

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE HUMEDALES ARTIFICIALES EMPLEANDO *Heliconia Psittacorum* y *Cyperus Papyrus* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Renso Alfredo Aragón Calderón¹
Andrea Yiceth Parra Collazos²
Martha Adriana Peña Torres³

| Recibido: 07 de Julio de 2015 | Revisado: 10 de Julio de 2015 | Aceptado: 21 de Julio de 2015 |

Resumen

El Tecnoparque Agroecológico Yamboró del Sena – Pitalito, Huila, quiere dar una solución ambientalmente sostenible a las aguas residuales domésticas que genera, en el marco del desarrollo de las actividades de formación integral profesional por proyectos de sus aprendices. Se evaluó un sistema de tratamiento prototipo con dos especies de plantas presentes en el sur del Huila: *Heliconia psittacorum* y *Cyperus papyrus*. Los parámetros evaluados fueron DBO5, DQO, CE, OD, STD, sólidos sedimentables, coliformes fecales y totales., El sistema prototipo mostró resultados satisfactorios en remoción de carga contaminante, sin embargo se propone realizar estudios posteriores, con tiempos de medición prolongados.

Palabras Claves: Fitorremediación, flujo subsuperficial, humedales artificiales, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus papyrus*.

Abstract

The Tecnoparque Agroecológico Yamboró del Sena – Pitalito, Huila, wants give an environmentally sustainable solution to wastewater generated, in the context of the development of the vocational comprehensive training for apprentices projects. Treatment system prototype was evaluated using two species of own plants in the southern region of Huila: *Heliconia psittacorum* y *Cyperus papyrus*. The parameters evaluated were BOD5, COD, EC, DO, TDS, settleable solids, fecal and total coliforms. Preliminarily, the prototype system showed satisfactory results in removal of pollution load, however it is proposed to further studies, with prolonged measurement.

Keywords: Phytoremediation, subsurface flow, constructed wetlands, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus papyrus*.

¹ Ing. Agrícola. Investigador Grupo de Investigación Yamboró. Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano.

² Ing. Ambiental. Investigadora Grupo de Investigación Yamboró. Instructora, Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano.

³ Química. Investigadora Grupo de Investigación Yamboró. Instructora, Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano

Introducción

En el mundo mundial, la contaminación de las aguas constituye un grave problema ambiental, como consecuencia de la industrialización, globalización, crecimiento poblacional y urbanización (Salgado *et al* 2012). Para el año 2050, la población mundial se proyecta en 9100 millones de personas, un 34% superior a la de hoy (Palta y Morales, 2013), por lo cual el tratamiento de las aguas residuales se convierte en uno de los retos del desarrollo sostenible.

Las aguas residuales domésticas se originan a partir de actividades humanas relacionadas con la evacuación de residuos (desperdicios, residuos animales y vegetales, detergentes y partículas), lavados (jabones, detergentes, sales, etc.) y de actividad general de las viviendas (celulosa, almidón, insecticidas, partículas orgánicas, etc.); frecuentemente son descargadas en ríos, arroyos, lagos o directamente al mar sin un tratamiento adecuado lo que aporta metales pesados, sustancias químicas (Garzón *et al* 2012), materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos que contribuyen a la eutrofización y turbidez, fenómeno que incluye la proliferación de algas, cambios en la estructura de las comunidades acuáticas, disminución de la diversidad biológica y eventos de mortandad de peces por agotamiento de oxígeno (Palta y Morales, 2013).

En Colombia, existe la normativa relacionada con las aguas residuales corresponden al Decreto 1594 de 1984, sin embargo, se estima que diariamente se producen cuatro millones de metros cúbicos de residuos líquidos y sólo el 8% de las aguas residuales tienen algún tipo de tratamiento antes de descargarse a las fuentes naturales (Pérez *et al* 2011). Alrededor de 300 municipios no realizan depuración al agua de consumo y 450 no tienen planta de tratamiento, sobresale el caso de la cuenca del Magdalena-Cauca (25% del área territorial), con un 70% de la población y sólo 11% de la oferta hídrica del país, lo que conlleva a que cerca de 1300 cuerpos de agua estén seriamente contaminados (Palta y Morales, 2013). En general, en la Zona Andina las aguas residuales se vierten directamente a los cuerpos de agua ubicados dentro del perímetro urbano (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Es importante tener en cuenta, que aunque en Colombia se han construido plantas de tratamiento de aguas residuales, el número real de aquellas que se encuentran en buen estado es desconocido (Bedoya *et al* 2014). Lo anterior preocupa, debido a que las grandes inversiones en la construcción de las plantas de tratamiento, podría dejar de impactar

positivamente la reducción de la contaminación, por una inadecuada operación y mantenimiento, y el Ministerio del Medio Ambiente (2001) señala que la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento es responsabilidad del generador de las aguas residuales y éste debe garantizar que los vertimientos reúnan las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas que se requieren para la protección del medio ambiente y la salud humana, de acuerdo con lo que se establezca en la legislación, mediante el monitoreo y la caracterización de las aguas con la periodicidad indicada.

Aunque las grandes ciudades han hecho esfuerzos para minimizar el impacto de las aguas residuales, los sistemas convencionales implementados son costosos y de difícil aplicación, lo que limita su construcción en pequeños municipios, zonas rurales, y en la pequeña y mediana industria (Sanabria 2006 Garzón *et al* 2012). Los países en vía de desarrollo deberían construir sistemas de tratamiento eficientes, de bajo costo, fáciles de operar, es decir, sostenibles para la comunidad beneficiaria, donde se considere el agua residual como un recurso (Pérez *et al* 2011). El problema con las tecnologías convencionales es que exigen frecuentemente una inversión considerable y un personal técnico capacitado para su operación y mantenimiento, teniendo en cuenta de otro lado, que en las zonas aisladas, el tratamiento de las aguas residuales se enfrenta a la contaminación difusa, dispersión geográfica y condiciones topográficas de difícil acceso, se deben encontrar soluciones que se adapten a cada región específica, donde la identificación de materiales autóctonos y la implantación de vitrinas de demostración tecnológica constituyan las primeras actividades por realizar (Garzón *et al* 2012).

