

**RESPIROMETRÍA DE *Phragmites australis* PARA LA CAPTURA DE
MATERIA ORGANICA DISUELTA Y EL XENOBIÓTICO CLOROTALONILO**



JUAN PABLO SERNA LÓPEZ
Estudiante de Ingeniería Ambiental

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN 2011**

**RESPIROMETRÍA DE *Phragmites australis* PARA LA CAPTURA DE
MATERIA ORGANICA Y EL XENOBIÓTICO CLOROTALONILO**



PRESENTADO POR:

JUAN PABLO SERNA LÓPEZ
Estudiante de Ingeniería Ambiental

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR:

Dr. NESTOR JAIME AGUIRRE RAMIREZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

CODIRECTOR:

M. Sc. JUAN CARLOS CASAS ZAPATA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD DEL CAUCA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN, OCTUBRE DE 2011

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

POPAYAN, 1 DE NOVIEMBRE DE 2011

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi Padre, amigo y consejero en mi vida.

A mis padres, por siempre creer en mis sueños.

A mis hermanas, por su apoyo y cariño.

A mis profesores, compañeros y amigos por acompañarme en este logro.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	9
1. ANTECEDENTES.....	11
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3 MARCO TEÓRICO.....	14
3.1 VEGETACIÓN.....	14
3.2 MACRÓFITAS.....	15
3.2.1 Oxigenación del medio.....	15
3.2.2 Extracción de nutrientes.....	15
3.3 ESTRÉS VEGETAL.....	16
3.4 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	17
3.5 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....	17
3.6 Características de la <i>Phragmites australis</i>	18
3.6.1 Descripción.....	18
3.6.2 Ciclo de desarrollo.....	19
3.6.3 Aplicación.....	19
3.6.4 Técnicas de manejo en los humedales artificiales.....	20
3.7 CLOROTALONILO.....	20
3.7.1 Propiedades físicas y químicas (ver Anexo G).....	20
3.7.2 Usos.....	20
3.8 Evapotranspiración.....	21
3.8.1 Determinación de la evapotranspiración.....	21
4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	22
5 HIPÓTESIS.....	22
6 OBJETIVOS.....	22
6.1 Objetivo General.....	22

6.2	Objetivos Específicos.....	22
7	MATERIALES Y MÉTODOS	23
7.1	Diseño experimental	23
7.2	Trabajo de campo	24
7.3	TRABAJO DE LABORATORIO.....	24
7.3.1	Montaje	24
7.3.2	Preparación del agua residual sintética	25
7.4	Nomenclatura utilizada	25
7.5	Ensayos preliminares.....	25
7.6	Experimentos.....	26
7.7	Tratamiento y método de extracción para el clorotalonilo	26
7.8	Determinación DQO.....	27
7.9	Tratamientos y factores, variables (tasas volumen, parámetros de entrada).....	27
7.10	Análisis estadístico	27
7.11	Variables ambientales (variables climatológicas).....	28
8	RESULTADOS.....	29
8.1	Ensayos	29
8.2	Análisis de componentes de varianza.....	31
8.3	PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS	32
8.4	Análisis por etapas para el volumen	36
8.5	Prueba t pareada para peso de las plantas	42
8.5.1	Planteamiento de la hipótesis	42
8.6	Imágenes del tallo de <i>Phragmites australis</i>	42
8.7	Variables climatológicas	44
9	DISCUSIÓN	49
9.1	Caracterización de los sustratos	50

9.2	Variación durante los primeros, segundos y terceros días	50
9.3	Análisis por bloques cajas esquemáticas	51
9.3.1	Primera fase: agua de grifo y agua residual sintética.....	51
9.3.2	Segunda fase: ARS con Clorotalonilo y Clorotalonilo a dos concentraciones teóricas (0,29 ppm y 2,18 ppm)	52
9.4	Variables climatológicas y evapotranspiración de <i>Phragmites australis</i>	53
10	CONCLUSIONES	56
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
12	ANEXOS	62

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Componentes del agua residual sintética	25
Tabla 2 Nomenclatura utilizada.....	25
Tabla 3 Fases con los diferentes sustratos empleados en el experimento.	26
Tabla 4 Parámetros de entrada para las macrófitas	27
Tabla 5 Instrumentos utilizados para la determinación de las variables fisicoquímicas	28
Tabla 6 Resultados de los parámetros estadísticos en los ensayos.....	29
Tabla 7 Análisis univariado de las variables climatológicas.....	30
Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos para la caracterización de los sustratos	31
Tabla 9 Porcentaje de reducción de clorotalonilo	31
Tabla 10 Análisis de componentes de varianza para volumen	31
Tabla 11 Prueba de Kruskal Wallis para los factores de estudio	32
Tabla 12 Análisis de componentes de varianza para el volumen	37
Tabla 13 Prueba t pareada	42
Tabla 14 Matriz de correlación de Spearman para la variable respuesta y variables climatológicas	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diseño experimental	23
Figura 2 Montaje experimental para los ensayos y longitud de corte de la planta	24
Figura 3 Normalidad y caja esquemática para volumen como variable repuesta.....	30
Figura 4 Cajas esquemáticas múltiples según volumen y día.....	33
Figura 6 Cajas esquemáticas múltiples según diámetro con tratamiento	34
Figura 7 Volumen de pérdida de agua por evaporación	34
Figura 8 Volumen consumido por las plantas por tratamiento	35
Figura 9 Volumen consumido bajo diferentes sustratos en 3 días.....	36
Figura 10 Cajas esquemáticas: (a) Agua de grifo (b) ARS	39
Figura 11. Cajas esquemáticas:(a) ARS + CLT [0,29 ppm] (b) ARS + CLT [2,18 ppm].....	40
Figura 12. Cajas esquemáticas: (a) CLT [0,29 ppm] (b) CLT [2,18 ppm].....	41
Figura 13 <i>Phragmites australis</i> . Secciones transversales del tallo para la planta sin tratamiento y con los diferentes sustratos. (11 de noviembre de 2010).....	43
Figura 14 Variación de la evapotranspiración según la ecuación de Cenicafé.....	44
Figura 15 Variación de la humedad relativa para los días de ensayo.....	45
Figura 16 Variación de la radiación solar para los días de ensayo	45
Figura 17 Variación de la temperatura para los días de ensayo	46
Figura 18 Variación de la presión barométrica para los días de ensayo.....	46
Figura 19 Relación de humedad relativa (a), radiación solar (b), temperatura (c), presión barométrica (d) y precipitación (e), con la ET según Cenicafé durante el periodo de ensayos.	48

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Elusión de las muestras antes de medirlas en el cromatógrafo de gases	62
Anexo B Fotómetro Linus, Nanocolor 500 D.....	62
Anexo C Estación metereológica Vantage Pro2™, ubicada en el octavo piso de la sede de investigación universitaria (SIU).....	62
Anexo D Montaje experimental de diferentes plantas	63
Anexo E a) Ubicación de ensayos octavo piso de la SIU. b) Réplica de los tratamientos	63
Anexo F a). <i>Phragmites australis</i> después de ser sometidas a los sustratos b). Macrófitas en agua para su posterior utilización.....	63
Anexo G. Características de <i>Phragmites australis</i> (Fuente: Gerritsen 2009)....	64
Anexo H. Ficha técnica del clorotalonilo (Fuente: Barpen International S.A)....	64
Anexo I. Fórmulas para el cálculo de la evapotranspiración potencial.....	65
Anexo J. Datos capturados durante el periodo de ensayo.....	65

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las principales fuentes de agua para uso humano son los lagos, los ríos, la humedad del suelo y las cuencas de aguas subterráneas relativamente poco profundas. Sin embargo la calidad del agua en lagos y embalses está sometida a la degradación natural, los procesos de eutrofización y el impacto de las actividades humanas (Srivastava *et al.*, 2008). La tecnología de fitorremediación con plantas acuáticas por humedales artificiales y estanques de detención de aguas pluviales se aplica cada vez más para remediar las aguas eutróficas (Qin, Lu *et al.*, 2008).

El uso de plaguicidas es una de las prácticas que más ha contribuido al incremento de la producción agrícola en las últimas décadas (Cornejo, 2001). Estos compuestos generan una problemática, ya que los plaguicidas, al prepararse deliberadamente pueden ser tóxicos frente a determinados organismos, provocando alteraciones en los ecosistemas, riesgos en la salubridad de las aguas y alimentos de procedencia agrícola.

Algunos plaguicidas persistentes en el medio ambiente han sido vinculados con la interrupción de las hormonas endocrinas, aumento del riesgo de cáncer, disfunción del sistema inmunológico, problemas reproductivos en especies acuáticas y terrestres. El uso generalizado de pesticidas persistentes ha conducido al desarrollo de nuevas plagas y enfermedades (Chaudhry *et al.*, 2001).

La contaminación ambiental con xenobióticos orgánicos como plaguicidas, productos farmacéuticos, los compuestos derivados del petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) son un problema mundial; el desarrollo de tecnologías de remediación de la invención para la descontaminación de los sitios afectados es de vital importancia. Métodos físicos, químicos y biológicos pueden ser utilizados para la remediación de sitios contaminados (Abhilash *et al.*, 2009).

Las plantas acuáticas tienen un gran potencial como biofiltros de contaminantes acuáticos debido a su abundancia y movilidad reducida. Las macrófitas se han utilizado con éxito en la captación y aislamiento de determinados metales pesados y nutrientes a través de sus sistemas de raíces, cuerpos de plantas con capacidad de eliminar la carga excesiva de nutrientes en el agua que pueden causar la eutrofización (Srivastava *et al.*, 2008).

Diferentes investigaciones han puesto en manifiesto la importancia de las macrófitas en la mitigación de plaguicidas. Rachel Donson (2009) realizó un

estudio en donde obtuvo que las macrófitas *Lemna minor*, y *Spirodela polyrhiza* fueron eficaces en la eliminación de dimetroformo y pirimetanil mostrando así su capacidad de acumulación y su eficiencia en el fitorremediación de agua contaminada con metales pesados y nutrientes, a pesar de ello son pocos los datos sobre la eficacia de las plantas acuáticas en la fitorremediación de los plaguicidas (Donson, *et al.*, 2009).

Las macrófitas acuáticas desempeñan un papel muy importante en el tratamiento de aguas residuales en los humedales. La caña común (*Phragmites australis*, Cav., Trin. ex Steud) es una planta silvestre muy utilizada en la remoción y eliminación de sustancias que afectan los cuerpos de agua debido a que se propaga fácilmente de manera natural. Por lo general crece en pantanos, drenajes y cabeceras húmedas, con amplia distribución geográfica desde zonas templadas a tropicales. Su periodo vegetativo es perenne y la temperatura óptima para que se desarrolle oscila entre 30°C y 35°C. Crece mejor en suelos firmes arcillosos de contenido mineral; tolera una salinidad moderada pero puede crecer en agua salobre; sus brotes nuevos emergen de las yemas de los nudos de los tallos viejos (Gerritsen *et al.*, 2009).

Por tratarse de una planta útil en el tratamiento de agua residuales es indispensable conocer cómo reacciona esta macrófita ante diferentes sustratos, por esta razón se estudió el comportamiento de *Phragmites australis* como una alternativa de depuración de aguas residuales y su relación con la evapotranspiración, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

1 ANTECEDENTES

Los plaguicidas son contaminantes que normalmente se encuentran en los recursos hídricos de zonas agrícolas, debido a la fumigación de los cultivos con grandes cantidades de estos compuestos. En un estudio realizado por Cornare (2003) se encontró que de 115 municipios encuestados en el Departamento de Antioquia, 62 tienen cultivos en el área de influencia de las microcuencas que abastecen los acueductos de las cabeceras municipales, utilizando el Clorotalonilo en muchos de estos cultivos, el cual, es fácilmente incorporado a las corrientes de agua por escorrentía, derrames, rociado con pulverizador o lavado de la superficie vegetal por efecto de la lluvia (Loaiza, 2005).

En Europa, la Agencia Europea para el Medio Ambiente (EEA) cita un estudio de Galassi *et al.* En él que se vincula estrechamente la toxicidad del agua del río Po con el zooplancton *Daphnia magna* y con la escorrentía de los plaguicidas agrícolas. Así mismo el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) ha observado que una parte significativa de las 190.000 toneladas estimadas de plaguicidas agrícolas más cargas adicionales de plaguicidas no agrícolas descargadas por los países ribereños del Mar del Norte son transportadas hasta este mar por una combinación de procesos fluviales, subterráneos y atmosféricos (FAO, 1997).

Greenway (2005) informó que los humedales construidos pueden ser diseñados para maximizar la eliminación de nutrientes mediante el aumento de la diversidad de macrófitos a través de la incorporación de lagunas, humedales de agua superficial y subterránea (Lee, 2007).

Las macrófitas son normalmente utilizadas en la remoción de metales pesados con un alta eficiencia (>90%), la acumulación estos metales en los macrófitos acuáticos puede producir importantes respuestas fisiológicas y bioquímicas para el crecimiento de raíces, tallos y hojas.

Estudios realizados han demostrado que las macrófitas acuáticas *Lemna minor* y *Spirodela polyrhiza* mostraron una liberación eficiente de fungicidas (dimetomorfo y pirimetanil) procedente de agua contaminada, en condiciones de laboratorio. Participando en el proceso de absorción y/o adsorción, y un potencial fitorremediación de plaguicidas (Donson-Olette *et al.*, 2009).

En Colombia se ha evaluado la eficiencia de la remoción del clorpirifos en humedales de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto (HFSS) plantados con *Phragmites australis*, estos estudios permiten afirmar que los humedales construidos son sistemas efectivos para la depuración de aguas contaminadas

provenientes de actividades agrícolas, y que por su bajo costo de mantenimiento y operación se presentan como buenas alternativas para emplearse en zonas rurales. Se comprueba además que las aguas tratadas pueden ser utilizadas en otras actividades que requieran este recurso sin afectar la salud humana y el ambiente (TECSPAR, 2009).

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los pesticidas han contribuido al aumento de la producción agrícola mundial en las últimas décadas, desde su implementación, cerca de los años 70, hasta ahora es muy común su uso. Actualmente, en algunos países se han convertido en una amenaza al medio ambiente y a la población a escala global. Existen cultivos resistentes a herbicidas que promueven el uso de pesticidas. Por esta razón es casual que las empresas agroquímicas-biotecnológicas centren sus esfuerzos en el desarrollo de estos cultivos: su objetivo es incrementar las ventas de los químicos que ellas mismas comercializan (López, 2008).

Si bien es cierto, los pesticidas se constituyen en una alternativa para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas y de animales¹, también se pueden presentar riesgos para la salud humana y el medio ambiente si se usan inadecuadamente. El riesgo para la salud humana puede provenir de varias fuentes: la exposición directa a través de un uso incorrecto, pesticidas residuales en la alimentación y la liberación en el medio de almacenamiento inadecuado o eliminación. En el agua se ha demostrado que son relativamente bajas las concentraciones letales para diferentes formas de vida acuática, y provocan daños serios sobre el fitoplancton, disminuyendo su capacidad de liberación de oxígeno y afectando, por consiguiente, los niveles del mismo (Loaiza, 2005).

Colombia ocupa el tercer lugar en Latinoamérica en utilizar plaguicidas químicos después de Brasil y México, con un consumo anual de 21 millones de kilogramos, de los cuales 17,1 se aplican en el sector agrario, que cuenta con una población económicamente activa de 3 millones (Henaó *et al.*, 1993 citado por Zárate *et al.*, 1997). Los plaguicidas por sí solos son responsables de al menos el 30% de ese aumento de producción. Dentro del grupo de los pesticidas encontramos el clorotalonilo que es un fungicida organoclorado no sistémico con grado toxicológico II, uno de los más utilizados en el Oriente Antioqueño y en la zona de Urabá en la producción agro bananera para el control de plagas como la Sigatoka negra. En muchos municipios de Colombia, las fuentes de captación de las plantas de potabilización son cuerpos de agua que contienen plaguicidas. Los tratamientos convencionales no remueven algunos plaguicidas, y por esto se deben evaluar nuevos procesos para removerlos (Peñuela, 2006).

¹ EPA. Pesticides. [Online]. [Citado 24 Febrero 2010] Disponible en Internet <<http://www.epa.gov/ebtpages/pesticides.html>>

3 MARCO TEÓRICO

3.1 VEGETACIÓN²

El papel de la vegetación en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con macrófitas ha sido ampliamente debatido en el ámbito científico. La vegetación en los humedales artificiales es un componente fundamental del sistema y desempeña múltiples papeles en el buen funcionamiento del mismo. Se trata tanto de actuaciones activas derivadas de la actividad fisiológica de la vegetación como actuaciones pasivas, en las que no intervienen éstos, sino procesos físicos por efecto de la presencia de las plantas en el sistema.

En el balance global de las funciones que desempeña la vegetación en los humedales artificiales, los procesos físicos suponen la función más importante de las plantas para la eficacia depuradora del sistema. En primer lugar las macrófitas pueden ejercer funciones de desbaste, reteniendo los sólidos gruesos arrastrados por el agua residual. También, por actuar de barrera física para el flujo del agua residual, reducen la velocidad del influente, lo que favorece la floculación la sedimentación de partículas en suspensión.

Por otra parte, las partes de las plantas que están en contacto con el influente, actúan como soporte pasivo de microorganismos y crean en sus proximidades ambientes propicios para el desarrollo de estos; es decir, las plantas crean una considerable área superficial para el desarrollo de 'bio-películas', en las que crecen bacterias, protozoos, y algas microscópicas.

Con respecto a las funciones que desempeñan activamente las plantas en los humedales artificiales, hay que destacar el intercambio gaseoso desde las hojas hacia la zona radicular en contacto con el agua residual, y la extracción de contaminantes del agua. Las plantas adaptadas a vivir en aguas con elevada carga orgánica, utilizando su propia energía procedente en última instancia de la energía solar captada por fotosíntesis, son capaces de enviar el oxígeno del aire hasta sus raíces a través de un sistema conductor muy especializado. Esto favorece la degradación de la materia orgánica del entorno de las raíces por medio de los microorganismos que viven asociados al sistema radicular de la planta.

² Tomado de Curt *et al.*, 2005. Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Madrid (España).

3.2 MACRÓFITAS

Desde el punto de vista botánico, el término “macrófita” se aplica a cualquier vegetal que es visible a simple vista. Los vegetales de talla visible que crecen en los humedales se denominan “macrófitas acuáticas”, término que desde un punto de vista amplio englobaría plantas acuáticas vasculares (angiospermas y helechos) y musgos acuáticos (Curt *et al.*, 2005).

También las macrófitas pueden ejercer una depuración directa por la absorción de iones contaminantes, tanto metales pesados como aniones eutrofizantes (amonios, nitratos y fosfatos principalmente). Algunas de las funciones de las macrófitas acuáticas se enuncian a continuación:

3.2.1 Oxigenación del medio

Las plantas acuáticas, y particularmente las macrófitas emergentes, han desarrollado mecanismos adaptativos a las condiciones de saturación del sustrato y de inundación. Entre estas adaptaciones hay que destacar las que se refieren a necesidad de proporcionar mecanismos de aireación de sus tejidos. En las raíces se libera oxígeno al medio a través del intercambio gaseoso, redundando en la creación de un microambiente aerobio en el agua próxima a las raíces. Este microambiente estimula el desarrollo de microorganismos aerobios responsables de la degradación de la materia orgánica, resultando en la disminución de la carga contaminante del sistema. La magnitud del efecto oxigenador de las macrófitas acuáticas ha sido muy debatida en la comunidad científica. Por ejemplo, se indica que *Phragmites* puede liberar hasta 4.3 g O₂/m²/día y las plantas flotantes de 0.25 a 9.6 g O₂/m²/día (Curt *et al.*, 2005).

3.2.2 Extracción de nutrientes

El papel que desempeña la vegetación en la remoción de nutrientes y otros contaminantes del agua está estrictamente relacionado con factores intrínsecos de la planta. Obviamente, las extracciones en valores absolutos (gramos extraídos del elemento por unidad de superficie vegetada) dependerán no solo del rendimiento de la planta (gramos de peso seco de biomasa producida por unidad de superficie) y del contenido en dicho elemento por unidad de peso seco de la planta sino también de la frecuencia de cosecha de las mismas. Las plantas acuáticas son muy productivas, por lo que la extracción de nutrientes por incorporación al tejido vegetal, puede llegar a ser muy significativa. Según Curt *et al.* (2005) hay tres grupos de elementos indispensables para la vida de las plantas.

Macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio. Micronutrientes: azufre, calcio, magnesio. Oligoelementos: hierro, manganeso, cinc, cobre, boro, molibdeno, que son imprescindibles para la vida de las plantas.

Además, hay otros elementos que tienen un cierto papel en la fisiología de algunas especies vegetales, por ejemplo: cloro, silicio, cobalto. También hay que mencionar que hay otros elementos que no siendo indispensables son acumulados por algunas plantas, aspecto que se aprovecha para la biorremediación, que es la recuperación a través de procesos biológicos de áreas contaminadas por actividades industriales (Curt *et al.*, 2005).

Los principales elementos contaminantes de las aguas residuales domésticas son el nitrógeno y el fósforo, generalmente en una concentración del orden de 20-85 mg/L y 4-15 mg/L, respectivamente. Algunos autores indican que cosechando la biomasa se elimina del orden del 20% del nitrógeno que proviene del influente, y que la mayor proporción de remoción de este contaminante se efectúa por desnitrificación (Curt *et al.*, 2005).

