UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.**

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Tesis Doctoral

Susana Lozita Theilig

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Madrid, 2015

**DEPARTAMENTO DE ORDENACIÓN DEL
TERRITORIO, URBANISMO Y MEDIO AMBIENTE**
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE
EL EMPLEO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS**

Tesis Doctoral

Susana Lozita Theilig

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

DIRECTOR

Aurelio Hernández Muñoz

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
Universidad Politécnica de Madrid

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Tribunal nombrado por el Mgfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día..... de.....de 2015

Presidente D. _____

Secretario D. _____

Vocal D. _____

Vocal D. _____

Vocal D. _____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día ____de_____de 2016 en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la U.P.M.

Calificación:_____

EL PRESIDENTE:

VOCAL:

VOCAL:

VOCAL:

EL SECRETARIO:

Agradecimientos

A mis padres, que me lo dieron todo. A mi esposo, Ariel, por creer en mí y acompañarme en todos los proyectos que emprendo aunque a veces parezcan imposibles. Sin él esta tesis sería solo un deseo. A mi hermano y a mis hijos por apoyarme y darme ánimo de mil y una formas.

A mi querido Don Aurelio de quien he recibido no solo apoyo, supervisión y consejos técnicos, sino el ejemplo de quien está siempre disponible para ayudar, alentar y solucionar; y todo eso con el mayor de los afectos.

A Julia, no sé si realmente es de este planeta. No hay palabras que reflejen lo que ha significado para mí en todos estos años. Gracias Julia por no rendirte y levantarme tantas veces. Es un lujo tenerte cerca.

RESUMEN

La presente investigación se presenta como una alternativa para la reducción de la contaminación por nutrientes que produce el vertido de aguas residuales provenientes de núcleos urbanos que acaban en lagos, lagunas o embalses acelerando los procesos de eutrofización de los mismos.

El objetivo de esta tesis es analizar la reducción de nutrientes, fundamentalmente nitrógeno, fósforo y potasio, del agua residual doméstica sometida a tratamiento a través de cultivos hidropónicos en un determinado periodo de tiempo, observando a su vez la evolución del cultivo seleccionado. El sistema se diseñó para funcionar en circuito cerrado con el agua residual circulando por entre las raíces de los vegetales estudiados.

El cultivo seleccionado fue el "kenaf", aunque después de mucho tiempo dedicado a la obtención de semillas de "kenaf" por diferentes proveedores, se decidió comenzar un primer ensayo utilizando plantas de aloe vera durante un periodo de un mes de verano. Se procedió a la colocación de plantas en un tubo conteniendo agua residual de una fosa séptica domiciliaria. La reducción de la DBO5 y la DQO fue notable aunque los resultados de la variación de nitratos y fosfatos no fueron concluyentes. Las altas temperaturas alcanzada en esas fechas por el agua circulante, finalmente imposibilitó la continuación del ensayo.

Si bien esta primera puesta en marcha no resultó como se esperaba, aportó numerosa información para modificar el planteo del estudio, la forma de llevarlo a cabo y la puesta a punto de la propia instalación.

El segundo ensayo se llevó a cabo en otoño con plantas de kenaf obtenidas del ensayo previo en suelo en una parcela piloto en los llanos de Villamartin, en la provincia de Cádiz.

Antes de incorporar el agua al sistema hidropónico se analizaron todos los parámetros requeridos por la normativa española del agua para determinar su clasificación como agua residual doméstica. Luego se le dio seguimiento a la variación de los nutrientes, nitrógeno, fósforo y potasio a lo largo de varias semanas para evaluar la efectividad del tratamiento. Las plantas de kenaf continuaron su desarrollo utilizando las sustancias disueltas en el agua residual como única fuente de nutrientes disponible.

ABSTRACT

This research is presented as an alternative to reduce the pollution that wastewater discharges from towns generate when they end in lakes, ponds and reservoirs, by accelerating the eutrophication processes.

The objective of this thesis is to analyze the reduction of nutrients, mainly nitrogen, phosphorus and potassium, of domestic wastewater treated through hydroponics crops in a given period of time, noting at the same time the evolution of the selected crop. The system was designed to operate in closed circuit with the wastewater circulating through the roots of the studied plants.

The selected crop was "kenaf", although after much time spent in obtaining seeds of "kenaf" by different vendors and the impossibility of achieving its germination; it was decided to start a first test using Aloe Vera plants for a period of one month in the summer. The plants were introduced in the holes of a tube containing septic wastewater. The BOD5 and COD reduction was remarkable though the results of the variation in nitrates and phosphates were inconclusive. High temperatures achieved in those dates by circulating water, eventually precluded the continuation of the test. Although this first implementation was not running as expected, it provided information to modify the proposal of the study, the way to carry it out and the development of the installation itself.

The second test was conducted in autumn with kenaf plants obtained from the previous test in a pilot plant in the flatness of Villamartin, province of Cádiz.

Before adding the water to the hydroponic system all the parameters required by the Spanish water regulations were analyzed to determine their classification as domestic waste water.

Then, the variation of nutrients, nitrogen, phosphorus and potassium was tracking over several weeks to evaluate the effectiveness of the treatment. Kenaf plants continued its development using the substances dissolved in wastewater as sole source of nutrients available

ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
1-Antecedentes.....	9
1.1-Curriculum Vitae	9
1.2-Solicitud de tesis doctoral.....	11
1.3-Objetivos Iniciales	11
2-Generalidades	13
2.1-Generalidades sobre el agua.....	13
2.1.1-El agua y sus propiedades.....	13
2.1.2-Relación porcentual de los tipos de agua en la naturaleza	13
2.1.3-Aguas Residuales Urbanas	14
2.1.4-Características típicas de las aguas residuales urbanas.....	15
2.1.5-Parámetros generales para determinar la contaminación	17
2.1.6-Contaminantes inorgánicos del agua.....	17
2.1.7-Principales organismos contaminantes del agua.....	22
2.1.8-Características de los microorganismos	24
2.2-Legislación.....	25
2.2.1-Legislación española- límite de vertidos.....	25
2.2.2-Normativa Europea y Estatal en materia de aguas continentales y vertidos de aguas residuales	27
2.3-Recuperación y reutilización del agua residual.....	31
2.3.1-Reutilización de aguas residuales regeneradas para el riego agrícola	31
2.4-La gestión del agua con el cambio climático.....	35
2.4.1-La seguridad hídrica	36
2.4.2-La dinámica cambiante para el medio ambiente.....	39
2.4.3-La dinámica cambiante de la agricultura	40
2.4.4-Cambio en las economías	43
2.4.5-Respuestas de adaptación hidrológica para el Mediterráneo	43
2.4.6-Cambios en el pensamiento acerca del almacenamiento, la transferencia y la reutilización del agua	44

2.5-Hidroponía Generalidades	47
2.6-Disponibilidad de los nutrientes (basado en estudios en suelo)	51
2.6.1-En función del pH.....	51
2.6.2-En función de la aireación de las raíces	53
2.6.3-En función de la Temperatura	54
2.6.4-En función de la Irradiación	55
2.7-Tratamiento de aguas residuales.....	57
2.8-Cultivos propuestos para ser ensayados	59
2.8.1- Aloe Vera - Generalidades	59
2.8.2-KENAF - Generalidades	64
3-Revisión Bibliográfica	95
3.1- Are Your Plants Suffocating? The Importance Of Oxygen In Hydroponics.*	95
3.2- KENAF: A MULTI-PRUPOSE CROP FOR SEVERAL INDUSTRIAL APPLICATIONS*	101
3.3- Uso De Las Fibras De Kenaf En La Construcción*	103
4-Objetivos concretos	105
4.1-Elección de cultivos para cumplir con los objetivos iniciales.....	105
4.2-Determinar la calidad del agua a ensayar.....	105
4.3-Definir el sistema hidropónico más adecuado.....	106
4.4-Analizar las variables que afectan al proceso de tratamiento.....	106
4.5-Evaluar la eliminación de nutrientes en el período de estudio	107
5-Objetivos definitivos	109
5.1-Objetivo 1.....	109
5.2-Objetivo 2.....	109
5.3-Objetivo 3.....	109
5.4-Objetivo 4.....	109
5.5-Objetivo 5.....	109
5.6-Objetivo 6.....	109
6-Descripción de la Fase Experimental	111
6.1-Metodología General	111
6.2-Selección del agua residual a utilizar en el ensayo	111
6.3-Selección de los vegetales utilizar en el ensayo	111
6.4-Clasificación de los ensayos	112

7-Ensayos	113
7.1-1ªEtapa: Ensayo con Aloe Vera en instalación hidropónica	113
7.1.1-Materiales	113
7.1.2-Eschema de la instalación.....	114
7.1.3-Metodología.....	114
7.1.4-Resultados.....	118
7.1.5-Análisis de los resultados	118
7.1.6-Conclusiones	119
7.2-2ªEtapa: Ensayo de cultivo de Kenaf en suelo de la zona	121
7.2.1- Metodología.....	121
7.2.2-Climatología de la zona.....	122
7.2.3-Suelos.....	122
7.2.4-Diseño Experimental y protocolo de cultivo.....	123
7.2.5-Comportamiento del cultivo	127
7.2.6-Resultados obtenidos.....	128
7.2.7- Análisis de la rentabilidad del cultivo	128
7.2.8-Conclusiones	130
7.3-3ªEtapa: Ensayo de plantas de kenaf en instalación hidropónica	133
7.3.1-Eschema de la instalación.....	134
7.3.2-Metodología.....	135
7.3.3-A. Con agua de fosa séptica	137
7.3.4-B. Con agua de alcantarillado	145
8-Conclusiones	155
9-Futuras investigaciones.....	159
10- Bibliografía	161
11- Anexo- Analítica	167
11.1- Agua de Fosa séptica- Ensayo Aloe	167
11.1.1-Aloe-1.....	167
11.1.2-Aloe-2.....	167
11.2-Agua de Fosa séptica- Ensayo kenaf	169
11.2.1-FS-1	169
11.2.2-FS-2	170

11.2.3-FS-3	171
11.2.4-FS-4	172
11.2.5-FS-5	173
11.3- Aguas Residuales de alcantarillado: ARs.....	174
11.3.1-AR-1.....	174
11.3.2-AR-2.....	175
11.3.3- AR-3.....	176
11.3.4-AR-4.....	177
11.3.5-AR-5.....	178

1- Antecedentes

1.1- Curriculum Vitae

Soy Susana Lozita Theilig, Ingeniera Civil, graduada en la Universidad Nacional de Córdoba, República Argentina en 1986, homologación obtenida al título de "Ingeniero de Caminos Canales y Puertos" en 1988.

Obtenido el título de "Ingeniero Europeo" por la Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ingeniería (FEANI) en el año 1996.

Suficiencia Investigadora otorgada por el departamento de Organización del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente de la ETS de Caminos, C. y Puertos de Madrid en 2001.

Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales en las especialidades de Seguridad, Higiene y Ergonomía por el colegio de Sociólogos y Politólogos de Madrid en 2005.

Auditor certificado de conexiones cruzadas y flujos de retorno. Universidad de Florida. USA, en 2009.

Auditor certificado de Sistemas de Gestión Medioambiental. Civil Engineer Corps Officers School. USA, en 2011.

Martillero y Corredor Público por la Universidad Blas Pascal. Córdoba, República Argentina en 2014.

Mi experiencia profesional comienza en Agosto de 1988, después de un periodo dedicado a la realización de cursos de postgrado en Madrid.

Desde 1988 hasta 1992 me desempeñé como encargada técnica del área de tratamiento y depuración de aguas en la empresa Bekox SA de Madrid.

Desde 1992 hasta 1993 forme parte del departamento de medio ambiente de la empresa GHESA, Ingeniería y Tecnología SA en Madrid, encargándome del área de aguas residuales.

Desde 1994 hasta 1996 realicé la investigación denominada "Eliminación de compuestos de mercurio en agua mediante foto-reducción por fotocátalisis con dióxido de titanio" en el CIEMAT, con una beca de la Fundación Caja de Madrid durante el año 1995.

Desde 1997 hasta la fecha trabajo en la División de Medio Ambiente de la Base Naval de Rota como Directora de los Programas Ambientales de Aguas Potables, Residuales y Pluviales. A lo largo de estos años he recibido y ofrecido numerosos cursos en el área del medio ambiente.

Instituciones a las que pertenezco:

- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de España, desde el año 1989.
- Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de España, desde 1990.
- Colegio de Ingenieros Civiles de Córdoba, Argentina, desde el año 1987.

Cursos de Doctorado

1989-1990

- Contaminación. Modelos de Autodepuración.
- Técnicas Químicas y Biológicas del Control de Medio Ambiente.

1990-1991

- Técnicas Avanzadas de Tratamiento de Aguas
- Transferencia de Oxígeno en Sistemas de Depuración Biológica.
- Impactos Ambientales.

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS
HIDROPÓNICOS

SUSANA LOZITA THEILIG-2015

- Técnicas Químicas y Biológicas de control de tratamiento del Medio Ambiente.
- Residuos Sólidos.

1992-1993

- Tratamiento Físico Químico de Residuos
- Mantenimiento Explotación de Estaciones Depuradoras
- Gestión Medioambiental

1.2- Solicitud de tesis doctoral

El motivo por el cual solicité este tema de tesis fue porque después de realizar mi primer curso de postgrado en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, sobre estaciones depuradoras, supe que el medio ambiente iba a ser mi futuro profesional y en particular el tratamiento de las aguas residuales, a lo que me dedicaba profesionalmente en el momento de solicitar este tema.

Por otra parte, las tecnologías de bajo coste, desde mi punto de vista, resultan muy interesantes por su aplicabilidad a países menos desarrollados donde el espacio no es limitante como sí lo son las grandes infraestructuras.

La solicitud de este tema de tesis fue aprobada en noviembre de 1991.

1.3- Objetivos Iniciales

El objetivo inicial de esta investigación es el ensayo de un cultivo que sea capaz de reducir o eliminar los nutrientes de las aguas residuales y presentar una utilidad posterior económica y medioambientalmente positiva.

2- Generalidades

2.1- Generalidades sobre el agua

2.1.1-El agua y sus propiedades

El agua constituye un elemento crucial para todos los ecosistemas, y su disponibilidad ha regido los asentamientos de las comunidades y el desarrollo y progreso de las actividades económicas del hombre. El agua es de indispensable importancia por diversas razones:

- La existencia y evolución de los ecosistemas de planta y animales.
- Es un constituyente esencial para la fotosíntesis.
- Establece un medio de nutrición para las plantas y constituye la forma de vida para diversas especies.
- Actúa como un disolvente de sustancias orgánicas e inorgánicas (disolvente universal).
- Desempeña un papel importante en el metabolismo.
- Es un componente necesario de los líquidos corporales.
- Juega un papel vital en los constituyentes de los organismos vivos.

2.1.2-Relación porcentual de los tipos de agua en la naturaleza

Tipo de Agua	% Total Agua	% Agua Dulce	% Agua disponible (dulce y deshielo)
Salada	95		
Dulce	5		
Forma de Hielo	4	80	
Líquida	1	20	
Subterránea (Dulce Líquida)	0,99	19,7	99
Lagos	0,01	0,2	1
Suelo	0,002	0,04	0,2
Ríos	0,001	0,02	0,1
Atmosfera	0,001	0,02	0,1
Biológica (cubierta vegetal)	0,0005	0,001	0,005

Tabla extraída de Wastewater Reclamation and Reuse. Donal R. Rowe et al.

Las actividades humanas modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. La regeneración de aguas residuales es por lo tanto una consecuencia inevitable.

Es un hecho que el vertido de aguas residuales sin depurar ocasiona daños, en ocasiones irreversibles, al medio ambiente. Por otro lado, el vertido de aguas residuales no tratadas supone riesgos para la salud pública. Es por esto por lo que es preciso el tratamiento de estas aguas antes de su vertido.

2.1.3-Aguas Residuales Urbanas

El Real Decreto-Ley 11/95 de 28 de Diciembre, que transpone la Directiva 91/271/CEE, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas (ARU), establece las siguientes definiciones:

Aguas residuales urbanas: las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial. Si bien tienen una elevada cantidad de microorganismos provenientes de la descomposición de

los residuos orgánicos, cada vez se usan más materiales peligrosos y tóxicos similares a los industriales en el entorno doméstico (disolventes, aceites, pinturas, ácidos, bases, tenso-activos, fitosanitarios, etc.). Las actividades urbanas vierten entre 100 y 3000 l/h d.

Las aguas residuales urbanas están formadas principalmente por:

Aguas residuales domésticas

- Aguas de cocina: sólidos, materia orgánica, grasas, sales.
- Aguas de lavadoras: detergentes, nutrientes.
- Aguas de baño: jabones, geles, champús.
- Aguas negras, procedentes del metabolismo humano: sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales, organismos patógenos.