Cuando de aplicar soluciones ambientalmente sostenibles se trata, se debe echar un vistazo a lo que nos brinda la naturaleza, para comprender los principios que la rigen y que se puedan replicar en favor del desarrollo humano. Uno de los procesos que puede ser aplicado en la descontaminación de las aguas residuales se denomina fitorremediación, que se define como el uso de las plantas para eliminar, destruir o transformar contaminantes del suelo, agua y aire (Peña *et al* 2013). Un sistema de tratamiento que usa este tipo de principio son los humedales artificiales, que imitan la naturaleza, de los naturales como intermediarios entre la afluencia de la contaminación y los ecosistemas acuáticos (Villegas *et al* 2006); en ellos se da una compleja interacción entre plantas, medio de soporte, bacterias y agua de tal forma que los contaminantes son almacenados, transformados o degradados a través de diversos procesos físicos,

químicos y biológicos (Bernal *et al* s.f.); con ellos se pueden lograr altos niveles de tratamiento y tienen un gran potencial para el tratamiento de las aguas residuales en los países en desarrollo, debido a sus bajos costos de implementación, bajo consumo de energía, fácil operación y bajo mantenimiento (Sanabria 2006; Konnerup *et al* 2009).

En los humedales construidos, la capacidad de remoción se debe a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del sustrato para retener sólidos suspendidos del agua y la actividad biológica del sistema (Romero *et al* 2009). Con ellos, se pueden obtener mejores rendimientos que con las lagunas sin vegetación, aunque pueden afectarse por las especies de plantas usadas (Vymazal, 2013), ya que éstas son el componente indispensable, incluso, la presencia o ausencia de plantas, es motivo para definirlos (Li *et al* 2013). Cabe destacar, que su uso se extiende al tratamiento de otro tipo de aguas, como es el caso de las aguas de escorrentía, las cuales se ven afectadas por la contaminación del aire, cunetas o el pavimento, entre otros (Peña y Lara, 2012).

De acuerdo con Vymazal (2013), en Suramérica hay un número muy pequeño de humedales construidos y a su vez, es muy poco lo que se ha escrito sobre los resultados de su funcionamiento; existen estudios muy específicos que les atribuyen no sólo potencial como sistemas de tratamiento, sino también un aporte a la fauna de los paisajes agrícolas que los circundan, la cual puede verse afectada positivamente porque ellos les proporcionan insectos y otros microorganismos que contribuyen a la cadena alimenticia (Stahlschmidt *et al* 2012). También es muy poco lo que se conoce sobre el funcionamiento de este tipo de sistemas y el papel de la vegetación, especialmente en latitudes tropicales, por lo que se hace necesario estudiar los procesos internos involucrados en la transformación del contaminante con el fin de optimizar su desempeño (Peña *et al* 2013).

En cuanto a su clasificación, los humedales construidos pueden ser superficiales (de flujo libre) o de flujo subsuperficial. En los de flujo libre se construyen canales estrechos e impermeables de gran longitud, con profundidades pequeñas, baja velocidad de desplazamiento de la masa de agua y bajo el régimen de flujo de pistón, el agua fluye con la lámina de agua por encima del lecho y entre los tallos de las especies emergentes, mientras que en los de flujo subsuperficial se construyen canales de lecho filtrante a través de los cuales se hace pasar el caudal

de agua residual sin que la altura de la lámina de agua sobrepase la superficie del material del relleno; pueden tener menos área que los de flujo libre porque el lecho de grava permite mayores tasas de reacción, se evitan posibles problemas de mosquitos porque el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular y no hay problemas de acceso público ni inconvenientes en clima frío ya que el lecho presta una mayor protección térmica (Sanabria 2006), la profundidad del lecho es función de la penetración de las raíces y varía entre 30 cm y 90 cm (Sanabria 2006; Valles y Alarcón 2014).

Algo que caracteriza además, a los humedales construidos, es el uso de plantas denominadas macrófitas, las cuales influyen con efectos físicos, por ejemplo, la reducción de la velocidad del viento, lo cual ayuda a la sedimentación de sólidos suspendidos, previene la re-suspensión, efecto de filtración o provisión de superficie para adhesión de microorganismos y con efectos del metabolismo, tales como absorción y la liberación de oxígeno de las raíces (Vymazal 2013).

Dentro de las macrófitas empleadas en humedales artificiales, las heliconias sobresalen por su uso ornamental y con el auge mundial del consumo de plantas exóticas tropicales, su explotación puede llegar a proporcionar un alto valor económico (Sosa, 2013; Jerez, 2007); cabe destacar que presentan interacciones biológicas debido a que poseen un gran número de organismos, insectos, incluyendo escarabajos, orugas, hormigas, que se alimentan o viven dentro de sus brácteas, lo que las hace tener un valor ecológico para la conservación de la biodiversidad; del género *Heliconia* se han descrito más de 250 especies, 97 de ellas se encuentran distribuidas en Colombia y 48 han sido descritas como endémicas, ubicándolas como el centro de diversidad más grande de este género en el mundo (Sosa, 2013). Existen estudios que proponen su uso para el tratamiento de aguas residuales (Santos *et al* 2012; Konnerup *et al* 2009; Peña *et al* 2013), los cuales han mostrado buenos resultados, considerándose viable como especie fitorremediadora.

Por otro lado, la especie *Cyperus papyrus*, conocida popularmente como papiro, presenta ciertas características que le permiten un buen desempeño como macrófita enraizada, al ser perenne, poseer grandes rizomas y espigas cilíndricas, tolerar temperaturas de 20 a 33 °C y pH entre 6 y 8, entre otras; además de su capacidad para soportar altos niveles de insolación, resistencia a plagas y su adaptabilidad a condiciones climáticas tropicales (Pérez *et al* 2013).

