de los retos más apremiantes de nuestros tiempos (UNESCO 2015). Las descargas de las aguas residuales en México se clasifican en municipales o domésticas, cuando provienen del alcantarillado de las comunidades (CONAGUA 2013). Dentro de las categorías de las aguas residuales se encuentran las aguas negras, ricas en materia orgánica, nutrientes, metales pesados, herbicidas e hidrocarburos y compuestos orgánicos (Haddaoui et al., 2016). Ante la falta del recurso hídrico, las aguas negras son utilizadas actualmente para algunas actividades agrícolas (Carrillo 2016), a pesar de que su uso ha sido prohibido en varios países como agua de riego, sobre todo para cultivos de consumo humano (Palacios et al., 2017). Otra categoría de las aguas residuales son las aguas grises, se identifican por ser aguas que se utilizaron para algún tipo de lavado, que pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias, pero que están suficientemente limpias para regar las plantas, sin considerar el agua proveniente de lavabos que reciban químicos (Allen, 2010). Las adiciones de las aguas grises a los cuerpos de agua en la superficie pueden causar desequilibrios de pH, el aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) e incremento de turbidez (Dixon et al., 1999). Aunque el rehúso de las aguas grises y negras es algo común, sin un adecuado tratamiento, puede formar a su vez un problema mayor, ya que se han registrado a nivel mundial, muchos casos de brotes de enfermedades, casos de intoxicaciones masivas y se ha propiciado la degradación de diversos cuerpos de agua (Delgadillo et al., 2010; Palacios et al., 2017).

El tratamiento de aguas residuales para depuración se realiza mediante sistemas que constan de tres secciones: colecta, tratamiento y descarga al lugar de restitución (Fernández et al., 2007), pero las tecnologías varían en muchos sentidos dependiendo de las regiones y recursos. En la mayoría de los países los parámetros de calidad más comunes que deben cubrir las aguas tratadas y que están relacionados con el cuidado de la salud ambiental y humana son la salinidad, nutrientes, metales pesados y patógenos (Norton et al., 2013), para que sean aguas viables para uso de riego agrícola.

La optimización responsable de las aguas y su reutilización hace necesarios estudios como éste, evaluando las tolerancias o susceptibilidades de los cultivos y sus efectos directos sobre el desarrollo de las plantas (Arumbabú et al., 2015) por lo que es necesario probar en diferentes etapas fenológicas. La reproducción por lo tanto es un momento crítico en la vida vegetal, los genes que afectan la latencia de las semillas y la germinación se encuentran entre los factores más fuertes de selección de plantas. Las mediciones de la latencia siempre deben ir acompañadas de análisis de contextos ambientales en los que se describen fenotipos o comportamientos (Penfield 2017). Es por ello, que se hace necesario identificar la tolerancia de plantas ornamentales a la composición de aguas residuales negras, grises y tratadas con el fin de apoyar la floricultura como una actividad económica sustentable sin afectar la calidad de la planta para su comercialización (Zurita et al., 2008).

Metodología

Plantas ornamentales

Para el experimento se germinaron semillas de amor de un rato (*Portulaca grandiflora*), esto debido a su adaptabilidad ambientes con condiciones climáticas extremosas.

Tipos de agua de riego

Los tipos de agua con las que se probó la germinación de las plantas fueron agua negra, agua gris, agua tratada y agua de grifo (agua potable) como control, para comparar el efecto de las aguas residuales no tratadas y tratadas sobre la germinación y el desarrollo de plántulas (Rekik et al., 2017) y así medir la viabilidad del uso de aguas residuales o tratadas en esta actividad (Kim et al., 2010).

A) Colecta de aguas negras y tratadas

La colecta de **aguas negras** se hizo en las sequias de riego del ejido de Tabalopa, Chihuahua, las cuales son destinadas en un área de esta zona productora, para el riego de cultivos de ornamentales y forrajeros desde 1996. Estas aguas provienen del río Chuvíscar (efluente del río Bravo), con distintas descargas de aguas municipales y domésticas de toda la ciudad (DOF, 2015).

La colecta del **agua residual tratada** se realizó en un envase de 20 L directamente del aljibe del Campus 1 de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), que suministra agua a todas las líneas de riego de dicho campus y es abastecida de la línea municipal de agua residual tratada.

Las plantas de tratamiento en Chihuahua son instalaciones de nivel 2, donde el proceso de tratamiento incluye pretratamiento mecánico, un sistema de lodos activados aeróbicos, seguido de un proceso de desinfección por cloro, por lo que el grado de calidad es apto para el contacto con el ser humano debido a la ausencia de coliformes. La distribución de esta agua se realiza por medio de la línea morada que abastece desde la planta tratadora hasta diversos puntos de la ciudad (Palacios et al., 2017).

B) Preparación de aguas grises

El **agua gris** que se utilizó fue sintética, preparada en el laboratorio de acuerdo a los procedimientos de la Fundación Nacional de Saneamiento/Instituto Nacional de Estándares Americanos (NSF/ANSI) estándar 350 (ANSI, 2011). Se utilizó agua local de grifo con pH inicial de 8.8 - 2, alcalinidad de 6.5 - 10, y monocloramina presente a 1 - 2 mg/l como Cl_2 . La preparación del agua simuló una mezcla de 67% agua de la ducha (20 g de lavado corporal, 2 g de pasta de dientes, 1.3 g de desodorante, 26.7 g champú/acondicionador, 2 g de ácido láctico, 15.3 g de jabón líquido para manos por 100 l) y 33% de agua de lavandería (13.2 ml de lavado de ropa detergente, 7 ml de suavizante de telas líquido, 1.3 g de Na_2SO_4 , 0.67 g NaHCO_3 , 1.3 g de Na_2HPO_4 , 10 g de polvo de ensayo por 100 l). Estas proporciones se modificaron para preparar 20 l del agua sintética.