Aguas residuales industriales

- Resultantes de actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal. Estas aguas presentan una composición muy variable dependiendo de cada tipo de industria.

Aguas de escorrentía pluvial

- En la mayoría de las ocasiones (sistemas de alcantarillados unitarios), las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema de alcantarillado que se emplea para la recogida y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales.

Las aguas de lluvia no son puras, dado que se ven afectadas por la contaminación atmosférica y por los arrastres de la suciedad depositada en viales, tejados, etc. Se caracterizan por grandes aportaciones intermitentes de caudal y por una importante contaminación en los primeros 15-30 minutos del inicio de las lluvias.

2.1.4- Características típicas de las aguas residuales urbanas

Cada agua residual es única en sus características aunque en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos.

Las aguas residuales urbanas tienen una composición típica como se muestra en la siguiente tabla:

COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (ARU)			
Parámetro	Concentración (mg/l)		
	ARU débil	ARU media	ARU fuerte
Sólidos totales	350	720	1200
- disueltos totales	250	500	850
- sólidos en suspensión	100	220	350
- sólidos sedimentables	5	10	20
DBO ₅	100	200	300
COT	80	160	290
DQO	250	500	1000
Nitrógeno total	20	40	85
- orgánico	8	15	35
- amoníaco libre	12	25	50
- nitritos	0	0	0
- nitratos	0	0	0
Fósforo total	4	8	15
- orgánico	1	3	5
- inorgánico	3	5	10
Oxígeno disuelto	0,2	0,1	0
Cloruros	30	50	100
Sulfato	20	30	50
Alcalinidad	50	100	200
Aceites y grasas	50	100	150
Coliformes totales	10 ⁶ -10 ⁷ NMP	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	< 100 µg/l	100-400	> 400

Tabla extraída de: METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales*. Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995)

2.1.5-Parámetros generales para determinar la contaminación

Un agua residual influye en el medio donde se vierte debido básicamente a cinco parámetros.

Materia oxidable, que consume oxígeno. **Sólidos en suspensión**, que dificultan la actividad biológica de los seres acuáticos y la recarga de los acuíferos. **Materias inhibidoras o tóxicas**, que inhiben, modifican o anulan la actividad biológica y/o se pueden acumular en la cadena trófica. **Nutrientes (N y P)**, que intervienen en los procesos de eutrofización. **Salinidad** que puede condicionar la transferencia de materia entre el entorno y las células. Otros como la temperatura de los vertidos y el contenido en grasas también pueden ser importantes. La presencia de ciertos componentes en el agua como el carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, y fósforo también consumen oxígeno reaccionando y formando óxidos de estos mismos elementos, dióxido de carbono, nitratos, sulfatos, bicarbonatos. Al incrementarse demasiado el consumo de oxígeno, incluso las bacterias aeróbicas son incapaces de sobrevivir, y mueren, dando paso a aquellas que sobreviven en ausencia de oxígeno llamadas anaerobias, las cuales se hacen cargo del proceso de descomposición, formando gases como CH_4 , NH_3 , H_2S , PH_3 , y otros generalmente muy olorosos.

2.1.6-Contaminantes inorgánicos del agua

La presencia de ciertos componentes en el agua como el carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, y fósforo también consumen oxígeno reaccionando y formando óxidos de estos mismos elementos, como CO_2 , SO_4^{2-} (sulfatos), HCO_3^- (bicarbonatos), H_2O , NO_3^- (nitratos), PO_4^{3-} (fosfatos).

Los nutrientes de los organismos vegetales, en general, ya sean acuáticas o terrestres requieren en particular de nitrógeno y fósforo, pero si aumenta la concentración de estos nutrientes, ello conlleva a un crecimiento excesivo de los organismos vegetales como algas sobretodo en cuerpos de agua, que absorben

el oxígeno, propiciando una situación de muerte del cuerpo de agua por eutrofización.

El nitrógeno y fósforo tienen una gran importancia en las aguas naturales y residuales, la importancia del nitrógeno va en orden decreciente de su estado de oxidación así se tiene el Nitrato (NO_3), Nitrito (NO_2), Amoniac (NH_3) y el Nitrógeno Orgánico. Todos estos compuestos de nitrógeno son interconvertibles.

En algunos estudios hechos por Stottmeister et. al., (2003) se ha visto que la forma de remover el nitrógeno debe ser en forma de nitratos (NO_3^-) y se debe emplear carbón orgánico, usando para ello, grandes extensiones de terreno. En este hábitat se encuentran varios organismos vegetales superiores, que por sí solos nos ayudan a eliminar estos excesos de nitratos, además existen también microorganismos dentro de la zona de oxidación radical, que incluso pueden transformarlos a nitrógeno atmosférico.

El fósforo también se encuentra en las aguas naturales y residuales en forma casi exclusivamente de fosfatos (PO_4^{3-}). Los fosfatos se dividen en ortofosfatos, fosfatos condensados piro, meta y otros polifosfatos y además los ligandos orgánicos. La eliminación del fósforo puede ser por vía biológica o química. El fósforo insoluble se elimina por decantación primaria la cual corresponde al 10 % del fósforo total, con una posterior decantación (secundaria) se eliminan los ortofosfatos que van de un 15% a un 20 % del fósforo total incorporados a las células de los lodos activados.

La eliminación química del fósforo comprende adicionar sales de algunos metales con el objeto de hacer que las sales se precipiten con él, y la eliminación biológica comprende el tratamiento con microorganismos aerobios y anaerobios que lo consumen como parte de su metabolismo. La descomposición anaerobia de la materia orgánica produce ácidos grasos volátiles que sirven a las bacterias defosfatantes para transformar los polifosfatos en fosfatos disueltos, posteriormente en un medio aerobio la materia orgánica se mineraliza y el fósforo es reabsorbido por células por lo que el fósforo decantable aumenta de un 5 a un 7 %. Consecuentemente en la caracterización del agua residual se tienen en cuenta todos estos parámetros.

Debido a que esta investigación se presenta como alternativa de tratamiento tanto de aguas residuales brutas como de las provenientes de un tratamiento secundario y teniendo en cuenta los parámetros que limitan los vertidos considerados en la legislación, se han seleccionado para ser evaluados los siguientes parámetros:

Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)

Mide la cantidad de oxígeno equivalente al dicromato potásico usado en la oxidación de una muestra de agua residual. Es una reacción intensa en la que se oxida la mayoría de la materia orgánica, entre el 95 y el 100% (no oxida: piridina, benceno, amonio, etc.), también oxida algunos compuestos inorgánicos como sulfuros, cianuros etc. Las unidades en que se expresa son ppm de oxígeno.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O₅)

Mide la cantidad de oxígeno consumida por las bacterias al degradar la materia orgánica. Es una oxidación más suave que la D.Q.O., solo mide los compuestos biodegradables asimilables por las bacterias). Normalmente se expresan dos valores de la misma, DDO₅ y DBO₂₁ y expresan los consumos de oxígeno a los 5 y a los 21 días.

La DBO₂₁ representa en la mayoría de los casos la DBO total o última, aún que usualmente se trabaja con la DBO₅ que representa alrededor del 70% de la DBO total, dependiendo siempre del agua analizada.

Al ser la DBO una medida del consumo de oxígeno por los organismos vivos, su metabolismo y por tanto este consumo dependerá de la temperatura y por consiguiente se deberá efectuar a temperatura controlada (20°C) y comparándolo siempre con un ensayo en blanco de referencia. Un mayor consumo de oxígeno se debe a la oxidación del nitrógeno orgánico y amoniacal (NTK), primero a nitritos y después a nitratos. Ésta se produce por bacterias específicas (nitrosomas y nitrobacter) con metabolismo más lento y más sensibles al entorno, por lo que no se manifiesta hasta la oxidación casi total de la DBO carbonosa.

Fósforo Total

Los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Los compuestos de fosforo que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento; excreciones humanas y animales; y detergentes y productos de limpieza. La carga de fosfato total se compone de ortofosfato + polifosfato + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada.

Los compuestos del fósforo (particularmente el orto-fosfato) se consideran importantes nutrientes de las plantas, y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales, pudiendo llegar a promover la eutrofización de las aguas. Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses.

Tan sólo 1 gramo de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento de hasta 100 gramos de algas. Si el crecimiento de algas es excesivo, cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición pueden dar como resultado una alta demanda de oxígeno, agotando el oxígeno presente en el agua.

Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ en aguas tranquilas. La forma asimilable del fósforo es el ion fosfato, aunque en el agua a veces se encuentran compuestos fosforados en estado coloidal o en forma de fósforo elemento.

Por último, la cantidad de fosfatos se suele indicar como mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg de P de la molécula de PO_4 por l de agua) o bien en mg/l PO_4 (mg PO_4 por l de agua). La relación entre ambos es: 1 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ = 3,06 mg/l PO_4

Nitrógeno Total:

El nitrógeno es uno de los constituyentes de la materia orgánica que forma parte de las proteínas de las células y es indispensable en el crecimiento de los organismos fotosintéticos. En la química del agua, los compuestos de nitrógeno,

NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , así como el nitrógeno orgánico, juegan un papel importante, ya que son indispensables para el desarrollo de la vida animal y vegetal en agua.

Los compuestos nitrogenados del agua provienen fundamentalmente de los compuestos orgánicos o vegetales y en aguas naturales y sin contaminar suele ser un elemento poco abundante. La mayor parte del nitrógeno es de origen atmosférico, pero asimilado gracias a las bacterias y a ciertos vegetales, los cuales transforman el nitrógeno molecular y el nitrógeno nítrico en nitrógeno orgánico.

El nitrógeno del suelo, ya sea en forma amoniacal, ya en la de nítrico o nitratos, así como el que está formando parte de los tejidos animales o vegetales, vuelve a la atmósfera por la acción de las bacterias o por la combustión de los tejidos orgánicos. El nitrógeno nítrico difícilmente se acumula en depósitos en la tierra por su extraordinaria solubilidad.

En un agua natural se pueden encontrar, además del nitrógeno molecular disuelto, los compuestos nitrogenados siguientes: amoníaco, nitritos, nitratos y moléculas orgánicas nitrogenadas, ácidos aminados, urea, hidroxilamina, amidas, derivados de la piridina, etc.

El nitrógeno orgánico se hidroliza después del vertido a nitrógeno amoniacal, éste será oxidado por nitrosomas existentes en el medio receptor a nitritos y estos rápidamente oxidados por nitrobacter a nitratos.

Nitratos

Los nitratos existentes en el agua son, habitualmente, consecuencia de una nitrificación del nitrógeno orgánico o proceden de la disolución de los terrenos atravesados por el agua. Como contaminantes debido a actividades humanas provienen de contaminación orgánica o de la contaminación por abonos químicos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) incluye a los nitratos entre los componentes del agua que pueden ser nocivos para la salud. Son peligrosos para concentraciones superiores a 50 mg/l. El efecto perjudicial de los nitratos se debe a que por acción bacteriana se reducen a nitritos en el estómago, éstos pasan a

la sangre y son responsables de la formación de metahemoglobina en sangre, que disminuye la capacidad de oxigenación.

Nitritos

Su presencia puede deberse a una oxidación incompleta del amoníaco o a la reducción de nitratos existentes en el agua. La reducción de nitratos a nitritos puede llevarse a efecto por la acción bacteriana. El agua que contenga nitritos puede considerarse sospechosa de una contaminación reciente por materias fecales.

Amonio

El amoníaco, junto con los nitritos y nitratos, es un típico indicador de contaminación del agua. La presencia de amoníaco indica una degradación incompleta de la materia orgánica. En disolución acuosa se puede comportar como una base y formarse el ion amonio, NH_4^+ . El amoníaco, a temperatura ambiente, es un gas incoloro de olor muy penetrante y nauseabundo. Se produce naturalmente por descomposición de la materia orgánica y también se fabrica industrialmente. Se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente.

El amoníaco es fácilmente biodegradable. Las plantas lo absorben con gran facilidad eliminándolo del medio, de hecho es un nutriente muy importante para su desarrollo.

Potasio Total

Aunque no aparece en las tablas precedentes como un contaminante del agua, su cuantificación se realizó por ser un nutriente esencial para el desarrollo de los cultivos.

2.1.7-Principales organismos contaminantes del agua

Las aguas residuales contienen una alta concentración de materia orgánica, se consume mucho oxígeno para degradarla y para que los organismos acuáticos

puedan sobrevivir, así como para los organismos vegetales acuáticos que requieren de cierta concentración de oxígeno para vivir.

Aunque la clasificación de los organismos está tomando otras vertientes como la filogenética molecular, la de los 5 reinos de Lamarck sigue teniendo gran validez. Los reinos son: el animal, el vegetal, el fungi (hongos), el protista (protozoarios) y el monera (bacterias). Los organismos presentes en el agua limpia pertenecen a los 5 reinos.

La alta cantidad de materia orgánica que contiene el agua residual impide que seres que requieren de oxígeno puedan sobrevivir. El agua residual alberga organismos pertenecientes al reino monera, al protista aunque se suelen encontrar plantas acuáticas, que pertenecen al reino vegetal y al animal como los nematodos.

Una comunidad de organismos vegetales microscópicos (fitoplancton) y animales microscópicos (zooplancton) que nadan o están suspendidos en el agua potable se denomina plancton, en el agua marina se observan organismos mayores.

Los organismos vegetales planctónicos (fitoplancton) aparece en forma unicelular, colonial o filamentosa, generalmente son fotosintéticas y sirven de alimento para otros organismos acuáticos como los protozoarios, los rotíferos, los cladóceros y los copépodos. Algunas especies son indicadoras de la calidad del agua ya que algunas crecen en aguas eutróficas, otras son sensibles a residuos orgánicos y/o químicos, otras producen olores y sabores molestos incluso hay algunas tóxicas que pueden matar a los animales incluido al hombre.

La importancia de los organismos, para la determinación de la calidad del agua, radica en la patogenicidad de ellos, así se tiene a nematodos patógenos, protozoarios patógenos y bacterias patógenas o indicadoras.

Algunos nematodos patógenos y algunas fases de ellos son microscópicas y tienen resistencia al cloro residual, aunque son sensibles a la temperatura, existen alrededor de 100 especies, normalmente los nematodos que parasitan a los animales son macroscópicos aunque existen algunas más pequeñas que afectan

a nivel de intestinos y sangre como los oxiuros, lombrices intestinales y las microfilarias entre otras. Los protozoarios patógenos más importantes son Giardia lamblia, Entamoeba histolytica, y Cryptosporidium, todas estas especies producen diarrea o gastroenteritis.

Los estudios para detectar y hacer recuento de microorganismos y determinar su calidad sanitaria se basan más en los microorganismos indicadores que en bacterias específicamente patógenas. El grupo de las bacterias coliformes es el principal indicador de la calidad para uso doméstico, industrial, o de otro tipo, esto se ha visto con base en la experiencia. Las pruebas para detectar microorganismos arrojan el valor de N M P (número más probable) que indica el número de organismos presentes en la muestra. Existen algunas otras pruebas para detectar estreptococos fecales que indican contaminación fecal (Manual A P H A, 1990).

2.1.8- Características de los microorganismos

Todos estos organismos presentan básicamente las mismas características, todas ellas presentan una barrera al ambiente, ya sea una membrana celular y/o pared celular y además presentan un metabolismo muy semejante.

Los procesos metabólicos se pueden reducir a los de: reproducción, obtención de energía y de eliminación de metabolitos; todas las moléculas que intervienen en el metabolismo mayormente se encuentran en estado iónico.

Las membranas, al igual que las paredes celulares de los microorganismos, se forman con proteínas. Estas proteínas se pueden desnaturalizar por métodos físicos o químicos, por lo que las estructuras de protección (membranas y paredes celulares) se pueden romper, proceso denominado lisis celular. Por otro lado, en este proceso, se liberan las sustancias que se encontraban contenidas en ellos, este tipo de sustancias como ya se ha mencionado, se encuentran en estado iónico, por lo cual al liberarse estas sustancias pueden permanecer en el medio en estado iónico, si las condiciones son apropiadas. Estas sustancias podrían estar disponibles para las raíces de los organismos vegetales, convirtiéndose en nutrientes.

2.2-Legislación

2.2.1-Legislación española- límite de vertidos

No existen unos límites fijos de vertido a cauce público, la legislación española toma como referencia para éste la tabla 3 del Real Decreto 849/1986 de 11 de abril.