Perbangkhem y Polprasert (2010) proponen el *Cyperus papyrus* en el tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales construidos, demostrando a escala piloto que la planta además de ser una especie potencial para el tratamiento de las aguas residuales, cosecharlo, proporciona material de valor agregado al verlo como biomasa, lo cual puede reducir o incluso compensar los costos de tratamiento. De hecho, el *Cyperus papyrus* es la especie que con más frecuencia se emplea en África para tratamientos con humedales construidos (Vymazal, 2013).

El presente estudio se enfoca en el análisis de la eficiencia de remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas, para un sistema de tratamiento piloto de humedales construidos de flujo subsuperficial ascendente, empleando *Heliconia psittacorum* y *Cyperus papyrus*; las aguas provienen del Tecnoparque Agroecológico Yamboró, perteneciente al Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), sede Pitalito – Huila, como aproximación para una solución sostenible de la problemática de las aguas residuales en pequeñas comunidades del Sur de Colombia.

Metodología

Componentes del Sistema de Tratamiento

Se evaluó un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de origen doméstico producto de las actividades que se realizan al interior del Tecnoparque Agroecológico Yamboró, ubicado en la vereda Aguadas, del Municipio de Pitalito, Huila, perteneciente al Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano del SENA.

El suministro de agua residual al sistema piloto se realizó con un tanque plástico de 250 l, al que se denominó dosificador. Este dosificador suministró el agua residual de forma continua al sistema, garantizando el almacenamiento o la eliminación de excesos.

El STAR piloto constaba de tres unidades ubicadas en serie, unidas a través de tubería y accesorios PVC de 1 pulgada. A continuación se describe cada una de las unidades:

Unidad de Tratamiento Piloto uno

El sistema se construyó con un tanque plástico de 500 l como sedimentador (tanque séptico). El agua residual ingresa por la parte superior y es conducida

a la segunda unidad a través de un tubo ubicado también en la parte superior, lo que permite que haya una lámina de agua constante atravesando el sistema.

Unidad de Tratamiento Piloto dos

Consta de un tanque plástico de 500 l. En esta unidad se realizan procesos de fitorremediación a través de un humedal construido de flujo subsuperficial ascendente. Contiene dos lechos filtrantes, gravilla de seis cm de diámetro en la mitad inferior y gravilla de tres cm de diámetro promedio en la mitad superior. Se empleó *Heliconia psittacorum* como especie fitorremediadora.

El agua ingresa a la unidad 2 por medio de un tubo que obliga a que se distribuya en el fondo del tanque y haga un movimiento ascendente, atravesando primero por el lecho de mayor tamaño y posteriormente por el de menor tamaño, para luego salir a través de un tubo ubicado en la parte superior que conduce a la unidad 3, lo que garantiza un flujo de lámina de agua constante entre las unidades.

Unidad de Tratamiento Piloto tres

Consta de un tanque plástico de 500 l. La unidad tres también funciona como un humedal construido de flujo subsuperficial ascendente y contiene los mismos lechos filtrantes y disposición de la tubería que se mencionó en la unidad dos, sólo que en esta última unidad la especie fitorremediadora empleada fue el *Cyperus papyrus*.

Se realizó una estabilización del STAR Piloto previo a la siembra de las plantas empleadas en las unidades dos y tres, para tener una idea del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sin la siembra de las especies vegetales.

Posteriormente se realizó la siembra de la *Heliconia psittacorum* y el *Cyperus papyrus* en las unidades dos y tres, respectivamente. Se tomaron muestras puntuales: en la salida de la primera unidad y una a la salida de la segunda unidad y dos muestras a la salida del sistema (efluente).

Variables evaluadas

Las variables analizadas corresponden a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; éstos parámetros y el método empleado para su determinación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables fisicoquímicas y microbiológicas evaluadas en el STAR Piloto

Parámetro	Método
Fisicoquímicos	
DBO ₅	Respirométrico
DQO	Fotométrico
Temperatura del agua residual	Potenciométrico
pH	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica (CE)	Potenciométrico
Oxígeno Disuelto (OD)	Potenciométrico
Sólidos Totales Disueltos (STD)	Potenciométrico
Sólidos Sedimentables	Gravimétrico
Microbiológicos	
Coliformes Fecales	Filtración por membrana
Coliformes Totales	Filtración por membrana

Sistema de Tratamiento Piloto

La figura 1 permite ver la distribución de los lechos filtrantes y las especies vegetales empleadas para analizar su influencia en el porcentaje de remoción dentro de los humedales artificiales. Como se puede apreciar, se ubicó una llave que permite la extracción de muestras a la salida de cada una de las unidades que compone el sistema, con lo cual se pueden examinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Tabla 1) individualmente y en forma general. Los humedales corresponden a la Unidad 2 o humedal con *Heliconia psittacorum* y la Unidad 3 humedal con *Cyperus papyrus*.

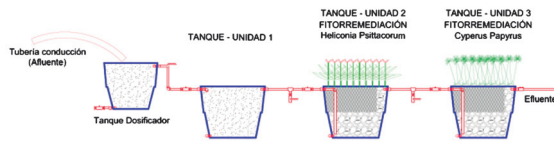


Figura 1. Esquema general del STAR Piloto

Una vez tomadas las muestras, se llevaron al laboratorio de Aguas y Suelos del Tecnoparque Agroecológico Yamboró, para su correspondiente análisis. Finalmente se realizó la cuantificación de los porcentajes de remoción de carga orgánica por unidad y en el STAR piloto a nivel general.