Análisis de parámetros fisicoquímicos en los diferentes tipos de agua.

A todos los tipos de agua se les determinaron algunos parámetros fisicoquímicos como: Potencial Hidrógeno (pH), Potencial Oxido Reducción (ORP), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total (NT), Nitritos (NO_2), Nitratos (NO_3) y Amoníaco (NH_3). Los parámetros regulados se compararon con las Normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 (Tabla 1). Así mismo, se realizó la determinación de metales en agua por espectrofotometría de absorción atómica (AAS), en un equipo GBC Avanta Sigma, de Plomo (Pb),

EFFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES NEGRAS, GRISES Y TRATADAS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE AMOR DE UN RATO (PORTULACA GRANDIFLORA)

Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cromo (Cr) y Arsénico (As) utilizando acoplado al AAS el Generador de Hidruros marca GBC modelo HG3000; y por ICP-OES en un equipo Thermo Scientific modelo Icap 6500 se determinó Plata (Ag) y Fósforo Total (PT).

Tabla 1. Parámetros con sus límites máximos permisibles en normas oficiales mexicanas y normas mexicanas para su determinación en agua (Elaboración Propia, 2017).

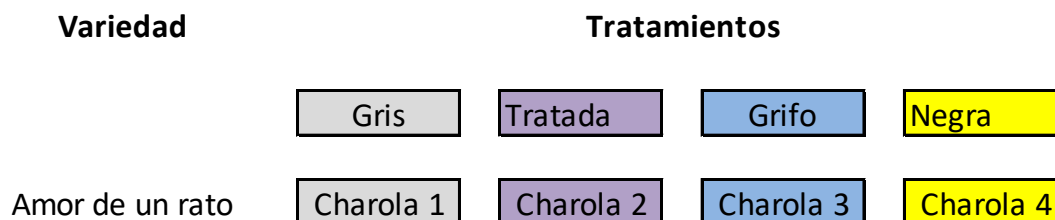
Parámetros	Norma de Límites	Unidad de Medición	LMP	Norma de Medición
pH	NOM- 001- SEMARNAT-1996	Escala pH	10	NMX-AA-008-SCFI-2011
ORP	-	-	-	-
CE	-	-	-	NMX-AA-093-SCFI-2000
SST	NOM- 003- SEMARNAT-1997	mg/l	30	NMX-AA-034-SCFI-2015
SSV	-	-	-	NMX-AA-034-SCFI-2015
SDT	-	-	-	NMX-AA-034-SCFI-2015
DBO	NOM- 003- SEMARNAT-1997	mg/l	30	NMX-AA-028-SCFI-2001
DQO	-	-	-	NMX-AA-030/1-SCFI-2012
PT	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	10	NMX-AA-029-SCFI-2001
NT	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	25	NMX-AA-026-SCFI-2010
NO ₂	-	-	-	NMX-AA-026-SCFI-2010
NO ₃	-	-	-	NMX-AA-026-SCFI-2010
NH ₃	-	-	-	NMX-AA-026-SCFI-2010
Pb	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	1	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cd	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	0.1	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cu	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	6	NMX-AA-051-SCFI-2001
Zn	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	20	NMX-AA-051-SCFI-2001
Ni	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	4	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cr	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	1.5	NMX-AA-051-SCFI-2001
As	NOM- 001- SEMARNAT-1996	mg/l	0.4	NMX-AA-46-1981

Germinación In situ con riego de aguas grises y tratadas.

Se realizaron dos experimentos de germinación, uno in situ y otro en laboratorio

- Ensayo In situ. El experimento se desarrolló en invernadero sin climatización. Se sembraron 4 charolas de 144 cavidades cada una, destinando una charola por cada tratamiento y una para el control con agua de grifo, para cada variedad (Figura 1). Los parámetros de medición fueron: germinación diaria y total durante los primeros 20 días de siembra, elongación del hipocótilo (parte aérea) y de raíz.

Figura 1. Procedimiento experimental In situ



- b. Ensayo en laboratorio. Se compararon las germinaciones de las variedades contra semillas de lechuga (*L. sativa L.*) como indicador de toxicidad. En cajas Petri de 9 cm de diámetro con papel filtro, se colocaron 20 semillas de cada planta con 5 ml de tipo de riego (Castillo 2004). Se utilizaron tres repeticiones por tipo de semilla para cada tratamiento (agua negra, gris, tratada), el blanco (agua destilada), el control 1 (agua grifo), el control 2 (solución de Zn al 0.001 M, preparada con 0.484362 g de sulfato de zinc hepta-anhidro aforado a 1L de agua). Las cajas Petri fueron colocadas en oscuridad a 20 + 2 °C durante 120 h en estufa Felisa. Se midieron, el crecimiento de la radícula y el hipocótilo.