Con respecto al fósforo, la cantidad que puede eliminarse del sistema por extracción de las plantas es menor, citándose cantidades del orden de miligramos por litro del agua residual.

3.3 ESTRÉS VEGETAL

Desde el punto de vista botánico, Larcher (1987) describió estrés como “un estado en el cual las demandas crecientes sobre una planta tienden a una desestabilización inicial de las funciones, seguido por una normalización y resistencia mejorada” y también “Si se exceden los límites de tolerancia y la capacidad de adaptación se satura, el resultado puede ser un daño permanente e incluso la muerte” (García, 1998).

Las plantas también difieren en su capacidad de detectar el estrés. Esto puede ser ilustrado con la aplicación de herbicidas en cultivos agrícolas con el fin de eliminar malezas. Muchos cultivos poseen la capacidad de detoxificar los herbicidas mediante la introducción de un grupo hidroxilo al anillo aromático del herbicida, el cual es entonces convertido en un compuesto inactivo que ya no puede unirse a su proteína de reconocimiento. Sin embargo, esta capacidad detoxificadora a menudo no está presente en las malezas al ser controladas, por lo que puede causar la muerte. De acuerdo con la definición física, los significados de los términos estrés, tensión y daño son los siguientes:

Estrés: es un estado de la planta bajo la condición de una fuerza aplicada (causa). *Tensión o deformación*: es la respuesta al estrés y a la fuerza aplicada

a la planta (esto es la expresión o efecto del estrés antes del daño). *Daño*: es el resultado de un estrés demasiado alto, el cual ya no puede ser compensado (García, 1998).

3.4 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

El pH influye en la adsorción de los plaguicidas dependiendo del tipo de compuesto y el tipo de enlaces involucrados en este proceso. La adsorción es más alta en suelos ácidos. En cuanto a la temperatura del suelo, se conoce que la adsorción de los plaguicidas es un proceso exotérmico, porque cuando se forman los enlaces de hidrógeno o los enlaces iónicos, el calor se libera. Así cuando la temperatura se incrementa, el calor interno puede romper los enlaces y causar desadsorción de moléculas de plaguicidas, por lo tanto, a altas temperaturas se puede considerar más moléculas de plaguicidas disponibles en la disolución del suelo (Restrepo & Zapata, 2006). La conductividad es un parámetro acumulativo de la concentración de iones de una solución. Mientras más sales, ácidos o bases se encuentren disociados en una solución, más alta será su conductividad. Con ayuda de este parámetro es posible determinar tanto la concentración de sal en aguas residuales como el grado de pureza del agua. La demanda química de oxígeno (DQO), es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos, por medio de la acción de agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro ($\text{mg O}_2/\text{L}$) (Ruiz *et al.*, 2006).

3.5 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región. Aunque básicamente las variables climáticas se relacionan con la atmosfera, los procesos predominantes están relacionados con la superficie terrestre (IDEAM, 2005).

La ciudad de Medellín está ubicada en el departamento de Antioquia, rodeada de elevadas montañas de la cordillera central de los Andes colombianos, arrancando del cerro de San Miguel de bifurca al Sur para darle paso al río Medellín o Aburrá. Según el calendario Meteorológico del IDEAM su temperatura fluctúa entre 20°C y 23°C, con una humedad relativa entre 63% y 73% para los meses comprendidos entre julio y diciembre (IDEAM, 2005).

El peso del aire que forma la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra. Esta presión es conocida como presión atmosférica. Para compensar esta diferencia y facilitar la comparación entre lugares con distintas altitudes, la presión atmosférica generalmente se ajusta a la presión equivalente a nivel del mar. La cual es conocida como presión barométrica.

La presión barométrica también cambia con las condiciones climáticas locales. En general, un aumento de presión indica un mejoramiento de las condiciones climáticas, mientras que una caída de presión indica deterioro de las mismas. La radiación solar es una variable climatológica e indica la medida de la intensidad de la radiación del sol que llega a una superficie horizontal, expresada en watts/metro cuadrado (W/m^2). La humedad relativa es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra. La humedad relativa se expresa en porcentaje (%). Esta es un factor importante en la determinación de la cantidad de evaporación de las plantas y superficies mojadas, dado que el aire caliente con la humedad relativa tiene una gran capacidad para absorber vapor de agua adicional. La evapotranspiración (ET) es una medición de la cantidad de vapor de agua devuelta al aire en una zona dada. Esta combina la cantidad de vapor de agua devuelta mediante evaporación (de las superficies mojadas) con la cantidad de vapor de agua devuelta mediante transpiración (exhalación de humedad a través de las estomas de las plantas) para llegar a un total, se expresa en pulgadas y/o milímetros (Vantage Pro², 2008).

La humedad influye en la adsorción de los plaguicidas: si la humedad es baja, los compuestos se cristalizan y la adsorción se reduce; pero si la humedad es alta, se incrementa también la adsorción puesto que la mayoría de los plaguicidas son adsorbidos en la fase líquida suelo (Restrepo & Zapata, 2006).

3.6 CARACTERÍSTICAS DE LA *Phragmites australis*

3.6.1 Descripción

Phragmites australis (Cav. Trin. ex Steude) es una planta semiacuática perteneciente a la familia de las gramíneas (*Poaceae*). Como las enneas, el carrizo crece en zonas inundadas con el sistema radicular arraigado en fango o fondo del humedal, y desarrolla una estructura vegetativa emergente por encima de la lámina de agua. Según (Curt *et al.*, 2005) el carrizo es la especie vegetal de mayor distribución conocida a nivel mundial entre todas las plantas superiores.

Es una planta herbácea perenne, erecta, muy robusta, que puede alcanzar más de 3 m de altura, de hábito es similar al de la caña común y los bambús. En la parte subterránea de la planta se desarrollan rizomas leñosos, escamosos y nudosos, y largos estolones. El tallo aéreo del carrizo es generalmente simple,

y como en todas las gramíneas, está formado por una sucesión de nudos y entrenudos perfectamente diferenciados que conforman la “caña” de la planta (Curt *et al.*, 2005).

3.6.2 Ciclo de desarrollo

El ciclo de desarrollo de la planta es anual. La brotación a partir de los rizomas se produce hacia el mes de abril. Aproximadamente, entre julio y septiembre se produce la floración, seguida de la formación de semillas. Entre agosto y septiembre se produce la translocación de asimilados hacia los rizomas. En invierno entre noviembre y enero ocurre la diseminación de las semillas (Curt *et al.*, 2005).

3.6.3 Aplicación

El carrizo se desarrolla bien tanto en aguas no contaminadas como en aguas alteradas de naturaleza orgánica, alcalina o salina. En aguas no contaminadas su crecimiento es mayor, pero en esos medios resulta frecuentemente desplazado por otras especies más competitivas. El incremento poblacional de carrizo puede ser preocupante, por lo que llega a ser considerado como especie invasiva no deseable. Su expansión se relaciona con el incremento en la contaminación mineral de las aguas (especialmente nitratos), y el aumento de su salinidad (Curt *et al.*, 2005).

Según Hidalgo *et al.* (2005) *Phragmites australis* es capaz de tolerar soluciones hasta de 1mg/mL de Zn y 10 mg/mL de Pb en aguas residuales contaminadas con metales pesados.

Existen investigaciones sobre el carrizo, que indican que la tolerancia a distintos parámetros de contaminación es muy amplia, pudiendo además relacionarse con las características particulares del ecotipo. Según Curt (2005) hay estudios que refieren valores para el influente del orden de 500 mg O₂/L de DBO₅, 60 mg/L de N total, 20 mg/L de N-NH₄⁺ y 14 mg/L de fósforo. Con respecto a la tolerancia a la salinidad, se citan valores de tolerancia máxima del orden de 2% de concentración de sales, pero puede crecer con la influencia de aguas marinas (3.5% sal) si el medio en que está la parte subterránea (raíces y rizomas) tiene < 2.0% sal.

La productividad del carrizo varía ampliamente entre los diferentes ecotipos; se indican cifras superiores a 50 toneladas de peso seco por ha/año, donde aproximadamente el 44% corresponde a la biomasa aérea. La capacidad de extracción de nutrientes puede estimarse en función de la composición de sus tejidos; la biomasa aérea contiene aproximadamente 1.1% de nitrógeno y 0.12% de fósforo, y la subterránea 1,0% N y 0,15% fósforo.

3.6.4 Técnicas de manejo en los humedales artificiales

La implantación del carrizo en los humedales artificiales se efectúa usualmente por propagación vegetativa. Se recomienda que el material vegetal se obtenga a partir de poblaciones naturales de la zona, a fin de asegurar su adaptación al lugar. Respecto a accidentes, plagas y enfermedades *Phragmites australis* es una especie muy rústica, de fácil implantación, con pocas exigencias, y poco susceptible a accidentes, plagas y enfermedades.

En cuanto a la recuperación y uso de la biomasa, si no se maneja adecuadamente puede transformarse en un problema. Se pueden dar posibles usos a los desechos vegetales que se generan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas. Las cuales pueden utilizar como fertilizante incorporado directamente sobre la tierra o mediante compost, o bien en manufactura de cartón (incorporación de fibras de Jacinto acuático en la suspensión de fibras de celulosa), en la producción de combustible, usando material seco y liviano en la forma de las briquetas y mediante gasificación de la biomasa para la producción de biogás (Hidalgo *et al.*, 2005).

3.7 CLOROTALONILO

3.7.1 Propiedades físicas y químicas (ver Anexo G)

3.7.2 Usos

El clorotalonil es un fungicida de amplio espectro de actividad utilizada no solo en la agricultura sino también en el césped, y plantas ornamentales. Presenta una estructura química compleja con dobles enlaces, cianuros y cloros; se comercializa como Bravo 500, Daconil, entre otros (Restrepo & Zapata, 2006).

El clorotalonilo es, eficaz como protector no sistémico para el control de varios patógenos causantes de tizones, pudriciones y manchas de tallos, hojas y frutos. Algunos de los patógenos que controla son *Alternaria sp*, *Cercospora sp*, *Colletotrichum sp*. *Sclerotinia sp* entre otros. El clorotalonilo es utilizado ampliamente en hortalizas y frutas y es autorizado en varios países para la aplicación aérea en cultivos como banano y plátano (OMS, 2006).

Baird (2001) caracteriza a los pesticidas organoclorados por los enlaces carbono cloros difíciles de romper, que le confieren una baja reactividad, además de una lenta degradación en el medio ambiente. Estos compuestos, tienen otras propiedades notables: estabilidad a la descomposición, bajas solubilidades en agua, excepto que estén presentes átomos de oxígeno o nitrógeno en las moléculas. Este autor, concluye que los pesticidas organoclorados son los que han causado un mayor impacto ambiental

negativo, ya que, una vez en el ambiente se degradan lentamente. Además la mayor parte de estos compuestos son hidrofóbicos; no se disuelven fácilmente en agua, pero sí en medios hidrogenocarbonatos, tales como aceites o tejidos grasos; esta peculiaridad ha conducido a su acumulación en los organismos vivos, como peces, seres humanos y otros animales.

3.8 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración (ET) se define como el proceso mediante el cual el agua, en estado líquido, se transforma en vapor al recibir energía en forma de calor. De esta manera las partículas adquieren suficiente energía para pasar al estado gaseoso. El principal aporte energético lo hace el sol; sin embargo, existe otro factor climático: el viento, que favorece la tasa de evaporación, al batir el aire circundante y renovar la capacidad de retención del mismo (Schuster, 2003). Este proceso se refiere a la pérdida de agua mediante evaporación (de las superficies mojadas ej: suelo) y la transpiración (exhalación de humedad a través de los estomas de las plantas).

La evapotranspiración es afectada por factores meteorológicos (temperatura, radiación solar, velocidad del viento, entre otros), así como por la fisiología de la planta y características ecológica. Por mucho tiempo la evapotranspiración ha sido comúnmente concerniente a campos como la hidrología, la meteorología, la ecología y otras áreas. La evapotranspiración en humedales artificiales es la principal forma de pérdida de agua por parte de las plantas, donde el estudio del intercambio y el control de los factores climáticos puede mejorar la comprensión del equilibrio en los humedales en busca de una estimación en la dinámica de remoción de contaminantes (Wenying *et al.*, 2008).

Según (Borin *et al.*, 2011) la evapotranspiración puede influir en la eficiencia de remoción de los contaminantes, reduciendo su concentración al aumentar el volumen de agua residual y disminuyendo el tiempo de retención, lo que permite mayor interacción de los humedales con el ecosistema.

3.8.1 Determinación de la evapotranspiración

La evapotranspiración no es simple de medir. Para determinarla experimentalmente se requieren aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance del agua del suelo en lisímetros. Los métodos experimentales de campo, son en general caros, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado. A pesar de que estos procedimientos no son apropiados para mediciones de rutina, siguen siendo importantes para la evaluación de las estimaciones de ET obtenidas con otros métodos indirectos (FAO, 2006).

4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo incorpora *Phragmites australis* agua residual sintética y/o solución de clorotalonilo de efluentes contaminados con residuos agrícolas?

¿Cómo se asocian las variables climatológicas con la capacidad de incorporación de agua residual y/o solución de clorotalonilo, durante el proceso de evapotranspiración que realiza *Phragmites australis*?

5 HIPÓTESIS

Las plantas acuáticas emergentes como *Phragmites australis*, utilizada en humedales construidos, tiene un potencial para acumular contaminantes acuáticos actuando como sumideros y biofiltros biológicos. Esta se ha utilizado con éxito en la captación de agroquímicos y nutrientes a través de su sistema de raíces y órganos. Es por esto que la macrófita permite la atenuación de una matriz contaminante que contiene materia orgánica y el xenobiótico clorotalonilo. Así, se espera que a través del proceso de evapotranspiración, la matriz contaminante se incorpore a la biomasa vegetal.

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incorporación de agua residual sintética y/o clorotalonilo en *Phragmites australis* a través de un respirómetro como alternativa para la depuración de aguas residuales.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el nivel de incorporación en *Phragmites australis* de agua residual sintética que contiene clorotalonilo en un respirómetro a escala de laboratorio para observar el comportamiento de la planta al utilizar diferentes sustratos: agua de grifo, agua residual sintética, solución de clorotalonilo a 0,29 ppm y 2,18 ppm.
- Analizar el proceso de evapotranspiración en *Phragmites australis* y el efecto de las variables temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica en la planta.

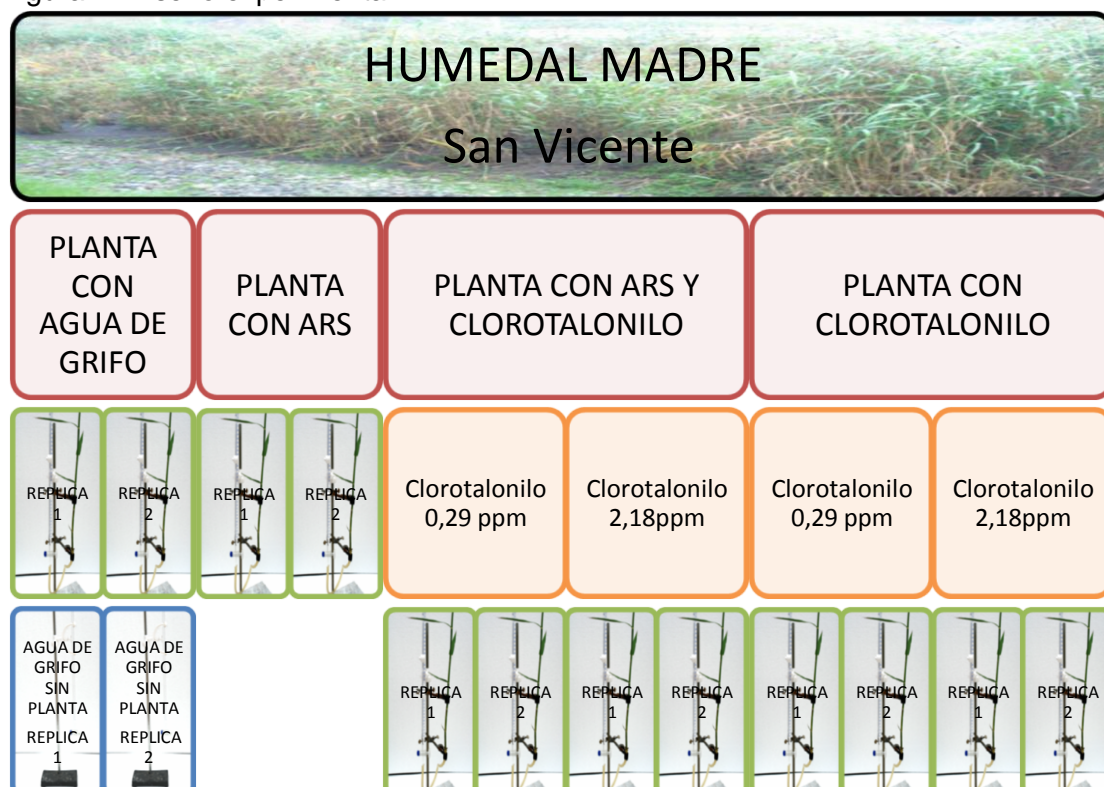
7 MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación donde se evaluó la incorporación de agua residual sintética con clorotalonilo en *Phragmites australis* a través de un respirómetro, se desarrollo en la sede de investigación universitaria (SIU) de la Universidad de Antioquia.

7.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental contempló cuatro sustratos; agua de grifo, agua residual sintética, agua residual sintética con clorotalonilo y clorotalonilo, este último se preparó a dos concentraciones 0,29 ppm y 2,18 ppm. Como lo muestra el diagrama, por cada sustrato se realizaron dos montajes experimentales y adicional a este se realizaron dos montajes sin planta. Está dividido en dos fases la primera se realizó con agua de grifo y agua residual sintética y la segunda con agua residual sintética con clorotalonilo y solución de clorotalonilo con 6 montajes y la segunda con 8 montajes.

Figura 1. Diseño experimental



7.2 TRABAJO DE CAMPO

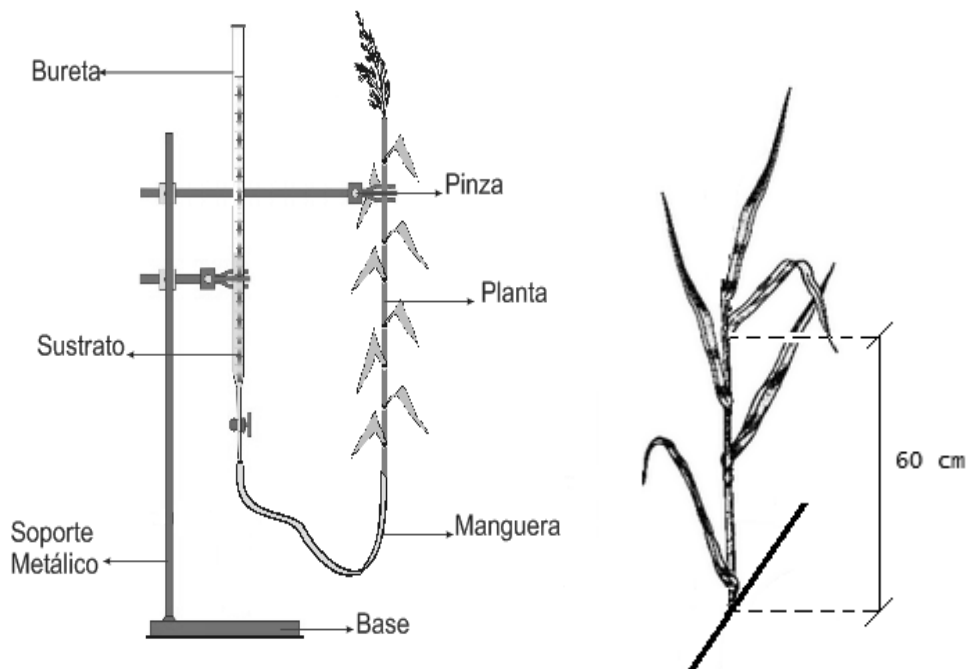
La planta *Phragmites australis* utilizada en los ensayos se obtuvo del humedal ubicado en el municipio de San Vicente ($6^{\circ} 16' 55''$ N, $75^{\circ} 19' 56''$ W) localizado en la subregión Oriente del departamento de Antioquia a 48 km de la ciudad de Medellín, donde se tratan las aguas residuales procedentes del matadero municipal. Su recolección fue manual, capturándola con raíz para conservar la vitalidad de la planta en el momento de realizar el montaje en el laboratorio.

7.3 TRABAJO DE LABORATORIO

7.3.1 Montaje

Como lo muestra la Figura 2; cada montaje consistió en un soporte metálico que sostenía una bureta de 50 mL. Cada bureta contenía agua de grifo, agua residual sintética, agua residual sintética con solución de clorotalonilo y solución de clorotalonilo solo; la cual se conectó en la punta una manguera de nivel plástica color transparente de 1,35 cm de diámetro interno que se conectó al tallo de la planta. Se realizó un corte transversal al tallo de la planta midiendo desde el primer nudo hasta los 60 cm de longitud.