Resultados y discusión

Porcentajes de Remoción de Carga Orgánica

En las Tablas 2 y 3 se presentan los resultados de las eficiencias de remoción por parámetro (fisicoquímico y microbiológico) evaluado a la entrada y salida de cada unidad que compone el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2. Eficiencias de remoción evaluadas en cada unidad del sistema de tratamiento

Unidad	DBO ₅ (mg O ₂ /L)			DQO (mg/L)			CE (µS/cm)			OD (mg/L)		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
1 (Entrador)	600	1,5	591	290	3,5	280	1776	3,3	1718	3,62	40,6	2,15
2 (Heliconia psittacorum)	591	17,6	487	280	89	30	1718	-	2002	2,15	30,7	1,49
3 (Cyperus papyrus)	487	15	414	30	33,3	-	20	2002	5,4	1	1,49	3,11
									894			108,7

Tabla 3. Eficiencias de remoción evaluadas en cada unidad del sistema de tratamiento

Unidad	STD (mg/L)			Sólidos Sedimentables (mL/L)			CF (UFC/100 mL)			CT (UFC/100 mL)		
	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef	Af	%	Ef
1 (Entrador)	888	3,3	859	0,01	-1,9	0,2	2,1*10 ⁸	98	4*10 ⁸	7,1*10 ⁸	78,9	1,5*10 ⁸
2 (Heliconia psittacorum)	859	-16,5	1001	0,2	100	0	4*10 ⁸	-150	1*10 ⁷	1,5*10 ⁸	77,3	3,4*10 ⁷
3 (Cyperus papyrus)	1001	5,4	947	0	100	0	1*10 ⁷	0	1*10 ⁷	3,4*10 ⁷	64,7	1,2*10 ⁷

La Tabla 4 presenta una visión general de la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento teniendo en cuenta solamente los valores de entrada (afluente) y salida (efluente) para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Tabla 4. Eficiencias de remoción evaluadas en el sistema de tratamiento de forma general

Parámetro	Afluente	Efluente	Remoción (%)
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	600	414	31
DQO (mg/L)	290	20	93
Temperatura del agua residual	28,11	25,16	10,5
pH	7,68	7,84	-2,1
Conductividad (µS/cm)	1776	1894	-6,6
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3,62	3,11	14,1
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	888	947	-6,6
Sólidos Sedimentables (mL/L)	0,01	0	100
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	2,1*10 ⁸	1*10 ⁷	95,2
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	7,1*10 ⁸	1,2*10 ⁷	98,3

Concentraciones de los Parámetros Fisicoquímicos

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

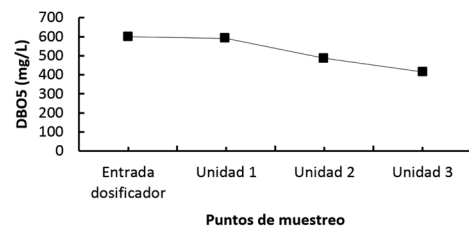


Figura 2. Concentraciones de DBO₅ por cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo

La figura 2 permite observar que preliminarmente el sistema de tratamiento piloto realiza una remoción de DBO₅ durante el paso del agua residual por cada una de sus unidades, dando como resultado una remoción general del 31% (Tabla 4). Se debe tener en cuenta que el Decreto 1594 de 1984 exige una remoción del 80% para este parámetro, por lo cual es necesario realizar más corridas del agua residual a través del sistema piloto, para poder establecer cuál es el porcentaje de remoción máximo que se puede alcanzar. Perez *et al* (2013) obtuvieron porcentajes de remoción de DBO₅ del 72% en un humedal construido de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas residuales de una industria cosmética empleando *Cyperus papyrus*, con un período de estudio de 2 años; el presente estudio presentó remoción del 15% en DBO₅ en el humedal que contenía la especie *Cyperus papyrus* (Tabla 2). En el caso del uso de *Heliconia psittacorum* en humedales construidos de flujo subsuperficial, algunos autores reportan remociones superiores al 70% para DBO₅ (Peña *et al* 2013; Bedoya *et al* 2014).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

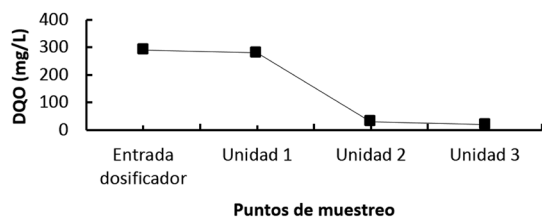


Figura 3. Concentraciones de DQO por cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

El ensayo preliminar con el sistema de tratamiento prototipo presentó una remoción de DQO a nivel general del 93% (Tabla 4), presentándose el mayor porcentaje de remoción en el humedal sembrado con *Heliconia psittacorum* (89%) (Tabla 2). El comportamiento de la remoción a través de cada una de las unidades que componen el sistema de tratamiento prototipo se puede apreciar en la figura 3. Los resultados de DQO del presente estudio para *Heliconia psittacorum*, se encuentran en un valor un poco superior al del rango de porcentajes de remoción (42 y 83%) hallados para el mismo parámetro por Konnerup *et al* (2009). En contraste, Romero *et al* (2009), argumentan que los humedales artificiales en alguna etapa no presentan reducciones de las concentraciones de la DQO y los valores pueden incrementarse debido al arrastre de raíces o desprendimiento de la biopelícula formada alrededor

de los rizomas, lo cual debe tenerse en cuenta al momento de realizar un estudio con un lapso de tiempo más prolongado.

Conductividad Eléctrica (CE)

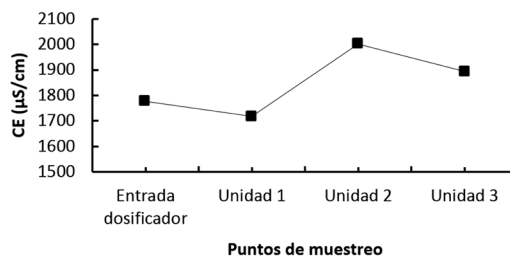


Figura 4. Conductividad Eléctrica en cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

El comportamiento de la Conductividad Eléctrica en este estudio, tuvo de forma general una tendencia al aumento durante el paso por el sistema de tratamiento piloto (Figura 4), alcanzando un aumento total de 6,6%, el cual se denota con signo negativo en la Tabla 4. Bernal *et al* (s.f.) encontraron una tendencia de aumento progresivo en los valores de Conductividad en el afluente de un humedal con flujo subsuperficial que trató aguas residuales provenientes de un Centro de Investigaciones, y argumentan que se pudo deber al uso de grava como medio de soporte, la cual libera sales por la fricción con el agua, a medida que esta fluye por el humedal, aunque hay que tener en cuenta que la especie de planta empleada por ellos fue la macrófita *Typha sp.*