Parámetros de germinación

Los cálculos de parámetros de germinación como porcentaje de germinación (PG) e índice de vigor de semilla (IVS) fueron considerados según lo reportado por Abdul-Baki y Anderson (1973):

$$PG = \frac{SG}{ST} \times 100$$

Donde:

PG= Porcentaje de germinación

SG= Semillas germinadas

ST= Semillas totales

$$IVS = (LR + LH) \times PG$$

Donde:

IVS= Índice de Vigor de la Semilla

LR= Longitud media de raíz

LH= Longitud Media de brote (Hipocótilo)

PG= Porcentaje de germinación

Análisis estadístico de los datos

Para el estudio de la variación de la germinación y del rasgo morfológico de las plantas (raíz e hipocótilo) por el tipo de agua de riego, se realizó una comparación de medias probando de forma independiente en germinación el efecto en la planta (amor de un rato) y en todas las variables el tipo riego (agua negra, gris, tratada y de grifo) y se planteó la hipótesis nula (todos los tratamientos son iguales) y la hipótesis alternativa (al menos uno de los tratamientos es distinto a los demás) con el fin de determinar si existen diferencias significativas. Para ambas pruebas se aplicó la separación de medias mediante el test de Tukey Honest Significance Difference (HSD) de una vía ($p \leq 0.05$) para detectar diferencias significativas entre las medias. Los rasgos cuantitativos se resumieron como media, desviación estándar, coeficiente de variación y valores mínimos y máximos. Los rasgos cualitativos se expresaron en escalas y luego se representaron en forma de gráficos de barras apiladas.

EFFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES NEGRAS, GRISES Y TRATADAS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE AMOR DE UN RATO (PORTULACA GRANDIFLORA)

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento PROC GLM del programa SAS 9.1.3 (SAS, 2006).

Resultados y discusión

Análisis físico-químico del agua

Los resultados de los parámetros monitoreados en los diferentes tipos de agua se muestran en la Tabla 2, los cuales se comparan con la normativa que regula los límites máximos permisibles (LMP) aplicables según la NOM-001-SEMARNAT que regula los contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, la NOM-003-SEMARNAT-1997 que regula los contaminantes en las tratadas que se reúsen en servicios al público y la NOM-127-SSA1-1994 que regula la calidad requerida del agua potable (aplicable solo para agua de grifo). En agua gris los SST (181 mg/l) superaron el LMP de la normativa de 30 mg/l. Así mismo, la DBO (293.0 mg/l) superó el LMP establecido de <30 mg/l. El resto de los parámetros quedó dentro del LMP o no es regulado por la normativa mexicana. Los metales pesados no se anexaron en la tabla debido a que algunos fueron no detectables por el equipo como Cd y Ni, o bien quedaron debajo del LMP establecido como el Pb (0.004 mg/l), Cu (0.0001 mg/l), Zn (0.006 mg/l), Cr (0.004 mg/l), Ti (0.01 mg/l), Ag (0.1 mg/l), As (0.02mg/l).

Tabla 2. Caracterización de aguas de riego con sus parámetros y sus límites máximos permisibles en normas oficiales mexicanas (Elaboración Propia, 2017).

Parámetro	Norma	Unidad de medición	LMP *	LMP	Valor Medio			
					Gris	Tratada	Negra	Grifo
pH	NOM-001 / NOM-127*	Unidades	6.5 a 8.5	5.5 a 10	7.42	7.42	7.28	7.03
ORP	-	mV	-	-	67.93	73.00	46.70	73.57
CE	-	mS/cm	-	-	0.67	1.11	1.06	0.67
SST	NOM-001/ CONAGUA 2017	mg/l	50	30	181.00	4.00	75.33	4.33
SSV	-	mg/l	N/A	-	132.33	3.00	30.67	1.00
SDT	CONAGUA 2017 / NOM- 127*	mg/l	500	500	0.33	0.56	0.57	0.31
DBO	NOM-003	mg/l	<30	<30	293.00	12.00	329.33	0.00
DQO	-	mg/l	N/A	-	577.00	28.33	327.10	0.67
PT	NOM-001	mg/l	10	10	1.23	1.73	3.60	0.33
NT	NOM-001	mg/l	25	25	7.67	41.53	31.20	8.67
NO ₂	-	mg/l	-	-	0.14	0.32	0.09	0.02
NO ₃	-	mg/l	-	-	9.90	5.57	4.80	4.53
NH ₃	-	mg/l	-	-	0.17	27.83	31.43	1.03
Pb	NOM-001/ NOM- 127*	mg/l	0.05	1	0.003	0.004	0.005	0.038
Cd	NOM-001/ NOM- 127*	mg/l	0.01	0.4	0.000	0.000	0.000	0.005
Cu	NOM-001/ NOM- 127*	mg/l	0.005	6	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	NOM-001/ NOM- 127*	mg/l	2	20	0.004	0.003	0.003	0.001
Ni	NOM-001/ NOM- 127*	mg/l	5	4	0.000	0.000	0.000	0.007
Cr	NOM-001/ NOM- 127*	mg/l	-	1.5	0.006	0.004	0.005	0.000
As	NOM-001/ NOM- 127*	mg/l	2	0.4	0.026	0.046	0.028	0.005

NOM-001: Aplicable para aguas residuales y tratadas

CONAGUA 2017: Aplicable a aguas para riego

NOM-027: Aplicable para agua potable (grifo)/ (*) NOM y LMP: Aplicable para agua potable (grifo)

En agua tratada el nivel del NT (41.53 mg/l) superó el LMP de 25 mg/l. Los metales pesados como Cd, Cu, Ni, Ti y Ag fueron no detectables por el equipo y Pb (0.004 mg/l), Zn (0.003 mg/l), Cr (0.004 mg/l) y As (0.04 mg/l) quedaron debajo de LMP establecido.