Tablas de los parámetros característicos que se deben considerar, como mínimo, en la estima del tratamiento del vertido

Parámetro	Nota	Valores límites		
Unidad		Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3
pH	(A)	Comprendido entre 5,5 y 9,5		
Sólidos en suspensión (mg/l)	(B)	300	150	80
Materias sedimentables (ml/l)	(C)	2	1	0,5
Sólidos gruesos	–	Ausentes	Ausentes	Ausentes
D.B.O.5 (mg/l)	(D)	300	60	40
D.Q.O. (mg/l)	(E)	500	200	160
Temperatura (° C)	(F)	3°	3°	3°
Color	(G)	Inapreciable en disolución:		
		1/40	1/30	1/20
Aluminio (mg/l)	(H)	2	1	1
Arsénico (mg/l)	(H)	1	0,5	0,5
Bario (mg/l)	(H)	20	20	20
Boro (mg/l)	(H)	10	5	2
Cadmio (mg/l)	(H)	0,5	0,2	0,1
Cromo III ((mg/l)	(H)	4	3	2

Parámetro	Nota	Valores límites		
Unidad		Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3
Cromo VI (mg/l)	(H)	0,5	0,2	0,2
Hierro (mg/l)	(H)	10	3	2
Manganeso (mg/l)	(H)	10	3	2
Níquel (mg/l)	(H)	10	3	2
Mercurio (mg/l)	(H)	0,1	0,05	0,05
Plomo (mg/l)	(H)	0,5	0,2	0,2
Selenio (mg/l)	(H)	0,1	0,03	0,03
Estaño (mg/l)	(H)	10	10	10
Cobre (mg/l)	(H)	10	0,5	0,2
Cinc (mg/l)	(H)	20	10	3
Tóxicos metálicos	(J)	3	3	3
Cianuros (mg/l)	–	1	0,5	0,5
Cloruros (mg/l)	–	2.000	2.000	2.000
Sulfuros (mg/l)	–	2	1	1
Sulfitos (mg/l)	–	2	1	1
Sulfatos (mg/l)	–	2.000	2.000	2.000
Fluoruros (mg/l)	–	12	8	6
Fósforo total (mg/l)	(K)	20	20	10
Idem	(K)	0,5	0,5	0,5
Amoníaco (mg/l)	(L)	50	50	15
Nitrógeno nítrico (mg/l)	(L)	20	12	10
Aceites y grasas (mg/l)	–	40	25	20
Fenoles (mg/l)	(M)	1	0,5	0,5

Parámetro	Nota	Valores límites		
Unidad		Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3
Aldehidos (mg/l) .	–	2	1	1
Detergentes (mg/l)	(N)	6	3	2
Pesticidas (mg/l)	(P)	0,05	0,05	0,05

NOTAS:

General.-Cuando el caudal vertido sea superior a la décima parte del caudal mínimo circulante por el cauce receptor, las cifras de esta tabla podrán reducirse en lo necesario, en cada caso concreto, para adecuar la calidad de las aguas a los usos reales o previsibles de la corriente en la zona afectada por el vertido. Si un determinado parámetro tuviese definidos sus objetivos de calidad en el medio receptor, se admitirá que en el condicionado de las autorizaciones de vertido pueda superarse el límite fijado en esta tabla para tal parámetro, siempre que la dilución normal del efluente permita el cumplimiento de dichos objetivos de calidad.

(A) La dispersión del efluente a 50 metros del punto de vertido debe conducir a un pH comprendido entre 6,5 y 8,5.

(B) No atraviesan una membrana filtrante de 0,45 micras.

(C) Medidas en cono Imhoff en dos horas.

(D) Para afluentes industriales, con oxidabilidad muy diferente a un efluente doméstico tipo, la concentración límite se referirá al 70 por 100 de la D.B.O. total.

(E) Determinación al bicromato potásico.

(F) En ríos, el incremento de temperatura media de una sección fluvial tras la zona de dispersión no superará los 3 °C. En lagos o embalses, la temperatura del vertido no superará los 30 °C.

(G) La apreciación del color se estima sobre 10 centímetros de muestra diluida.

(H) El límite se refiere al elemento disuelto, como ion o en forma compleja.

(J) La suma de las fracciones concentración real/límite exigido relativa a los elementos tóxicos (arsénico, cadmio, cromo VI, níquel, mercurio, plomo, selenio, cobre y cinc) no superará el valor 3.

(K) Si el vertido se produce a lagos o embalses, el límite se reduce a 0,5, en previsión de brotes eutróficos.

(L) En lagos o embalses el nitrógeno total no debe superar 10 mg/l, expresado en nitrógeno.

(M) Expresado en C(6)O(14)H(6).

(N) Expresado en lauril-sulfato.

(P) Si se tratase exclusivamente de pesticidas fosforados puede admitirse un máximo de 0,1 mg/l.

2.2.2-Normativa Europea y Estatal en materia de aguas continentales y vertidos de aguas residuales

Durante la década de los años noventa se desarrollaron una serie de directivas que abarcan diferentes aspectos relacionados con la prevención de la contaminación, junto con la preservación y mejora de los recursos hídricos.

Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE y 8/15/CE). La Directiva 91/271/CEE modificada por la 98/15/CE, establece las medidas necesarias que los Estados miembros han de adoptar para garantizar que las aguas residuales urbanas reciban un tratamiento adecuado antes de su vertido. De forma resumida establece dos obligaciones claramente diferenciadas, en primer lugar las aglomeraciones urbanas deberán disponer de sistemas de colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales y, en segundo lugar, se prevén distintos tratamientos a los que deberán someterse dichas aguas antes de su vertido.

Para la determinación de dichos tratamientos se tiene en cuenta tanto la carga contaminante aportada por el vertido urbano, como las características del medio receptor donde se produce.

De acuerdo con esto, las obligaciones más importantes establecidas en esta Directiva son:

- Las aguas residuales urbanas con carga contaminante superior a 2.000 hab-eq. deberán someterse antes de su vertido a un tratamiento de depuración secundario o equivalente.
- Si los vertidos se realizan en las denominadas zonas sensibles, además del tratamiento secundario o equivalente, las aguas residuales deberán someterse a un tratamiento denominado "más riguroso" en el que se reduzca la aportación de ciertos nutrientes (nitrógeno y fósforo) que favorecen la eutrofización de las aguas de dichas zonas.

En la directiva se establecen además los criterios para determinar dicha sensibilidad junto con los requisitos que deben cumplir los vertidos de las instalaciones encargadas de la depuración de aguas residuales urbanas.

Directiva relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (91/676/CEE). Esta Directiva tiene como objetivos fundamentales la reducción de la contaminación de las aguas causada por nitratos de origen agrario y la actuación, de forma preventiva, contra nuevos

procesos contaminantes que puedan generarse en el futuro. Resulta complementaria de la 91/271/CEE en el sentido de que se ocupa de otras fuentes de contaminación, en este caso difusas, que aportan nutrientes (nitratos) a las aguas.

Esta directiva concreta los criterios para la calificación de las aguas como afectadas por dicha contaminación y la identificación de las zonas vulnerables asociadas, así como la obligación de desarrollar un control y seguimiento periódico del contenido en nitratos de las aguas, junto con el desarrollo de programas de acción destinados a la reducción de dicha contaminación en las aguas declaradas como afectadas o en riesgo de estarlo.

Se establecen así requisitos de los efluentes de tratamientos secundarios, teniendo en cuenta además el destino final de los mismos, que se detallan en las tablas siguientes:

REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MEDIANTE TRATAMIENTO SECUNDARIO ^(a)		
Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (b)
DBO ₅ (c) (a 20° C sin nitrificación)	25 mg/l O ₂	70-90 %
DQO	125 mg/l O ₂	75 %
Total sólidos en suspensión	35 mg/l (d)	90 % (d)

Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas mediante tratamiento secundario

- (a) O proceso equivalente. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.
- (b) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.
- (c) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre la DBO₅ y el parámetro sustituto.
- (d) Este requisito es optativo. Los análisis de vertidos procedentes de sistemas de depuración por lagunaje se llevarán a cabo sobre muestras filtradas; no obstante, la concentración de sólidos en suspensión en las muestras de agua sin filtrar no deberá superar los 150 mg/l

REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS REALIZADOS EN ZONAS SENSIBLES ^o *			
Parámetros	Concentración		Porcentaje mínimo de reducción (b)
	10.000 a 100.000 hab-eq	> 100.000 hab-eq	
Fósforo total	2 mg/l P	1 mg/l P	80 %
Nitrógeno total (c) (mg/l N)	15 mg/l N (d)	10 mg/l N	70-80 %

Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles

- (a) Según la situación local se podrá aplicar uno o los dos parámetros. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción
- (b) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada
- (c) Nitrógeno total equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato (NO_3) y nitrógeno en forma de nitrito (NO_2)
- (d) Estos valores de concentración constituyen medias anuales según el punto 3º del apartado A) 2 del Anexo III del RD. 509/1996. No obstante, los requisitos relativos al nitrógeno pueden comprobarse mediante medias diarias cuando se demuestre, que de conformidad con el apartado A)1 del Anexo III, se obtiene el mismo nivel de protección. En ese caso la media diaria no deberá superar los 20 mg/l de Nitrógeno total para todas las muestras, cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12 ° C. En sustitución del requisito relativo a la temperatura, se podrá aplicar una limitación del tiempo de funcionamiento que tenga en cuenta las condiciones climáticas regionales

(*) Las Zonas sensibles de las cuencas intercomunitarias fueron declaradas por la Resolución de 25/5/1998 de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas y revisadas por Resolución de 10/7/2006 de la Secretaría para el Territorio y la Biodiversidad.

2.3- Recuperación y reutilización del agua residual

Países involucrados

Existe un gran interés en la utilización de agua residual en las regiones áridas del mundo, especialmente en países como Australia, Israel, México, Arabia Saudí, Sur África y los Emiratos Árabes Unidos.

También hay mucho interés en la utilización del agua residual en países como la India, donde la conservación de sus recursos naturales (agua y nutrientes) son necesarios para promover la producción agrícola.

También hay muchos más países con regiones áridas, semiáridas y húmedas que están involucrados en la recuperación de aguas residuales y en la reutilización. Entre ellos se encuentra Canadá, Chipre, Egipto, Francia, Alemania, Indonesia, Japón, Jordania, Kuwait, México, Polonia, Portugal, Siria, y el Reino Unido.

2.3.1-Reutilización de aguas residuales regeneradas para el riego agrícola

El uso del agua residual regenerada para riego agrícola, tiene algunas ventajas y desventajas.

Las ventajas incluyen:

- Fuente de agua para riego adicional.
- Ahorro de agua de alta calidad para otros usos más beneficiosos.
- Fuente de suministro de agua a bajo costo.
- Forma económica de disponer de las aguas residuales y evitar los problemas de contaminación y sanitarios.

- Fuente de agua confiable, constante.
- Uso eficaz de los nutrientes (tales como fósforo y nitrógeno) contenidos en las aguas residuales por parte de las plantas.
- Proporcionar un tratamiento adicional de las aguas residuales antes de ser descargadas a las aguas subterráneas

Las desventajas incluyen:

- Las aguas residuales no tratadas adecuadamente pueden crear potenciales problemas de salud pública.
- Contaminación química potencial de las aguas subterráneas.
- Algunos de los componentes solubles en el agua residual puede estar presente en concentraciones tóxicas para las plantas.
- El agua residual tratada podría contener sólidos en suspensión en niveles que pueden obstruir los inyectores en el sistema de distribución de riego, así como obstruir los poros capilares en el suelo, sin embargo, estos mismos sólidos pueden proporcionar material húmico beneficioso requerido por el suelo.
- El suministro de agua residual tratada es continuo durante todo el año, mientras que la demanda de agua de riego es estacional.
- Grandes inversiones en tierras y equipos.

Directrices y criterios han sido desarrollados para el uso de aguas residuales regeneradas para el riego agrícola y generalmente se basan en los siguientes parámetros:

- Para los trabajadores del campo y de la salud pública, el agua recuperada no debe suponer ningún riesgo bacteriológico ni virológico.

- La salinidad (sólidos totales disueltos o TDS) debe ser lo suficientemente baja para mantener la presión osmótica favorable para que las plantas absorban el agua.
- Ciertos iones que componen los TDS, como el boro, cloruros y sodio no deben ser de niveles dañinos a los cultivos, y el sodio no debe estar presente a niveles perjudiciales para los suelos.
- Niveles de trazas de ciertos metales y compuestos orgánicos sintéticos deben ser controlados de tal manera que el crecimiento del cultivo no se vea afectado de manera adversa.
- Las concentraciones de otros metales pesados, como el molibdeno y posiblemente el cadmio, no deben ser lo suficientemente altas en las plantas, ya que son tóxicos para los animales que se comen las plantas (que a su vez podrían verse afectados por dichas sustancias).
- Los sólidos en suspensión, precipitados químicos, y el crecimiento de algas deben ser controlados para evitar la obstrucción de las boquillas de pulverización y aplicaciones por goteo de las de unidades de riego.

2.4- La gestión del agua con el cambio climático

Los problemas planteados por el calentamiento global y los cambios climáticos asociados al mismo se comprenden con creciente claridad, y existe un mayor consenso sobre su magnitud probable. Ya no son simples amenazas potenciales sino realidades inevitables de acuerdo al último Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático. Este informe manifiesta claramente que una vez que el clima comience a cambiar, los recursos hídricos serán uno de los sectores más afectados. Los mayores impactos se darán en el ciclo hidrológico y en los sistemas de gestión del agua y, a través de los mismos, en los sistemas socioeconómicos.

Es importante que se preste la misma atención a la lucha con los efectos de un clima que está cambiando rápidamente (**adaptación**) que a las medidas para hacer frente a los factores generadores de dicho cambio (**mitigación**).

Algunos de los efectos simplemente reflejarán el rol del agua en la vida. Por ende, la agricultura de secano deberá adaptarse a los nuevos patrones de precipitación, los sistemas de atención a la salud tendrán que enfrentar variaciones en la incidencia de las enfermedades y deberán modificarse las infraestructuras, incluyendo los caminos, los edificios y la estructura misma de los asentamientos humanos para adaptarse a los cambios en los patrones de precipitación y de los caudales de los ríos. Los cambios en el clima se amplificarán en el entorno del agua.

El pronóstico generalizado indica que una alteración de tan solo unos pocos grados centígrados podría aumentar el promedio del caudal de los ríos y la disponibilidad de agua entre un 10 a un 40 % en algunas regiones y reducirlas entre un 10 y un 30% en otras. Este efecto multiplicador (pequeños cambios de temperatura producen grandes cambios en los caudales de los ríos) podrían tener un impacto mayor en los suministros de agua destinados a las comunidades urbanas cada vez más numerosas, como así también en otros tipos de infraestructura que se construyen para cubrir sus necesidades de albergue y transporte.

Esto puede hacer que muchas industrias y gran parte de la agricultura que abastecen y alimentan a dichas comunidades queden muy vulnerables, incluso insostenibles. Asimismo se prevé que el clima mundial estará caracterizado por inundaciones y períodos de sequía cada vez mayores y más intensos. Si bien los efectos del cambio climático se amplifican en el entorno del agua, también existen peligros que van más allá del sector hídrico. Si no se comprende la interacción entre el cambio climático y el entorno del agua, las estrategias en otros sectores para abordar el cambio climático no harán más que agravar los problemas y aumentar la vulnerabilidad de las comunidades y sus entornos ante las calamidades naturales y aquellas provocadas por el hombre.

Por otro lado, los esfuerzos para resolver los problemas hídricos que no tienen en cuenta el cambio climático pueden agravar sus efectos negativos.

El agua, por lo tanto, será el aspecto central de los riesgos y las respuestas inherentes a la adaptación al cambio climático. Esto no quiere decir que la gestión del agua contenga todas las respuestas; las mismas serán requeridas en muchos otros sectores. El agua es una parte importante del problema, y a su vez una parte importante de la solución.

2.4.1-La seguridad hídrica

Tomando a Grey y Sadoff (2007), se puede definir la seguridad hídrica como “La provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua”.

Para alcanzar la seguridad hídrica, será necesario invertir tanto en infraestructuras para almacenar y transportar el agua y tratar y reutilizar las aguas residuales, como en instituciones sólidas y en la información y herramientas necesarias para predecir, planificar y enfrentar la variabilidad climática.

Muchas sociedades querrán ir más allá de la seguridad hídrica para sacar un mayor provecho de los beneficios económicos, sociales y ambientales que puedan

proporcionar un uso más sabio del agua. Lograr y sostener la seguridad hídrica frente al cambio climático, e ir más allá de ella para aumentar la contribución del agua al bienestar socio económico constituyen los desafíos centrales de la adaptación.

Allí donde no se haya alcanzado la seguridad hídrica el cambio climático hará que el desafío de lograrla sea aún mayor.

A medida que las inundaciones y las sequías se vuelvan más extremas y más difíciles de predecir y abordar, el cambio climático dificultará aún más el logro de una seguridad hídrica.

Allí donde se ha alcanzado la seguridad hídrica, el cambio climático podría socavarla aumentando o modificando los riesgos.

En muchos países, las comunidades agrícolas han encontrado un equilibrio entre la provisión y las limitaciones de sus recursos naturales y, aprovechando las oportunidades que permiten acceder a un mundo más amplio, han alcanzado medios de vida más razonables.