Concentración de Oxígeno Disuelto (OD)

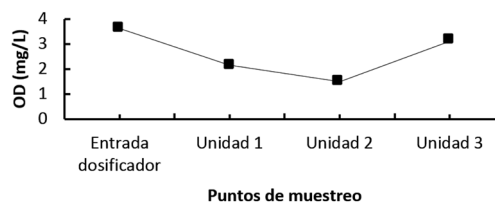


Figura 5. Concentraciones de OD por cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

El Sistema de Tratamiento Prototipo presentó un descenso en la cantidad de Oxígeno Disuelto al pasar por la unidad 1 (sedimentador) y la unidad 2 (humedal artificial plantado con *Heliconia psittacorum*) (Figura 5). Aunque el agua residual vuelve a incrementar los niveles de Oxígeno Disuelto al pasar por la unidad 3 (*Cyperus papyrus*) (Tabla 2), el Sistema de Tratamiento en general presentó una reducción de 14,1% en Oxígeno Disuelto (Tabla 4). Kyambadde *et*

al (2004) encontraron un comportamiento similar en humedales construidos empleando *Cyperus papyrus* en un clima tropical y explican que la disminución del Oxígeno Disuelto ocurre debido a la descomposición aeróbica de los materiales vegetales, nitrificación y a la mínima aireación superficial resultante de la cobertura de la vegetación.

Concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD)

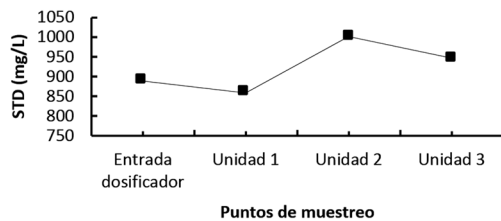


Figura 6. Concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) por cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

La Figura 6 permite observar que la cantidad de Sólidos Totales Disueltos del agua residual es mayor en el efluente al compararlo con la cantidad presentada en el afluente. De forma general se presentó un aumento del 6,6% (remoción negativa, Tabla 4). El *Cyperus papyrus* (unidad 3 de la Figura 6) logró remover levemente la cantidad de Sólidos Totales Disueltos en un porcentaje del 5,4%; por el contrario, Konnerup *et al* (2009), en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto y empleando *Cyperus papyrus*, alcanzaron valores de remoción de Sólidos Totales Disueltos del 88%; de forma similar Pérez *et al* (2013) obtuvieron 73% de remoción en Sólidos Totales para un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial empleando *Cyperus papyrus*, para la descontaminación de aguas negras de una industria cosmética.

Concentración de Sólidos Sedimentables

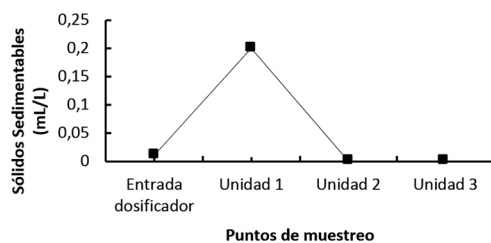


Figura 7. Concentración de Sólidos Sedimentables por cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo

En Sólidos Sedimentables, el Sistema de Tratamiento Prototipo de manera general, presentó un porcentaje de remoción del 100% (Tabla 4). Se detectó la ganancia de Sólidos Sedimentables durante el paso por la Unidad 1 (Sedimentador), del orden del 1,9% (Tabla 3), y finalmente, a partir de la Unidad 2 (*Heliconia psittacorum*), no se registró la presencia de este parámetro (Figura 7).

Temperatura del Agua Residual

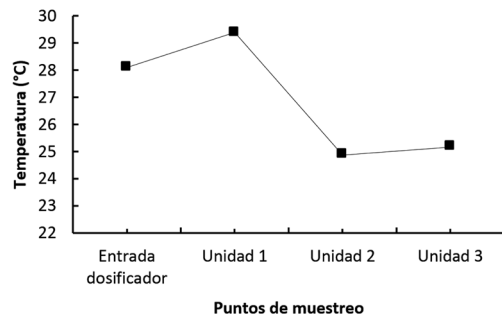


Figura 8. Temperatura del agua residual en el afluente de cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

Con el sistema de Tratamiento Prototipo, se logró una disminución de la Temperatura de manera general del 10,5%, la temperatura final del efluente fue de 25,16 °C (Tabla 4). El comportamiento de este parámetro en cada unidad no mostró ninguna tendencia marcada, observándose un aumento de la Temperatura en la Unidad 1 (Sedimentador), pero finalmente ésta descendió a partir de la Unidad 2 (*Heliconia psittacorum*), para finalmente tener un leve aumento en la unidad 3 (*Cyperus papyrus*) (Figura 8).

pH del Agua Residual

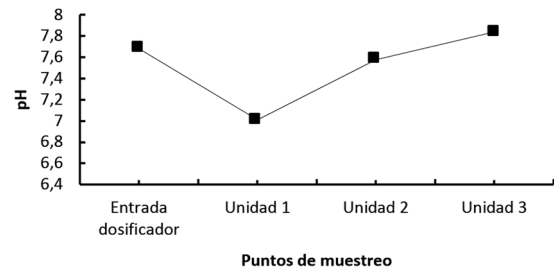


Figura 9. pH del agua residual en el afluente de cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

La curva de comportamiento del pH a través de las unidades del Sistema de Tratamiento Piloto se observa en la figura 9, donde se puede apreciar que hubo

una pequeña disminución en el paso por la Unidad 1 (Sedimentador), y posteriormente la tendencia fue al aumento en las dos siguientes unidades, presentándose de forma general un incremento del 2,1% (Tabla 4). Bernal *et al* (s.f.) evaluando un humedal de flujo subsuperficial empleando *Typha sp.*, encontraron que el pH de salida siempre fue mayor que el pH de entrada, y argumentan que pudo suceder debido al medio de soporte utilizado, la grava o piedra caliza aporta alcalinidad al agua en forma de iones carbonato o bicarbonato, afectando el valor de pH.