El agua negra en SST (75.33 mg/l) supero el LMP de 30 mg/l, en DBO (329.33 mg/l) estuvo arriba del LMP de <30 mg/l y en NT (31.20 mg/l) excedió el LMP de 25 mg/l. Los metales pesados no detectados por el equipo fueron Cd, Cu, Ni, Ti y Ag y los que quedaron debajo del LMP establecido fueron Pb (0.004 mg/l), Zn (0.003), Cr (0.005 mg/l) y As (0.03 mg/l).

Los resultados de los parámetros monitoreados en agua de grifo indican una buena calidad, todos estuvieron dentro de los LMP establecidos en la normativa. Los metales pesados no detectables por el equipo fueron Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Ti, Ag y los que quedaron debajo del LMP establecido fueron Pb (0.005 mg/l) y el As (0.04 mg/l).

Germinación

Ensayo in situ

En el ensayo In situ (Tabla 3) se observó el porcentaje amor de un rato (39.58 - 34.04%). Así mismo, se identificaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la germinación por tipo de riego, donde el riego con mayor germinación fue el de agua tratada (Figura 3). En raíz e hipocótilo no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) por tipo de riego, lo que representó que estadísticamente no hay cambios grandes en dichos parámetros por tipo de agua. Los indicadores mayores fueron en agua gris germinación (39.58 %) y crecimiento de raíz (27.4 mm), en el hipocótilo el indicador mayor (7.85 mm) fue en agua tratada. Esto puede ser debido a la presencia de nutrientes en dichas aguas, ya que en agua tratada el nitrógeno estuvo por encima de la norma (Tabla 2) y en aguas grises por su naturaleza jabonosa, existe la presencia de fosfatos, ambos elementos estimulan el crecimiento de las plantas al insertarse en las bases nitrogenadas en las células de núcleos grandes y estimulan las moléculas ATP, respectivamente (Metcalf, 2003).

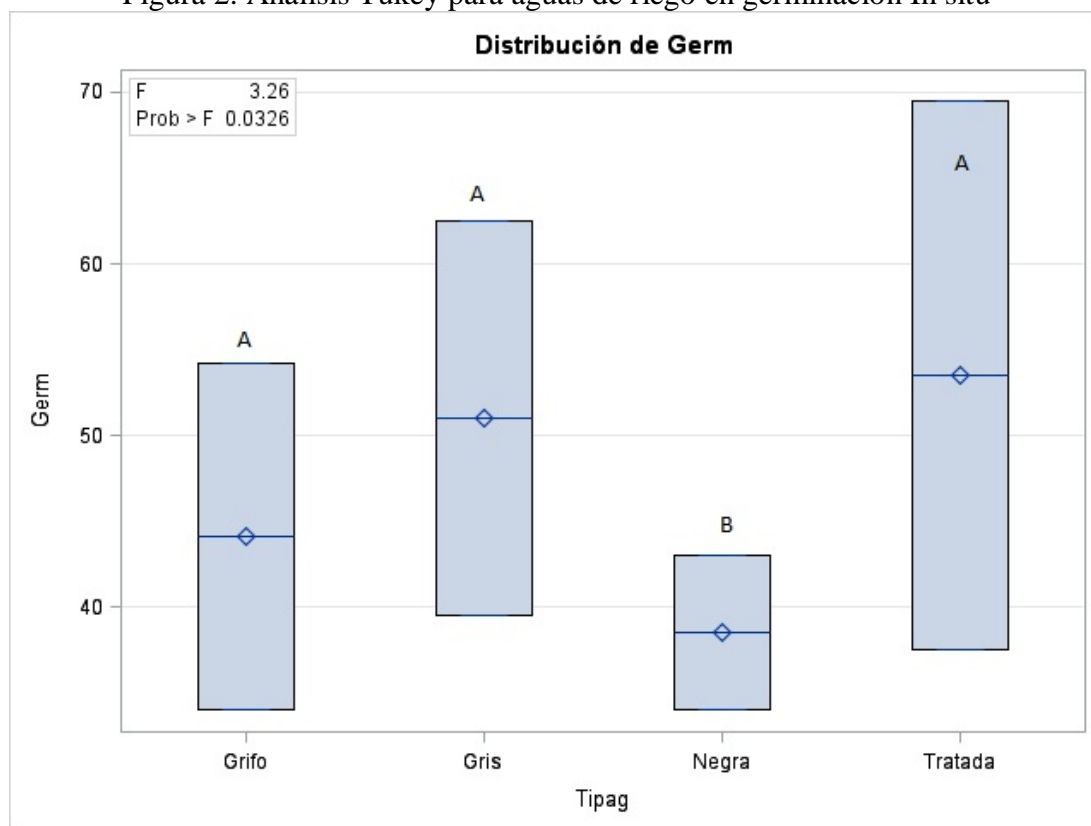
Tabla 3. Valores medio de germinación In situ, elongación de raíz e hipocótilo (Elaboración Propia, 2020).