Los suministros de agua en muchos países se basan en la suposición de que las presas de las cuales se toma el agua proporcionarán un cierto rendimiento. Si la precipitación del medio declina o las sequías duran más tiempo de lo esperado, dichas suposiciones ya no serán válidas y los suministros domésticos podrían estar en peligro. Los agricultores y otros grandes usuarios del agua enfrentan amenazas similares.

Alcanzar y sostener la seguridad hídrica teniendo como trasfondo el cambio climático constituye el desafío inmediato de la adaptación.

Invertir en la seguridad hídrica

Las medidas para implementar una sólida gestión de recursos hídricos son por naturaleza medidas de adaptación. Una mejor gestión significa una mayor capacidad de recuperación en el presente y una adaptación más eficaz en el futuro. Las medidas deberán estar basadas en información fidedigna, la ciencia y

las mejores prácticas tanto en el campo del agua como en el campo de la climatología

El arte de la adaptación en la gestión del agua radicará en lograr la correcta combinación de información, instituciones e infraestructura para alcanzar el deseo de equilibrio de economía, entorno ambiental y equidad.

La ciencia

A nivel mundial, se espera que los efectos negativos del cambio climático futuro en los sistemas de agua dulce superen los beneficios. Las simulaciones de los modelos climáticos para el siglo XXI coinciden en la proyección de aumentos en la precipitación en latitudes elevadas (muy probables) y en algunos lugares de los trópicos, y disminuciones en algunas regiones subtropicales y latitudes medias más bajas (probable).

Se estima que una mayor intensidad y variabilidad de la precipitación aumentara los riesgos de inundaciones y sequías en muchas áreas. La vegetación sufrirá alteraciones como resultado de los cambios en la temperatura, la precipitación y la concentración de CO₂.

Un efecto del aumento de la temperatura es el aumento de los índices de evaporación. Dado que el equilibrio entre la evaporación y la precipitación determina si un clima es húmedo o árido, la aridez tendera a aumentar allí donde el aumento de la temperatura no este correspondido por mayor precipitación. Los cambios de aridez tendrán un efecto sustancial tanto en las escorrentías de agua superficial como en la recarga de agua subterránea.

Calidad del agua

La capacidad de los recursos de agua superficial para recibir, diluir y eliminar los desechos humanos depende de los volúmenes de agua que fluyan dentro de los mismos. Toda reducción en el caudal de los ríos disminuirá su capacidad para diluir los desechos, y se requerirán mayores inversiones para alcanzar los mismos niveles de protección ambiental o para el tratamiento de las aguas residuales para su reutilización.

La intrusión del agua de mar en los sistemas de agua dulce costeros es otra consecuencia posible del cambio climático.

Derretimiento de los glaciares y de la nieve

La reducción de los glaciares y el volumen de agua almacenada en los campos de nieve constituyen uno de los impactos más tempranos del cambio climático en los recursos hídricos. Hasta hace poco tiempo, el rol de los campos de nieve y de los glaciares de atenuar la variabilidad de las precipitaciones no se reconocía ampliamente. Sin embargo, esto ha cambiado debido al cambio climático.

Estas áreas actúan como grandes reservorios naturales, recolectando y acumulando agua en forma de nieve durante el invierno y liberándola gradualmente en forma de agua de deshielo en el verano. El derretimiento de la nieve y de los glaciares, primero aumentará y luego disminuirá los caudales de los ríos durante el transcurso de algunas décadas, provocando primero inundaciones y luego sequías. Es probable que exista también una considerable erosión de las superficies terrestres que quedan expuestas, lo cual afectará la calidad del agua.

El suministro de agua de la sexta parte de la población mundial depende del derretimiento de la nieve y de los glaciares, y son aún más las personas que dependen de ríos de deshielos para consumo y para agricultura.

2.4.2-La dinámica cambiante para el medio ambiente

El cambio climático pone en tela de juicio alguna de las suposiciones básicas detrás de los enfoques actuales de gestión y protección ambiental que buscan sostener los ecosistemas existentes minimizando la interferencia humana, dado que aún sin dicha interferencia, el cambio climático afectará los ecosistemas indefectiblemente. Por lo tanto, el estado final del medio ambiente se convierte claramente tanto en una cuestión de diseño humano como en un resultado de procesos naturales.

2.4.3-La dinámica cambiante de la agricultura

La agricultura es el sector de la economía que, en la mayoría de los países, utiliza la proporción más grande de agua de ríos y de fuentes subterráneas, además del cultivo de secano que utiliza el agua de lluvia directamente. En los países más pobres, este sector normalmente genera la mayor proporción de empleo. El cambio climático afectará la agricultura de muchas maneras diferentes.

Otras respuestas al cambio climático incluyen la **selección de cultivos y variedades de semillas más apropiadas a las nuevas condiciones**. Una vez más, los grandes agricultores comerciales tienen mayor capacidad para tomar medidas de adaptación. La capacidad de respuesta de los agricultores y las comunidades más pobres es mucho más limitada. Las variedades tradicionales de semillas, incluso en los lugares donde han sido conservadas pueden ya no ser apropiadas en sus áreas originales. Y en muchos casos, la investigación agrícola, los servicios de extensión que deberían guiar el proceso de identificación de opciones y de apoyo a los agricultores para adoptarlas, han disminuido drásticamente.

El riego, ya sea obtenido en forma directa de los ríos o del agua almacenada naturalmente, debajo de la tierra o artificialmente en los embalses construidos por el hombre, parece ser más confiable que las precipitaciones, pero dicha confiabilidad puede ser engañosa. Cuando el agua se toma directamente de los ríos, el riesgo queda expuesto a la sequía grave. Cuando el riego se obtiene de los embalses de almacenamiento, por lo general es posible dar una alerta sobre un posible déficit, pero cuando el control de la gestión es débil, los agricultores no pueden depender de tales sistemas de alertas tempranas.

La agricultura del regadío es crucial para la producción mundial de alimentos. La FAO predice que su importancia aumentará. Se espera que los países en desarrollo expandan sus áreas de regadío en aproximadamente un 20% antes de 2030. En la actualidad el 40% de la producción de cultivo proviene del 16% de las tierras agrícolas de regadío. A nivel mundial, la superficie bajo riego ha crecido a un ritmo constante-alrededor de un 5% cada 10 años.

Impacto del cambio climático en la agricultura

- Incremento de temperatura: puede reducir la polinización
- Incremento de CO₂: Tiene efectos fertilizantes, aumentando la producción de los cultivos, pastos y especialmente árboles
- Incremento de plagas y enfermedades: Mayores periodos de crecimiento incrementarán su presencia de plagas dañinas
- Incremento de la demanda de agua: Se incrementa la evapotranspiración, elevan las necesidades de los cultivos y del ganado
- Cambios en la viabilidad de los cultivos: Cambios en la temperatura y la lluvia **requerirán el uso de otras variedades o cambiar los patrones de cultivo**
- Ecosistemas de escalonado vertical: En algunos de estos ecosistemas la temperatura ha aumentado en lugar de bajar 1° cada 100m
- Cambios en el calendario estacional: Las estaciones húmedas pueden afectar al rendimiento de los cultivos y la demanda de riego positiva o negativa dependerá del calendario del cultivo
- Episodios de climatológicos extremos: Cada vez más frecuentes
- Aumento del nivel del mar y de la intrusión marina: El incremento en el nivel del mar puede causar impactos catastróficos en los deltas y áreas costeras.
- Impacto en pesca: Afecta el metabolismo, el crecimiento y la distribución de los organismos acuáticos

Si bien la agricultura no es el principal generador de gases efecto invernadero si es el sector que más sufrirá los efectos del cambio climático. Solamente ante un cambio de escenario basado en la mitigación y la adaptación, podrán evitarse los impactos negativos en los rendimientos de los cultivos.

El agua es escasa y necesita ser manejada con cuidado especialmente en áreas vulnerables. Cada vez es más difícil encontrar el equilibrio entre las necesidades

humanas, la agricultura y la naturaleza. El balance tiene lugar particularmente no solo a niveles locales y regionales, sino que a través de cadenas globales de alimentación los países desarrollados también contribuyen a la escasez de agua en los alrededores de la zona de origen de la producción, en los países en desarrollo. La agricultura además contribuye al cambio climático con metano y emisiones de óxidos nitrosos, así como CO₂ particularmente en el caso de la deforestación.

La liberalización de la agricultura implicará un mayor uso de tierra a corto plazo produciendo un gran impacto en los pequeños agricultores en países en desarrollo. Debido a que el precio de la tierra es menor en estos países, se aumentará el uso en ellos para proveer a los países desarrollados donde la tierra es más cara, lo que llevará a reducir más aun la sostenibilidad de los ecosistemas que aún existen en estos países. El aumento de la producción en agricultura no debe ser a expensas de perder más naturaleza.

La necesidad de aumentar las áreas de cultivo debido a los menores rendimientos que provocará el cambio climático, someterá a más presión a los ecosistemas ya afectados por el exceso de fósforo y el nitrógeno proveniente del uso de fertilizantes, pudiendo llevar a la eutrofización del agua superficial y a la contaminación de las aguas subterránea.

Menos problemas surgirían si los agricultores usaran los fertilizantes de un modo más eficiente. En los últimos 25 años USA ha incrementado la eficiencia en el Nitrógeno en un 36%, planificando apropiadamente las aplicaciones para el cultivo y el suelo.

Otras estrategias para mejorar las eficiencias son: el uso especialmente de variedades de semillas desarrolladas, plantar cultivos de cobertura, reducir el laboreo para evitar lixiviados, evaporación y erosión, cerrando el ciclo de los nutrientes aplicando residuos humanos o de ganado. *Existen oportunidades para los agricultores reutilizando el agua residual de las ciudades y residuos de la cría intensiva de ganado.*

El manejo de los nutrientes puede entrar en "urgencia" si el suministro global de fósforo se acaba. La mayoría de las tierras del mundo no tienen adecuada

cantidad de fosfato, por lo que la demanda de fosfato como fertilizante se ha incrementado. Los científicos estiman que la reserva remanente durará entre 60 y 130 años.

Para proveer los alimentos suficientes los gobiernos deberán “Repensar la agricultura”

2.4.4-Cambio en las economías

Las mejoras de la gestión hídrica en la agricultura puedan depender significativamente de los términos de intercambio para los productos agrícolas. A menos que los agricultores obtengan una ganancia adecuada por sus cultivos no podrán costear las inversiones en la eficiencia hídrica que les permita afrontar una reducción del agua disponible.

2.4.5-Respuestas de adaptación hidrológica para el Mediterráneo

Todos los análisis coinciden que cuando se aborda el problema de la escasez de agua debería darse prioridad a la gestión de la demanda antes que al mayor suministro, fundamentalmente introduciendo tecnologías nuevas y más eficaces, ajustando los precios, e informando, educando y **promoviendo sistemáticamente una cultura de conservación** ante la decreciente disponibilidad de agua en la región.

Soluciones técnicas

Las medidas de eficiencia y conservación del agua son de extrema importancia para la protección de los recursos de aguas subterráneas. Las medidas correspondientes en este caso deberían estar estrechamente relacionadas con medidas legales y socioeconómicas. Las mismas incluyen desde dispositivos ahorradores de agua, reducción de fugas en las redes de distribución, **riego por**

goteo en la agricultura y técnicas de producción y reciclaje más limpias en la industria y en los sectores de energía.

Las medidas del lado de la oferta también son necesarias para satisfacer la creciente demanda de la población y de los diferentes sectores económicos. Estas medidas ya se están aplicando ampliamente e incluyen el desarrollo de recursos hídricos no convencionales, como la cosecha de agua de lluvia, **la reutilización del agua residual tratada**, técnicas de desalinización así como sistemas de recolección y almacenamiento de agua a pequeña y mediana escala, grandes presas, sistemas de drenaje sostenible, trasvases entre cuencas y la recarga artificial de agua subterránea.

Muchas veces, fuentes de agua aparentemente distintas se relacionan entre sí a través del ciclo del agua. Las plantaciones forestales en las laderas de las montañas pueden agotar el agua subterránea de los valles; la excesiva extracción por bombeo de aguas subterránea en un área puede secar arroyos cercanos; la explotación de un río con el fin de obtener energía hidroeléctrica puede perjudicar a las poblaciones ictícolas y afectar el medio de vida de los pescadores en los estuarios aguas abajo.

Por lo tanto es necesario que exista una adecuada gestión de los recursos hídricos y **que el agua se utilice y reutilice** de un modo que refleje su variabilidad, incertidumbre, escasez y abundancia, como la interconexión entre los usuarios en distintos niveles: local, regional y global.

2.4.6-Cambios en el pensamiento acerca del almacenamiento, la transferencia y la reutilización del agua

El cambio climático no sólo influirá sobre el volumen adecuado de agua a ser almacenada, sino también sobre el tipo de almacenamiento más apropiado: natural, artificial, pequeño o grande. Además se pueden construir mecanismos virtuales y financieros para almacenar los beneficios del agua. Las reservas estratégicas de grano pueden considerarse almacenamiento de agua virtual

acumulada durante años con niveles altos de producción y redistribuida durante periodos de poca producción. Del mismo modo, los planes de seguro para el cultivo y el clima pueden verse como mecanismos de almacenamiento financiero. Las ventajas y desventajas comparativas de los diferentes tipos de almacenamiento cambiarán junto con el clima.

Cuando la variabilidad y la presión sobre los recursos hídricos aumentan, la posibilidad de transferir agua de una cuenca a otra puede resultar atractiva, en especial en lugares donde las demandas de las áreas urbanas y los sectores económicos importantes están creciendo rápidamente.

En otros casos la alternativa racional podría ser la **reutilización de las aguas residuales** que podría cobrar mayor importancia.

En este contexto es necesario revisar y evaluar toda la variedad de opciones.

Algunas opciones que en otros tiempos fueron innecesarias o poco deseables podrían convertirse en buenas opciones en poco tiempo. Las que fueron buenas opciones en el pasado podrían no serlo en el futuro.

2.5- Hidroponía Generalidades

En los últimos cuarenta años, el hombre se ha visto afectado por una serie de problemáticas ambientales. Contaminación del aire y del agua, excesiva producción de desechos y disminución de la biósfera, entre otros, pero es la erosión de gran parte de los suelos fértiles del planeta la que ha creado unas de las necesidades más urgentes de la sociedad moderna: incrementar la producción de alimento y la adopción de técnicas de cultivo en donde el suelo fértil ya no sea necesario.

La situación actual del planeta y de la sociedad exigen ser examinadas con detenimiento: se cuenta actualmente en el mundo con sólo un 12% de disponibilidad de suelos para el cultivo de alimentos (Banco Mundial, 2013), existe un vertiginoso aumento demográfico y los índices de desplazamiento y pobreza son cada vez mayores. Dichas condiciones han dado origen a una nueva era, en la cual el ser humano deberá adaptarse para sobrevivir y prosperar.

Si la sociedad actual desea superar dichos retos, deberá como primera medida implementar técnicas para la producción de alimentos que sean eficientes y que no se vean afectadas por la infertilidad de los suelos; existe una necesidad apremiante de dar un paso hacia la innovación y desarrollar de lleno nuevas técnicas en la agricultura.

La Hidroponía se presenta como una alternativa idónea, la cual cumple con los requisitos para suplir gran parte de las necesidades de un mundo en crisis. La palabra hidroponía tiene dos raíces, "hydros" que significa agua y "ponos" que significa cultivo, esto es cultivo de organismos vegetales en agua, en ausencia de suelo.

Estos cultivos se conocen desde la antigüedad, los jardines colgantes de Babilonia, y los de la China imperial, son ejemplos de cultivos hidropónicos, inclusive se conocen algunos jeroglíficos egipcios, que describen el proceso de cultivo de organismos vegetales en agua. En 1699 J. Woodward cultivó organismos vegetales en agua conteniendo diversos tipos de suelo, de aquí concluyó que el crecimiento de los organismos vegetales se debía a la combinación de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo. Sads y Knop, llegaron a demostrar que se podía lograr un crecimiento normal de los organismos vegetales sumergiendo las raíces en una solución acuosa que contuviera los elementos necesarios para su crecimiento

Los investigadores en fisiología vegetal descubrieron en el siglo XIX que las plantas absorben los minerales esenciales por medio de iones inorgánicos disueltos en el agua. En condiciones naturales, el suelo actúa como reserva de nutrientes minerales, pero el suelo en sí no es esencial para que la planta crezca. Cuando los nutrientes minerales de la tierra se disuelven en agua, las raíces de la planta son capaces de absorberlos. Cuando los nutrientes minerales son introducidos dentro del suministro de agua de la planta, ya no se requiere el suelo para que la planta prospere. Actualmente, esta actividad está alcanzando un gran auge en los países donde las condiciones para la agricultura resultan adversas.