Figura 2 Montaje experimental para los ensayos y longitud de corte de la planta



7.3.2 Preparación del agua residual sintética

Se preparó la solución de agua residual sintética en el laboratorio del grupo GAIA, la cual simula los componentes de un agua residual. Las concentraciones aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1 Componentes del agua residual sintética

COMPUESTO	NOMBRE	CANTIDAD EN mg/L
KH_2PO_4	Fosfato dihidrogenado de potasio	62,25
NH_4Cl	Cloruro de amonio	272,60
K_2HPO_4	Fosfato dipotásico hidrogenado	25,50
MgCl_2	Cloruro de magnesio	275,52
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Glucosa	375

Para la preparación del ARS con clorotalonilo se tomaron 30 mL de clorotalonilo (0,29 y 2,18 mg/L) y 20 mL de ARS preparada.

7.4 NOMENCLATURA UTILIZADA

En la Tabla 2 se presenta la nomenclatura que se usará en el desarrollo de este trabajo.

Tabla 2 Nomenclatura utilizada

DEFINICIÓN	CÓDIGO
Agua grifo sin Planta (Evaporación)	1*
Agua de grifo	2*
Agua residual sintética (ARS)	3*
Clorotalonilo (CLT)	-
ARS + CLT [0,29 ppm]	4a
ARS + CLT [2,18 ppm]	4b
Clorotalonilo [0,29 ppm]	5a
Clorotalonilo [2,18 ppm]	5b
Evapotranspiración (ET)	
Humedad Relativa (HR)	
Temperatura (T)	
Radiación solar (Rs)	
Presión barométrica (PB)	

7.5 ENSAYOS PRELIMINARES

Para determinar el comportamiento de las plantas con los diferentes sustratos se realizaron ensayos preliminares por cuatro días, con agua de grifo y agua residual sintética, y poder establecer la variabilidad del experimento. Para ello se procedió sustituir las plantas cada tres días debido a que en este tiempo se

observó una pérdida significativa de la vitalidad de la planta reflejada en la reducción del diámetro del tallo y se comenzaron a secar las hojas.

7.6 EXPERIMENTOS

En total se realizaron 14 ensayos en 2 fases. La primera comprendió desde el 4 de julio de 2010 hasta el 22 de agosto donde los tratamientos con sus respectivas réplicas fueron: agua de grifo con planta, agua de grifo sin planta y agua residual sintética. La segunda se realizó desde el 11 de septiembre hasta el 11 de noviembre de 2010. En esta fase se establecieron dos concentraciones de clorotalonilo según el rango de solubilidad en agua. Los montajes contenían los sustratos que se relacionan en la Tabla 3.

Tabla 3 Fases con los diferentes sustratos empleados en el experimento.

FASE 1	FASE 2
Agua de grifo sin planta	Agua residual sintética con clorotalonilo a 0,29 mg/L
Agua de grifo	Agua residual sintética con clorotalonilo a 2,18 mg/L
Agua residual sintética	Clorotalonilo a 0,29 mg/L
	Clorotalonilo a 2,18 mg/L

El tratamiento de agua de grifo sin planta permitió ver la pérdida por evaporación de agua en la parte superior de la bureta, el cual se restó de las mediciones hechas los primeros 13 días de ensayo.

Todas las mediciones se realizaron por duplicado con cada uno de los sustratos en un intervalo de tiempo de 11:00 am a 3:00 pm debido a que este intervalo de tiempo se presenta la mayor radiación solar; se registró cada 30 minutos el volumen desplazado en la bureta, en todos los casos. Al finalizar este periodo de tiempo la planta fue desconectada de la manguera (ver Anexo F) y se conectaba nuevamente al siguiente día, por tres días. Se determinó el volumen acumulado por día.

7.7 TRATAMIENTO Y MÉTODO DE EXTRACCIÓN PARA EL CLOROTALONILO

El clorotalonilo se cuantificó utilizando un cromatógrafo de gases Agilent Technologies modelo 6890, con inyector automático, detector de microcaptura de electrones, columna HP 5 (30 m x 0.322 mm x 0.25 µm; metilpolisiloxano [2.8 mL.min⁻¹]), empleando nitrógeno como gas de arrastre (60 mL.min⁻¹). Las temperaturas del horno fueron:

Primer gradiente de temperatura: 80 a 180°C, a 30°C min⁻¹. El segundo gradiente: 180 °C a 205 °C, a 3 °C min⁻¹. Las temperaturas del inyector y del detector fueron 290°C y 300°C, respectivamente. En cada análisis se inyectó 1mL de muestra en modo splitless. Las curvas de calibración se prepararon utilizando clorotalonilo grado analítico al 98% de pureza (Chem Service). (Ver Anexo A).

7.8 DETERMINACIÓN DQO

Para la caracterización del ARS preparada en el laboratorio, se hizo la determinación de DQO y así conocer las condiciones iniciales de este sustrato. La DQO se cuantificó por fotometría de flama empleando un fotómetro Linus, Nanocolor 500 D (Ver Anexo B).

7.9 TRATAMIENTOS Y FACTORES, VARIABLES (TASAS VOLUMEN, PARÁMETROS DE ENTRADA)

La variable de respuesta en este análisis corresponde al volumen desplazado en la bureta

Debido a que no fue fácil seleccionar plantas con iguales características en las réplicas, se consideraron algunos de los parámetros que sirvieron de base para establecer diferencias en la plantas según la Tabla 4.

Tabla 4 Parámetros de entrada para las macrófitas

	OBSERVACIÓN
Número de hojas	Se realizó un conteo del número de hojas que presentaba cada planta antes de ser instaladas en el montaje.
Diámetro del tallo	Se midió la longitud del diámetro de las plantas en la parte inferior cerca al corte. Esto se realizó cada vez que se colocaba una planta nueva.
Peso inicial y final	Se tomó el peso de la planta antes y después. Al ser ubicada en el montaje y a los 3 días en que la planta estuvo sometida a las condiciones experimentales.

7.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En esta investigación se analizaron los datos teniendo en cuenta como medida de tendencia central la mediana y como modelos de pruebas de hipótesis aquellas ofrecidas en la estadística no paramétrica. Debido a que el experimento se trata de un sistema abierto donde no se pueden controlar todas las variables.

Se analizaron los diferentes parámetros estadísticos que permitieron hacer las comparaciones entre las variables y los datos recolectados, de esta manera se determinaron si existen diferencias estadísticamente significativas en el volumen desplazado para los días de mediciones y como resultado conocer el comportamiento de la macrófita y su relación con la evapotranspiración del medio. Las pruebas estadísticas analizadas en el experimento son: máximos y mínimos, promedio, varianza, desviación estándar, ACV (Análisis de componentes de varianza). Y se aplicaron dos pruebas la t pareada y la prueba de Kruskal Wallis, esta última es una prueba no paramétrica que permite evaluar muestras independientes.

7.11 VARIABLES AMBIENTALES (VARIABLES CLIMATOLÓGICAS)

Los datos climatológicos fueron registrados por la estación meteorológica (Vantage Pro2™) ubicada en el octavo piso de la instalaciones de la SIU (Ver Anexo C).

Las variables climatológicas proporcionadas por la estación fueron: humedad relativa, radiación solar, temperatura ambiente, presión barométrica y evapotranspiración. Esta última se calculó según la fórmula de evapotranspiración de Cenicafé. Esto permitirá conocer el comportamiento de la macrófita bajo estas condiciones y su relación con la captura de los sustratos utilizados.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizó una caracterización de los sustratos antes de utilizarlos en las mediciones siguiendo el Standars Methods 2005, donde midió: el pH, temperatura, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno (DQO), concentración de clorotalonilo. Los equipos utilizados en estas mediciones se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5 Instrumentos utilizados para la determinación de las variables fisicoquímicas

VARIABLE	UNIDAD	EQUIPO	MÉTODO
Temperatura	°C	Conductímetro 720 WTW inolab	2550B
Conductividad eléctrica	µs/cm	Conductímetro 720 WTW inolab	-
pH	Unidades de pH	pH –metro pH 315i/SET	-
DQO	mg/L O ₂	Micro y macro	5220C
Concentración Clorotalonilo	ppm	Cromatógrafo de gases	Detector de microcaptura de electrones

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de calidad de Aguas potable y residuales “Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 Edition, 2005.

8 RESULTADOS

Los siguientes resultados corresponden a las mediciones realizadas entre el 4 de Julio de 2010 y 11 de Noviembre de 2010.

8.1 ENSAYOS

En la Tabla 6 se presenta el análisis de las variables que se tuvieron en cuenta en el momento de la medición de la información. La variable volumen presentó un alto coeficiente de varianza, C.V. = 100,3%. Mientras que el coeficiente de variación de la variable diámetro del tallo fue bajo con un C.V. =18,66%. Para el caso de la variable peso se usó la prueba t pareada para comparar las plantas antes y después de someterlas al tratamiento. Este procedimiento se describirá más adelante.

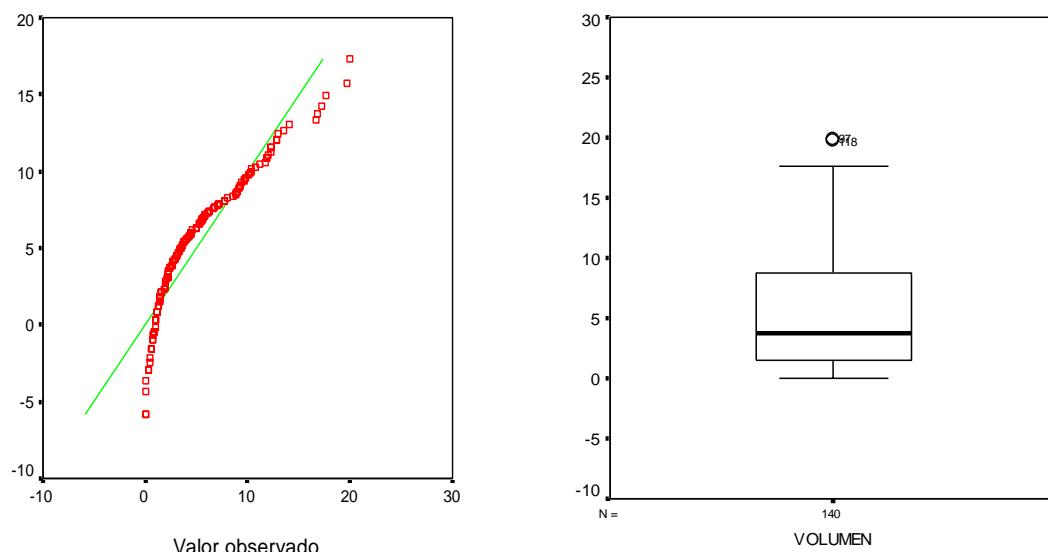
Tabla 6 Resultados de los parámetros estadísticos en los ensayos

VARIABLE	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS									
	N		Me	S	S ²	Mín.	Máx.	C.V. (%)	Rango	Curtosis
Volumen (mL)	162	4,62	3,0	4,65	21,63	0	19,9	100,63	19,9	0,88
# De hojas	113	4,50	4,0	1,54	2,38	2,0	8,0	34,34	6,0	-0,21
Peso inicial (g)	118	47,29	44,99	16,11	259,68	19,38	84,60	34,80	65,22	-0,74
Peso final (g)	112	35,05	33,01	13,17	173,53	12,82	62,96	37,58	50,14	-0,83
Diámetro tallo (cm)	88	1,21	1,18	0,22	0,05	0,70	1,59	18,66	0,89	-0,725

Las siguientes figuras muestran el comportamiento de los datos para determinar si tienen una distribución normal. La recta es una situación ideal, si los datos están lejos de formar una línea recta entonces no existe normalidad entre ellos. La normalidad fue determinada chequeando el estadístico curtosis, el cual establece un rango entre -2 y 2. Sin embargo es importante precisar que esta investigación se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas

La Figura 3 muestra que los datos se encuentran un poco alejados a la recta. Los datos presentan una leve curvatura donde se condensan la mayoría de los datos e indica una asimetría positiva y al final de la curva una asimetría negativa. Los volúmenes comprendidos entre el 25% y el 50% de los datos se encuentran más agrupados con valores entre 1,6 y 3,7mL. La media y la mediana tienen una diferencia significativa con valores 4,62 y 3,7 respectivamente. El segmento inferior es mucho más corto que el superior ya que en el primer cuartil los datos se encuentran más agrupados mientras que en el cuartil de los datos superiores hay mayor dispersión.

Figura 3 Normalidad y caja esquemática para volumen como variable respuesta



Para el caso de las variables climatológicas y las ecuaciones de evapotranspiración se realizó el análisis estadístico para conocer el comportamiento de los datos (Tabla 7), se encontró que la radiación solar presentó un coeficiente de variación, C.V. = 48,33%, mientras que el coeficiente para el caso de la presión barométrica fue C.V. = 0,28%.

Tabla 7 Análisis univariado de las variables climatológicas.

Variable climatológica	Valores estadísticos									
	N		Me	S	S ²	Mín.	Máx.	C.V. (%)	Rango	Curtosis
HR (%)	229	64,67	63	10,71	114,64	42	90	16,56	48	-0,49
Rs (cal/cm².día)	229	420	464	202,87	41155,13	37	2164	48,33	2127	-1,09
T (°C)	229	24,6	24,7	2,33	5,41	18,6	29,9	9,45	11,3	-0,37
PB (mmHg)	229	637,5	637,4	1,81	3,29	634,1	642,1	0,28	8,0	-0,65
ET Cenicafé (mm/día)	229	4,17	4,17	0,35	44,29	3,34	5,04	8,39	1,69	-0,43

En la Tabla 8 se presentan los parámetros fisicoquímicos medidos al momento de preparar cada uno de los sustratos. Para el caso del clorotalonilo se realizó un promedio en dos concentraciones en donde se trabajó con un valor por

debajo del punto de solubilidad de 0,29 ppm y otro por encima de 2,18 ppm (punto de solubilidad 0,8 ppm Anexo H).

Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos para la caracterización de los sustratos

Fecha	Sustrato	T (°C)	pH (unid.de.pH)	Conductividad (μS/cm)	DQO (mg/L)	Clorotalonilo (ppm)	Promedio Clorotalonilo
06/07/10	ARS	-	5,66	1339	365,4	-	
20/08/10	ARS	25,1	4,22	1383	-	-	
11/09/10	ARS	-	3,47	1181	-	-	
10/09/10	CLT	-	6,40	12,5	-	0,274	0,29 ppm
14/09/10	CLT	-	5,98	7,70	-	0,324	
10/09/10	CLT	-	6,43	20,10	-	1,921	2,18 ppm
14/09/10	CLT	-	5,97	5,9	-	2,450	

Se realizó una prueba anexa para conocer el porcentaje de reducción de clorotalonilo durante un día de ensayo (ver Tabla 9). Para ello se midió la concentración inicial (tomada al momento de preparar una solución de clorotalonilo) y una concentración final (después de 4 horas de estar expuesta a la planta y a condiciones ambientales). Este proceso se realizó por duplicado estableciendo una reducción de 8,18 % y 17,84 % para la réplica 1 y 2 respectivamente.

Tabla 9 Porcentaje de reducción de clorotalonilo

Replica	Concentración Inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Reducción (%)
1	0,269	0,247	8,18
2	0,269	0,221	17,84

8.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES DE VARIANZA

En la Tabla 10 se muestra el análisis de componentes de varianza para la variable respuesta volumen desplazado, el cual depende en su mayoría del día con un 41,78 % y de la réplica con 38,35%, para diámetro del tallo depende del tratamiento con un 55,94 % y para réplica 44,06 %.

Tabla 10 Análisis de componentes de varianza para volumen

Fuente	Día	PORCENTAJE (%)	
		Tratamiento	Réplica
Volumen	41,78	19,87	38,35
Diámetro	0,00	55,94	44,06

De los resultados previstos en la Tabla 10, aquellos valores con un porcentaje mayor del 30% se le realizaron la prueba de Kruskal Wallis.

8.3 PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS

Al tratarse de un sistema abierto expuesto a un sin número de factores que puede influir en los datos, la alternativa no paramétrica que se utiliza de manera más habitual es la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes, entre otras. Esta prueba compara las medianas de los niveles.

Hipótesis nula: No existen diferencias estadísticamente significativas entre la variable volumen con un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis alterna: Existen diferencias estadísticamente significativas entre la variable volumen con un nivel de confianza del 95%.

La Tabla 11 muestra los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis en los ensayos utilizando como variable de agrupación día, tratamiento y réplica, donde se evalúa la hipótesis de las medianas para los factores volumen desplazado y diámetro del tallo. En los casos que el valor P es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna o alternativa.

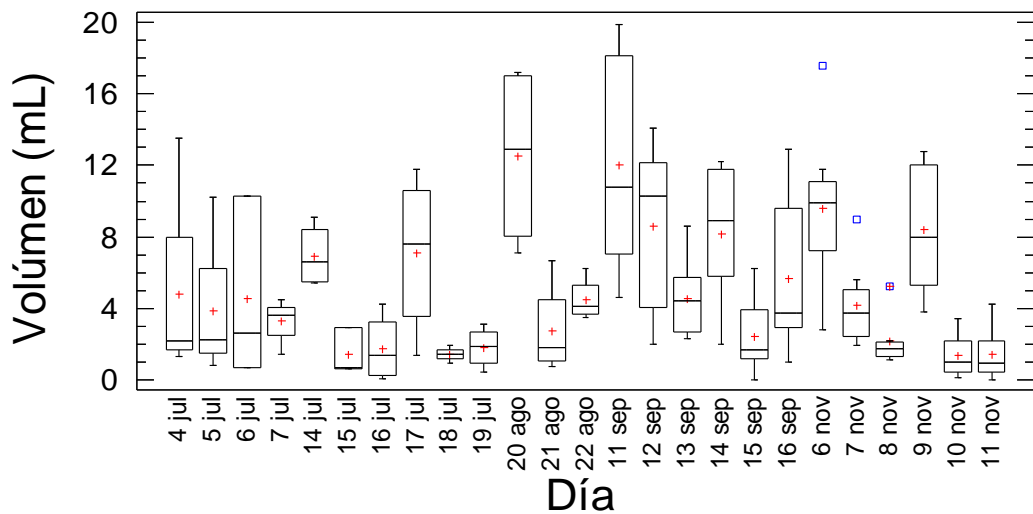
Tabla 11 Prueba de Kruskal Wallis para los factores de estudio

FACTOR	VARIABLE DE AGRUPACIÓN	P-valor	observaciones
Volumen	Día	4,44E-8	Según p-valor <0,05, se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
	Réplica	0,7419	Según p-valor >0,05, No se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
Diámetro	Tratamiento	5,42 E-7	Según p-valor <0,05, se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
	Réplica	0,1821	Según p-valor >0,05, No se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.

La Figura 4 muestra las cajas esquemáticas de la variable volumen desplazado obtenidas en los diferentes días de ensayos. Aquí se presentan todos los valores de volumen independiente del tratamiento usado. Se puede observar la existencia de valores atípicos los días 6, 7 y 8 de noviembre.

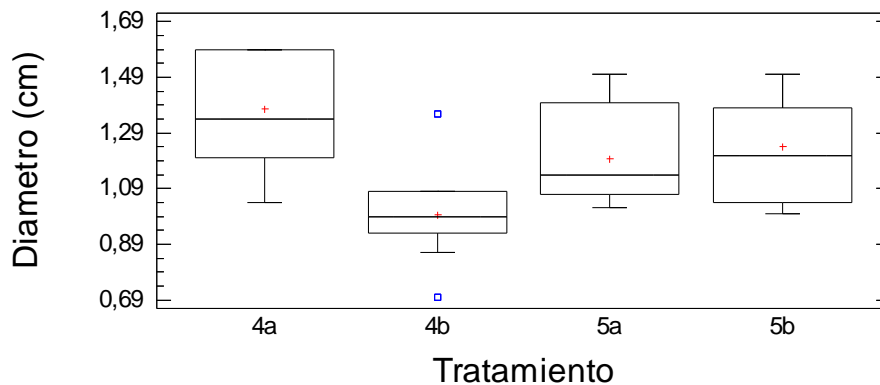
Existe una alta variabilidad en el consumo de volumen con los diferentes sustratos en los ensayos. Es decir, no existe una tendencia homogénea en la captura por parte de *Phragmites australis*. Los días 14 y 17 de julio, 20 agosto, 11 y 14 de septiembre, 6 y 9 de noviembre se presentaron los volúmenes más altos debido a que eran plantas con mayor vitalidad. El 15 de julio se presentaron los valores más bajos de consumo con una mediana de 0,7cm en donde la mitad de las observaciones se encuentran allí. Cabe resaltar que en algunos casos los diagramas de cajas no tienen bigote, como es el caso de los días 6 y 15 de julio, lo que indica simetría y variabilidad.