Tipo de agua	Amor de un rato		
	Germinación (%)	Raíz (mm)	Hipocótilo (mm)
Gris	39.58	27.4	5.9
Tratada	37.50	13.8	7.85
Grifo	34.03	23.4	5.17
Negra	34.03	17.2	7.8

La prueba Tukey definió los riegos en dos grupos A y B, donde el agua negra se separó del resto de las aguas, ya que fueron las magnitudes más bajas de germinación (Figura 2). Lo cual es congruente debido a que dichas aguas presentan menor calidad, ya que las aguas residuales sin tratamiento pueden afectar la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas (Chaabene et al., 2015).

EFFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES NEGRAS, GRISES Y TRATADAS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE AMOR DE UN RATO (PORTULACA GRANDIFLORA)

Figura 2. Análisis Tukey para aguas de riego en germinación In situ



(Elaboración Propia, 2020).

Ensayo en laboratorio

Los porcentajes de germinación de amor de un rato (96.66 - 46.66%) fueron significativamente ($p < 0.05$) menores a los de lechuga (100 - 53.33%) (Tabla 4, Figura 3). Por tipo de agua no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la germinación.

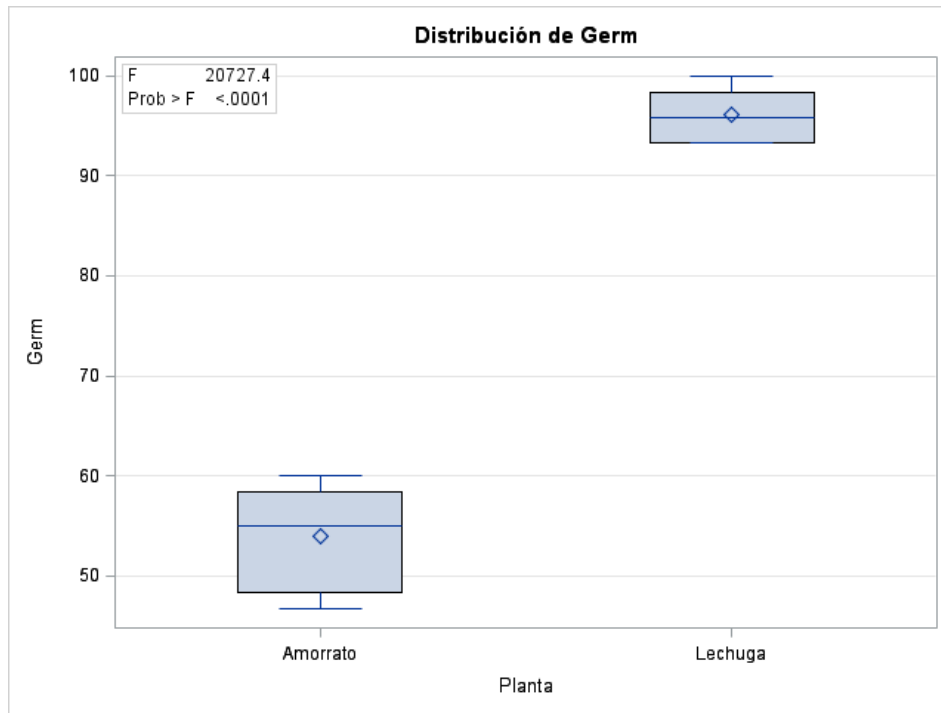
En amor de un rato se observó el mayor crecimiento de raíz (4.66 mm) en agua negra y en hipocótilo (13.99 mm) en agua tratada. En lechuga el mayor crecimiento de raíz (14.84 mm) fue en agua negra y en hipocótilo (27.28 mm) fue en agua tratada (Tabla 4).

Tabla 4. Valores medio de germinación amor de un rato, elongación de raíz e hipocótilo y valor P de ANOVA en laboratorio

Tipo de agua	Germinación (%)		Raíz (mm)		Hipocótilo (mm)	
	Amor de un rato	Lechuga	Amor de un rato	Lechuga	Amor de un rato	Lechuga
Gris	60.00	100.00	3.25	11.38	10.84	24.65
Tratada	56.66	98.33	3.83	10.09	13.59	27.28
Grifo	46.66	93.33	3.47	9.03	10.32	24.32
Negra	58.33	93.33	4.63	14.84	12.69	23.57
Destilada	48.33	96.66	2.96	12.65	10.27	25.49
Zn	53.33	95.00	1.07	3.66	5.53	12.78
P valor	0.44		0.003		0.005	

(Elaboración Propia, 2020).