La hidroponía o cultivo sin suelo ha conseguido estándares comerciales, y que algunos alimentos, plantas ornamentales y jóvenes plantas de tabaco se cultiven de esta manera por diversas razones que tienen que ver con la falta de suelos adecuados; por suelos contaminados por microorganismos que producen enfermedades a las plantas o por usar aguas subterráneas que degradaron la calidad de esos suelos.

La clasificación de los cultivos hidropónicos ha evolucionado más recientemente hacia formas abiertas o cerradas, dependiendo de si vuelcan el efluente o reutilizan la solución nutritiva como forma de protección ambiental y una mayor economía en su utilización.

Uno de los primeros éxitos de la hidroponía ocurrió durante la Segunda Guerra Mundial cuando las tropas estadounidenses que estaban en el Pacífico, pusieron en práctica métodos hidropónicos a gran escala para proveer de verduras frescas a las tropas en guerra con Japón, en islas donde no había suelo disponible y era extremadamente caro transportarlas. Ya en los años 80 varias compañías empezaron a comercializar sistemas hidropónicos.

Esta técnica de cultivo sin suelo evita los impedimentos o limitaciones que representa el suelo en la agricultura convencional, mediante el uso de sustratos. Se denomina sustrato a todo material sólido distinto a la tierra que se usa para la siembra en hidroponía como soporte para la planta y no para su alimentación.

El uso de sustratos permite un control total sobre factores que afectan el desarrollo de la planta, como humedad, oxigenación y nutrición. Son cultivos sin suelo, en lo que respecta a no contener suelo natural. Perlita agrícola, piedra pómez, fibras de coco, turba o lana de roca, son sustratos de gran uso en lo que se denominan cultivos hidropónicos.

La denominación equivalente o más utilizada pasa a ser cultivos sin suelo CSS (soilless) pues el medio de sostén de las plantas pasó a ser una sustancia inorgánica como la perlita u

orgánica como turbas o ciertos desechos agrícolas como cáscaras de frutos (arroz, almendras, etc.)

Los sistemas hidropónicos fueron desde un principio "abiertos" al no considerarse el impacto ambiental que tendría el volcado de los efluentes tras su uso.

Al tener en cuenta la economía y el posible impacto ambiental se desarrollaron los sistemas cerrados o con recirculación. El manejo de estos nuevos sistemas requiere una tecnología más compleja.

Las técnicas de cultivo sin suelo (CSS) son utilizadas a gran escala en los circuitos comerciales de producción de plantas de tabaco, (floating) eliminando así las almácigas en suelo que precisan bromuro de metilo para desinfectar el suelo de malezas, patógenos e insectos. También en Holanda y otros países con alto grado de desarrollo en cultivos intensivos, las técnicas de CSS han avanzado, desarrollando industrias conexas y numerosas tecnologías relacionadas con el desarrollo de nuevos medios de cultivo como la perlita, la lana de roca, la fibra de coco o cocopeat, la cascarilla de arroz tostada y otros medios apropiados.

Es importante distinguir entre hidroponía y cultivos sin suelo, "cultivos sin suelo" es un término más amplio que hidroponía; tan solo requiere que no haya suelos con arcilla o cieno. La arena es un tipo de suelo, aunque es considerado cultivo sin suelo. La hidroponía es siempre un cultivo sin suelo agrícola, pero no todos los cultivos sin suelo son hidropónicos.

Cultivo sin suelo. Plantas de tomate creciendo sobre piedra pómez.

Esquema de un cultivo hidropónico cerrado con recirculación

Un sistema hidropónico básico consiste en una fuente de agua que es impulsada por bombeo a través del sistema, recipientes con soluciones madre (nutrientes concentrados, cabezales de riego y canales construidos donde están los sustratos, las plantas, los conductos para aplicación del fertirriego y el receptor del efluente.

En cultivos comerciales debido a su superficie, se hace obligatorio seguir normas ambientales amigables y emplear métodos de recirculación de las soluciones volviéndolas al cultivo tras equilibrarlas y desinfectarlas o buscándoles un lugar de descarga que evite la llegada de los nutrientes efluentes al suelo, cursos de agua y a los mantos acuíferos.

Ya existen métodos en sistemas abiertos que permiten un segundo cultivo, fijación por plantas que crecen en pequeñas lagunas de fondo impermeabilizado y otros ensayándose. No obstante, los cultivos hidropónicos o sin suelo deben tener en cuenta los aspectos ambientales y no solo considerar su alta productividad y rendimiento económico.

2.6- Disponibilidad de los nutrientes (basado en estudios en suelo)

2.6.1-En función del pH

El pH es otra propiedad importante del suelo que afecta la disponibilidad y absorción de nutrientes. La disponibilidad se encuentra condicionada por múltiples factores y propiedades de los suelos, tales como su mineralogía, la cual dicta la solubilidad de los distintos minerales. También depende del grado de saturación del complejo de cambio o absorbente de sus agregados (formados por la unión de las arcillas y la materia orgánica)

Influencia del pH sobre la disponibilidad de elementos nutrimentales en suelos orgánicos, para una gran variedad de cultivos:

Gráfico extraído de Web de UNAM: María Guadalupe Lomelí R. y Ramón Tamayo O. (con la asesoría de. Aquiles Ilarraza L).

El ancho de las áreas sombreadas indica el grado de disponibilidad del nutriente por la raíz de la planta. La mayoría de los nutrientes están disponibles en un rango de pH de 5.5 a 6.5.

En un suelo con pH ácido, los iones H^+ reemplazan a los de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ y Mn^{2+} de la roca madre, los cuales son posteriormente lavados del suelo (disminuyendo la riqueza de nutrientes disponibles) y aumenta la solubilidad de sales de carbonatos, sulfatos y fosfatos.

En un suelo de pH neutro o básico los iones de Ca , Na y K reemplazan a los de H^+ . El aumento de la solubilidad facilita la absorción por las raíces.

Gráficos extraídos de Web de UNAM: María Guadalupe Lomeli R. y Ramón Tamayo O. (con la asesoría de. Aquiles Ilarraza L).

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS

SUSANA LOZITA THEILIG-2015

El pH del medio afecta la absorción de nutrientes de varias formas. En el caso del fosfato se modifica la especie iónica. A pH bajo, la especie predominante es H_2PO_4^- , hay iguales proporciones de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} a pH 6.8. El HPO_4^{2-} predomina a pH inmediatamente superior a 6.8 y PO_4^{3-} es la especie más importante a pH alcalino. La facilidad con que se absorben los iones fosfato disminuye al aumentar la carga, por lo que a pH alto se reduce la absorción. A pH alto también hay interferencias con la absorción de hierro y otros micronutrientes.

Un pH muy bajo puede insolubilizar algunos nutrientes y movilizar el aluminio (Al^{3+}), con frecuencia tóxico.

La acidez del suelo debe tener en cuenta tanto la acidez actual de la solución del suelo, como la potencial que expresa la suma de iones H^+ que alberga el complejo de cambio.

La extrusión radical de protones y ácidos orgánicos puede bajar sustancialmente el pH de la rizosfera. La fuente de nitrógeno utilizada por la planta también puede afectar al pH de la rizosfera. Debido a que las raíces regulan su carga eléctrica de tal manera que se acerca a la neutralidad, si se absorbe NH_4^+ como principal fuente de N, más protones serán liberados hacia la rizosfera bajando su pH. Por el contrario, **si es el NO_3^- la forma de N principalmente absorbida por la planta, el pH tiende a permanecer constante o subir ligeramente.** A campo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en base a amonio puede, en el largo plazo ocasionar problemas por reducir el pH del suelo. En este sentido, pueden movilizarse iones potencialmente tóxicos y como también reducirse la disponibilidad de algunos nutrientes esenciales

2.6.2-En función de la aireación de las raíces

El crecimiento de las raíces también depende de la energía disponible, por lo tanto es de esperar un efecto importante del O_2 . **El oxígeno disuelto en la solución del suelo es esencial para la respiración celular que es la fuente de energía metabólica utilizada en los procesos activos de transporte de nutrientes** a través de la

membrana y para el mantenimiento de la integridad de ésta. La concentración de oxígeno en la atmósfera edáfica modifica la tasa de absorción de nutrientes, observándose diferencias específicas en cuanto a sensibilidad a este factor. Concentraciones por debajo del 3% producen reducciones muy pronunciadas en la absorción por parte de las raíces de cebada, mientras que las raíces de arroz pueden continuar absorbiendo con una velocidad casi óptima, aun cuando la concentración de O_2 sea cercana a 0%. Por lo tanto, la absorción de iones es drásticamente afectada por condiciones que reducen la actividad metabólica como las temperaturas bajas, la anaerobiosis y los inhibidores del metabolismo.

2.6.3-En función de la Temperatura

La tasa de absorción de sales aumenta con la temperatura, hasta los 40°C aproximadamente, para decaer a temperaturas mayores. Esta relación probablemente resulte del efecto de la temperatura sobre la actividad metabólica de las células radicales. Por encima de los 40°C la desorganización de las membranas celulares produce una disminución de la absorción y una mayor pérdida de los iones absorbidos. Hay diferencias entre especies en cuanto a la capacidad de absorber iones del medio a distintas temperaturas. También la oferta de nutrientes del medio puede variar con la temperatura. Por ejemplo, en suelos fríos hay un predominio de nitrógeno bajo la forma de NH_4^+ , ya que la nitrificación está muy atenuada. Se observó en plantas de *Arrhenaterum elatius* (especie de suelos calcáreos y crecimiento estival), cultivadas en hidroponía, que la absorción de nitrato era mayor que la de amonio a temperaturas altas. Por el contrario *Poa annua* (especie de crecimiento primaveral) absorbía preferentemente amonio a bajas temperaturas.

2.6.4-En función de la Irradiación

El efecto de la irradiación sobre la cinética de absorción de nutrientes depende en términos generales de su disponibilidad en el suelo. Cuando la disponibilidad de nutrientes es alta, las bajas irradiaciones pueden reducir la absorción de nutrientes.

Las bajas irradiaciones reducen la demanda de nutrientes, limitando el crecimiento de las plantas. Por el contrario, cuando la disponibilidad de nutrientes es baja, la irradiación no registra efectos de gran importancia sobre la absorción de nutrientes, sino que es la misma escasez de nutrientes quien limita la absorción.

2.7- Tratamiento de aguas residuales

Existe una diversidad de diseños en las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de metodologías de tratamiento, basadas en procesos físico-químicos, biológicos, lagunaje, filtros verdes, avanzados, etc., cuya finalidad es minimizar el impacto de los vertidos de estas aguas en el medio ambiente.

Los métodos fisicoquímicos de tratamiento presentan como ventajas el bajo costo de tratamiento y de operación, aunque la desventaja principal es que utilizan agentes químicos, como los desinfectantes que pueden producir daños en el medio receptor a la vez que generan volúmenes importantes de lodos que luego se deben disponer apropiadamente. El lagunaje en cambio, se basa en camas donde se cultivan organismos vegetales a través de cuyas raíces se hace pasar un flujo de agua para que sea purificada. Ocupan una gran extensión oponiéndose a la tendencia actual de las plantas de tratamiento que es reducir su tamaño y a aumentar su eficiencia. En estos sistemas la disminución del tamaño implica un volumen de tratamiento menor.

Como puente entre estos sistemas mencionados anteriormente se halla el tratamiento del agua residual mediante cultivos hidropónicos en recirculación, fundamento central de esta tesis en donde los contaminantes del agua se convierten en nutrientes para los organismos vegetales.

Considerando que el agua residual contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento de los organismos vegetales, y en general en una concentración adecuada, su utilización para el cultivo de vegetales aprovechables posteriormente, no solo evita el vertido de contaminantes al medio ambiente, sino que cumple la función de conservación de las fuentes de agua dulce utilizadas para el regadío. Si el cultivo seleccionado presenta además la posibilidad de ser utilizado industrialmente, el sistema se podría considerar incluso rentable.

2.8- Cultivos propuestos para ser ensayados

Por su resistencia a la sequía y a las plagas, adaptación al clima del ensayo y disponibilidad temporal se analizan a continuación los siguientes cultivos:

- ALOE VERA: Como cultivo de prueba para el diseño y optimización de la instalación.
- KENAF: Como cultivo elegido para el desarrollo de esta investigación.

2.8.1- Aloe Vera - Generalidades

El Aloe Vera es una planta que pertenece a la familia de las liliáceas. Es perenne, de rizoma largo. Se propaga por división de mata. Y tiene un hábito de crecimiento herbáceo. El análisis fitoquímico de la Sábila refleja que tienen aceites esenciales, alcaloides, glucósidos cardiotónicos, taninos, glucosa, proteínas y resinas. De la Sábila se emplean la raíz, el tallo y las hojas. Esta planta tiene propiedades medicinales para combatir el dolor de cabeza, es estomacica, para infecciones cutáneas, para el control de las paperas, para amenorreas y es usada como purgante. Es originaria del continente Africano, habiendo sido introducida al nuevo mundo por los Jesuitas españoles en el año de 1590, durante la época de la colonia. Su clasificación botánica es:

Reino: Vegetal

Tipo: Fanerógama

Subtipo: Angiosperma

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Liliifloras

Familia: Liliáceas

Subfamilia: Liliodeas o Asfodeloideas

Género: Aloe

Especie: Vera

Nombre científico: Aloe vera L.

Nombre vulgar: Zábila

Tallo

Es corto y grueso, alrededor de él van creciendo las hojas en forma de rosetón hasta alcanzar la altura de un metro.

Hojas

Las hojas son llamadas pencas, son grandes, gruesas, suculentas o carnudas, cortas, anchas, con dientes doblados hacia arriba, con puntas agudas y espinas en los bordes. Estas contienen una gelatina que es llamado acíbar, y es lo que se explota comercialmente. Este es un jugo amarillo y amargo. En él se encuentra la aloína.

Flor

Las flores son largas en forma de tubo y de color rojizo-anaranjado. La inflorescencia está sobre un eje cilíndrico, escamoso, que lleva flores anaranjadas, amarillas, en corimbos espigados. El cáliz es tubuloso, casi cilíndrico, de seis divisiones verdosas en limbo, mientras que el resto es rojizo anaranjado. Los estambres salen fuera del cáliz.

Fruto

El fruto es una cápsula oblonga, marcada con tres ranuras, de tres celdas, con granos aplanados y angulosos.

Semilla

Las semillas no son fértiles, por lo que no se pueden usar para propagar la planta.

Raíz:

La raíz es larga, formando un rizoma que puede ser dividido para propagar la planta. Cuando se efectúan prácticas culturales y se corta el rizoma se da origen a una nueva planta, llamada hijos. Estos sirven para continuar propagando la plantación.

Requerimiento de clima y suelo

El Aloe responde a las buenas condiciones, sin embargo se ha desarrollado en suelos pobres.

El Aloe es ampliamente cultivado por una serie de características de la planta: la planta crece muy rápido, las hojas de la planta son muy grandes, producen una gran cantidad de gel, tienen muy poca fibra y su procesamiento es sencillo.

El cultivo de Aloe se ve influenciado por una serie de factores. Aproximadamente el 95% del gel consiste en agua, eso significa que el riego es necesario sólo en los países cálidos, donde se cultiva la planta. A causa de que la base de la raíz es pequeña y poco profunda, el riego debe ser bien planeado. La planta tiene una capacidad limitada para absorber agua y nutriente y por lo tanto el suelo debe ser fertilizado adecuadamente. La ventaja del crecimiento de aloe es que la planta es resistente a todo tipo de enfermedades, hongos, plagas de langostas y saltamontes. Además, la planta no es comestible para animales, como cabras, por su amargo sabor y sus efectos laxantes.

Las plantas, en suelo, se siembran en hileras paralelas, aproximadamente 1 metro de distancia entre ellas. Las plantas se siembran a una distancia de 90 cm aproximadamente. En muchas plantaciones hay una pista de cosecha, después de cuatro hileras de plantas y de esta forma se crea una densidad de 8500 plantas por hectárea.

Fertilización

La fertilización recomendada al momento de la siembra es de unos 15 gramos por planta, lo que equivale a 286 kg de fórmula 16 – 20 – 0, por ha.

A los dos meses más tarde se aplica la misma dosis de sulfato de amonio, al igual que a la salida de lluvias. Es importante que exista humedad en el suelo para efectuar las fertilizaciones.

Cosecha

Después de la fase de despliegue inicial y 4 años de crecimiento, la planta se puede cosechar 3 o 4 veces al año. En la recolección, se debe cortar la parte inferior, la más grande de las hojas, esto significa un promedio de 6 a 9 hojas por planta. Una hoja de buena calidad pesa entre 700 y 900 gramos cada una. La recolección es un proceso manual.