Figura 4 Cajas esquemáticas múltiples según volumen y día



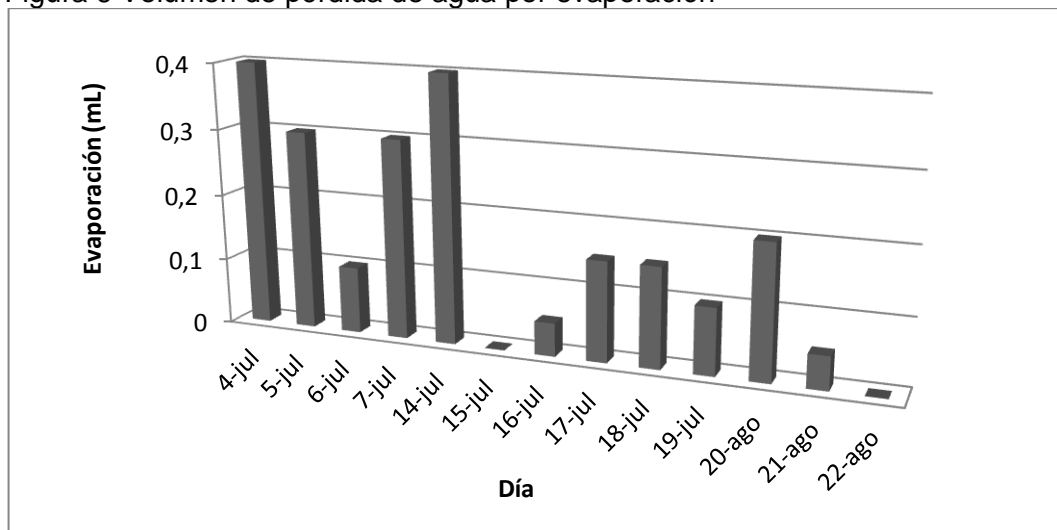
La Figura 5 presenta los valores de los diámetros para los tratamientos de la fase 2. Al comparar las medianas cuyos valores son 1,34 cm; 0,99 cm; 1,14 cm; 1,21 cm para los tratamientos 4a, 4b, 5a y 5b respectivamente. Se puede observar las plantas de mayor diámetro se encontraron en el tratamiento 4a que corresponde a agua residual sintética con clorotalonilo a 0,29 ppm. Las de menor diámetro fueron las del tratamiento de agua residual sintética con clorotalonilo a 2,18ppm. Las dos últimas (5a y 5b) tuvieron un rango similar. Se presentaron dos valores extremos para el tratamiento 4b.

Figura 5 Cajas esquemáticas múltiples según diámetro con tratamiento



La Figura 6 presenta la pérdida de agua por evaporación durante los primeros ensayos. Hubo días en donde se presentó una alta evaporación como lo fue el 4 de julio y el 14 de julio con 0,4 mL cada uno. Por el contrario existieron días donde no se presentaron estas pérdidas como sucedió el 15 de julio y 22 de agosto.

Figura 6 Volumen de pérdida de agua por evaporación

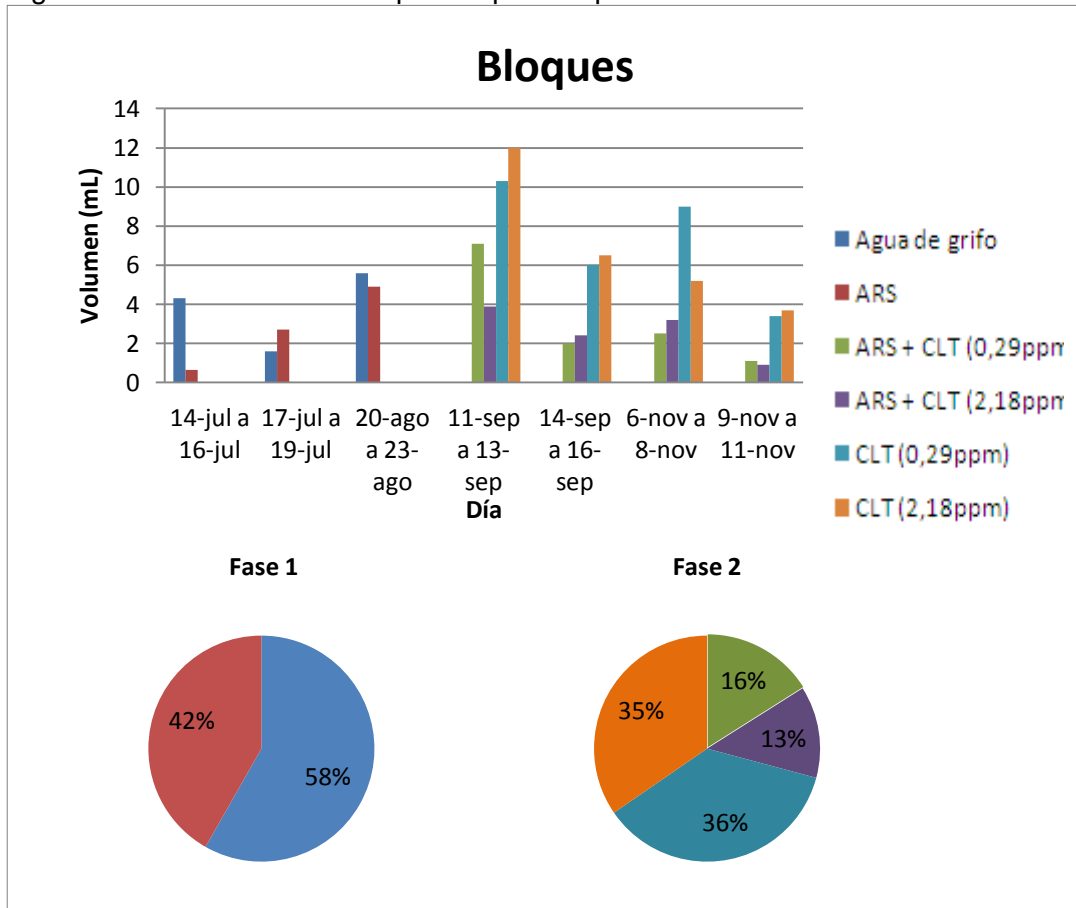


En la parte superior de la Figura 7 se presentan las medianas de los volúmenes separados por tratamientos, en ella se observa que el bloque que comprende del 11 al 13 de septiembre se presentó el mayor consumo, a escala global, donde el clorotalonilo a 2,18 ppm fue el más alto con un valor de 12 mL en ese periodo. El ARS en el bloque del 14 al 16 de julio por el contrario presentó el valor más bajo 0,65 mL.

La parte inferior del gráfico permite observar el porcentaje de volumen consumido por las plantas en donde la primera fase el agua de grifo presenta un valor mayor de 58% mientras que para el ARS es de 42%. En la segunda

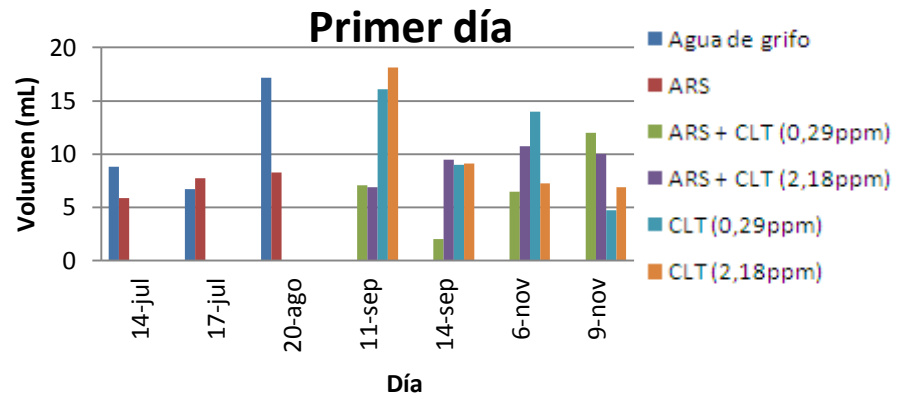
fase de mayor a menor se encuentra CLT a 0,29 ppm, CLT a 2,18 ppm, ARS+CLT a 0,29 ppm y ARS+CLT a 2,18 ppm con porcentajes de 36%, 35%, 16% y 13% respectivamente.

Figura 7 Volumen consumido por las plantas por tratamiento

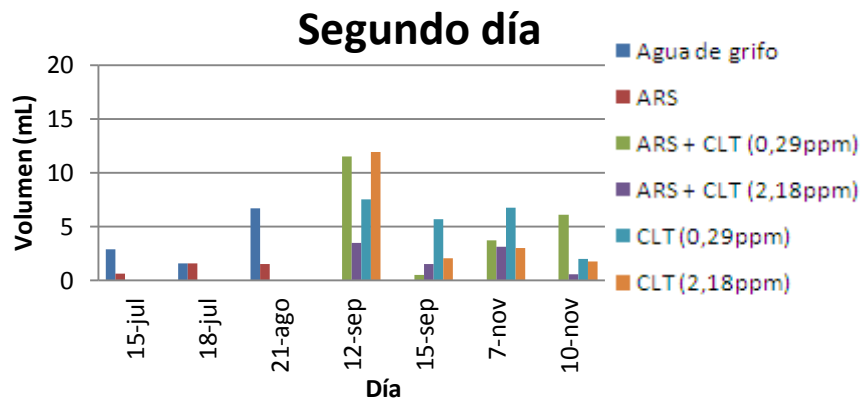


En la Figura 8 se presenta la variación de volumen en los tres días de ensayo tomando cada planta como unidad experimental. Existe una tendencia general de disminuir el consumo de volumen al pasar de un día a otro. Aunque existen días en donde el consumo se incrementa a pesar de que la planta está perdiendo su vitalidad. Para el primer día sobresale el consumo en la primera fase del agua de grifo el 20 de agosto, mientras que para la segunda fase lo es el CLT a 2,18ppm el 11 de septiembre seguido del CLT a 0,29 ppm. En el segundo día de ensayos la reducción es significativa predominando el CLT en las dos concentraciones el 11 de septiembre. En el tercer día es notorio en la primera fase el incremento del ARS el 20 agosto y en la segunda fase del CLT a 2,18ppm que corresponde los días 14 de septiembre, 6 y 9 de noviembre.

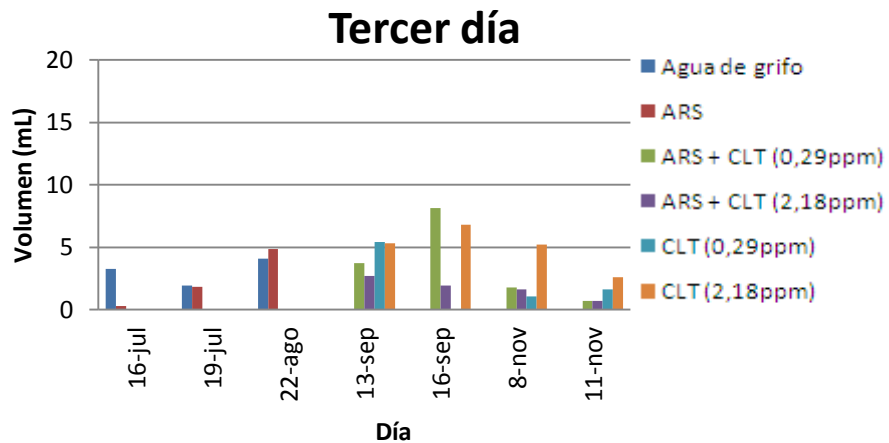
Figura 8 Volumen consumido bajo diferentes sustratos en 3 días



(a)



(b)



(c)

8.4 ANÁLISIS POR ETAPAS PARA EL VOLUMEN

En la Tabla 12 se muestra el análisis de componentes de varianza por bloques para conocer los factores

Tabla 12 Análisis de componentes de varianza para el volumen

	PORCENTAJE (%)			PRUEBA DE KRUSKAL WALLIS		
Fecha	Día	T/to	Réplica	P- valor		Observaciones
14 jul	68,93	26,55	4,52	0,0294		Según el p-valor < 0,05, se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
15 jul						
16 jul						
17 jul	40,12	0,00	59,88	0,2142	0,871	Según el p-valor 0,05, para día y replica NO se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
18 jul						
19 jul						
20 ago	56,4	34,25	9,35	0,0183	0,423	Según el p-valor < 0,05 para día hay diferencias estadísticamente significativas, para tratamiento NO hay diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
21 ago						
22 ago						
11 sep	39,37	28,32	32,31	0,0145	0,1465	Puesto que el p-valor < 0,05 para día hay diferencias estadísticamente significativas, para replica NO hay diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
12 sep						
13 sep						
14 sep	35,37	14,42	50,21	0,0227	0,4595	Puesto que el p-valor < 0,05 para día hay diferencias estadísticamente significativas, para replica NO se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
15 sep						
16 sep						
6 nov	55,03	10,08	34,89	0,0014	0,3753	Según el p-valor < 0,05 para día se presentan diferencias estadísticamente significativas, para replica NO se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
7 nov						
8 nov						
9 nov	72,73	9,55	17,72	0,0005		Según el p-valor < 0,05, se presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95%.
10 nov						
11 nov						

Los volúmenes desplazados en los diferentes tratamientos separados por bloques representados en cajas esquemáticas se muestran en las Figura 9, Figura 10 y Figura 11; los primeros días en donde se instalaron plantas nuevas se presentan los mayores desplazamientos en los valores de volumen. Los puntos extremos de la caja muestra los valores de las replicas que en algunos casos coinciden. La línea negra en cada caja indica la mediana.

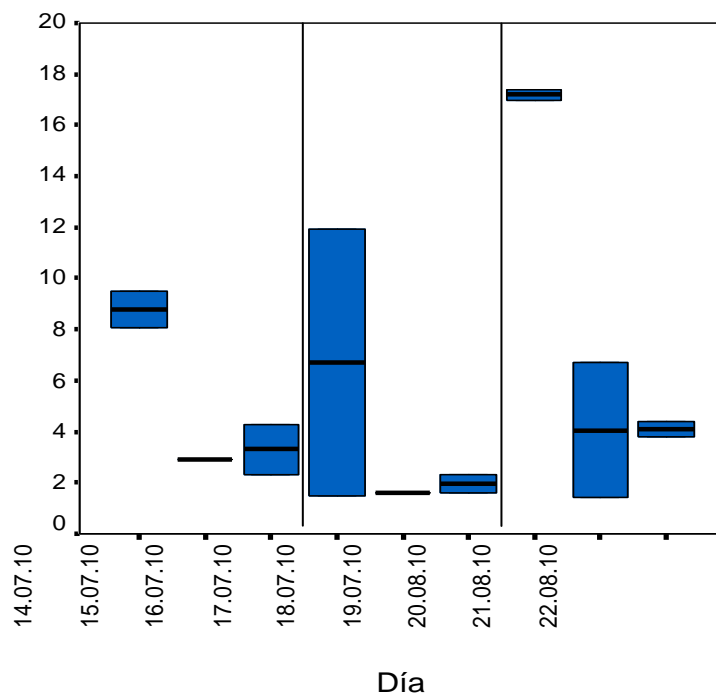
La Figura 9 muestra las cajas esquemáticas de dos de los tratamientos: agua de grifo y agua residual sintética. Se puede observar la variación del volumen en el tiempo. El agua de grifo, el 20 agosto (Figura 9a), presentó el mayor consumo con 17,2 mL. La tendencia es a disminuir, aunque en algunos casos, según la Figura 9 (a) del 15 al 16 de julio se presenta un leve aumento en el valor de la mediana de 2,9 mL a 3,3 mL. El día 17 de julio se muestra una alta variabilidad en los valores tomados en los ensayos por replica arrojando una mediana de 6,55.

En la Figura 9(b) para el caso del agua residual sintética el 20 agosto se presentó el mayor valor en la mediana con un 8,05 mL. Y el menor fue el 16 de julio con un 0,25 mL. Al tercer día de cada bloque. El 22 de agosto se obtuvo el mayor desplazamiento de 4,85mL.

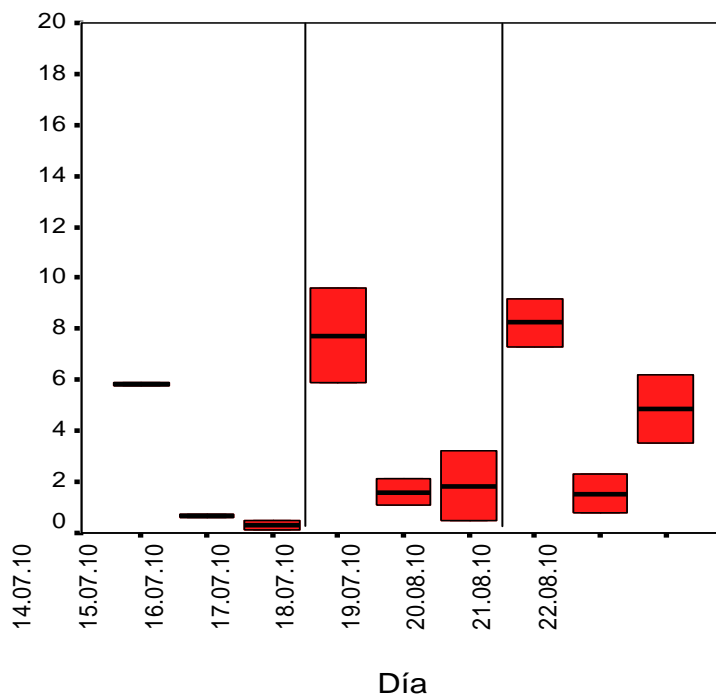
La Figura 10 presenta las cajas esquemáticas por bloques de agua residual sintética con clorotalonilo a 0,29 ppm y 2,18 ppm. En (a) el mayor volumen se presentó el 9 de noviembre con un valor en la mediana de 12 mL mientras que en Figura 10(b) fue el 6 de noviembre con 10,75 mL. Con alta variabilidad en las réplicas. Las cajas en general presentaron un comportamiento descendente desde el inicio de la medición hasta el final, a excepción de los días 15 y 16 de septiembre en (a) y (b); 10 y 11 de noviembre en (b) donde el volumen incrementó levemente.

Según las cajas esquemáticas para el clorotalonilo a 0,29 y 2,18 ppm (Figura 11). En (a) no se tomaron datos para el día 16 de septiembre. En los demás casos el volumen desplazado del sustrato a 0,29 ppm fue decreciente teniendo un valor máximo de consumo de 16,1 mL el 11 de septiembre. Para el caso de la concentración de 2,18 ppm el volumen tiene una tendencia creciente los tres últimos bloques del segundo al tercer día.

Figura 9 Cajas esquemáticas: (a) Agua de grifo (b) ARS

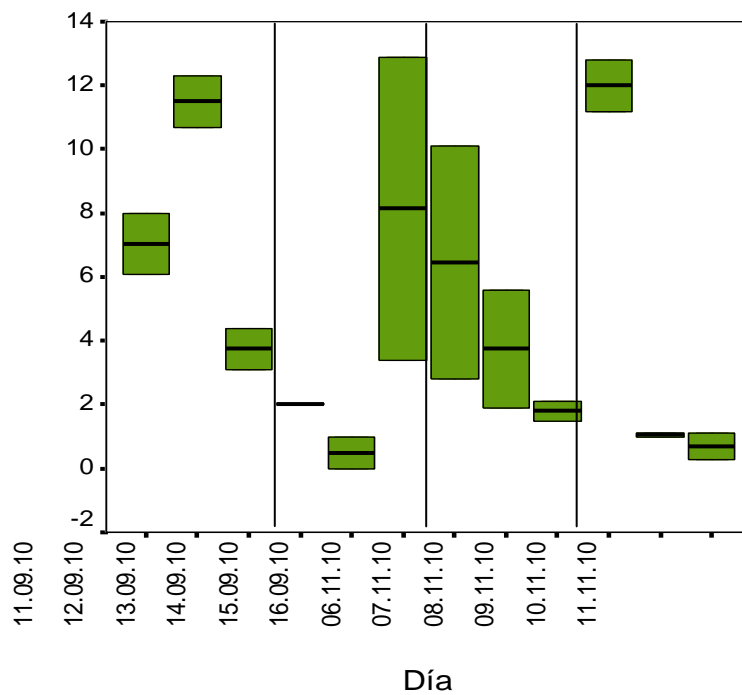


(a)

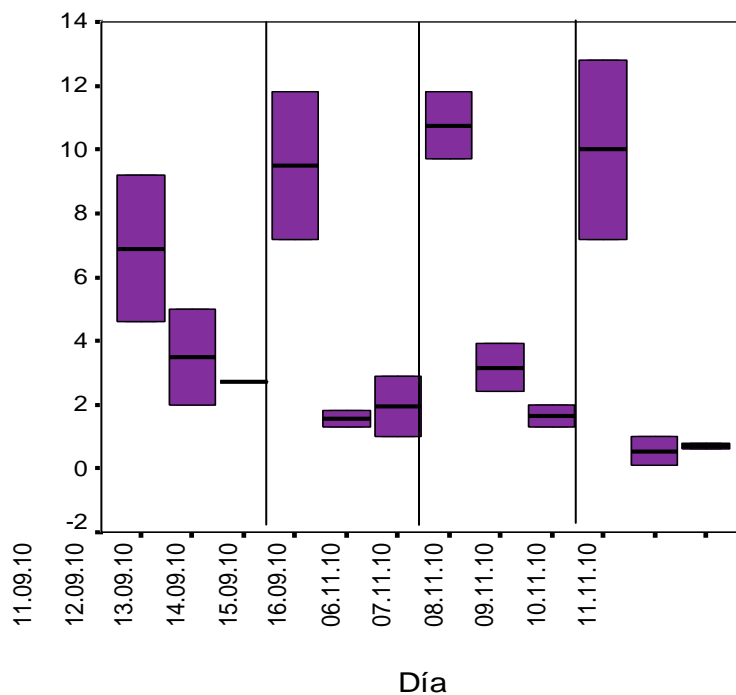


(b)

Figura 10. Cajas esquemáticas:(a) ARS + CLT [0,29 ppm] (b) ARS + CLT [2,18 ppm]