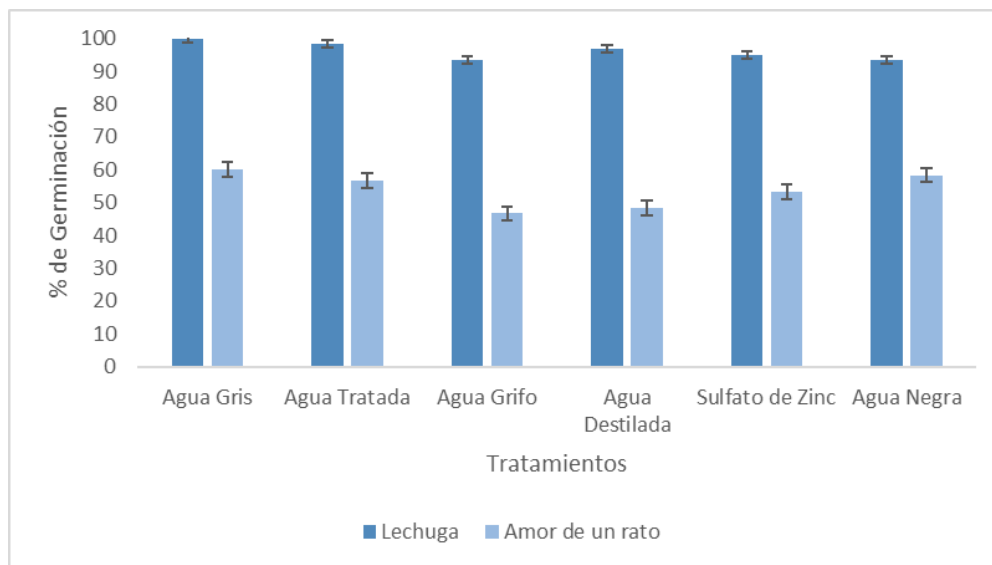
Figura 3. ANOVA de germinación para amor de un rato y lechuga en laboratorio



(Elaboración Propia, 2020).

Al realizar las comparaciones de los porcentajes de germinación de amor de un rato y lechuga (como especie indicadora) se observó una mayor susceptibilidad por parte de amor de un rato en comparación a la lechuga (Tabla 4 y Figura 4), los máximos porcentajes de germinación para ambas especies fueron alcanzados en agua gris, tanto para amor de un rato (60%), como para lechuga (100%).

Figura 4. Porcentaje de germinación de amor de un rato y lechuga en germinación en laboratorio

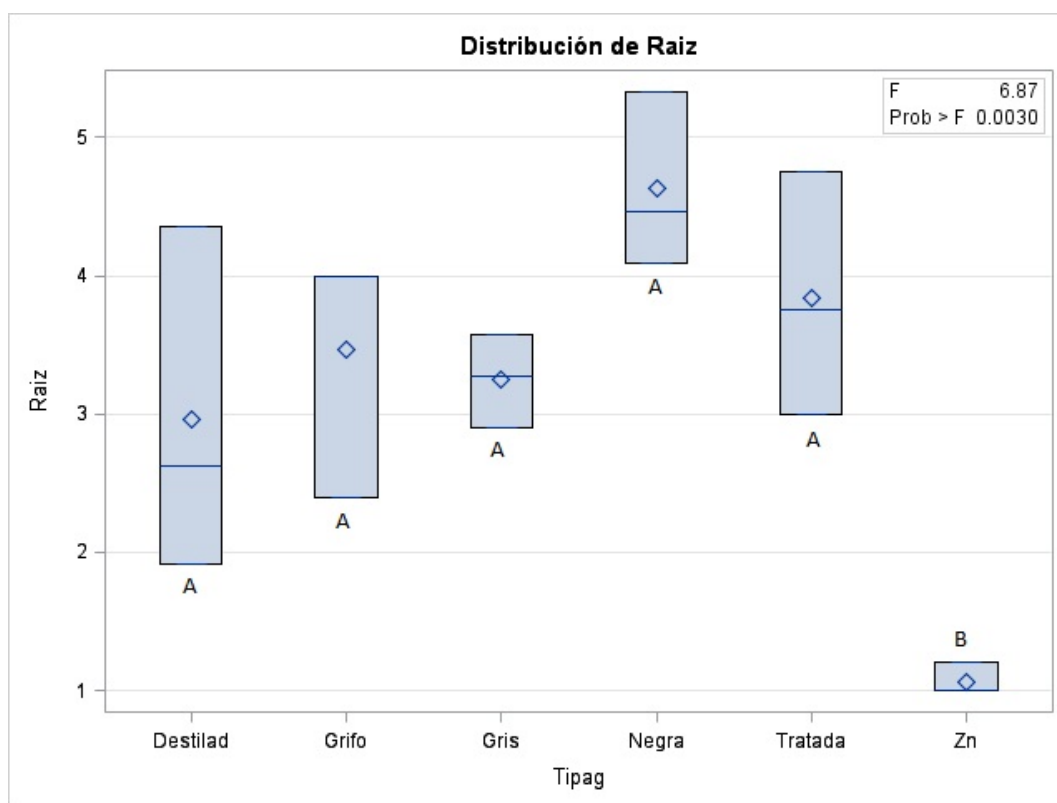


(Elaboración Propia, 2020).

EFFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES NEGRAS, GRISES Y TRATADAS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE AMOR DE UN RATO (PORTULACA GRANDIFLORA)