Métodos de separación

Después del sangrado y del proceso de preparación, para separar el gel de la hoja se utiliza uno de los siguientes métodos

- Prensado;
- Proceso de fileteado manual;
- Proceso de fileteado de la máquina;
- Proceso de fileteado de la máquina; Máquina de AGS.

Procesamiento del Gel

Después de retirar el gel de las plantas, éste necesita filtrado, homogeneizado, pasteurizado y estabilizado. A través de estos los procesos, los cambios el gel cambia de un color transparente a un color miel marrón.

El último paso es entonces la concentración del gel. El proceso de - cortar las hojas y el extracto de aloe final - debe ser completado en un plazo máximo de 3 días. La pérdida de calidad en el proceso puede producirse de varias maneras. Las razones más importantes son la poca calidad de las hojas un deficiente o lento procesamiento. En general, se deben seguir los siguientes:

- Extracción del aloe gel de las hojas;

- Filtración, homogeneización, pasteurización y estabilización del gel aloe extraído
- Concentración del gel aloe.
- Extracto de Aloe

Extracto de Aloe se cosecha a partir del gel de las hojas de Aloe Vera. Cuando este gel es procesado, sale un acuoso líquido claro de un color ámbar claro, es el extracto de aloe o jugo.

Extracto de Aloe Vera puro consiste en un 95% de agua y 5% de componentes activos, de los cuales los polisacáridos, especialmente el polymannose, determinan la calidad del extracto de Aloe. Cuanto más el extracto se ha concentrado y filtrado (eliminación del agua), mayor es el nivel de polisacáridos. El extracto de Aloe Vera se puede diluir a la concentración deseada de la sustancia activa. La piel de las hojas de aloe contiene una sustancia muy distinta, la llamada aloína, amarga y de color amarillo. Antes de la producción final, la aloína, debe ser separada del gel de aloe.

La calidad y el porcentaje de extracto en el producto final son el factor decisivo para la eficacia de la Aloe Vera. La calidad del extracto se determina por la especie, las circunstancias de crecimiento (el clima, la cantidad de agua, fertilización), por el tiempo de cosecha, proceso de extracción y proceso de estabilización.

Usos

Champús, cremas, jugo, gel en polvo (obtenido por deshidratación y micro pulverización), gel liofilizado (obtenido por crio-concentración), cosméticos, productos medicinales, ácidos colorantes, etc. Su valor medicinal viene dado por los siguientes componentes:

Resina: 40-80 %

Aloína: 20 %

Proteína: 0.013 %

Vitaminas: A, C, E, B12, Caroteno, Ácido fólico, Niacina, Riboflavina, Tiamina.

Minerales: Calcio, Magnesio,

Potasio, Sodio, Hierro, Aluminio,

2.8.2-KENAF - Generalidades

El kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.) es una dicotiledónea emparentada con el gombo (FAO, 1993); pertenece a la familia de la Malvaceae, sección Furcaria DC, la cual comprende una gran variedad de especies diferenciadas por las características del cáliz.

El origen del kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.) ha sido muy discutido por diferentes autores sin llegar a una decisión al respecto. Algunos autores lo ubican en la India (Nepal) y otros en África, Asia oriental y Australia, Según Rossi y Martinuzzi (1988), y Singh Apud Leto y Sacco (1989) es originaria del África Austral, donde se encuentran sus formas primitivas. No obstante se viene cultivando desde hace mucho tiempo en América centro meridional (Guatemala, El Salvador, Cuba, Perú y Brasil), en África (Mozambique, Angola, Nigeria, Costa de Marfil, Zambia, Tanzania, etc.), en Asia (Arabia Saudita, Irán, Indochina) y en la ex-URSS, y es en Tailandia donde ha alcanzado la máxima difusión.

En cuanto a su distribución, el kenaf es una planta anual que tiene su hábitat comprendido en los 30° latitud sur y 30° latitud norte, aproximadamente, aunque puede adaptarse bien entre los 45° latitud norte y los 40° latitud sur.

Es capaz de adaptarse a una gran variedad de condiciones de clima y suelo, debido a que se cultiva en regiones tropicales y subtropicales, aunque se desarrolla mejor en estas últimas, resultando ser un cultivo muy sensible a las heladas (Crane 1947; Seale et al., 1952; Knight y Huneke)

Su fibra se ha utilizado en Asia y África desde hace varios cientos de años y ya en 1763 se mencionaba en libros técnicos. Ha sido cultivado en la India, Paquistán y muchos países tropicales. Al principio, el consumo de la fibra se limitaba a las localidades donde se sembraba, a mediados del siglo XIX se utilizó comercialmente como sustituto aceptable del yute en la manufactura de arpilleras, sacos, sogas, cordel y forros de alfombras. Su introducción general en los trópicos fue en 1941 (Cuba, Ministerio de Agricultura 1969; CIDA, 1978, Apud Cuadra 1987).

Actualmente en la industria del papel, debido a la gran competencia con la industria de los biocombustibles, se percibe una tendencia a reemplazar la materia prima proveniente de especies productoras de madera por otras especies vegetales de alta producción de biomasa, de rápido crecimiento y renovación así como de buena adaptación a diferentes condiciones de suelo, temperatura y humedad. En esta continua búsqueda aparece el Kenaf cultivo muy antiguo, utilizado desde hace siglos para hacer papel en Egipto y muy difundida en Las Antillas y en el Caribe como sustituto del Yute en la manufactura de sacos arpilleras, sogas, cordeles y forros de alfombras.

Tabla de Producción mundial de Kenaf. 1992

Países	UM: millones de toneladas
Total mundial	3 405.0
India	1 260.0
Bangladesh	885.0
China	550.0
Tailandia	161.0
Myanmar	46.0
Brasil	21.0
Nepal	10.0
Cuba	0.8

Tabla extraída: Aspectos generales del kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.), en Cuba. Giraldo Acosta Alcolea

Clasificación botánica del kenaf

Los investigadores no se han puesto de acuerdo en cuanto a su clasificación botánica, algunas de las muchas existentes se pueden ver en la siguiente tabla:

Autor	División	Subdivisión	Subparte	Clase	Subclase	Orden	Familia
Gola-Negri Cappaletty (1969)	XII Embriophyta	II Spermatophyta	II Angiospermae	I Dicotyledoneae	I Archichamydeae	XV Malvales	Malvaceae
Autor	División	Subdivisión	Orden	Clase	Subclase	Género	Especie
Strassburger (1971)	VII Spermatophyta	II Angiospermae	VIII Columniferales	I Dicotyledoneae	I Dyalipetalae	Hibiscus	Hibiscus cannabinus

Gola Negri Cappaletty (1969) Datos extraídos: Aspectos generales del kenaf (*Hibiscus cannabinus*, L.), en Cuba

Morfología, fisiología y otros aspectos

Raíz

Las raíces del kenaf se clasifican en primarias, secundarias y adventicias, encontrándose la mayor porción de raíces en los horizontes inferiores hasta 50-60 cm de profundidad, inclusive se pueden apreciar algunas hasta 1 m de profundidad. El papel de las raíces en el crecimiento y desarrollo de la planta es muy importante, pues a través de ellas se realizan las funciones vitales para el normal desenvolvimiento del cultivo. Estas funciones son: absorción, respiración y fijación. La función de fijación se debe a su modo de crecimiento longitudinal en sentido opuesto al tallo, siendo muy notable en la raíz principal y casi nula en las últimas raicillas; en este fenómeno influyen la luz, la humedad y la temperatura

Tallo

El tallo es la porción de la planta que mayor importancia tiene no sólo para la producción de fibra, pues es donde se encuentra el fruto agrícola, sino también para la producción de forraje, ya que es el soporte natural del follaje de la planta.

León (1987) plantea que en el kenaf las fibras comerciales se hallan en la corteza de los tallos, los que son delgados y cilíndricos, divididos en nudos en las inserciones de las hojas, su color, agrega, varía de verde a púrpura. L. Informatore Agrario (1990) indica que el tallo del kenaf es erecto, de color verde generalmente, de altura variable (2-4 m), en dependencia de las variedades y de las atenciones culturales. Además, señala que el tallo comprende una parte externa cortical caracterizada por presentar una fibra larga (30-40 mm) y una parte interna (kenápulo) constituida por una fibra ilemática corta (0.5-0.6 mm). En el centro de la parte leñosa existe una pequeña cantidad de médula; consecuentemente los tres componentes citados representan, respectivamente, el 25%, 74% y 1% del peso seco total del tallo.

Bourelly (1971 y 1980) señaló que los haces de fibra floémicos externos del kenaf están asociados longitudinalmente en paredes anostomosadas, formando vainas fibrosas cilíndricas, indicando que el kenaf posee fibras textiles de origen floemiano y de tipo primario y secundario, siendo los dos tipos celulares floemianos los que producen fibras. Sobre estas estructuras Essau y Morrow (1974) al examinar la distribución de floema en relación al xilema en el tallo, reportaron que el primero se hallaba por fuera del xilema, y añadieron que los tabiques tamizados eran distribuidos mientras se elongaba el intermedio, llegando a ser fibrosas las células asociadas, representando una gruesa pared secundaria en donde aparecen también fibras en el floema secundario.

Hojas

Las hojas en el kenaf están distribuidas alternadamente a lo largo del tallo en una espiral abierta; el pecíolo es flanqueado por ambos lados por dos suaves espinas verdes (estípulas), cerca de las cuales está formada en la axila de la hoja una o más yemas laterales que durante el desarrollo vegetativo son capaces de producir ramas con hojas, aunque pueden permanecer en estado latente. Las yemas axilares son influenciadas en su desarrollo por el grado de exposición de éstas a la luz

León (1987) corrobora lo anterior al destacar que las hojas del kenaf tienen peciolo largos, lisos o con espinas, añadiendo que la forma de la lámina es muy variada, tanto en los diversos cultivares como en la misma planta. Además refiere que por lo común las hojas de este Hibiscus son acorazonadas y enteras en la parte inferior del tallo; divididas en lobos en la superior, siendo el número de setos mayor en la parte media del tallo, donde llega a 7 y disminuye a 3 en el ápice. El borde de la lámina puede ser entero o dentado; la posición de la hoja, o sea, el ángulo que forma con el tallo, es otra característica varietal, finaliza este autor. Asimismo, L. Informatore Agrario (1990) coincide con los autores anteriores al destacar que las hojas del kenaf son alternas, enteras o divididas, en dependencia de la variedad, aserradas marginalmente.

Floración

El proceso de floración es una de las fases más importantes que tiene lugar durante el ciclo biológico del kenaf. Esta fase del cultivo está muy influenciada por la humedad, la temperatura y el fotoperiodo, principalmente.

La flor del kenaf es la típica de las malváceas, se ha definido por diversos autores como solitaria, de corto pedúnculo, de corola grande y de pétalos pálidos con el centro púrpura, la cual presenta un pistilo central con 5 estigmas, incluidos en un tubo estaminal formado por 40 o 50 estambres unidos por sus filamentos, lo que hace que esta flor sea hermafrodita. Esta planta se auto poliniza aunque puede presentar polinización cruzada en un 2- 24 % de los casos. Sus flores se abren en las primeras horas de la madrugada y se cierran alrededor del mediodía.

Fruto

El fruto de esta malvácea es una cápsula ancha en la base y aguda en el ápice, cubierta por el cáliz y el calículo; la superficie es áspera y pubescente. Contiene cinco lóculos, cada uno con 4 o 5 semillas, de forma triangular, de color gris y de aproximadamente de 2 - 6.4 mm. (León 1987), aunque el tallo es el fruto agrícola por excelencia, por sus fibras vegetales (producción industrial de fibras) y por sus elementos foliares (producción de forraje).

Fases fisiológicas

El kenaf presenta dos fases fisiológicas bien delimitadas que corresponden a una edad fisiológica particular, las cuales presentan una estrecha relación con el desarrollo de la fibra en el tallo.

Fase vegetativa

Es esta primera fase es la de formación y maduración del cuerpo vegetal, la cantidad de agua y minerales absorbidos es mayor, durante las primeras semanas de crecimiento la planta absorbe casi todo el Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK) que será necesario para el resto del periodo de crecimiento, manteniendo en alto grado la actividad fotosintética.

Es un periodo de gran actividad del cambium del tallo y de formación de la fibra, por lo que requiere una adecuada fitotecnia en para asegurar la calidad de la misma (Cuba, Ministerio de Agricultura 1959).

Esta fase finaliza por completo cuando la décima flor abre, momento en el cual deja de producir fibra en el tallo y las existentes comienzan a madurar rápidamente, las paredes del tallo se vuelven gruesas, ganando resistencia y peso.

Fase reproductiva

Comienza con la formación de los botones florales. En esta etapa las divisiones del cambium, particularmente en los 2/3 inferiores del tallo son muy retardadas. La planta emplea la energía en la formación de flores, frutos y semillas, retardándose también la absorción de agua y minerales; el metabolismo se incrementa con la digestión de proteínas y carbohidratos en las hojas y en las partes inferiores del tallo, debido a que la planta emprende la movilización de sus reservas dentro de su centro.

La aplicación de fertilizantes tiene marcados efectos benéficos en la planta durante el comienzo de la fase de fructificación, mientras que si éstos son aplicados al comienzo floral, las plantas son incapaces de recuperar los elementos necesarios

del suelo, según explica el instructivo técnico para el cultivo del kenaf (Cuba, Ministerio de Agricultura 1978).

Luz y temperatura

Las horas de luz recibidas y la temperatura son los dos factores principales que regulan la floración, la germinación y el desarrollo del ciclo biológico del kenaf.

Crane (1947) señaló que este cultivo es capaz de adaptarse a una gran variedad de condiciones climáticas, aunque es sensible a las heladas, teniendo un mejor crecimiento en las regiones tropicales y subtropicales; Remussi (1956), coincide con lo anterior al plantear que esta planta necesita para su buen desarrollo un clima caluroso y húmedo, aunque podría adaptarse a cierta distancia de la línea ecuatorial. Killinger (1969) planteó que el kenaf crecía dentro de un amplio rango de latitud, estando limitado su crecimiento por las heladas, la fertilidad, la humedad y la luminosidad. L. Informatore Agrario (1990) encontró que el mínimo térmico para la germinación de la semilla de kenaf es de 13°C, mientras que el óptimo está comprendido entre los 24 y 30°C, añadiendo que para el desarrollo del ciclo biológico la temperatura mínima necesaria es de 16°C, mientras que la óptima es de 25-28°C.

Humedad

Si bien el kenaf es un cultivo resistente a la sequía, necesita una determinada cantidad de agua para llevar a cabo sus procesos vitales y desarrollar su potencial productivo. Crane (1947) reportó como exitosa la producción de fibra en el kenaf que se desarrollaba bajo condiciones de régimen hídrico de 50-62.5 cm, en periodo de 4-5 meses, añadiendo que era esencial que el periodo húmedo fuera seguido por uno seco, lo cual favorecía el secado de la fibra. También indicó que el periodo seco seguido por uno de lluvia era necesario para la producción de semilla.

El Ministerio de Agricultura de Cuba (1959 y 1978) explica que este cultivo necesita la lluvia abundante y bien repartida en el tiempo que dure la etapa de crecimiento, requiriendo rangos de precipitaciones de 1000 y 1500 mm anuales con un valor de 130 mm mensuales, valores similares a lo reportado por Ustimenko-Bakumovski

(1982), el cual refiere que el kenaf es muy exigente a la humectación del suelo y al mismo tiempo se caracteriza por su elevada resistencia a la sequía, requiriéndose para su normal desarrollo una suma de precipitaciones anuales de 600-800 mm, aunque este cultivo a diferencia del yute no soporta las inundaciones. Estudios realizados por Muchow (1992) ratifican la importancia del agua en este cultivo. La producción de biomasa fue más sensible al déficit de agua, pero menos sensible al suministro de nitrógeno que a la absorción de éste. La concentración de nitrógeno fue más elevada en la planta bajo déficit de agua y elevado suministro de nitrógeno.