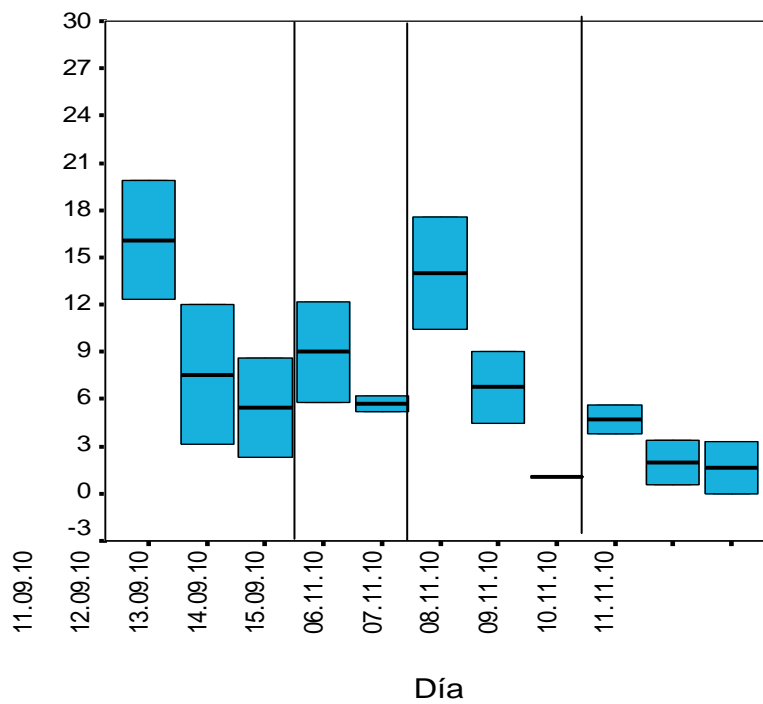


(a)

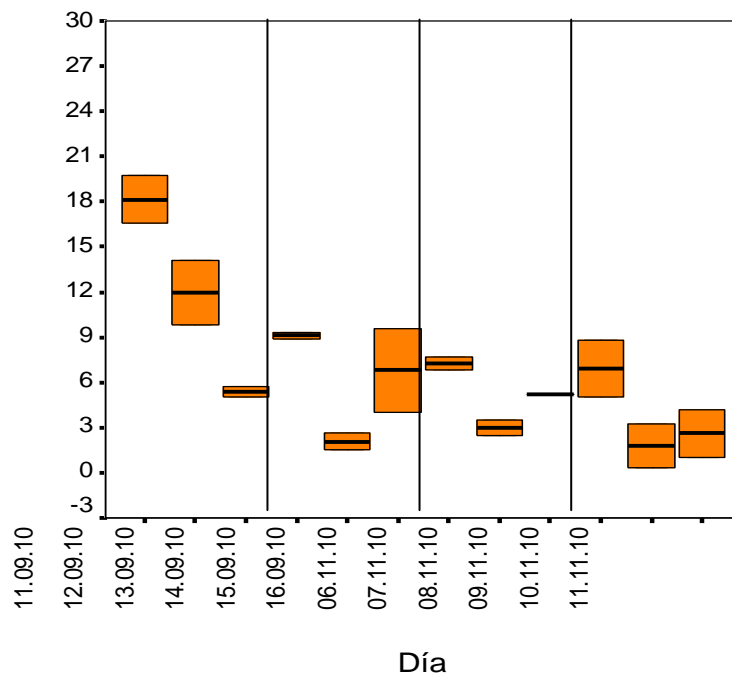


(b)

Figura 11. Cajas esquemáticas: (a) CLT [0,29 ppm] (b) CLT [2,18 ppm]



(a)



(b)

8.5 PRUEBA T PAREADA PARA PESO DE LAS PLANTAS

Para comparar si existieron variaciones significativas en los pesos de las plantas antes y después de someterlas a diferentes sustratos se usó la prueba t pareada los resultados se muestran en la Tabla 13. En total son 7 días donde se evaluó el peso que reportaban las plantas antes y después del tratamiento.

8.5.1 Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis nula (H_0): Los cambios en el peso de las plantas observados antes y después del tratamiento se deben al azar, y no hay diferencias entre ambos períodos.

Hipótesis alterna (H_a): El peso de las plantas disminuye después de someterlas a un tratamiento, existiendo diferencias significativas entre antes y después.

Tabla 13 Prueba t pareada

Media muestral = 12,4815
Mediana muestral = 11,4
Desviación estándar de la muestra = 8,06742
<u>Prueba t</u>
Hipótesis Nula: media = 0
Alternativa: no igual
Estadístico t = 16,3735
Valor-P = 0
Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha \leq 0,05$.

(Statgraphics)

Interpretación.

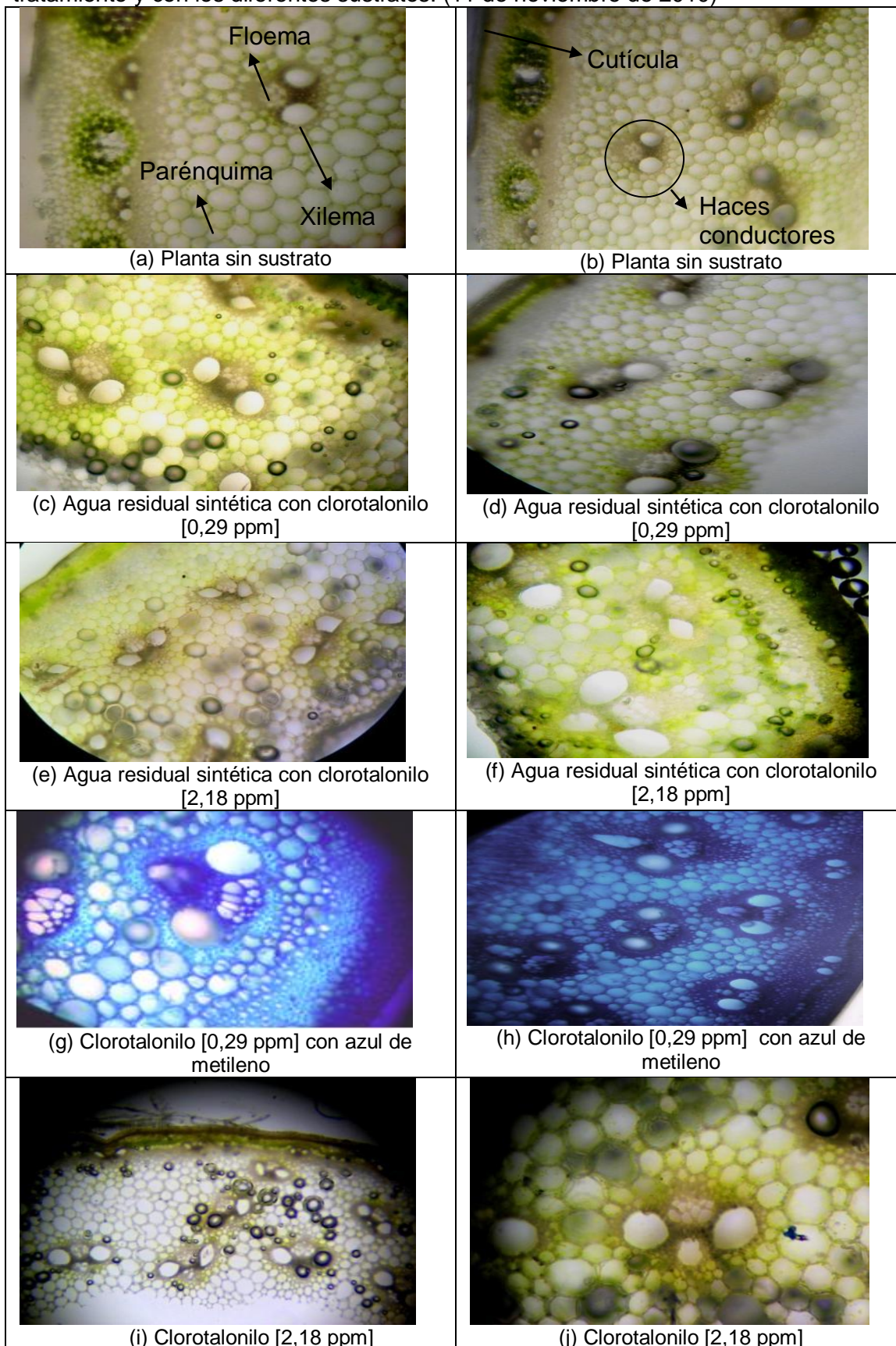
El peso de las plantas cambia después de someterlas a unos tratamientos, existiendo diferencias significativas antes y después.

8.6 IMÁGENES DEL TALLO DE *Phragmites australis*

Al final de los ensayos se tomaron 2 fotografías de cada planta antes y después de estar sometida a un sustrato para identificar no solo sus órganos sino también si existe una alteración en la estructura interna de la misma.

En la Figura 12 se observan imágenes del corte en el tallo de *Phragmites australis* antes y después de someterse al tratamiento, en ellas se observan el parénquima, el xilema, el floema y los haces conductores. El corte se realizó cerca a la base por donde ingresaba el sustrato. En algunos de los cortes se presentó mayor cantidad de haces conductores al encontrarse más cerca del punto de corte, como lo muestra la Figura 12 (e). En los tallos que presentaron clorotalonilo se observan manchas negras que podrían ser una coloración que deja este xenobiótico en el parénquima del tallo (e) y (j).

Figura 12 *Phragmites australis*. Secciones transversales del tallo para la planta sin tratamiento y con los diferentes sustratos. (11 de noviembre de 2010)

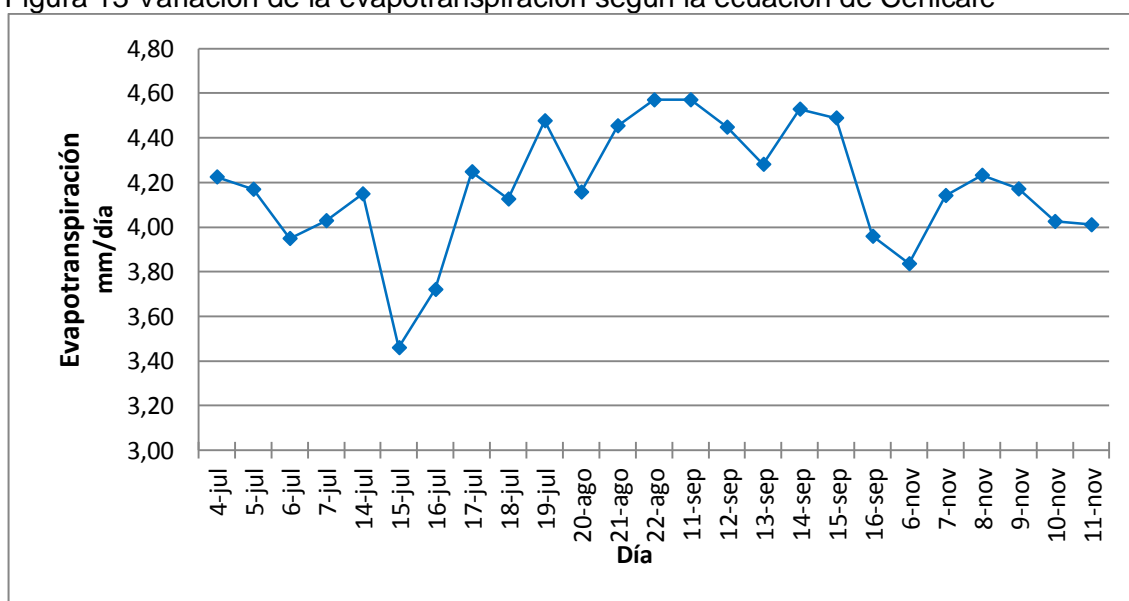


8.7 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Las variables climatológicas determinadas permiten inferir que tan influyentes son las condiciones del medio en el que se encontraban las plantas al momento de ser sometidas a los diferentes sustratos. Las cuales fueron descritas en la Tabla 7.

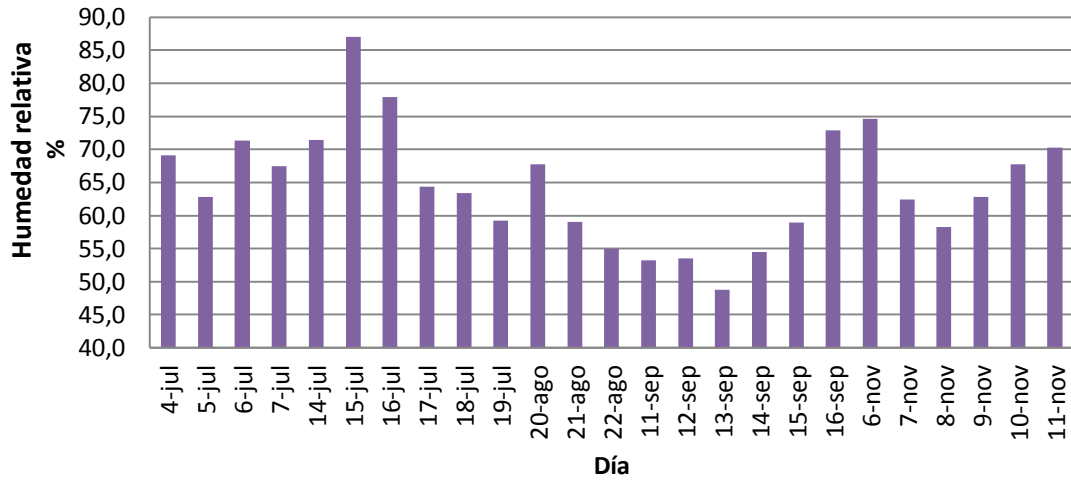
Para la determinación de la evapotranspiración, se utilizó la fórmula de Cenicafé que involucra las variables climatológicas como temperatura ambiente y radiación neta, la cual fue obtenida por el Centro Nacional de Estudios del Café mediante regresión a los valores obtenidos de aplicar el método de Penman-Monteith a los datos de las estaciones climáticas en Colombia (Jaramillo, 2006). La Figura 13 muestra el comportamiento de la evapotranspiración durante los días, el menor valor en todos los casos se presentó el 15 de julio, mientras que los más altos se registraron el 22 de agosto y el 11 de septiembre.

Figura 13 Variación de la evapotranspiración según la ecuación de Cenicafé



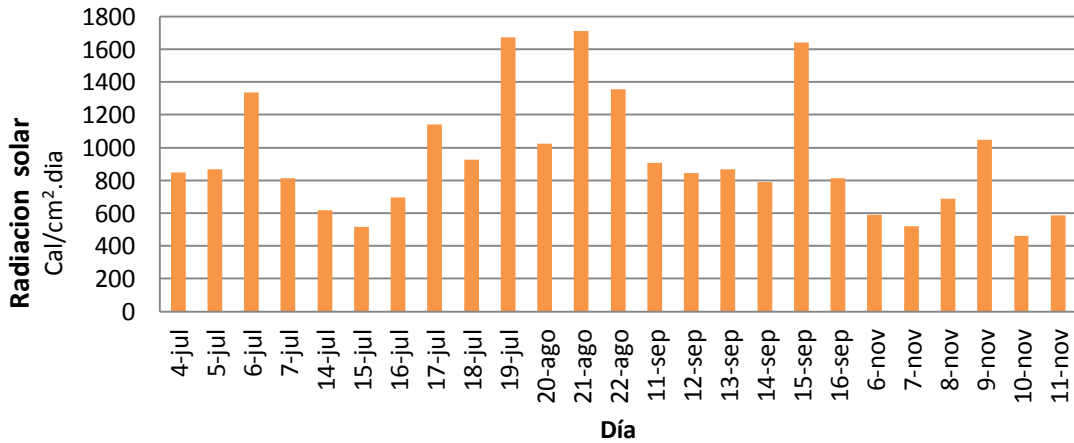
Como lo muestra la Figura 14, el 15 de julio se presentó el mayor valor de humedad relativa con un 87%, mientras que la más baja se presentó el 13 de septiembre con un 48,8% lo que indica que el aire aun pudo absorber un 13% y 51,2% más de vapor de agua respectivamente.

Figura 14 Variación de la humedad relativa para los días de ensayo



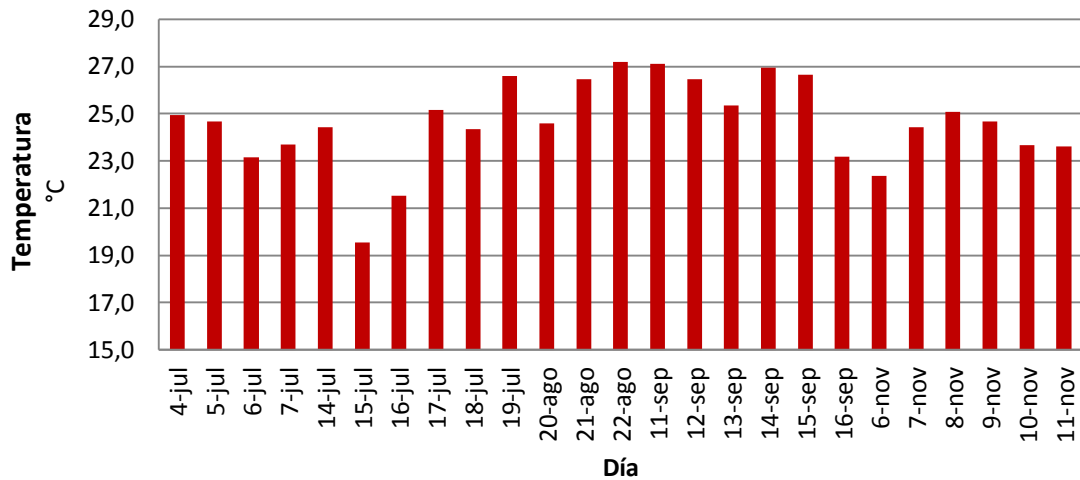
Según la Figura 15 la R_s varió significativamente durante el periodo de ensayos donde se observaron días con altos valores en la radiación solar del lugar como fue el caso del 21 de agosto cuando se presentó la mayor radiación con un valor de $1711 \text{ Cal/m}^2 \cdot \text{día}$. El valor más bajo se presentó el 15 de julio con $460 \text{ Cal/m}^2 \cdot \text{día}$.

Figura 15 Variación de la radiación solar para los días de ensayo



La Figura 16 presenta el comportamiento de la temperatura durante los días de ensayo. La gráfica presenta una tendencia donde los valores más altos fueron los comprendidos entre 17 de julio y 15 septiembre. La menor temperatura se presentó el 15 de julio con un valor de $19,5^\circ\text{C}$.

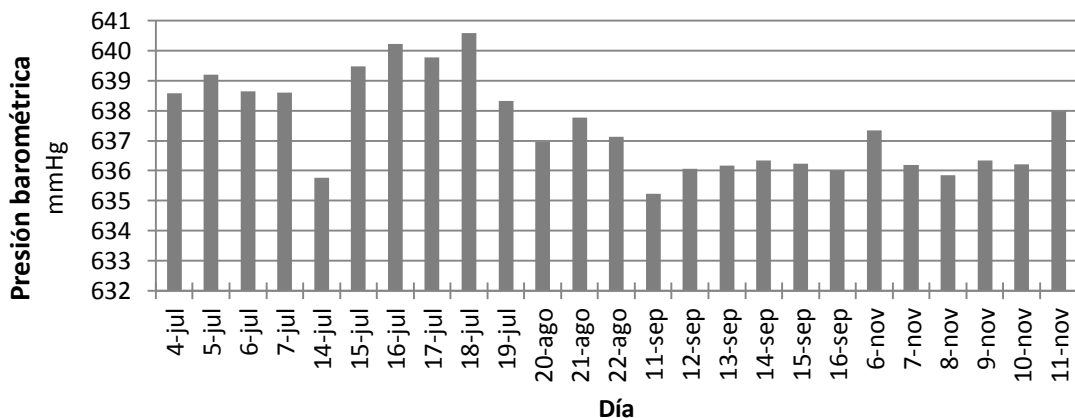
Figura 16 Variación de la temperatura para los días de ensayo



Según la Figura 17 la presión barométrica (PB) presentó una leve variación en los datos a pesar de ello se puede observar que los primeros días del 4 de julio al 22 de agosto es notable el incremento en comparación con el resto de días. Además se encontró que el 11 de septiembre se presentó la más baja PB en los datos reportados por la estación con 635,2 mmHg. Mientras que la más alta fue de 640,6 mmHg que corresponde al 18 de julio.

El comportamiento de la presión barométrica (PB) según la Figura 17. El rango de variación en los datos no parece ser significativa aunque se presento una disminucion a partir del 19 de julio.

Figura 17 Variación de la presión barométrica para los días de ensayo



La Tabla 14 presenta las correlaciones de la variable respuesta volumen y las variables climatológicas usadas en esta investigación. El signo negativo en el coeficiente de correlación indica que la relación entre una variable y otra la cual aumenta al disminuir la otra y viceversa.

Los valores en paréntesis indican el número de muestras. Los valores en gris claro tienen una correlación significativa a nivel de 0,01, los de gris oscuro presentan una correlación a nivel 0,05, y los demás no son significativas. En este sentido se puede establecer que al presentarse un incremento en la temperatura y la evapotranspiración, con una disminución en la humedad relativa y la presión barométrica, se produce un aumento del volumen. Respecto de la radiación solar no es posible establecer una correlación ya que no es significativa.

Al correlacionar las variables climatológicas se observa que la HR es directamente proporcional a la PB e inversamente proporcional a las demás variables. La Rs aumenta con el aumento de la T y la ET, pero no se puede establecer una correlación con la PB. Para el caso de la T, esta aumenta con la ET y disminuye con la PB. Finalmente la ET es inversamente proporcional a la PB. La correlación positiva más alta se presenta entre la ET y T de 0,998 y la menor entre el Volumen y T con 0,226. La correlación negativa más alta fue entre la HR y ET con -0,884.