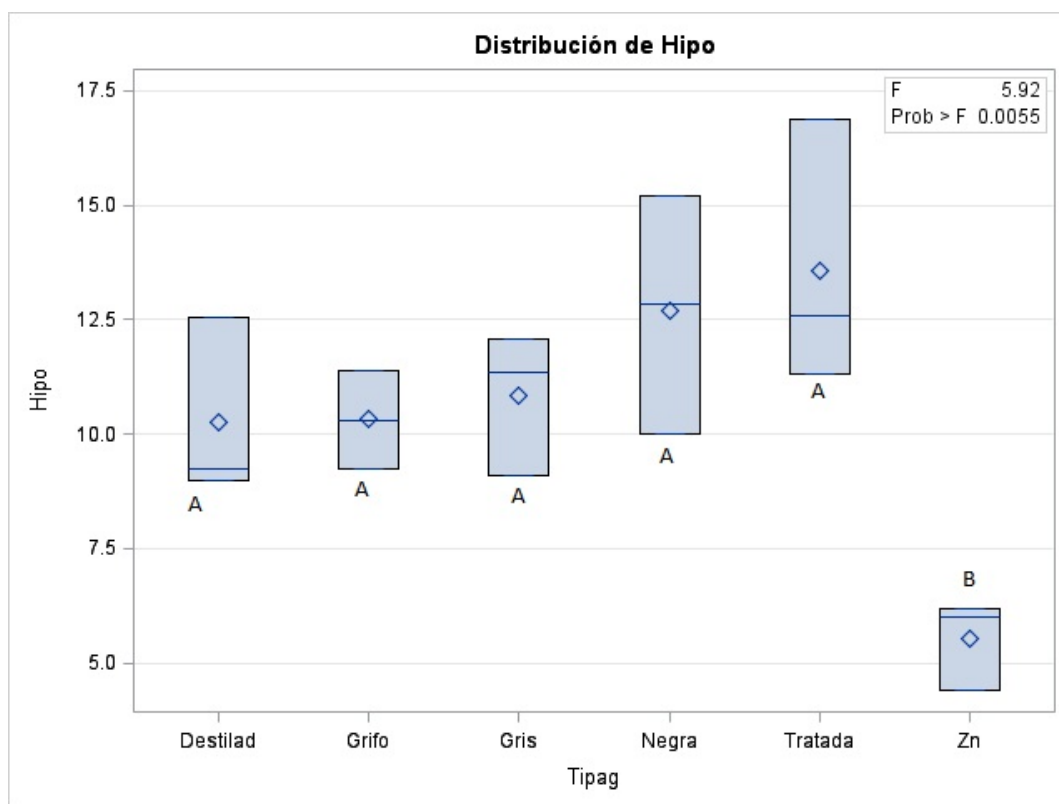
En las elongaciones de raíz e hipocótilo se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por tipo de agua. En la prueba Tukey en las mediciones del hipocótilo y raíz se definieron dos grupos (A y B), donde el Zn se separa del resto de los tipos de agua, lo que significó que también para amor de un rato este control inhibe el crecimiento de sus órganos debido a su toxicidad (Figura 5 y 6). Estudios han demostrado que las plantas toleran mejor la toxicidad por zinc en el trasplante en comparación a la germinación y el crecimiento (Cañas et al., 2012); lo que concuerda con los resultados en estos ensayos.

Figura 5. Análisis Tukey para aguas de riego en elongaciones de raíz de amor de un rato en germinación en laboratorio



(Elaboración Propia, 2020).

Figura 6. Análisis Tukey para aguas de riego en elongaciones del hipocótilo amor de un rato en germinación en laboratorio



(Elaboración Propia, 2020).

Índice de vigor de semilla

Con el índice de vigor de la semilla (IVS) In situ se determinó la magnitud más baja en el riego de agua negra fue de 3,629.58 (Tabla 5). Los valores mayores del IVS fueron en agua gris para en agua tratada (7,000.00).

Tabla 5. Índice de vigor de semilla amor de un rato In situ

Amor de un rato	
Tipo de agua	IVS
Gris	5768.75
Tratada	7000.00
Grifo	4885.83
Negra	3629.58

(Elaboración Propia, 2020).

EFFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES NEGRAS, GRISES Y TRATADAS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE AMOR DE UN RATO (PORTULACA GRANDIFLORA)

En el desarrollo de las plántulas durante el ensayo en laboratorio la magnitud más baja del IVS fue en el riego de agua con Zn fue 627.00 (Tabla 6). Los valores mayores del IVS fueron en agua negra para Amor de un rato (1,278.49).

Los experimentos tuvieron duraciones diferentes (in situ duró 20 días y laboratorio 5), la germinación y desarrollo de amor de un rato se observó afectada en el experimento en laboratorio debido a que su proceso de germinación es más prolongado.

Tabla 6. Índice de vigor de semilla amor de un rato en laboratorio

Amor de un rato	
Tipo de agua	IVS
Gris	845.20
Tratada	987.02
Grifo	643.13
Negra	1616.48
Destilada	1278.49
Zn	627.00

(Elaboración Propia, 2020)

Conclusión

El tipo de agua de riego influyó de forma significativa en la germinación In situ, por lo que se demostró que la calidad del agua negra repercutió negativamente en el metabolismo de las semillas de amor de un rato. El crecimiento de raíz e hipocótilo no se observó con diferencias significativas por tipo de riego, sin embargo, los mayores crecimientos se dieron bajo los riegos de agua gris y agua tratada.

El tipo de agua no influyó de forma significativa en la germinación en laboratorio de amor de un rato, el porcentaje mayor de germinación fue en agua destilada. Se observó que amor de un rato mostro mayor susceptibilidad a la toxicidad de los diferentes tipos de agua que la lechuga. El crecimiento de raíz e hipocótilo en amor de un rato presentaron diferencias significativas por tipo de riego y los mayores crecimientos en raíz e hipocótilo se dieron en agua negra.

Por lo que se demuestra que el uso de aguas residuales puede resultar una solución viable para el desarrollo de plantas ornamentales, sin perjudicar su reproducción e incluso favorecerla. Sin embargo, es necesario evaluar el desempeño del uso de dichas aguas en las siguientes etapas fenológicas de las plantas estudiadas.