Condiciones de suelo

Diversos autores coinciden en afirmar que el kenaf se adapta a un amplio rango de suelos. Knight y Huneke (1957), el Ministerio de Agricultura de Cuba (1959 y 1978), Shalton (1961), Werkhoven (1966) y DINAME (1975), afirman que el kenaf requiere suelos de buen drenaje, elevado contenido de materia orgánica y pH neutro, prefiriéndose su cultivo en suelos franco-arenosos, ricos en materia orgánica; Killinger (1967) añade que al aumentarse el pH de 5.5 a 6, por adición de cal en parcelas experimentales, se obtuvieron rendimientos de 14-20 t/ha. Seale et al. (1952) plantean que en el tiempo óptimo de siembra, la altura de las plantas, el diámetro del tallo y el rendimiento en fibra son mayores en suelos ricos en materia orgánica que en suelos arenosos. En el Informe Integral sobre Fibras Naturales (IIFN) (1992) se corrobora lo anterior, al señalar que los requerimientos indispensables que debe tener un suelo para el desarrollo óptimo del kenaf son: pH entre 6 y 6.8, buen contenido de materia orgánica y de retención de humedad y suelos con buena aireación.

pH

En la tierra se encuentran factores que ayudan a controlar y mantener el PH estable, este conjunto de factores causa el llamado efecto tampón. Este efecto ayuda a mantener las raíces protegidas con un PH que variará entre un rango mínimo y un máximo aunque ambos extremos sean adecuados para el cultivo del Kenaf. El efecto tampón en un sustrato orgánico lo produce la micro vida y demás

componentes del sustrato que ayudan a controlar las fluctuaciones de PH manteniéndolo en un nivel óptimo durante todo su cultivo sin necesidad de utilizar bases ácidas que destruyen la micro vida benéfica para la planta. En el caso de los cultivos hidropónicos, al no disponer de este efecto tampón de la tierra, el pH toma una mayor importancia y debe controlarse continuamente en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

En aquellos casos en los que el agua utilizada contenga un PH muy alcalino o muy ácido éste deberá regularse. Un agua con un PH entre 6,5 y 7,5 se considera adecuada para el cultivo del Kenaf en tierra y se tomará como referencia para el ensayo del cultivo hidropónico del kenaf.

Según la etapa del cultivo y se deberá adecuar el PH según necesidad de nutrientes que requieren las plantas. En el periodo de crecimiento se ajustará el pH a 5.5 para plantas o esquejes pequeños e ir aumentando gradualmente este valor hasta un pH 5.8. En cuanto se entra en el periodo de floración podrá variar a un pH de 6 a 7 con el que continuará absorbiendo parte de nitrógeno, fósforo y potasio junto a los demás macro y micro nutrientes.

Cuando se descompensa el pH la planta de Kenaf y todas en general adquieren menos nutrientes limitando su alimentación y provocando a su vez que pierdan gran parte de las reservas nutritivas.

Fotoperiodismo

El fotoperiodo en el caso del kenaf es muy importante, pues influye en todo el proceso agro-productivo de este cultivo de forma cuantitativa y cualitativa. Se ha reportado que es una planta en la cual los días largos favorecen el crecimiento de la fibra, mientras que los días cortos estimulan el desarrollo de la etapa de floración y fructificación Su respuesta foto-periódica es modificada por la temperatura, la fertilidad del suelo y la humedad. Varios autores indicaron que un fotoperiodo de luz de 12.36 horas podía inducir el florecimiento tan tempranamente como alrededor de 2 meses, mientras que un fotoperiodo de 16 horas podía provocar un crecimiento vegetativo indeterminado en la planta, no floreciendo ni después de cuatro meses (Crane, Acuña y Alonso 1946) apud Ministerio de Agricultura de Cuba

(1959). El Ministerio de Agricultura de Cuba (1978) indicó que independientemente de la época de siembra, este cultivo no florece hasta que se alcanzan los días menores de 12.30 horas-luz durante los meses de septiembre y octubre, lo que concuerda con la FAO (1978) y Ustimenko-Bakumovski (1982), los cuales plantean que el kenaf florece mejor en los trópicos y regiones subtropicales, con días de 11-12 horas, con lo cual se detiene el crecimiento y se inicia la floración. Vinent y Álvarez (1979b) corroboran lo anterior al indicar que las variedades de kenaf C-195 y C-108 mostraron sensibilidad a la longitud del día, apareciendo la floración cuando ésta era inferior a 12.43 horas, lo que demostró que el kenaf era un cultivo de días cortos para la floración.

Plagas y enfermedades

El kenaf es un cultivo atacado por diversas plagas y enfermedades, aunque sólo un reducido número de ellas son consideradas de importancia, algunas de las cuales se pueden contrarrestar con una adecuada agrotécnia. Las plagas que más afectan al kenaf son:

1. Nematodos (*Meloidogyne incognita*)
2. Bibijagua (*Atta insularis* Guér)
3. Afidos (*Aphis gossypii* Glover)
4. Chinchas teñidoras (*Dysdercus andreae* L)
5. Gusano del algodón (*Alabama argillacea* Rubner)
6. Araña roja (*Tetranychus tumidus*)

Variedades de kenaf

Las variedades de kenaf se diferencian entre sí por características cuantitativas y cualitativas muy importantes, tales como color del tallo y las hojas, vigorosidad, resistencia a plagas y enfermedades, duración del ciclo vegetativo, sensibilidad a la duración del día, etc., que permiten determinar las potencialidades productivas

reales de las variedades, la finalidad de éstas (semilla, fibra o forraje) y la época de siembra. Atendiendo a lo anterior, varios autores coinciden al afirmar que en la India se aislaron cinco variedades de kenaf, que comprenden ocho tipos agrícolas diferenciados por el color de los tallos, la forma de las hojas, la precocidad y la altura de las plantas (Crane 1947; Remussi 1956 y Ministerio de Agricultura de Cuba 1959). Estas variedades con sus tipos agrícolas aislados en la India son:

Variedad simplex: Tipo 1. Tallos púrpuras, hojas enteras con peciolo púrpuras.

Variedad viridis: Tipo 2. Tallos verdes, hojas enteras con peciolo verdes.

Variedad ruber: Tipo 3. Tallos colorados abajo, verdosos arriba, hojas divididas con peciolo verde.

Variedad purpurens: Tallos púrpuras, hojas divididas con peciolo púrpuras.

Tipo 4. Tardío, tallos muy altos y delgados, hojas de lóbulos angostos de color púrpura, pétalos púrpura.

Tipo 5. Precoz, tallos cortos, robustos, hojas verdes con lóbulos anchos.

Variedad vulgaris: Tallos verdes, hojas divididas con peciolo verdes.

Tipo 6. Muy precoz.

Tipo 7. Tardío, tipo comúnmente cultivado; plántulas con tallos rojizos.

Tipo 8. Tardío, plántulas con tallos verdes.

Preparación de suelo

El Ministerio de Agricultura (1978) señaló que para facilitar que la planta de kenaf pueda disponer del anclaje necesario debe acondicionarse el suelo hasta no menos de 25-30 cm de profundidad, para lo cual es indispensable darle al suelo el número de labores requeridas en un tiempo no menor de 90 días, lo que permite una mejoría de las condiciones físicas del suelo y elimina el mayor número posible de nematodos en caso de infestación de este parásito.

Época de siembra

La época de siembra es un factor muy importante a la hora de trazar una estrategia de producción (semilla, fibra o forraje), pues en dependencia de su acertada elección o no, así serán los resultados productivos que se obtengan debido a la naturaleza foto-periódica de la mayoría de las variedades de kenaf. Shalton (1961) indicó sembrar en hileras separadas a 15-20 cm y 5 cm entre plantas para obtener óptimos rendimientos en fibra, recomendando la distancia de 70-80 cm entre hileras y 7-10 cm entre plantas para la producción de semillas, lo que coincide con lo planteado por Henain y Cenoz (1970), quienes afirman que los mejores rendimientos se obtenían con distancias de 15-20 cm entre hileras; mientras que White y Haun (1961) explicaron que para el objetivo de obtener pulpa de papel, el kenaf debe sembrarse en surcos distanciados de 30 a 35 cm. Werkhoven (1966) recomendó para la producción de fibra una dosis de semilla de 25 a 30 kg/ha y estableció como óptima la densidad de siembra de 10 a 15 kg/ha de semilla. Allison (1951) planteó para la producción de fibras una separación de 18 cm entre hileras y de 5-7.6 cm entre plantas, lo que promedió de 28-34 kg/ha, dependiendo de la viabilidad de la semilla, añadiendo que para la producción de semillas era conveniente emplear de 17-32 kg/ha. El Ministerio de Agricultura de Cuba (1959) señaló que al emplearse 4, 8, 16 y 24 cm de separación y una distancia entre hileras de 5-10 cm por planta, la distancia de 16 cm entre hileras y de 5 cm entre plantas produjeron el mayor porcentaje de fibra seca por planta verde.

Atenciones culturales

Una de las grandes ventajas del kenaf es que no necesita prácticamente de labores de cultivo debido al rápido crecimiento de esta malvácea, lo que posibilita el ahorro de grandes insumos. Según Knight y Huneke (1957), con una buena preparación de suelo al hacerse la siembra inmediatamente, no se necesitan atenciones culturales en el periodo que media entre la siembra y la cosecha. Para el kenaf no existen prácticamente labores de cultivo, exceptuando las

aplicaciones de fertilizantes, construcciones de canales de drenaje y limpiezas de guardarraya (DINAME 1975).

Fertilización

Entre los macronutrientes primarios están: el Nitrógeno, el Fósforo y el Potasio, y los macronutrientes denominados secundarios serían: el Calcio, el Magnesio y el Azufre.

Entre los micronutrientes se encuentran, el Boro, el Molibdeno, el Cloro, el Cobre, el Hierro, el Manganeseo y el Zinc.

Abonos en siembra

Un abono complejo es aquel abono que tiene más de uno de los 3 elementos principales en la agricultura: nitrógeno, fósforo y potasio. Los conocidos como NPK.

Los fertilizantes complejos NPK, Nitrógeno, Fósforo y Potasio (nitrógeno como N, fósforo como P_2O_5 y potasio como K_2O) se aplican en sementera para equilibrar el contenido del suelo en elementos nutritivos: principales, secundarios y micronutrientes. De acuerdo con los contenidos en el suelo, considerando las necesidades del cultivo y el rendimiento que se espera conseguir, se aplicará la formulación y equilibrio adecuados. Cuando aplicamos estos 3 elementos a la vez, se produce una asociación positiva entre ellos que modifican la movilidad y su absorción por parte de los cultivos. El nitrógeno, el fósforo y el potasio son sinergistas entre ellos.

El abono complejo NPK tradicional 8-15-15 es un abono órgano – mineral equilibrado, por cada 100 kg de producto contiene 8 kg de nitrógeno, 15 kg de fósforo y 15 kg de potasio y, en algunos casos, también aportan nutrientes secundarios, fundamentalmente, calcio y azufre.

Composición típica:

Materia Orgánica total (%)	15
Extracto húmico total (Ácidos húmicos + fúlvicos) (%)	3
Ácidos Húmicos (%)	2
Ácidos Fúlvicos (%)	1
Nitrógeno total (N) (%)	8
Nitrógeno Amoniacal (N) (%)	1,50
Nitrógeno Amídico (N) (%)	6,00
Nitrógeno Orgánico (N) (%)	0,50
Fósforo (P ₂ O ₅) (%)	15
Potasio (K ₂ O) soluble al agua (%)	15
Hierro (Fe) (%)	0.5
Calcio (Ca) (%)	3
Magnesio (Mg) (%)	2
PH	7-7.5

Es un producto sólido obtenido por la mezcla de turba negra muy humificada con abonos minerales. Presenta aspecto negro, una densidad aparente entre 0.7- 0.8 g/cm³ y un tamaño de partícula entre 1-5 mm. Se suministra tanto en polvo como granulado. Presenta una gran versatilidad, y su aplicación garantiza una cosecha de calidad ya que cubre las necesidades de los cultivos desde la siembra

Nitrógeno: Es determinante en el crecimiento y el desarrollo de la planta. Además es el componente esencial en las proteínas. **Síntomas de deficiencia:** aparición de hojas pálidas, de color verde amarillento y de tamaño reducido.

Fósforo: Favorece el desarrollo de las raíces y da vigor al cultivo. Es componente de ácidos nucleicos y lípidos. También es muy importante en la transferencia de energía. Participa en los procesos de transformación de energía, en la fotosíntesis y respiración. **Síntomas de deficiencia:** color verde oscuro de las hojas, en ocasiones aparecen manchas púrpuras. El tamaño de la planta se reduce.

Potasio: Es fundamental para el metabolismo, la fotosíntesis y la activación de las enzimas. Interviene en la regulación osmótica de la turgencia. y regulador de sustancias de reserva (incrementa la resistencia al frío y la sequía). Mejora el desarrollo y la maduración de las cápsulas. Síntomas de deficiencia: aparición de

manchas amarillas. Cuando la deficiencia es acusada el borde de las hojas se necrosa.

Azufre: Componente de aminoácidos, vitaminas, proteínas. Deficiencias cada vez mayores por los bajos niveles en los suelos. Además regula la disponibilidad de nitrógeno y moviliza el fósforo y el potasio, y los micronutrientes del suelo.

Fertirrigación

Es el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Este método es un componente de los modernos sistemas de riego a presión como; aspersión, micro aspersión, pivote central, goteo, exudación, etc. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes.

Nitrógeno: El nitrógeno es el elemento más frecuentemente aplicado vía agua de riego. Esto se debe a su alta movilidad en el suelo, por tanto, también existe un alto potencial de pérdida por lixiviación como nitrato (NO_3^-). Ante esta situación la fertirrigación permite aplicar los fertilizantes nitrogenados en función de la demanda del cultivo. Del nitrógeno total de la capa superficial del suelo agrícola, más del 85% está en forma orgánica y sujeto a mineralización por procesos microbiológicos para pasar a amonio (NH_4^+) y posteriormente por la nitrificación transformarse a nitritos (NO_2^-) y finalmente a nitratos (NO_3^-). Por otro lado, es de conocimiento general que, aumentado el número de aplicaciones de abonos nitrogenados aumenta la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado y reduce las pérdidas, principalmente por lixiviación, ante esta situación es necesario fraccionar teniendo en cuenta:

- Cuando se usa altas dosis de N ($>200\text{kg/ha.}$)
- Cultivo sobre suelos de textura arenosa
- Áreas sujetas a lluvias muy intensas

Fósforo: Ningún nutriente tiene tan estudiado su comportamiento como el fósforo. Desde el punto de vista del manejo del fertilizante fosfatado, los principios básicos importantes para su manejo en fertirrigación son:

- El fósforo se encuentra en el suelo en diferentes combinaciones químicas, siendo sus características: baja solubilidad, recuperación por el cultivo muy baja, no se mueve largas distancias de donde es aplicado y por lo tanto no se lixivia.
- La movilidad del fósforo en el suelo es en términos generales baja, por lo que cuando es aplicado en suelo fijadores, se temía que quedarse retenido en los primeros centímetros del suelo, sin alcanzar la zona de mayor densidad radicular. Sin embargo, en fertirrigación se ha demostrado una movilidad del fósforo aplicado por fertirrigación muy superior al previsto y comparable a la que se consigue con la incorporación por laboreo.
- Una alta frecuencia de aplicación de fósforo por fertirrigación puede aumentar sustancialmente el tiempo promedio de la concentración de P en la solución suelo arriba de las consideraciones de solubilidad.
- Los fosfatos pueden precipitar con facilidad, causando alteraciones en la instalación de riego.

Potasio: La aplicación del potasio junto con el nitrógeno vía agua de riego, es una práctica bastante utilizada en la agricultura moderna, esto debido a que presentan una alta solubilidad, la mayoría de fertilizantes potásicos. El potasio es menos móvil que el nitrato y su distribución en el suelo puede ser más uniforme ya que se distribuye lateralmente y en profundidad simétricamente cuando es aplicado por goteo. La utilización del sulfato de potasio puede ser limitada debido a las grandes cantidades de calcio en las aguas de riego que provocan precipitaciones de sulfato de calcio. En tanto, el cloruro de potasio no es recomendable su utilización en suelos de alta salinidad, principalmente de cloruros ya que pueden causar toxicidad a los cultivos.

Abono mediante fertirrigación

Los fertilizantes para fertirrigación pueden ser líquidos o sólidos, que se aplican disueltos en el agua de riego, por lo cual deben reunir unas características específicas:

- Solubilidad total en agua de los abonos sólidos.
- Pureza, pues si contienen materias inertes podrían producir obturaciones en los goteros.
- Bajo "índice de sal", de forma que aumenten lo menos posible la salinidad del agua de riego, que se mide por la conductividad eléctrica.

Una composición 18-18-18 corresponde a un abono equilibrado en NPK, enriquecido con micronutrientes. Formulado soluble y para aplicación mediante fertirriego. Se presenta en forma de cristales solubles, favorece el equilibrio nutricional de la planta, por lo que facilita el óptimo desarrollo de todas las fases del cultivo.