Tabla 14 Matriz de correlación de Spearman para la variable respuesta y variables climatológicas

	Volumen	HR	Rs	T	ET	PB
Volumen	1					
HR	-0,19 (140)	1				
Rs	0,152(140)	-0,397(140)**	1			
T	0,226(140)**	-0,882(140)**	0,593(140)**	1		
ET	0,239(140)*	-0,884(140)**	0,585(140)**	0,998(140)**	1	
PB	-0,316(140)**	0,519(140)**	0,064(140)	-0,405(140)**	-0,424(140)**	1

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

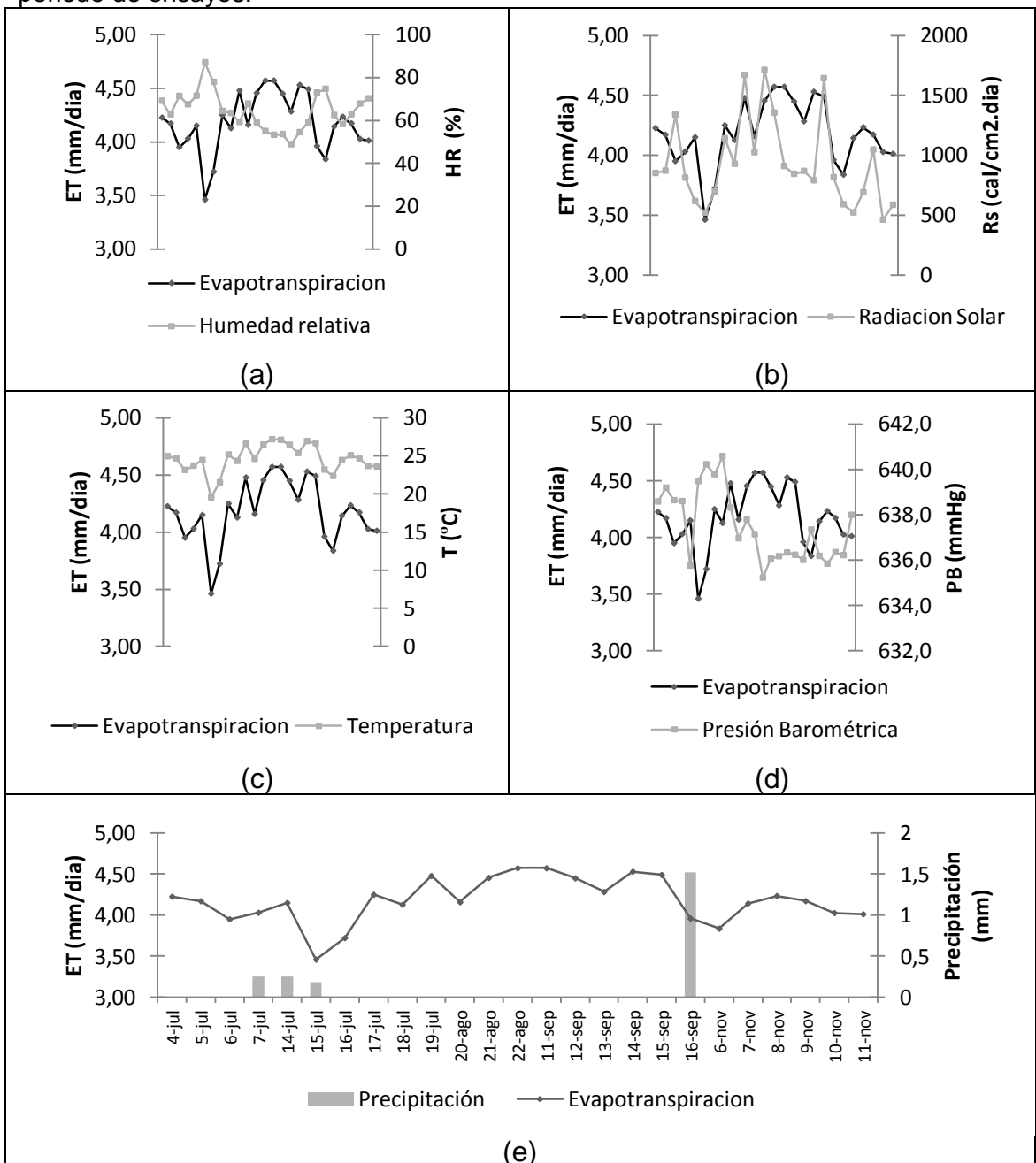
** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

La Figura 18 muestra los gráficos relacionando las variables climatológicas obtenidas en el estudio con la ET durante los días de ensayos. Los cuales coinciden con las correlaciones presentadas en la Tabla 14.

En (a) se puede observar que la HR es inversamente proporcional a la evapotranspiración. Caso contrario sucede con la temperatura del medio, (c) en donde al presentarse aumento de la temperatura incide directamente en el aumento de la ET siguiendo la misma trayectoria. En (b) se tiene una tendencia directamente proporcional en la radiación solar, aunque en algunos casos se

presenta variación. En este estudio la presión barométrica (d), presentó relación inversa con la ET. La Figura 18(e) relaciona la precipitación diaria con la evapotranspiración. Los días que presentaron lluvia fueron el 7, 14,15 de julio y alta precipitación el 16 de septiembre.

Figura 18 Relación de humedad relativa (a), radiación solar (b), temperatura (c), presión barométrica (d) y precipitación (e), con la ET según Cenicafé durante el periodo de ensayos.



9 DISCUSIÓN

Al analizar los parámetros medidos en la Tabla 6 se encontró un coeficiente de variación en el volumen como variable respuesta de (C.V. = 100,63%), esto pudo ser debido a factores climatológicos, características morfológicas de la planta y del día en que la planta se encontraba con mayor vitalidad. Además, en esta primera parte se encontraban todos los datos obtenidos de volumen independiente del tratamiento con los diferentes sustratos.

En el caso del la variable diámetro del tallo se presentó un coeficiente de variación bajo, ya que al momento de la selección de las plantas, se buscaron las que presentaran características similares en su morfología.

A la par de los ensayos realizados se procedió a hacer un análisis de las variables climatológicas donde la radiación solar presentó alto valor en el coeficiente de variación en los días de ensayo (C.V. = 48,33%) Tabla 7, esto puede ser debido a que en el periodo donde se realizaron la mediciones, se presentaron días de alta radiación solar combinado con días de baja radiación debido a la variabilidad climática en la temporada que inició desde julio a noviembre. Por el contrario la presión barométrica presentó una mayor homogeneidad en los valores (C.V. = 0,28%) Tabla 7 durante el periodo de ensayo.

El tallo hace parte importante de la estructura de la planta. En el caso de las macrófitas emergentes como la *Phragmites australis* se presentan mecanismos adaptativos a las condiciones de saturación del sustrato. La presencia de lenticelas, pequeñas aberturas en hojas y tallos, permite que el aire entre dentro de la planta, y esto va relacionado con la capacidad de captura del sustrato (Curt *et al.*, 2005) es por esto que el diámetro del tallo no solo muestra la adultez de la planta sino permite el almacenamiento del sustancias en su interior lo que tiene una relación directa con la captura del mismo. Al analizar el diámetro de los tallos en la Figura 5 se encontró que el tratamiento 4a presentó los diámetros más altos.

Por otra parte el volumen de evaporación de la lámina de agua medida en la bureta sin planta no se consideró significativo debido a que la pérdida de evaporación máxima fue de 0,4 mL. Esto pudo haber ocurrido porque la lámina de agua en la superficie de la bureta era pequeña debido al tamaño del diámetro. Por tanto no se realizó la medición de la evaporación para la segunda fase del clorotalonilo a diferentes concentraciones.

9.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS

Previo a cada montaje se efectuó una caracterización de los sustratos utilizados. La conductividad del agua residual sintética varió entre 1181 y 1339 $\mu\text{S}/\text{cm}$. estando en el rango de este parámetro en ARS (Seoáñez, 2004). El rango de pH encontrado para las dos concentraciones evaluadas de CLT estuvo entre 5-7 unidades, lo cual indica la estabilidad del CLT durante los ensayos (WHO, 1996).

La información que muestra del diagrama de cajas múltiple de la Figura 4, permite observar la variabilidad de los volúmenes e identificar valores extremos. En ella se muestra que la mayor incorporación de sustrato fue con plantas recién obtenidas del humedal que corresponde los primeros días de ensayos.

9.2 VARIACIÓN DURANTE LOS PRIMEROS, SEGUNDOS Y TERCEROS DÍAS

Los niveles de volumen decrecen del primer día al segundo y así sucesivamente hasta el tercer día ya la planta al no contar con todas sus partes como lo son las raíces su deterioro fue notable debido por tanto se impidió la transferencia de oxígeno a la zona radicular (Delgadillo *et al.*, 2010), lo que se evidencia en un desequilibrio nutricional y estrés hídrico.

Según la Figura 8(a), el comportamiento del volumen el primer día fue muy importante ya que la planta se encontró en completa vitalidad. Cada uno de los ensayos se consideró un experimento independiente pero se puede resaltar el caso de las plantas que se les suministró agua de grifo donde a excepción del 17 de julio, presentaron un mayor consumo en comparación con el ARS. Para la tendencia de consumo el primer día (Figura 8a) se encontraron los mayores valores para el sistema plantas + Agua de grifo, a excepción del 17 de julio; cuando se consideraron las condiciones ARS + CLT y CLT (0,29 ppm y 2,18 ppm) no se encontró una tendencia definida en el consumo por parte de *Phragmites australis*.

En cuanto al consumo del segundo día (Figura 8 b) el agua de grifo presentó un incremento mayor en el volumen en comparación con el ARS. Mientras que para las condiciones ARS + CLT y CLT no se establece una tendencia definida. El caso del tercer día (Figura 8c) el agua de grifo continuo con altos valores a excepción del 22 de agosto en donde el ARS fue mayor. En el caso de los demás sustratos no existe una tendencia definida.

Los días donde el consumo de ARS superó al consumo de agua de grifo (Figura 8) se presentó alta de evapotranspiración y temperatura y baja

Humedad Relativa. Esto permite observar que un aumento significativo en las condiciones climáticas favorece la captura del ARS en comparación con el agua de grifo.

9.3 ANÁLISIS POR BLOQUES CAJAS ESQUEMÁTICAS

9.3.1 Primera fase: agua de grifo y agua residual sintética

La distribución por bloques en los diagramas de cajas permite comparar dentro de un mismo tratamiento el volumen desplazado. Es así como en el caso del agua de grifo en la Figura 9 (a), se mantuvo una tendencia en cada uno de los intervalos de tres días, además se pudo observar que las variables evapotranspiración y temperatura tenían una relación directamente proporcional al aumento o disminución del volumen en la bureta, como sucedió del 14 al 16 de julio y del 17 al 19 de julio.

El mayor consumo se presentó el 20 de agosto. Para este día las condiciones climáticas fueron: una humedad de 67,8 %, una radiación solar de 1024 cal/cm².día, una temperatura de 24,6 °C, una presión barométrica de 637 mmHg y una evapotranspiración de 4,16 mm/día.

Si bien es cierto el volumen consumido en este día es alto en comparación con los otros valores no está asociado a las condiciones climáticas del día ya que existieron días con mayores valores, es posible que haya influido la morfología de la planta, la cual tenía un peso de 69,77 g y presentaba 6 hojas.

Para el caso del agua residual sintética en la Figura 9(b) se tiene que el comportamiento es decreciente. Pero en los últimos dos bloques, del 18 al 19 de julio y del 21 al 22 de agosto, se presentó un incremento en el volumen ya que si se observan se presentaron los valores de evapotranspiración más altos de 4,48 mm/d y 4,57 mm/d respectivamente. Así mismo se presentaron altas temperaturas y valores de humedad relativa bajos en comparación con los otros días. Esto se pudo ver influenciado por la temporada de verano, donde se realizaron los experimentos, que comprende los meses de julio y agosto. Según (Engloner, 2008) *Phragmites australis* presenta una mayor biomasa en julio, agosto y septiembre además según estudios se han observado un ligero aumento del diámetro del tallo basal de la caña de junio a agosto esto podría influir en la capacidad de la planta en incorporar el sustrato.

9.3.2 Segunda fase: ARS con Clorotalonilo y Clorotalonilo a dos concentraciones teóricas (0,29 ppm y 2,18 ppm)

En esta segunda fase de experimentación se encontró que para el agua residual sintética con clorotalonilo a una concentración de 0,29 ppm se presentaron valores donde hubo un incremento en el volumen desplazado después de los primeros días como se presentó el 12 de septiembre en la Figura 10(a).

A pesar de que las condiciones climáticas para estos días fueron muy similares y no se presentó una variación significativa en la evapotranspiración en este periodo de tiempo (ver Figura 13). El aumento en el volumen se debió posiblemente a la dinámica interna de la planta, cabe resaltar que para este tratamiento se presentaron las longitudes más altas en los diámetros como lo indica la Figura 5. Lo que indica que al tener un mayor diámetro de exposición con el contaminante se produzca una mayor capacidad de captura del sustrato. El tallo se encuentra lleno de agujeros de aire que representan entre 50-70% del volumen de toda la planta³

El 16 de septiembre se presentó un aumento en el volumen, el diagrama de cajas muestra una diferencia entre el valor más alto y el más bajo, lo que puede tratarse de una fuga en el momento de la captura de los datos y que afecta la tendencia que tiene el gráfico ver Figura 10(a). Por otro lado puede existir un estado de saturación en donde la estructura interna de la planta, que al estar expuesta a una sustancia ajena y además por el deterioro después de pasar días sin su órgano como lo es la raíz, no sea capaz de incorporarlos tomando lo necesario y expulsándolo, humedeciendo las partes externas del tallo.

En el agua residual sintética con clorotalonilo a 2,18 ppm se presenta una disminución del primer al segundo día, la tendencia se mantuvo durante los tres días de medición. Según la Figura 8 se puede apreciar que se mantuvo una tendencia constante en el consumo de este sustrato, donde los valores se encontraron en un rango de 6,9 a 10,75 mL. Además el día que se presentó el mayor consumo que corresponde al 6 de noviembre la evapotranspiración fue baja al igual que la temperatura.

Los ensayos con clorotalonilo a 0,29 y 2,18 ppm presentaron los valores con mayor desplazamiento de los sustratos utilizados en esta segunda fase. En la Figura 11 (b) se observa un aumento del segundo al tercer día el 15 y 16 de septiembre donde hubo una reducción bastante importante en la radiación pasando de 1541 a 815 cal/cm².día (ver Figura 15).

³[Online]. [Citado 10 julio 2011] Disponible en Internet http://www.life.trelaghi.it/files/spagnolo/2_componenti.pdf

El efecto de la radiación solar y la influencia de la luz sobre la planta se evidencian en la transpiración estomática que al sufrir un estado de deshidratación y esta enfría las hojas cuando el tiempo es caluroso o la luz potente, estos juegan un papel fundamental en la conservación de agua por parte de la planta (Cuevas, 2001). En este caso es posible que la acción de estos órganos sea fundamental para controlar las variaciones climáticas y permitir el consumo por parte de la planta.

Por otro lado del 7 al 8 de noviembre. En la Figura 8 (a) se muestra que se presento un consumo importante el 11 de septiembre, para este día se presento la evapotranspiración y temperatura más alta de los días de ensayo además la radiación solar fue baja esto favorece con la estabilidad del xenobiótico ya que este influye directamente con la degradación del plaguicida.

El 14 de septiembre el comportamiento de ambas concentraciones fue similar. Pero fue el 6 de noviembre se produjo un aumento significativo en el clorotalonilo 0,29ppm. A pesar de que la humedad relativa era alta de 74,7% es posible que la planta al estar sometida a una sustancia extraña su metabolismo reaccione para expulsar la sustancia.⁴

Existen organismos que al detectar una concentración de un xenobiótico producen enzimas para metabolizarlo, e incluso para eliminar metabolitos secundarios. Cuando se detecta una concentración baja, se dejan de producir enzimas y el sistema se detiene. Es así como el organismo intenta librarse del tóxico lo antes posible, aunque en ocasiones la concentración es tan elevada que a éste no le da tiempo de producir enzimas suficientes para metabolizarlo causando así un daño irreversible e incluso hasta la muerte.⁵

9.4 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE *Phragmites australis*

La manera como incidieron las variables se puede observar en la Figura 18 en donde variables como temperatura y radiación solar son directamente proporcionales a cambios en la ET. Mientras que la HR y PB actúa de manera inversa al aumento de la ET. Además la prueba de correlación de Spearman permitió ver estadísticamente, el comportamiento del volumen en relación con las variables climatológicas utilizadas en este ensayo. No se logro determinar

⁴ [Online]. [Citado 11 marzo 2011] Disponible en Internet. <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/ARCHIVOS/EVAP.htm>

⁵ [Online]. [Citado 10 marzo 2011] Disponible en Internet <http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=934>

una correlación entre las Radiación solar y el volumen consumido ya que no fue significativa (ver Tabla 14).

Un estudio realizado por Patrick, M. (2010) The World Climate Report, llamado “*hydrocycle looking better than ever*” informa que la humedad relativa es la variable más sensible. Sin embargo, no tiene un efecto muy significativo en la ET. El aumento de la temperatura con respecto a la ET es proporcional a la duración de la insolación. Además un aumento de la temperatura produce un incremento en la ET. Sin embargo, la contribución en el incremento de la temperatura a la ET se ve compensado en gran medida, por el impacto de la velocidad del viento, debido a su disminución significativa y de alta sensibilidad. En este sentido las variables son determinantes en el consumo o no de los sustratos por parte de la macrófita *Phragmites australis*, siendo estimulada en días de alta temperatura y radiación y poca humedad relativa aunque en algunos casos no se presentó esta relación, debido posiblemente a factores externos como la vitalidad de la planta, el peso y número de hojas. Los cuales ejercen una influencia en la captura de los sustratos.

En muchos casos los ambientes muy húmedos reducen la transpiración de la planta. El grado de humedad en el aire está determinado por el grado de transpiración. En un ambiente muy seco las plantas deben incrementar la transpiración por lo que absorben mucho más agua del suelo⁶.

Las imágenes en el tallo de *Phragmites australis* con los diferentes sustratos como se observa en la Figura 12 permiten observar que a pesar de que la solución de clorotalonilo y ARS con CLT eran incoloros y con poco tiempo de exposición, se produjo una coloración oscura en el xilema y en el parénquima (c), (e), (j), lo que podría indicar que al realizarse la distribución del xenobiótico a través del xilema pudo ser retenido por la estructura. Además no se presentaron daños en los órganos internos del tallo ya que se presenta un taponamiento en los haces conductores u otro.

Se puede considerar que si bien es cierto el alcance de esta investigación busca corroborar la hipótesis basada en aseveraciones de la literatura que indican que la macrófita *Phragmites australis* es capaz de acumular contaminantes e incorporarlos en su biomasa. Los cambios que origina esta planta en variables físicas como el volumen desplazado, le hacen un candidato potencial en los procesos de depuración de agua, sin embargo es necesario profundizar en la comprensión de la dinámica química que se genera con la presencia de la macrófita *P. australis* y procurar un mayor control de variables para obtener información que permitan identificar las variables clave o de

⁶ Botánica Online. <http://www.botanical-online.com/florhumedad.htm> España.

mayor incidencia en el tratamiento de cada tipo de contaminación. Este trabajo permite un acercamiento al conocimiento de los procesos más importantes que pueden facilitar el diseño y manejo de sistemas de tratamiento basados en macrófitas acuáticas y conocer la importancia de las variables climatológicas y en especial la evapotranspiración durante el proceso de producción-respiración en otros vegetales acuáticos (Zetina *et al.* 1999), sin embargo la utilidad práctica de este modelo requiere todavía el establecimiento de relaciones entre variables que influyan sobre los procesos de depuración de contaminantes.

10 CONCLUSIONES

- El nivel de estrés al que se sometió la planta y la pérdida de vitalidad durante los tres días de medición en cada uno de los tratamientos mostró una reducción evidente en su capacidad de incorporar los sustratos. Aunque en algunos casos este consumo aumentó al intervenir factores externos como la temperatura, evapotranspiración y disminución de la humedad relativa como sucedió del 21 al 22 de agosto del 2010 con el ARS.
- Para los tratamientos desarrollados en la primera fase la macrófita presenta un mayor consumo del agua de grifo en el consolidado general; mientras que en la segunda fase de experimentación se encontró que la planta tiene la mayor capacidad de incorporar el clorotalonilo bajo dos concentraciones, debido posiblemente a que al presentarse una sustancia ajena en la planta el mecanismo de defensa es acelerar la dinámica respiratoria.
- Al analizar los primeros días de experimentación las macrófitas presentaron gran vitalidad. Aquellas a las que fueron sometidas a captura de agua de grifo tuvieron un mejor comportamiento en cuanto al volumen de consumo en comparación con las que se utilizó ARS. Mientras que para el caso de ARS+CLT y CLT no mostró un comportamiento con una tendencia general.
- Al comparar el corte transversal del tallo de la *Phragmites australis* sin sustrato con los diferentes sustratos se puede observar que no se presentaron daños en los órganos internos de la planta, esto permite confirmar lo dicho en la literatura: que esta macrófita tiene la capacidad de asimilar materia orgánica y el xenobiótico clorotalonilo transportarlo por el tallo.
- Según las variables climatológicas analizadas en el periodo de experimentación se encontró:
 - Humedad relativa: en la mayoría de los casos al presentarse un incremento en el porcentaje de humedad la planta reduce su capacidad de incorporar el sustrato.
 - Radiación solar: al incrementarse el tamaño de los estomas se abren y se produce mayor expulsión de agua. Esto favorece la incorporación de los sustratos por parte de la macrófita.
 - Temperatura: un incremento en la temperatura implica un incremento en la respirometría de la planta.
 - Presión barométrica: No existió una variación en los días de ensayo y al parecer no es muy representativa en el consumo.
- La influencia de las variables climatológicas fue importante en la dinámica de captura del sustrato en la macrófita *Phragmites australis*.