Bibliografía

- Abdul-Baki, A. A., and Anderson, J. D. (1973) Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*. 13: 630–633.
- ANSI. (2011) Aproved American National Standard. National Sanitation Foundation/ American National Standards Institute (NSF/ANSI) 350 standard. International Standard / American National Standard (NSF/ANSI 61 2013).

- Allen L. (2010) Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior. Publicado por Greywater Action. Versión 2, abril.
- Arunbabu V., Sruthy S., Ignatius Antony, Ramasamy E.V. (2015) Sustainable greywater management with *Axonopus compressus* (broadleaf carpet grass) planted in sub surface flow constructed wetlands. *Journal of Water Process Engineering*, 7,153–160
- Casierra-Posada F., González L., Ulrichs C. (2010) Crecimiento de plantas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) afectadas por exceso de zinc. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4, No. 2.
- Castillo G. (2004) Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Canadá. IDRC. IMTA 202
- Cañas M.A., Carreón Y. y Martínez M. (2012) Evaluación de la toxicidad ocasionada por el exceso de micronutrientes en plantas de *Arabidopsis thaliana*. *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*,14(1), 30 – 36.
- Chaabene Z., Khanous L., Ellouze O., Jebahi N., Grubb C.D., Khemakhem B., Mejdoub H., Elleuch A. (2015) Morphological, physiological and biochemical impact of ink industry effluent on germination of maize (*Zea mays*), barley (*Hordeum vulgare*) and sorghum (*Sorghum bicolor*), *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 95, 687–693.
- Carrillo, M., Siebe, C., Dalkmann, P., Siemens, J., (2016) Competitive sorption of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) surfactants and the antibiotics sulfamethoxazole and ciprofloxacin in wastewater-irrigated soils of the Mezquital Valley, Mexico. *J. Soil Sediments* 16, 2186–2194.
- Christou, A., Eliadou, E., Michael, C., Hapeshi, E., Fatta-Kassinos. (2013) Estadísticas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Edición 2013. D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Dixon A.M., Butler D., Fewkes A. (1999) Guidelines for greywater reuse: health issues, *J. IWEM* 13, 322–326
- Delgadillo O., Camacho A., Pérez L. y Andrade M. (2010) Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Serie Técnica, Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), Cochabamba- Bolivia. ISBN: 978-99954-766-2-5.
- DOF. (2015) Actualización de la disponibilidad media anual del agua en el acuífero Tabalaopa-Aldama (0835), estado de Chihuahua. *Diario Oficial de la Federación*.
- Fernández B., Seijo I., Ruiz-Filippi G., Roca E., Tarenzi L., Lema J.M. (2007) Characterization, management and treatment of wastewater from white wine production, *Water Sci. Technol.* 56,121–128.
- Haddaoui, O. Mahjoub, B. Mahjoub, A. Boujelben, G. Di Bella. (2016) Occurrence and distribution of PAHs, PCBs, and chlorinated pesticides in Tunisian soil irrigated with treated wastewater, *Chemosphere*,146, 195–205.
- Kim P.M., Mossea A. F. Patti, Christend E. W., Cavagnaro T. R. (2010) Winery wastewater inhibits seed germination and vegetative growth of common crop species. *Journal of Hazardous Materials*.180, 63–70.

EFFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES NEGRAS, GRISES Y TRATADAS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE AMOR DE UN RATO (PORTULACA GRANDIFLORA)

- Mann, R.A., Bavor, H.J. (1993) Phosphorus removal in constructed wetlands using gravel and industrial waste substrate. *Water Sci. Technol.* 27, 107–113.
- Metcalf, E. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. In: G.Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel (Eds.). McGraw-Hill. [25]
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana: Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas grises en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, México.
- NOM-003-SEMARNAT-1997. Norma Oficial Mexicana: Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas grises tratadas que se reúsen en servicios al público. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, México.
- NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Norma Oficial Mexicana: Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud, Diario Oficial de la Federación, México.
- Norton-Brandão D., Scherrenberg S.M., Van Lie J.B. (2013) Reclamation of used urban waters for irrigation purposes e A review of treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 122, 85-98
- Palacios O. A., Zavala-Díaz de la Serna F. J., Ballinas-Casarrubias M. L., Espino-Valdés M. S. and Nevárez-Moorillón G.V. (2017) Microbiological Impact of the Use of Reclaimed Wastewater in Recreational Parks. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 1-12.
- Penfield S. (2017) Germinación de Semilla y Dormancia, *Biología Actual*, 27 (17), 874-878.
- Rekik I., Chaabanea Z., Missaouia A., Chenari A., Luptakovab L., Elleucha A., Belbahri L. (2017) Effects of untreated and treated wastewater at the morphological, physiological and biochemical levels on seed germination and development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), alfalfa (*Medicago sativa* L.) and fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Journal of Hazardous Materials*, 326, 165–176.
- UNESCO. (2015) Agua para un Mundo sostenible; Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo, Resumen Ejecutivo. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, Oficina del Programa sobre Evaluación Mundial de los Recursos Hídricos; División de Ciencias del Agua, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Italia, 8.
- Zurita, F., De Anda, J., Belmont, M.A., Cervantes-Martínez, J. (2008) Stress detection by laser-induced fluorescence in *Zantedeschia aethiopica* planted in subsurface-flow treatment wetlands. *Ecol. Eng.*, 33, 110–118.