Concentraciones de los Parámetros Microbiológicos

Concentración de Coliformes Fecales

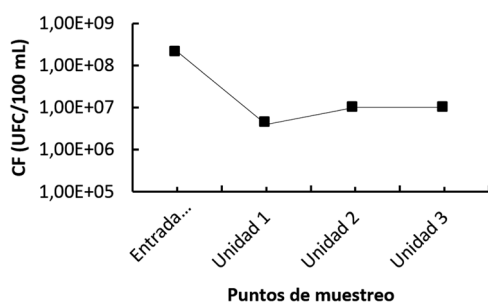


Figura 10. Concentración de Coliformes Fecales por cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

La concentración de Coliformes Fecales a través del Sistema de Tratamiento Piloto tuvo una tendencia a la baja (Figura 10). Se alcanzó un porcentaje de remoción general de este parámetro del 95,2%. Sin embargo, durante el paso por la unidad 2 (Figura 10), se presentó un incremento del 150% con respecto a la unidad 1 (Tabla 3).

Concentración de Coliformes Totales

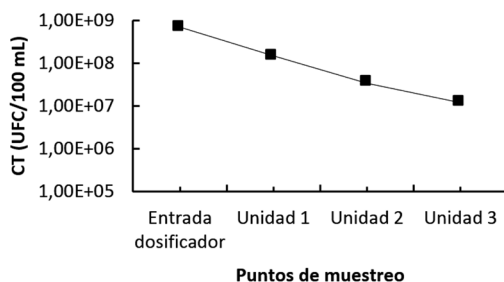


Figura 11. Concentración de Coliformes Totales por cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales prototipo.

Durante todo el proceso de tratamiento en el Sistema Piloto, se presentó una reducción en la cantidad de Coliformes Totales (Figura 11). La remoción total del sistema para este parámetro fue del 98,3% (Tabla 4).

Algunos autores reportan porcentajes de eliminación de Coliformes fecales y totales, superiores al 80% en humedales artificiales (Peña y Lara, 2012). García *et al* (2013), argumentan que la combinación de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical y horizontal pueden alcanzar altos rendimientos para la remoción de coliformes totales (3 unidades logarítmicas) y coliformes fecales (4 unidades logarítmicas). Por otro lado, Pérez *et al* (2013) recomiendan aplicar tratamientos terciarios para obtener mayores porcentajes de remoción de Coliformes o hacer reuso de los efluentes de humedales construidos en riego u otras aplicaciones.

Conclusiones

El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Prototipo propuesto realiza bajas remociones de DBO₅ (31%), alta remoción de DQO (93%), presentó disminución de OD (14,1%) en el efluente, aumento en la cantidad de Sólidos Totales Disueltos (6,6%), una total remoción de Sólidos Sedimentables (100%) y una tendencia al aumento de la Conductividad Eléctrica (6,6%). A nivel microbiológico presenta eficiencias mayores a 90% en remoción de Coliformes Fecales y Totales.

Se recomienda realizar un análisis durante un período de tiempo que permita identificar una tendencia marcada del comportamiento fisicoquímico y microbiológico del sistema.

Los resultados encontrados en este estudio demuestran de forma preliminar, que la implementación de humedales construidos de flujo subsuperficial, empleando *Heliconia psittacorum* y *Cyperus papyrus* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas es una solución ambientalmente sostenible y de fácil acceso a pequeñas comunidades.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano de Pitalito - Huila, a su Tecnoparque Agroecológico Yamboró y al Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA (SENNOVA) por el financiamiento y acompañamiento del presente proyecto de Investigación. Agradecen también a los aprendices de

los Programas de Formación Tecnológica: Control Ambiental, Gestión Sostenible de la Biodiversidad Vegetal y Agua y Saneamiento; a los Ingenieros Gustavo Vega Orozco y Engelberto Rodríguez Burgos, por su apoyo y colaboración incalculables en la realización de este estudio.

Literatura citada

Bedoya Pérez, Juan Carlos; Ardila Arias, Alba Nelly; Reyes Calle, Julina. 2014. Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 30 (3), p. 275-283.

Bernal, F.; Mosquera, D.; Maury, H.A.; González, D.; Guerra, R.; Pomare, A.; Silva, M. (s.f.). Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la Corporación Universitaria de la Costa. Universidad del Valle, Instituto Cinara. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales. p. 149-155.

Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos. República de Colombia.

García, Jenny; Paredes, Diego; Cubillos, Janneth. 2013. Effect of plants and the combination of wetland treatment type systems on pathogen removal in tropical climate conditions. *Ecological Engineering* 58, pp. 57-62

Garzón Zúñiga, Marco A.; Buelna, Gerardo; Moeller Chávez, Gabriela E. 2012. La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua* 3(3), p 153-161.

Jerez E. 2007. Revisión bibliográfica. El cultivo de las heliconias. *Revista Cultivos Tropicales*, 28 (1). p. 29-35.

Konnerup, Dennis; Koottatep, Thammarat; Brix, Hans. 2009. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. *Ecological Engineering* 35. p. 248-257.

Kyambadde, Joseph; Kansime, Frank; Gumaelius, Lena; Dalhammar, Gunnel. 2004. A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium*

violaceum based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. *Water Research* 38. p. 475-485.

Li, Li; Yang, Yang; Tam, Nora; Yang, Lei; Mei, Xiu-Qin; Yang, Feng-Juan. 2013. Growth characteristics of six wetland plants and their influences on domestic wastewater treatment efficiency. *Ecological Engineering* 60. p 382– 392.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. 124 p.

Ministerio del Medio Ambiente. (2001). Guía técnica para el desarrollo de proyectos de reuso de aguas residuales domésticas municipales. Programa de Gestión Ambiental Urbana – GAU. Colombia. p 49.

Palta Prado, Giovani Hernán; Morales Velasco, Sandra. 2013. Fitodepuración de aguas residuales domésticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2). p. 57-65.