Sin embargo, existen condiciones internas de la planta que aumentan o disminuyen su respirometría, asociado probablemente a cambios en su metabolismo causado por el nivel de estrés al que fueron sometidas.

- La correlación de Spearman permitió conocer el comportamiento de las variables climatológicas en donde al aumentar la temperatura y radiación solar se incrementa la ET, pero disminuye con un aumento de la humedad relativa y la presión barométrica. Un aumento en la evapotranspiración de la planta incide en el consumo de los sustratos por parte de *Phragmites australis*, aunque en algunos casos existen factores morfológicos como el tamaño de las hojas y diámetro del tallo que pueden alterar esta dinámica.
- La evapotranspiración que incluye los procesos de evaporación y transpiración fue determinante en la dinámica de captura como se observó el 11 de septiembre de 2010 donde se presentó la mayor respirometría del xenobiótico clorotalonilo.
- Si bien es cierto esta investigación mostró el comportamiento de *Phragmites australis* frente a ciertos sustratos, es importante adelantar estudios que permitan profundizar como afecta la incorporación de clorotalonilo en la matriz acuosa de la planta. Así mismo es importante conocer su comportamiento a un mayor tiempo de exposición para ver las variaciones temporales en su dinámica respiratoria.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Agudelo, R M. Peñuela, G. Jaramillo, M L. (2010).** Tratamiento de aguas residuales agrícolas contaminadas con clorpirifos utilizando humedales construidos de flujo subsuperficial. Grupo Gedecon. Universidad de Antioquia. Medellín.
- **Abhilash, P.C. Jamil, Sarah. Singh, Nandita. (2009).** Transgenic plants for enhanced biodegradation and phytoremediation of organic xenobiotics. Eco-Auditing Group, National Botanical Research Institute. India.
- **Baird, C. (2001)** Química Ambiental. 2a. Ed. Reverté, S. A. Barcelona. España. Pág. 622.
- **Barpen International S.A. Ficha técnica de seguridad clorotalonilo.** [Online]. [Citada el 17 de enero de 2011]. Disponible en internet <http://www.bam.com.co/admin_internas/fichas/BARPEN/C/CLORTOCAFF AROS.pdf>.
- **Borin, M. Milani, Mirco. Salvato, Miguel. Toscano, Attilio. (2011)** Evaluation of Phragmites australis (Cav.) Trin. evapotranspiration in Northern and Southern Italy. Ecological engineering. Vol 37. Pág. 721-728.
- **Díaz C., Abel. (2009).** Diseño estadísticos de experimentos. 2ª ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- **Dosnon Olette, M. y P. Couderchet Eullaffroy. (2009).** La fitorremediación de fungicidas por macrófitos acuáticos la toxicidad y la velocidad de eliminación. Ecotoxicol Saf Medio Ambiente 72, pp. 2096-2101.
- **Chaudhry, Q. Schröder, P. Werck-Reichhart, D. Grajek, W. Marecik, R. (2001).** Prospects and Limitations of Phytoremediation for the Removal of Persistent Pesticides in the Environment. Environmental Science and Pollution Research. Pág. 1-14.
- **Cornejo, Juan. (2001).** Dinámica de plaguicidas en ecosistemas terrestres. *Congreso Implementación del Convenio de Contaminantes Orgánicos Persistentes* Madrid, 26-27 de noviembre de 2001.
- **Correa, Paula L. (2005).** Metodología de balance hídrico y de sedimentos como herramienta de apoyo para la gestión integral del complejo lagunar del Bajo Sinú. Tesis doctoral. Universidad nacional de Colombia, sede Medellin. Pág. 13,16.
- **Cuevas, E. (2001).** Estudio de mecanismos de adaptación ecofisiológica de la Vid al déficit hídrico. Evaluación del consumo de aguas de las respuestas agronómicas en diferentes regímenes hídricos. Tesis doctoral. Universidad de Madrid. España. Pág. 4.

- **Curt, M. D., Fernández, J., De Miguel, E., De Miguel, J. (2005).** Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Encuentro Internacional sobre Fitodepuración 20 al 22 de julio de 2005, Universidad Politécnica de Madrid (España). Pág. 61-69.
- **Delgadillo, Oscar. Camacho, Alan. Pérez, Luis F. Andrade, Mauricio (2010)** Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia. Pág. 18.
- **Donson, R. Couderchet, , M. Eullaffroy, P. (2009).** Phytoremediation of fungicides by aquatic macrophytes: Toxicity and removal rate. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72 (2009). France. Pág. 2096.
- **Engloner, Attila. (2008).** Structure, growth dynamics and biomass of reed (*Phragmites australis*) – A review. Department of Plant Taxonomy and Ecology, Hungría.
- **García, María D. (1998).** Estrés Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina.
- **Gerritsen, Peter. Ortiz, Claudia. González, Rodolfo. (2009).** Usos populares, tradición y aprovechamiento del carrizo: estudio de caso en la costa sur de Jalisco. *Economía, Sociedad y territorio*, vol. IX, núm. 29. Pág. 189. México.
- **FAO (2006).** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Evapotranspiración De Cultivo. Estudio FAO Riego y drenaje No.56. Roma. [citado el 6 de abril de 2010]. Disponible en Internet <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s.pdf>>.
- _____(1997). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO Riego y drenaje No.55. Roma. [citado el 6 de abril de 2010]. Disponible en Internet <<http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.HTM>>.
- **Hidalgo, J. Montano, J. y Estrada, M. (2005).** Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. En: *Theoria* 14. Vol. 14(1): 17-25. [citado el 14 de agosto de 2010]. Disponible en Internet <<http://www.rap-al.org/index.php?seccion=4&f=toxicidad.php>>.
- **Instuto de Estudios Ambientales – IDEAM. (2005).** Atlas climatológico de Colombia. Bogotá.
- _____(2005). Calendario Metereológico. Bogotá.

- **Jaramillo R., A.(2006)** Evapotranspiración de referencia en La región Andina de Colombia. Cenicafé.
- **Lee, Byoung-Hwa. Scholz, Miklas. (2007).** what is the role of Phragmites australis in experimental constructed wetland filters treating urban runoff? Ecological Engineering. Volumen 29, Issue 1, Pag.87-95.
- **Loaiza C, A. (2005).** Lineamientos de política sobre el uso y manejo mesurado de plaguicidas en el sector agropecuario del departamento de Antioquia. Convenio interinstitucional, 23 dic., 2003, entre: Ceiba, Cornare y Dama-Antioquia. Medellín, CO. s.n.t. Pág.142
- **López, V. Juan y Freese, Bill. (2008).** Agricultura y alimentación, ¿quién se beneficia con los cultivos transgénicos? el uso creciente de plaguicidas. Amigos de la tierra. Ámsterdam. número 112. Pág. 5.
- **OMS. (2006).** Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Tercera edición. [citado el 14 de agosto de 2010]. Disponible en Internet <www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_8.pdf>.
- **Peñuela, Gustavo. Sepúlveda, Catalina. Echeverri, Juan David. Agudelo, Sergio. (2006).** Identificación de los productos de degradación del clorotalonilo por fotodegradación, hidrólisis y fentón. Gestión y Ambiente volumen 9 No 3.
- **Patrick, Michaels. (2010).** *World Climate Report (WCR)*. Hydrocycle Looking Better than Ever. Enero de 2010. [citado el 20 de junio de 2011]. Disponible en Internet <<http://www.worldclimatereport.com/index.php/2010/01/20/hydrocycle-looking-better-than-ever>>.
- **Qin, Lu. L, Zhenli. Graetz, Donald, Stofella, Peter. Yang, Xiaoe. (2008)** Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). Environmental Science and Pollution Research Volume 17, Number 1. Pág. 84-96.
- **Restrepo, Diana. Zapata, Natalia. (2006).** Simulación del movimiento del clorotalonil en la zona no saturada del suelo por medio del modelo chemflo 2000. Biblioteca Eduardo Fernández Botero. Universidad de Medellín: CD-ROM 1925 2006. Medellín, Colombia.
- **Ruiz, R., Rodríguez, J., García R., Chávez J. y Serrano M. (2006).** Determinación de la demanda química de oxígeno y su importancia en la ingeniería ambiental. Segundo foro académico nacional de Ingenierías y Arquitectura. Michoacán, México.
- **Schuster, Juan Pablo. (2003).** Evapotranspiración y temas a fines. Taller de hidráulica. Universidad Santiago De Chile. [citado el 12 de marzo de

2010]. Disponible en Internet <<http://www.scribd.com/doc/6730711/Evapotranspiracion>>.

- **Seoáñez, Mariano. (2004).** Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo. Colección ingeniería del medio ambiente. Ediciones Mundi-prensa. España. Pág. 77.
- **Srivastava, Jatin. Gupta, Amit, Chandra Harish. (2008).** Managing water quality with aquatic macrophytes. Rev Environ Sci Biotechnol (2008) 7. Pág. 255-266.
- **APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. (2005).** 20 Edition.
- **Suxia Cui, Jia Hu, Bin Yang, Lu Shi, Fang Huang, Sau-Na Tsai, Sai-Ming Ngai, Yikun He, Jianhua Zhan.** Proteomic characterization of *Phragmites communis* in ecotypes of swamp and desert dune. College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing, China.
- **Tecnologías sostenibles para potabilización y tratamiento de aguas residuales (TECSPAR) (2009).** Edición 4. [citado el 12 de marzo de 2010]. Disponible en Internet < <http://www.tecspar.org/Documentos/Revista%20Tecspar%20ed%204.pdf> >.
- **Vantage Pro 2 Console manual (2008).** Davis Instruments Corporation. USA. Pág.85-89.
- **Wenying, Yu. Guangsheng, Zhou. Daocai, Chi. Qijin, He. Zhou, Li. (2008)** Evapotranspiration of *Phragmites communis* community in Panjin wetland and its control factors. Acta ecologica Sinica Volume 28, Issue 9, China.
- **World Health Organization (WHO). (1996).** Environmental health criteria 183. Chlorothalonil. Pag. 145.
- **WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH).** Tecnología de medición en línea. Alemania. [Citado El 30 de septiembre de 2010]. Disponible en internet. <http://wtw.com/media/999039ES_Online2008_web.pdf>.
- **Zárate, F. Suárez, B. Fernández, J. Restrepo, H. Silva, J. (1997).** Prevalencia de discromatopsia adquirida y exposición a plaguicidas y a radiación ultravioleta solar. Revista Fac. Nac. Salud Pública. Vol. 15 No 1. Pág 2-3.

12 ANEXOS

Anexo A. Elusión de las muestras antes de medirlas en el cromatógrafo de gases



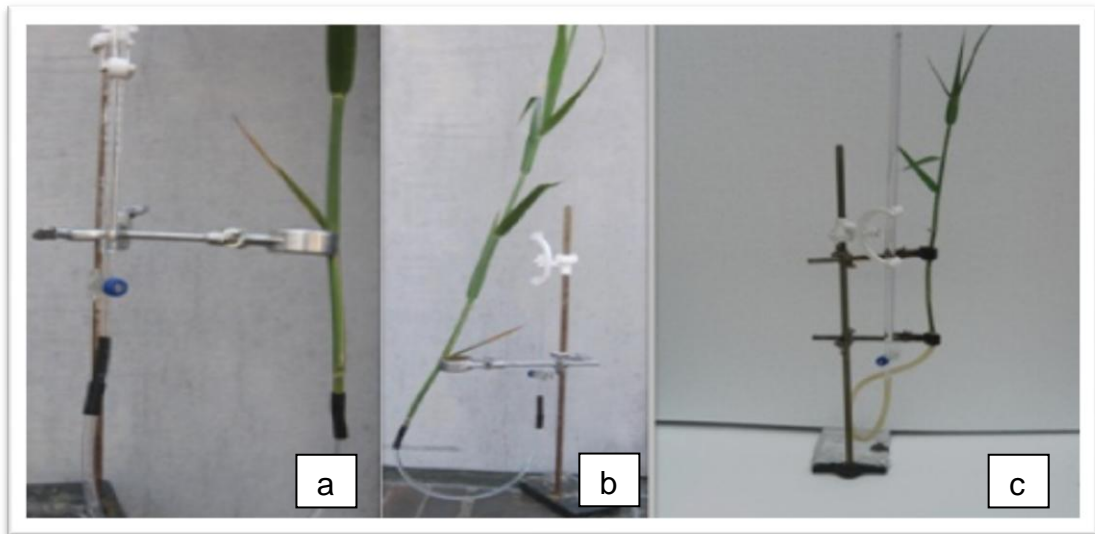
Anexo B Fotómetro Linus, Nanocolor 500 D.



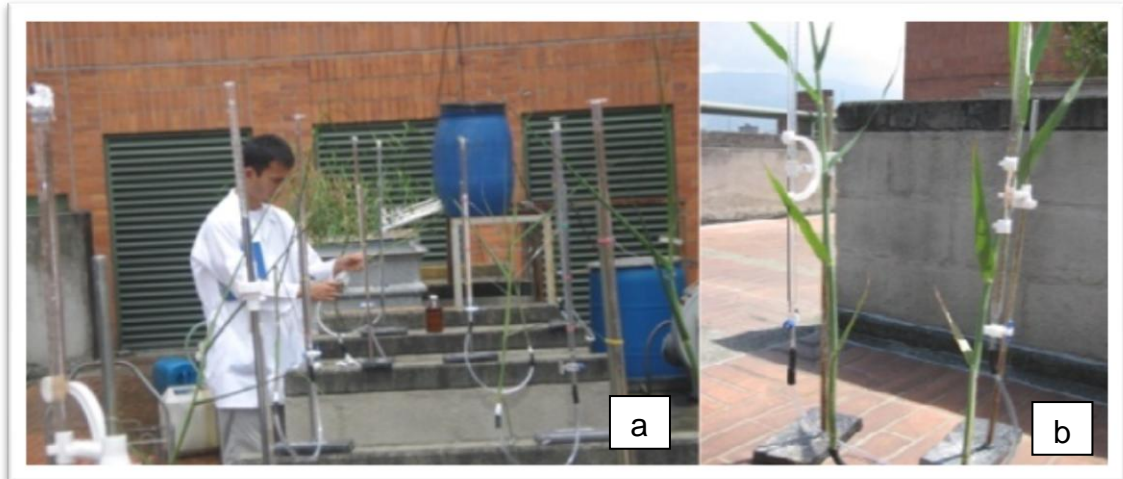
Anexo C Estación meteorológica Vantage Pro2™, ubicada en el octavo piso de la sede de investigación universitaria (SIU)



Anexo D Montaje experimental de diferentes plantas



Anexo E a) Ubicación de ensayos octavo piso de la SIU. b) Réplica de los tratamientos



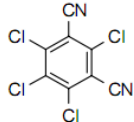
Anexo F a). *Phragmites australis* después de ser sometidas a los sustratos b). Macrófitas en agua para su posterior utilización



Anexo G. Características de *Phragmites australis* (Fuente: Gerritsen 2009)

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	
Nombre común	Carrizo, Caña borda, Cañavera	
Clasificación científica	Reino	Plantae
	División	Magnoliophyta
	Clase	Liliopsida
	Subclase	Commelinidae
	Orden	Cyperales
	Familia	Poaceae
	Género	Phragmites
Forma	Hojas verdes grisáceas, aplanadas, que se adelgazan progresivamente hacia un largo ápice. Posee un rizoma el cual es un tallo subterráneo con aspecto de raíz, de crecimiento horizontal casi siempre, que posee yemas y es capaz de generar hojas, flores y raíces.	
Tamaño	2 a 4 metros de altura	
Forma de propagación	El carrizo se multiplica por división de matas, rizomas o estolones y también por semillas.	
Temperatura	30 y 35° C	
pH	4,5 - 7,5	
Iluminación	Crece en plena luz aunque soporta sombras	

Anexo H. Ficha técnica del clorotalonilo (Fuente: Barpen International S.A)

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN										
Nombre genérico	2,4,5,6 Tetracloroisoftalonitrilo										
Nombre común	Clorotalonilo*										
Nombre comercial	Bravo, Nopocide N-96, Daconil, Chlorothalonil Technical Termil, Groutcide, Mold-Ex, Brovomil.										
Fórmula química	C ₈ Cl ₄ N ₂										
Peso molecular	265,91 g / mol										
Grupo químico	Fungicidas aromáticos - Benceno sustituido										
Formula estructural											
Temperatura de ebullición	350 °C / 760 mmHg										
Temperatura de fusión	252.1 °C										
Solubilidad a 25 °C	<table> <tr> <td>Agua</td> <td>0.81 mg/l</td> </tr> <tr> <td>Xileno</td> <td>80 g/kg</td> </tr> <tr> <td>Ciclohexanona/ dimetilformamina</td> <td>30 g/kg</td> </tr> <tr> <td>Acetona/ dimetilsulfóxido</td> <td>20 g/kg</td> </tr> <tr> <td>Kerosene</td> <td>< 10 g/kg</td> </tr> </table>	Agua	0.81 mg/l	Xileno	80 g/kg	Ciclohexanona/ dimetilformamina	30 g/kg	Acetona/ dimetilsulfóxido	20 g/kg	Kerosene	< 10 g/kg
Agua	0.81 mg/l										
Xileno	80 g/kg										
Ciclohexanona/ dimetilformamina	30 g/kg										
Acetona/ dimetilsulfóxido	20 g/kg										
Kerosene	< 10 g/kg										
Toxicidad	Alta (organismos acuáticos)										
Log Kow (octanol-agua)	2,88										
Presión vapor	2,13E ⁻⁴ (mPa)										
Vida media en el agua	49 días										
Estabilidad	Térmicamente estable en condiciones de almacenamiento normales. Químicamente estable en soluciones acuosas neutras o ácidas.										
Hidrólisis	Se hidroliza muy lentamente bajo condiciones de pH > 9. Estable pH 5 a 7										

* Daconil 720SC usado en los ensayos

Anexo I. Fórmulas para el cálculo de la evapotranspiración potencial⁷

ETc Evapotranspiración potencial (mm/día)
T: temperatura (°C) suministrada al método.

Anexo J. Datos capturados durante el periodo de ensayo

T/to	FECHA	DÍA	RÉPLICA	VOLUMEN	PESO INICIAL	PESO FINAL	# HOJAS	Ø
1*	4-jul	1	1	0,4				
1*	5-jul	2	1	0,3				
1*	6-jul	3	1	0,1				
1*	7-jul	4	1	0,3				
1*	14-jul	5	1	0,2				
1*	14-jul	5	2	0,6				
1*	15-jul	6	1	0				
1*	15-jul	6	2	0				
1*	16-jul	7	1	0,1				
1*	16-jul	7	2	0				
1*	17-jul	8	1	0,2				
1*	17-jul	8	2	0,1				
1*	18-jul	9	1	0,2				
1*	18-jul	9	2	0,1				
1*	19-jul	10	1	0,2				
1*	19-jul	10	2	0				
1*	20-ago	11	1	0,3				
1*	20-ago	11	2	0,1				
1*	21-ago	12	1	0,1				
1*	21-ago	12	2	0				
1*	22-ago	13	1	0				
1*	22-ago	13	2	0				
2*	4-jul	1	1	2				
2*	4-jul	1	2	13,5				
2*	5-jul	2	1	2,3				
2*	5-jul	2	2	10,2				
2*	6-jul	3	1	0,7				
2*	7-jul	4	1	4,5				
2*	7-jul	4	2	3,6				
2*	14-jul	5	1	7,7			6	
2*	14-jul	5	2	9,1			8	
2*	15-jul	6	2	2,9			6	
2*	16-jul	7	1	4,25			6	
2*	16-jul	7	2	2,25			8	
2*	17-jul	8	1	1,35	20,73		3	
2*	17-jul	8	2	11,75	36,39	23,99	3	
2*	18-jul	9	1	1,45	20,73		3	
2*	18-jul	9	2	1,45	36,39	23,99	3	
2*	19-jul	10	1	2,2	20,73		3	
2*	19-jul	10	2	1,5	36,39	23,99	3	
2*	20-ago	11	1	17,2	69,77	43,00	6	
2*	20-ago	11	2	16,8	54,72	33,12	4	
2*	21-ago	12	1	6,65	69,77	43,00	6	

⁷ Tomado de Correa, Paula L. (2005). Metodología de balance hídrico y de sedimentos como herramienta de apoyo para la gestión integral del complejo lagunar del Bajo Sinú. UNALMED.