Peña Guzmán, Carlos Andrés; Lara Borrero, Jaime. 2012. Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales: Estado del arte. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22 (2). pp 39-61.

Peña Salamanca, Enrique J.; Madera Parra, Carlos A.; Sánchez, Jesús M.; Medina Vásquez, Javier. 2013. Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: Caso *Heliconia psittacorum* (Heliconiaceae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Vol. XXXVII, No. 145. p. 469-481.

Perbangkhem, Thaneeya; Polprasert, Chongchin. 2010. Biomass production of papyrus (*Cyperus papyrus*) in constructed wetland treating low-strength domestic wastewater. *Bioresource Technology* 101. p. 833–835.

Pérez Peláez, Norma R.; Peña Varón, Miguel R.; Sanabria, Janeth. 2011. Comunidades bacterianas involucradas en el ciclo del nitrógeno en humedales construidos. *Ingeniería y Competitividad*, Vol. 11, No. 2, p. 83-92. Consultado el 03-09-2014. En <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3451/1/06Art.pdf>

Pérez Salazar, Roy; Alfaro Chinchilla, Carolina; Sasa Marín, Jihad; Agüero Pérez, Juan. 2013. Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Uniciencia*. Vol. 27, No. 1. p. 332-340.

Romero Aguilar, Mariana; Colín Cruz, Arturo; Sánchez Salinas, Enrique; Ortíz Hernández, Ma. Laura. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *25(3)*, pp 157-167.

Salgado Bernal, Irina; Durán Domínguez, Carmen; Cruz Arias, Mario; Carballo Valdés, María Elena; Martínez Sardiñas, Armando. 2012. Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28 (1), p. 17-26.

Sanabria Artunduaga, Otoniel Alfonso. 2006. Humedar I: Alternativa innovadora de bajo costo para depurar aguas residuales en países en vía de desarrollo. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. Universidad de Pamplona, vol 1. p. 84-91

Santos, Olivia; Paz, Vital; Gloaguen, Thomas; Teixeira, Marcelo; Fadigas, Francisco; Costa, João. 2012. Crescimento e estado nutricional de helicônia irrigada com água residuária tratada em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 16, No. 8. p. 820-827.

Sosa Rodríguez, Flora M. 2013. Revisión Bibliográfica Cultivo del Género *Heliconia*. *Cultivos Tropicales* Vol. 34, No.1. p. 24-32.

Stahlschmidt, Peter; Pätzold, Achim; Ressler, Lisa; Schulz, Ralf; Brühl, Carsten A. 2012. Constructed wetlands support bats in agricultural landscapes. *Basic and Applied Ecology* 13. p. 196-203.

Valles Aragón, María Cecilia; Alarcón Herrera, María Teresa. 2014. Retención de arsénico en humedales construidos con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(2). p. 143-148.

Villegas Gómez, Juan David; Guerrero Erazo, Jhonni; Castaño Rojas, Juan Mauricio; Paredes Cuervo, Diego. 2006. Septic Tank (ST) – Up Flow Anaerobic Filter (UFAF) – Subsurface Flow Constructed Wetland (SSF – CW) systems aimed at

wastewater treatment in small localities in Colombia. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*. En línea. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0254-0770200600030007&script=sci_arttext.

AGROECOLOGÍA: CIENCIA Y TECNOLOGÍA

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

La Revista AGROECOLOGÍA: CIENCIA Y TECNOLOGÍA es una publicación científica del Servicio Nacional de Aprendizaje a través del Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, que tiene como propósito facilitar la difusión de conocimientos científicos, tecnológicos y técnicos de la Red de Conocimiento Ambiental en temáticas relacionadas con la Agroecología, producción forestal y agroforestal, biodiversidad y gestión integral del recurso hídrico. La edición de la revista se realizará con periodicidad de 6 meses (enero-junio, julio-diciembre) con difusión nacional e internacional.

La Revista acepta artículos científicos con la siguiente tipología:

Editorial: Documento escrito por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado sobre orientaciones en el dominio temático de la revista.

Artículo de investigación científica, tecnológica y técnica: Documento que presenta de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados que contribuyen a la solución de problemas científicos, tecnológicos o técnicos. La estructura utilizada contiene: título (en español e inglés), resumen, palabras clave, abstract, key words, introducción, metodología, resultados y discusión, agradecimientos y literatura citada.

Artículo de reflexión: Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y que recurre a fuentes originales. Incluye temáticas pedagógicas y curriculares desarrolladas en programas académicos para la formación de técnicos, tecnólogos y profesionales superiores de las Ciencias Agropecuarias. La estructura incluye: título (en español e inglés), resumen, palabras clave, abstract, key words, introducción, estructura libre de subtítulos, conclusiones y recomendaciones y literatura citada.

Artículo de revisión: Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia, tecnología o técnica, con el fin de dar cuenta de los

avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias. La estructura contiene: título (en español e inglés), resumen, palabras clave, abstract, key words, introducción, estructura libre de subtítulos, conclusiones y literatura citada.

Reporte de caso: Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

Proceso para publicación

1. Cada artículo deberá enviarse al correo electrónico de la Revista (agroecologiacyt@misena.edu.co) con una carta dirigida al Editor General, dentro del periodo para recepción de artículos establecido cada semestre. La carta debe certificar que los autores del trabajo están de acuerdo con someter el artículo a consideración del Comité Editorial y Comité Científico dentro del proceso de evaluación. Además, deben incluirse los datos personales de cada autor: nacionalidad, nivel académico, correo electrónico, teléfono, dirección postal y filiación institucional.
2. El Comité Editorial tendrá un plazo máximo de 10 días hábiles a partir de la fecha de cierre de convocatoria, para realizar la verificación del cumplimiento de Instrucciones para Autores y evaluar aspectos técnicos de presentación y redacción del artículo. Posteriormente, se enviará a los autores para la realización de ajustes en un plazo máximo de 10 días hábiles a partir de la fecha de recepción.
3. De acuerdo con la temática abordada, el Comité Editorial selecciona dos jurados nacionales o internacionales con títulos de Magíster o Doctorado, quienes realizan la revisión del texto y la valoración descriptiva y numérica de la contribución científica del artículo. La evaluación ubica el artículo en alguna de las siguientes categorías:
 - a. Aceptado sin cambios.
 - b. Requiere cambios significativos.
 - c. Reconsiderado para segunda evaluación (participa en siguiente convocatoria si se realizan los cambios sugeridos).
 - d. Rechazado.

4. El Comité Editorial selecciona los artículos a publicar en cada convocatoria, de acuerdo con la valoración de los jurados. El Editor solicita a través del correo electrónico la versión final en archivos separados: los textos y cuadros deben presentarse en el procesador de palabra MS- Word®; los cuadros y los diagramas de frecuencia (barras y torta) originales deben suministrarse en el archivo del manuscrito y también en su original de MS-Excel®; otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en originales o escanearlas y remitirlas en el formato digital de compresión JPG (o JPEG) preferiblemente con una resolución de 600 x 600 dpi (mínimo 300 dpi).
5. El Editor General envía la versión final del artículo diagramado, previo a la impresión de la Revista. El autor para correspondencia cuenta con 48 horas a partir del envío, para realizar las observaciones y sugerir cambios en la presentación del artículo.

Presentación de los artículos

La extensión del artículo no debe exceder las 12 páginas tamaño carta, escritas a espacio sencillo, fuente Times New Roman con tamaño de 12 puntos, márgenes de 3 cm en la parte superior, 2 cm en la inferior y 2,5 cm en las márgenes laterales derecha e izquierda y numeradas consecutivamente. Los cuadros y figuras deben presentarse en el texto inmediatamente después de haber sido citadas y con numeración consecutiva (Cuadro 1, Cuadro 2, etc.; Figura 1, Figura 2, etc.). El Comité Editorial se reserva el derecho de ajustar el artículo para mantener la uniformidad en el estilo de la Revista. Los artículos deben ser escritos en forma concisa, clara y con estilo directo.

En los nombres científicos, el género y especie van en cursiva y de acuerdo con las normas de los códigos internacionales de nomenclatura (ICZN e ICBN). Adicione el descriptor y el año la primera vez que cite una especie en el texto (por ejemplo: *Oryza sativa* L., 1753). No lo haga en el título, resumen ni abstract. Después de la primera citación de una especie puede resumir el nombre del género a la primera letra. Abreviaturas como sp., sp. nov., spp., etc., no son nombres propiamente dichos y no van en letra itálica.

Utilice el sistema métrico decimal para todas las medidas y no utilice puntos después de cada abreviatura (g, mm, m, etc.). Cuando no van seguidos de unidades, los números enteros hasta nueve se escriben con palabra, en los demás casos se escribe el valor numérico y la respectiva unidad (3 cm, 150

m, 20 g, 8 ml). Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto; y los millares y millones con un punto. Use el sistema europeo para fechas (08 de agosto de 2010) y use el sistema de 24 horas (16:20 en vez de 04:20 P.M). La siguiente lista indica las abreviaturas o símbolos de uso internacional que representan a las unidades de medida comúnmente empleadas:

Terminología Abreviatura o símbolo correcto

Grados Celsius °C
 Equivalente Eq
 Gramo g
 Hora h
 Unidad Internacional UI
 Kilogramo kg
 Litro l
 Metro m
 Molar M
 Mole mol
 Revoluciones por minuto rpm
 Segundo s
 Kilo-(prefijo) K
 Deci-(prefijo) d
 Centi-(prefijo) c
 Mili-(prefijo) m
 Micro-(prefijo) μ
 Nano-(prefijo) n
 Pico-(prefijo) p
 Promedio (estadístico) x
 No significativo NS
 Número de observaciones (estadístico) *n*
 Probabilidad (estadístico) *p*

Citas bibliográficas dentro del texto

- El nombre(s) del(os) autor(es) es(son) parte de la oración: Gamboa (2009), Ruíz y Pérez (2005) o Cifuentes *et al.* 2008.
- El nombre(s) del(os) autor(es) va(n) como cita al final de la frase: (Rodríguez 2000), (Vargas y Sánchez 1996) o (Suarez *et al.* 2004).
- Para dos artículos del mismo autor (ordenar de la fecha anterior a la reciente): (Guayara 2003, 2009).
- Para dos artículos del mismo autor en el mismo año: (Ramírez 2010a, 2010b).

- Citación múltiple (orden ascendente de año): (Rojas 1978, Sogamoso 1986, Roldán 1991). En caso de dos años iguales con diferentes autores, se ordena alfabéticamente los autores.

Presentación de la literatura citada

Libros y folletos:

Autor(es). Año de publicación. Título: subtítulo. Mención del traductor o editor. Edición. Ciudad y país de publicación. Casa editora. Páginas o volúmenes. Mención de serie.

Tesis:

Autor(es). Año de publicación. Título: subtítulo. Mención del grado académico. Ciudad y país donde se ubica la institución, Nombre de la institución que otorga el grado. Páginas.

Conferencias, congresos y reuniones:

Nombre del evento (número, año de realización, lugar donde se realizó). Año de publicación. Título. Mención del editor(es). Ciudad y país de publicación, Casa editorial. Páginas o volúmenes.

Artículos en revistas:

Autor(es). Año de publicación. Título del artículo. Nombre de la revista Volumen de la revista (número de la revista): página inicial - página final del artículo.

Artículos en periódicos o diarios:

Autor(es) del artículo. Año de publicación del periódico. Título del artículo. Nombre del periódico, Ciudad de publicación, país abreviado, mes abreviado Día: Páginas.

Documentos electrónicos:

Autor(es) del artículo. Año de publicación del documento. Título del artículo (en línea). Ciudad de publicación, Institución. Fecha de consulta. Disponibilidad y acceso.

Información y correspondencia

GUSTAVO VEGA OROZCO Editor General
Revista AGROECOLOGÍA: CIENCIA Y
TECNOLOGÍA Centro de Gestión y Desarrollo
Sostenible Surcolombiano-SENA Pitalito
Correo electrónico: agroecologiacyt@misena.edu.co