T/to	FECHA	DÍA	RÉPLICA	VOLUMEN	PESO INICIAL	PESO FINAL	# HOJAS	Ø
2*	21-ago	12	2	1,35	54,72	33,12	4	
2*	22-ago	13	1	4,4	69,77	43,00	6	
2*	22-ago	13	2	3,8	54,72	33,12	4	
3*	4-jul	1	1	2,4				
3*	4-jul	1	2	1,3				
3*	5-jul	2	1	2,2				
3*	5-jul	2	2	0,8				
3*	6-jul	3	1	10,3				
3*	6-jul	3	2	2,6				
3*	7-jul	4	1	3,6				
3*	7-jul	4	2	1,4				
3*	14-jul	5	1	5,4	25,71	19,11	7	
3*	14-jul	5	2	5,5	19,38	12,82	4	
3*	15-jul	6	1	0,7	25,71	19,11	7	
3*	15-jul	6	2	0,6	19,38	12,82	4	
3*	16-jul	7	1	0,45	25,71	19,11	7	
3*	16-jul	7	2	0,05	19,38	12,82	4	
3*	17-jul	8	1	9,45	23,92	17,7	3	
3*	17-jul	8	2	5,75	26,08	18,84	4	
3*	18-jul	9	1	0,95	23,92	17,7	3	
3*	18-jul	9	2	1,95	26,08	18,84	4	
3*	19-jul	10	1	3,1	23,92	17,7	3	
3*	19-jul	10	2	0,4	26,08	18,84	4	
3*	20-ago	11	1	7,1	66,82	49,73	4	
3*	20-ago	11	2	9	53,15	24,58	3	
3*	21-ago	12	1	2,25	66,82	49,73	4	
3*	21-ago	12	2	0,75	53,15	24,58	3	
3*	22-ago	13	1	6,2	66,82	49,73	4	
3*	22-ago	13	2	3,5	53,15	24,58	3	
4ª	11-sep	14	1	6,1	72,21	62,96	4	1,59
4a	11-sep	14	2	8	64,66		2	1,59
4a	12-sep	15	1	12,3	72,21	62,96	4	1,59
4a	12-sep	15	2	10,7	64,66		2	1,59
4a	13-sep	16	1	3,1	72,21	62,96	4	1,59
4a	13-sep	16	2	4,4	64,66		2	1,59
4a	14-sep	17	2	2	59,17	48,52	4	1,34
4a	15-sep	18	1	0	44,64	45,29	5	1,59
4a	15-sep	18	2	1	59,17	48,52	4	1,34
4a	16-sep	19	1	12,9	44,64	45,29	5	1,59
4a	16-sep	19	2	3,4	59,17	48,52	4	1,34
4a	6-nov	20	1	2,8	42,35	27,66	6	1,4
4a	6-nov	20	2	10,1	48,26	30,64	4	1,2
4a	7-nov	21	1	1,9	42,35	27,66	6	1,4
4a	7-nov	21	2	5,6	48,26	30,64	4	1,2
4a	8-nov	22	1	1,5	42,35	27,66	6	1,4
4a	8-nov	22	2	2,1	48,26	30,64	4	1,2
4a	9-nov	23	1	12,8	68,02	54,84	5	1,33
4a	9-nov	23	2	11,2	53,58	34,72	8	1,04
4a	10-nov	24	1	1	68,02	54,84	5	1,33
4a	10-nov	24	2	1,1	53,58	34,72	8	1,04
4a	11-nov	25	1	1,1	68,02	54,84	5	1,33
4a	11-nov	25	2	0,3	53,58	34,72	8	1,04
4b	11-sep	14	1	4,6	28,84	19,31	2	0,86
4b	11-sep	14	2	9,2	33,9	13,66	3	0,95
4b	12-sep	15	1	5	28,84	19,31	2	0,86
4b	12-sep	15	2	2	33,9	13,66	3	0,95
4b	13-sep	16	2	2,7	33,9	13,66	3	0,95
4b	14-sep	17	1	11,8	36,36	24,82	3	1,08
4b	14-sep	17	2	7,2	36,15	24,82	4	0,99
4b	15-sep	18	1	1,8	36,36	24,82	3	1,08

T/to	FECHA	DÍA	RÉPLICA	VOLUMEN	PESO INICIAL	PESO FINAL	# HOJAS	Ø
4b	15-sep	18	2	1,3	36,15	24,82	4	0,99
4b	16-sep	19	1	1	36,36	24,82	3	1,08
4b	16-sep	19	2	2,9	36,15	24,82	4	0,99
4b	6-nov	20	1	9,7	31,78	20,13	8	1,05
4b	6-nov	20	2	11,8	84,6	52,22	4	0,7
4b	7-nov	21	1	2,4	31,78	20,13	8	1,05
4b	7-nov	21	2	3,9	84,6	52,22	4	0,7
4b	8-nov	22	1	1,3	31,78	20,13	8	1,05
4b	8-nov	22	2	2	84,6	52,22	4	0,7
4b	9-nov	23	1	12,8	40,31	29,37	7	0,93
4b	9-nov	23	2	7,2	44,99	41,75	3	1,36
4b	10-nov	24	1	1	40,31	29,37	7	0,93
4b	10-nov	24	2	0,1	44,99	41,75	3	1,36
4b	11-nov	25	1	0,6	40,31	29,37	7	0,93
4b	11-nov	25	2	0,8	44,99	41,75	3	1,36
5a	11-sep	14	1	19,9	72,32	59,17	3	1,4
5a	11-sep	14	2	12,3	44,87	36,29	3	1,02
5a	12-sep	15	1	12	72,32	59,17	3	1,4
5a	12-sep	15	2	3,1	44,87	36,29	3	1,02
5a	13-sep	16	1	8,6	72,32	59,17	3	1,4
5a	13-sep	16	2	2,3	44,87	36,29	3	1,02
5a	14-sep	17	1	12,2				
5a	14-sep	17	2	5,8	54,32	50,74	5	1,5
5a	15-sep	18	1	5,2				
5a	15-sep	18	2	6,2	54,32	50,74	5	1,5
5a	6-nov	20	1	10,4	55,63	33,23	3	1,27
5a	6-nov	20	2	17,6	49,63	32,52	4	1,14
5a	7-nov	21	1	4,5	55,63	33,23	3	1,27
5a	7-nov	21	2	9	49,63	32,52	4	1,14
5a	8-nov	22	2	1,1	49,63	32,52	4	1,14
5a	9-nov	23	1	3,8	57,64	51,66	6	1,1
5a	9-nov	23	2	5,6	34,98	35,49	4	1,07
5a	10-nov	24	1	3,4	57,64	51,66	6	1,1
5a	10-nov	24	2	0,6	34,98	35,49	4	1,07
5a	11-nov	25	1	0	57,64	51,66	6	1,1
5a	11-nov	25	2	3,3	34,98	35,49	4	1,07
5b	11-sep	14	1	19,7	52,53	41,13	4	1,34
5b	11-sep	14	2	16,6	55,33	54,32	4	1,5
5b	12-sep	15	1	14,1	52,53	41,13	4	1,34
5b	12-sep	15	2	9,8	55,33	54,32	4	1,5
5b	13-sep	16	1	5	52,53	41,13	4	1,34
5b	13-sep	16	2	5,7	55,33	54,32	4	1,5
5b	14-sep	17	1	8,9	38,54	31,89	4	1,15
5b	14-sep	17	2	9,3	41,05	27,51	5	1,21
5b	15-sep	18	1	1,5	38,54	31,89	4	1,15
5b	15-sep	18	2	2,6	41,05	27,51	5	1,21
5b	16-sep	19	1	9,6	38,54	31,89	4	1,15
5b	16-sep	19	2	4	41,05	27,51	5	1,21
5b	6-nov	20	1	6,8	63,28	38,04	4	1,38
5b	6-nov	20	2	7,7	70,76	47,35	6	1,36
5b	7-nov	21	1	3,5	63,28	38,04	4	1,38
5b	7-nov	21	2	2,5	70,76	47,35	6	1,36
5b	8-nov	22	1	5,2	63,28	38,04	4	1,38
5b	9-nov	23	1	8,8	31,89	28	6	1,04
5b	9-nov	23	2	5	35,41	32,9	6	1,0
5b	10-nov	24	1	0,3	31,89	28	6	1,04
5b	10-nov	24	2	3,2	35,41	32,9	6	1,0
5b	11-nov	25	1	1	31,89	28	6	1,04
5b	11-nov	25	2	4,2	35,41	32,9	6	1,0

Día	Hora	HR	Rn	T	PB	ET Cenicafe
1	12:00	65	1100	26	639,9	1597,09
1	12:30	64	1002	25,4	639,6	1562,62
1	13:00	62	1950	26,8	639,1	1644,23
1	13:30	57	1694	27,4	638,6	1680,50
1	14:00	60	1029	28,2	638,1	1730,11
1	14:30	77	190	23,8	638,1	1474,30
1	15:00	79	304	22,8	637,7	1421,65
1	15:30	76	246	22,9	637,8	1426,83
1	16:00	82	135	21,2	638,4	1341,30
2	11:00	71	1350	23,5	640,7	1458,30
2	11:30	66	746	24,2	640,4	1495,90
2	12:00	64	835	24,2	640,0	1495,90
2	12:30	61	879	24,5	639,7	1512,31
2	13:00	60	858	24,8	639,2	1528,90
2	13:30	61	1094	25,1	638,9	1545,67
2	14:00	58	794	25,4	638,4	1562,62
2	14:30	61	750	25,4	638,1	1562,62
2	15:00	63	521	24,9	637,6	1534,47
3	11:00	79	1431	21,4	640,2	1351,09
3	11:30	76	1481	21,7	639,7	1365,91
3	12:00	76	1306	21,9	639,4	1375,88
3	12:30	74	887	22,2	639,2	1390,97
3	13:00	72	900	23	638,6	1432,03
3	13:30	71	946	23,4	638,3	1453,01
3	14:00	69	1458	24,3	637,8	1501,35
3	14:30	64	1935	25,2	637,4	1551,30
3	15:00	61	1694	25,2	637,4	1551,30
4	11:00	72	1219	23,1	639,8	1437,25
4	11:30	67	1090	23,7	639,5	1468,95
4	12:00	64	1927	24,5	639,1	1512,31
4	12:30	63	1117	24,9	638,6	1534,47
4	13:00	61	723	25,2	638,1	1551,30
4	13:30	63	462	24,7	638,0	1523,35
4	14:00	69	344	24,1	638,1	1490,47
4	14:30	71	219	21,8	638,3	1370,88
4	15:00	77	206	21,3	638,0	1346,18
5	13:00	81	108	22,3	637,2	1396,04
5	13:30	86	190	21,7	637,1	1365,91
5	14:00	82	275	21,8	636,5	1370,88
5	14:30	74	1583	23,8	635,9	1474,30
5	15:00	66	1406	25,4	635,3	1562,62

Día	Hora	HR	Rn	T	PB	ET Cenicafe
5	15:30	61	812	26,9	635,0	1650,22
5	16:00	59	619	28,4	634,7	1742,73
5	16:30	60	517	26,9	634,7	1650,22
5	17:00	74	37	22,7	635,4	1416,49
6	11:00	87	779	18,6	640,3	1220,29
6	11:30	87	483	18,9	640,2	1233,68
6	12:00	90	402	18,8	640,1	1229,20
6	12:30	85	490	19,7	640,1	1270,10
6	13:00	89	304	18,9	639,7	1233,68
6	13:30	90	319	19	639,5	1238,17
6	14:00	88	519	19,4	639,2	1256,31
6	14:30	86	785	20,5	638,9	1307,59
6	15:00	85	550	20,8	638,6	1321,93
6	15:30	83	548	20,7	638,3	1317,13
7	11:00	85	625	20	641,6	1284,03
7	11:30	82	546	20,6	641,4	1312,35
7	12:00	81	548	20,7	641,2	1317,13
7	12:30	81	671	20,7	641,0	1317,13
7	13:00	78	769	21,7	640,4	1365,91
7	13:30	77	621	21,6	640,1	1360,95
7	14:00	77	529	21,3	639,6	1346,18
7	14:30	77	840	21,9	639,3	1375,88
7	15:00	71	1077	23	639,0	1432,03
7	15:30	70	721	23,7	638,8	1468,95
8	11:00	68	1364	23,8	641,6	1474,30
8	11:30	65	1217	24,1	641,3	1490,47
8	12:00	65	1810	25,1	640,7	1545,67
8	12:30	60	1852	25,8	640,1	1585,52
8	13:00	60	1723	26,3	639,8	1614,61
8	13:30	59	1073	26,6	639,2	1632,32
8	14:00	61	527	26,3	638,9	1614,61
8	14:30	68	390	24,8	638,3	1528,90
8	15:00	73	304	23,7	638,3	1468,95
9	10:00	78	948	21,3	642,1	1346,18
9	10:30	74	927	21,7	641,8	1365,91
9	11:00	69	1079	22,8	641,6	1421,65
9	11:30	63	990	23,8	641,2	1474,30
9	12:00	60	1394	24,7	640,9	1523,35
9	12:30	59	1464	26,1	640,3	1602,91
9	13:00	56	842	26,2	639,9	1608,75
9	13:30	60	696	25,7	639,7	1579,76

Día	Hora	HR	Rn	T	PB	ET Cenicafe
9	14:00	58	450	25,3	639,4	1556,95
9	14:30	57	481	25,7	639,2	1579,76
10	10:00	67	1464	23,7	640,1	1468,95
10	10:30	64	1631	24,8	639,9	1528,90
10	11:00	62	1731	25,3	639,5	1556,95
10	11:30	60	1919	26,4	639,2	1620,49
10	12:00	58	1998	26,9	638,5	1650,22
10	12:30	57	1933	27,2	637,8	1668,32
10	13:00	54	1933	27,8	637,5	1705,12
10	13:30	56	1287	27,7	637,1	1698,93
10	14:00	58	1121	27,8	636,9	1705,12
10	14:30	56	1685	28,3	636,8	1736,41
11	12:00	66	2133	24,4	638,8	1506,82
11	12:30	64	1983	24,7	637,9	1523,35
11	13:00	64	2087	25,4	637,5	1562,62
11	13:30	68	510	24,8	637,0	1528,90
11	14:00	69	450	24,2	636,8	1495,90
11	14:30	70	460	24,1	636,7	1490,47
11	15:00	69	627	24,6	636,4	1517,82
11	15:30	70	515	24,7	636,0	1523,35
11	16:00	70	446	24,4	635,7	1506,82
12	10:30	64	1314	24,6	639,2	1517,82
12	11:00	62	1710	25,3	639,1	1556,95
12	11:30	60	2046	25,6	638,7	1574,03
12	12:00	59	2121	26,6	638,3	1632,32
12	12:30	57	1892	27,1	637,8	1662,27
12	13:00	56	1719	27,1	637,3	1662,27
12	13:30	54	2008	28,1	636,9	1723,83
12	14:00	57	1664	27,7	636,5	1698,93
12	14:30	62	927	26,1	636,4	1602,91
13	11:30	60	1802	24,9	638,7	1534,47
13	12:00	58	1802	26,3	638,1	1614,61
13	12:30	55	1585	27	637,6	1656,23
13	13:00	56	1198	27,3	637,4	1674,40
13	13:30	58	885	26,9	637,1	1650,22
13	14:00	55	1712	27,9	636,7	1711,33
13	14:30	54	1587	28,1	636,5	1723,83
13	15:00	48	848	27,9	636,2	1711,33
13	15:30	51	775	28,3	636,0	1736,41
14	11:30	48	1837	27,2	637,1	1668,32
14	12:00	44	1867	28,5	636,5	1749,08

Día	Hora	HR	Rn	T	PB	ET Cenicafe
14	12:30	42	1962	29,2	635,9	1794,18
14	13:00	42	1087	29,9	635,4	1840,43
14	13:30	45	625	28,5	634,9	1749,08
14	14:00	46	569	28,1	634,3	1723,83
14	14:30	61	129	25,9	634,1	1591,29
14	15:00	71	37	24,3	634,4	1501,35
14	15:30	80	60	22,3	634,6	1396,04
15	11:30	60	1771	25,1	637,7	1545,67
15	12:00	55	573	25,9	637,4	1591,29
15	12:30	52	1719	26,9	636,8	1650,22
15	13:00	50	702	26,8	636,2	1644,23
15	13:30	51	465	26,5	635,9	1626,39
15	14:00	52	806	27,3	635,5	1674,40
15	14:30	52	533	26,9	635,3	1650,22
15	15:00	55	544	26,4	635,0	1620,49
15	15:30	55	477	26,2	635,0	1608,75
16	11:30	45	1721	27,4	637,1	1680,50
16	12:00	50	1148	26,5	636,5	1626,39
16	12:30	50	1781	26,3	636,3	1614,61
16	13:00	52	1967	26,1	635,7	1602,91
16	13:30	47	612	26,2	635,5	1608,75
16	14:00	50	148	25,3	635,6	1556,95
16	14:30	46	135	25,2	635,5	1551,30
16	15:00	49	179	23,1	635,3	1437,25
16	15:30	50	115	22,1	635,1	1385,92
17	11:30	58	960	25,7	638,1	1579,76
17	12:00	56	1160	25,8	637,7	1585,52
17	12:30	53	787	27	637,2	1656,23
17	13:00	58	840	26,2	636,9	1608,75
17	13:30	56	875	27	636,2	1656,23
17	14:00	54	1469	27,5	635,9	1686,62
17	14:30	53	523	27,4	635,3	1680,50
17	15:00	53	315	27,5	635,1	1686,62
17	15:30	49	173	28,3	634,7	1736,41
18	11:00	73	1271	23,4	638,0	1453,01
18	11:30	70	1110	24,3	637,7	1501,35
18	12:00	63	1873	25,3	637,0	1556,95
18	12:30	59	2010	26,3	636,5	1614,61
18	13:00	57	2006	27,2	636,4	1668,32
18	13:30	54	1894	27,8	635,7	1705,12
18	14:00	52	1683	28,2	635,3	1730,11

Día	Hora	HR	Rn	T	PB	ET Cenicafe
18	14:30	50	1560	28,7	635,0	1761,85
18	15:00	52	1375	28,6	634,5	1755,46
19	11:00	68	1262	24,6	637,3	1517,82
19	11:30	63	1517	25,4	636,9	1562,62
19	12:00	63	1035	25,4	636,4	1562,62
19	12:30	69	629	24,6	635,9	1517,82
19	13:00	78	494	22,8	635,9	1421,65
19	13:30	86	148	20,4	636,0	1302,84
19	14:00	83	708	20,7	635,4	1317,13
19	14:30	73	729	21,9	635,3	1375,88
19	15:00	73	808	22,9	635,0	1426,83
20	12:00	71	840	22,3	638,6	1396,04
20	12:30	65	923	23,2	638,2	1442,48
20	13:00	67	881	23,5	637,7	1458,30
20	13:30	65	210	24,4	637,6	1506,82
20	14:00	79	137	22,2	637,3	1390,97
20	14:30	86	381	20,5	637,1	1307,59
20	15:00	81	506	21,1	636,8	1336,43
20	15:30	82	683	21,5	636,4	1356,01
20	16:00	76	740	22,5	636,4	1406,23
21	11:00	50	1610	26,6	637,5	1632,32
21	11:30	50	1839	26,5	636,9	1626,39
21	12:00	52	456	26,6	636,4	1632,32
21	12:30	62	246	25,3	635,9	1556,95
21	13:00	62	77	24,3	635,9	1501,35
21	13:30	71	131	22,4	635,9	1401,12
21	14:00	72	65	22,9	635,9	1426,83
21	14:30	73	129	22,7	635,7	1416,49
21	15:00	70	131	22,6	635,6	1411,35
22	11:00	59	719	25,2	637,6	1551,30
22	11:30	59	2048	24,7	637,1	1523,35
22	12:00	56	796	25,4	636,5	1562,62
22	12:30	55	1004	25,7	636,1	1579,76

Día	Hora	HR	Rn	T	PB	ET Cenicafe
22	13:00	52	585	26,8	635,4	1644,23
22	13:30	54	510	25,8	635,2	1585,52
22	14:00	59	265	25	634,9	1540,06
22	14:30	64	127	23,8	635,0	1474,30
22	15:00	66	152	23,2	635,0	1442,48
23	11:00	70	606	22,6	638,3	1411,35
23	11:30	67	983	23,3	637,7	1447,74
23	12:00	66	2164	24,1	637,1	1490,47
23	12:30	66	844	23,7	636,8	1468,95
23	13:00	62	492	24,7	636,4	1523,35
23	13:30	61	1002	25,9	635,9	1591,29
23	14:00	58	1914	25,9	635,4	1591,29
23	14:30	56	817	26,3	635,0	1614,61
23	15:00	59	596	25,4	634,7	1562,62
24	11:00	58	1644	25,8	637,5	1585,52
24	11:30	57	371	25,4	636,9	1562,62
24	12:00	60	200	24,7	636,6	1523,35
24	12:30	65	437	23,4	636,2	1453,01
24	13:00	64	365	24,6	636,1	1517,82
24	13:30	73	358	22,5	635,9	1406,23
24	14:00	73	260	23,3	635,6	1447,74
24	14:30	79	212	21,6	635,6	1360,95
24	15:00	81	296	21,7	635,6	1365,91
25	10:30	71	623	23,4	639,2	1453,01
25	11:00	72	690	23,5	638,8	1458,30
25	11:30	71	1092	23,4	638,6	1453,01
25	12:00	69	471	23,7	638,3	1468,95
25	12:30	73	617	23,2	638,0	1442,48
25	13:00	73	450	23,2	637,7	1442,48
25	13:30	70	479	23,3	637,4	1447,74
25	14:00	68	465	24,6	637,2	1517,82
25	14:30	65	381	24,1	636,8	1490,47