Los abonos comerciales sólido-cristalinos de alta solubilidad suelen presentar las siguientes composiciones:

<p>Nitrógeno total (N): 18,0 % p/p.</p> <p>Nitrógeno nítrico: 8,3 % p/p.</p> <p>Nitrógeno amoniacal: 6,4 % p/p.</p> <p>Nitrógeno ureico: 3,3 % p/p.</p> <p>Fósforo (P_2O_5): 18,0 % p/p, soluble en citrato de amonio neutro.</p> <p>Potasio (K_2O): 18,0 % p/p, soluble en agua.</p> <p>Magnesio (MgO): 2,0 % p/p.</p> <p>Boro (B): 0,2% p/p en forma mineral.</p> <p>Molibdeno (Mo): 0,005 % p/p, en forma mineral.</p> <p>Hierro (Fe): 0,18 % p/p.</p> <p>Manganeso (Mn): 0,068 % p/p.</p>	<p>Nitrógeno (N) total: 18</p> <p>Nitrógeno (N) ureico: 14</p> <p>Nitrógeno (N) amoniacal: 4</p> <p>Anhídrido fosfórico (P_2O_5) total (soluble en agua y citrato amónico): 18</p> <p>Óxido de potasio (K_2O) soluble en agua: 18</p> <p>Óxido de magnesio (MgO) total (soluble en agua): 2</p> <p>Trióxido de azufre (SO_3) total: 6,1</p> <p>Hierro (Fe) total (soluble en agua): 0,02</p> <p>Zinc (Zn) total (soluble en agua): 0,01</p> <p>Manganeso (Mn) total (soluble en agua):</p>
--	--

Zinc (Zn). 0,02 % p/p. Cobre (Cu) : 0,017 % p/p.	0,01 Boro (B) total (soluble en agua): 0,02 Conductividad (Sol 0.1 %):27,9 mS/cm.
Dosis: 10-25 kg/ha /riego	Dosis: 15 a 40 Kg/ha /riego
Solución madre, según fabricante, oscilan alrededor de 15 Kg/hl a temperatura superior a 15 ° C, con una concentración en el agua de riego: 0,5-2 g/L	

Rotación del kenaf

La rotación de cultivos es una práctica agrícola muy común consistente en la sucesión recurrente de uno o varios cultivos diferentes en un mismo terreno, con exigencias nutrimentales distintas de los anteriormente establecidos, y donde estos últimos no pueden ser susceptibles a las plagas y enfermedades que afectaron a los cultivos precedentes. Esta operación cobra mayor importancia en el caso del kenaf por constituirse en un arma eficaz para contrarrestar la incidencia de los nematodos formadores de agallas, la principal plaga que ataca a este cultivo. Según Ustimenko-Bakumovski (1982) el kenaf se cultiva en rotación o en forma permanente y puntualiza que en los sub-trópicos el kenaf se alterna con la alfalfa, el maíz y el arroz. El Ministerio de Agricultura de Cuba (1994) plantea el esquema de rotación más adecuado, definiéndose los cultivos de ajonjolí, maní, maíz y sorgo como los más efectivos.

Cosecha

Seale et al. (1952) afirmaron que era conveniente comenzar la cosecha antes que las plantas alcanzaran la madurez para no dificultar el proceso de extracción de la fibra, además afirman que la mejor época para cosechar el kenaf es cuando se han abierto unas 10 flores en la planta. Según Shalton (1961) el kenaf se cosecha de los 90 a los 150 días de sembrado, añadiendo que el descortezamiento debe hacerse lo antes posible después del corte, preferiblemente dentro de las primeras

36 horas, pues el periodo en que se efectúa el corte influye en la calidad de la fibra. Por otro lado Killinger (1967) observó que generalmente la calidad de la fibra disminuye después de la floración y tras haberse iniciado la formación de la semilla.

Henain y Cenoz (1969) concuerdan con lo anterior al afirmar que la cosecha de los tallos debe realizarse cuando las plantas inician la floración, pudiendo llegar hasta la plena floración, que es el momento en que se obtiene la mejor fibra.

2.8.2.1 Proceso de enriado del kenaf

Se entiende por enriado el proceso de desintegración de las materias orgánicas (proteínas, azúcares, almidones, pectinas, hemicelulosa y a veces la celulosa) de las plantas en partículas más pequeñas y solubles, mediante la acción de enzimas o fermentos específicos de ciertos microorganismos. Dicho proceso se puede llevar a efecto mediante diferentes métodos:

- Enriado biológico: aeróbico y anaeróbico
- Enriado químico
- Enriado mecánico

Los experimentos llevados a cabo con productos químicos (jabones comerciales) con el fin de separar los haces de fibras anastomosadas del kenaf dieron buenos resultados, según informa el Ministerio de Agricultura de Cuba (1959), pudiéndose obtener en 1:30 horas una fibra perfectamente limpia y de una calidad inmejorable; este tiempo disminuyó a 6 minutos al pasar el material (cintas) por entre cilindros para eliminar así la parte ya embebida con la solución de jabón. Enriado mecánico El enriado mecánico del kenaf consiste en la utilización de máquinas especialmente diseñadas para la extracción de fibra.

En el caso del kenaf se utiliza una máquina Krupp Stella, empleada comúnmente como desfibradora de henequén que funciona de la siguiente manera: la cadena alimentadora mantiene los tallos en su lugar y los pone en contacto con las cuchillas que espadillan la fibra raspando el material no fibroso, luego el primer

tambor desfibra un poco más de la mitad de la longitud del tallo y el segundo hace el resto (Ministerio de Agricultura de Cuba, 1959).

En el proceso de extracción de la fibra, después de la maceración se procede al lavado de éstas para la eliminación del resto no fibroso. De las lavadoras, las fibras pasan a las máquinas secadoras, de ahí se clasifican en grados y posteriormente se almacenan en pacas hasta su traslado a las plantas de procesamiento textil (Ministerio de Agricultura de Cuba, 1978). De todos los métodos expuestos aquí, en Cuba es utilizado el de enriado o maceración biológica, aunque no se descarta la posibilidad de otros en un futuro.

2.8.2.2 Importancia del cultivo del kenaf

La planta de kenaf contiene fibras moderadamente largas en la parte externa del Tallo y fibras cortas en el núcleo. La longitud de las fibras liberianas es alrededor de 35 mm mientras que la de las fibras del leño es del orden de 0,6 mm (Pande y Roy, 1998). Ambas son apropiadas para la fabricación de papel y otros productos, siendo las fibras largas especialmente adecuadas para la fabricación de papeles de calidad especial. El uso de la madera y otros materiales lignocelulósicos en la industria química, así como en la alimentación animal, se basa generalmente en la utilización de la celulosa (obtención de fibras celulósicas para la fabricación de pasta de papel, o hidrólisis ácida o enzimática para obtener glucosa). Por consiguiente, la eliminación de la lignina representa el paso limitante en muchos de estos procesos. Las fibras de kenaf se caracterizan por presentar un contenido alto en polisacáridos y bajo en lignina, hidrosolubles, extraíbles y cenizas, lo que a priori la hace interesante como materia prima para la fabricación de pasta de papel de alta calidad desde el punto de vista de la composición química.

Fibra de kenaf

Plantas de kenaf en flor- Villamartín

Además del uso tradicional que se le da a la fibra de esta planta como sustituto del yute para la confección de sacos para la agricultura y el comercio, se han obtenido excelentes resultados al emplear esta planta como:

Fuente de alimentación animal

(Killinger 1967, Puentes 1974 y Vinent et al., 1992). Vinent (1993) obtuvo dos nuevas variedades pre-comerciales de kenaf con fines forrajeros, para la alimentación animal (bovinos y porcinos), la K-2 y la Vinkat-3, las que presentan un rendimiento y un porcentaje de proteína bruta (PB) similar o superior a las variedades comerciales C-2030, C-1001 y C-977.

El potencial de dichas variedades (K-2 y Vinkat-3), oscila entre 12.99 y 13.97 t/ha de masa seca/ha/siembra, respectivamente, incrementando la producción de leche diaria en 2-3 l/vaca al suministrársele a bovinos, mientras que en porcinos la biomasa de estas variedades es bien aceptada obteniéndose una ganancia media diaria de 90 g en cerdos de crecimiento.

Asimismo se refiere también, en las dos primeras variedades, al contenido de β -caroteno como fuente de vitamina A, el cual oscila entre 65.1 mg/kg (harina) y 241.0 mg/kg (forraje) valores estos comparables con los de la alfalfa.

Materia prima para pulpa química

Para la elaboración de papel al emplearse solo o mezclado con la de madera en la obtención de diferentes tipos de papel, que van desde el de imprenta hasta los de embalaje (Killinger 1968; Massey 1974; Watson et al., 1976; Tissot 1992 y Vinent et al., 1992).

Da Via et al. (1978) concuerdan con los usos del kenaf reportados por los autores anteriores y afirman que por su gran volumen este cultivo ocasiona grandes dificultades, las que no obstante pueden ser resueltas utilizando el método de «alfalfa-cubing», el cual comprime al kenaf facilitando su almacenamiento y transporte. El kenaf producido por este método, continúan los autores, sólo ocupa un tercio del espacio requerido por él, c Los Estados Unidos y Australia son dos de los principales países que han desarrollado el kenaf con fines papeleros; en el primero se ha instalado una planta para producir papel periódico a partir de 100% pulpa de kenaf con una capacidad de 215000 ton/año en el sudeste de Texas.

También en Tailandia y Belice existen dos modernas papeleras que producen cerca de 80000 y 72000 ton/año de pasta química, respectivamente, derivada exclusivamente del kenaf, la cual presenta características superiores a la de la madera (L. Informatore Agrario 1990). En el IIFN (1992) concluye que el kenaf procesado al sulfato o a la soda para obtener pulpa química, puede ser sustituto de la pulpa de madera de coníferas en los papeles de envolver y liner, y si es blanqueado en papeles de imprenta y de escribir, entre otros, aunque en el proceso de obtención de papel no se puede eliminar la totalidad de la pulpa de madera suave; el informe concluye que las características y propiedades de la pulpa de kenaf son similares a las de algunas de maderas suaves y superior a las de pulpas de bagazo y de las maderas duras, empleadas tradicionalmente con este fin, cortado o atado, sin pérdida en la calidad de la fibra.

Como adsorbente

Los recursos de agua contaminada y efluentes industriales se deben tratar antes de la descarga para reducir los niveles de contaminantes orgánicos e inorgánicos (metales pesados, colorantes, etc.) que son una amenaza para el medio ambiente y la salud pública. Entre los métodos de tratamiento físico-químicos y biológicos utilizados se encuentra la adsorción que ha demostrado ser eficaz en la eliminación de los contaminantes de efluentes y soluciones acuosas.

Sin embargo, los adsorbentes convencionales como el carbón activado son relativamente caros y otros como las zeolitas sólo son eficaces para una categoría específica de contaminantes. En consecuencia, hay un creciente interés en el desarrollo de adsorbentes de bajo costo que incluyen materiales biológicos (naturales y agrícolas) y subproductos de desecho industrial.

Diversas fibras agrícolas han sido investigadas, incluyendo las fibras de kenaf como adsorbentes de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Las fibras de kenaf se encuentran en la corteza y en el núcleo. Éste constituye el 40% de la planta. Las fibras de kenaf se utilizan en un número de productos o aplicaciones, pero a diferencia de muchas otras fibras agrícolas, poco se sabe sobre el potencial de fibra de kenaf como adsorbente.

Los adsorbentes investigados fueron fibra de kenaf natural (KF) y fibra de kenaf modificado de surfactante (SMKF). KF se obtuvo de una plantación local de kenaf. El material fue cortado en pedazos más pequeños (< 1 cm), lavado y secado. El potencial adsorbente de KF y (SMKF) se evaluó usando MG (Malachite green), Pb (Plomo) (II), CR (Cromo) (III) y CR (Cromo) (VI).

Ambas mostraron alta afinidad por el Pb (II) y el MG con un porcentaje de remoción del 90% para una concentración inicial de 20 – 100 mg/L.

Efecto de las concentraciones iniciales en la eficiencia de remoción de Pb y MG de soluciones acuosas. (Dosis de adsorbente = 0,2 g; tiempo de contacto = 30 min).

Tabla extraída de International Journal of Science, Environment and Technology, Vol. 2, No 5, 2013, 805 – 812

(KF) también demostró eficiencia de alta remoción de CR (III) para concentraciones iniciales en el rango 10-50 mg/L pero ineficaz (es decir < 25%) de CR (VI) incluso en las concentraciones iniciales 2-10 mg/L (Fig. 3). Comparativamente, (SMKF) presentó una alta afinidad para CR (VI) con una remoción superior al 90% para la concentración inicial 10-50 mg/L. Esta capacidad para adsorber el CR (III), sin embargo, es baja con un porcentaje remoción < 25% para la concentración inicial 2 – 10 mg/L. La eficacia de ambos adsorbentes mostró una tendencia decreciente con el aumento en la concentración inicial de este contaminante en la solución.

Eficiencia de remoción de CR (III) y CR (VI) por la fibra de kenaf (KF) en diferente concentración iniciales de la solución. (Condición: adsorbente dosis = 0.5 g; tiempo de contacto = 30 min)

Tablas extraídas: International Journal of Science, Environment and Technology, Vol. 2, No 5, 2013, 805-812

El estudio muestra que fibra de kenaf (KF) tiene potencial para emplearse como alternativa de bajo costo para adsorbentes comerciales en tratamiento de agua potables y de aguas residuales para la remoción de contaminantes catiónicos, como los metales pesados y colorantes catiónicos. Esta fibra natural es un adsorbente eficaz para los aniones, como CR (VI), sometida a una modificación superficial con un surfactante catiónico.

Como sustrato

Ortiz (1993) señala que los subproductos de la cosecha del kenaf (médula y tallo) también son de utilidad, pues resultaron ideales como sustrato de hongos comestibles del género *Pleurotus* (*Pleurotus ostreatus*), posibilitando el abaratamiento del costo de producción de estos hongos al no incurrir en grandes erogaciones de divisas para adquirir varias toneladas de cereales (trigo, cebada, arroz, etc.) utilizadas tradicionalmente como sustrato.

Potencialidad oleaginosa y proteica de la semilla de kenaf

Lewy (1947) reportó que del kenaf (semilla) se obtiene aceite de amplio uso, tanto para labores culinarias como para la industria en general (jabones, cosméticos, conservación de armamentos, etc.), lo cual fue corroborado por Vinent (1993), al plantear que se fabricaron jabones duros de muy buena calidad. Las grasas y los aceites son ésteres de los ácidos grasos y la glicerina. En sus moléculas se encuentran esterificados los tres grupos alcohólicos de la glicerina con ácidos grasos saturados e insaturados (Ray y Mc Ewen 1963). Ellos son importantes materias primas no sólo para la alimentación mundial, sino también para la industria oleo-química, la cual emplea un 20% de los aceites y grasas naturales producidas en el mundo; dentro de los primeros los más difundidos son: el de soya, con una producción mundial de 104 millones t/año y el del algodón con 33 t/año, le siguen el de colza con 24 millones t/año, el girasol con 22 millones t/año y el maní con 15 millones t/año. Los dos primeros son los más importantes por la producción de aceite y fibra que de ellos se obtienen, respectivamente. Las proteínas son los constituyentes más importantes de la materia viva, son indispensables para la vida y se encuentran en todas las unidades vivientes. En el caso de las semillas de los cultivos arriba mencionados la del maní ocupa el primer lugar con un 49%, le siguen el girasol (46%), la soya (45%) y el algodón con un 41% (FAO 1974); la torta de semilla de kenaf posee un 33% de PB según reportó Lewy (1947).

Características del aceite

Aunque el kenaf no es catalogado como una planta oleaginosa, de su semilla se obtiene un aceite no secante de buena calidad. Resultados obtenidos por Lewy (1947) demostraron que el aceite obtenido de la semilla de kenaf es comestible y tiene las propiedades requeridas para ser utilizado como excelente sustituto del aceite de semilla de algodón en todos sus usos, con la ventaja de tener un olor más suave y agradable, añadiendo que el aceite de kenaf fue usado para propósitos culinarios y ensaladas.

Estudios llevados a cabo por Vinent (1993) sobre la obtención y evaluación del aceite de kenaf arrojaron que el mismo, sin calentar el material (semilla), es de color amarillo claro, casi inodoro, mientras que el obtenido mediante calentamiento previo (prueba industrial en la fábrica "David Arroyo") a temperaturas superiores a los 100°C, es de color rojizo carmelita con un agradable olor.

El estudio concluye que el aceite obtenido del kenaf es un aceite no secante. En lo referente al porcentaje de aceite de la semilla del kenaf se reporta un 12-14%, en pruebas de extracción realizadas en el INIFAT (Vinent 1993); valores estos similares a los reportados por L. Informatore Agrario (1990), el cual señala que el porcentaje de aceite del kenaf oscila entre 14-16%.

En pruebas efectuadas en el INIFAT se observó que la extracción del aceite en "frío" de la semilla de kenaf fue mucho más fácil que al extraerse el de girasol y soya. La torta resultante del proceso de extracción es de color gris oscuro y de un olor agradable (Vinent 1993).

Semilla

La semilla de kenaf se puede almacenar en condiciones ambientales, en un almacén ordinario, durante cierto tiempo (más de 6 meses) para la extracción de aceite. El daño causado por insectos a la semilla almacenada provoca pérdidas de rendimiento en aceite, pérdidas por refinación y un oscurecimiento del color de éste, debido a lo cual el aceite adquiere una gran acidez.

2.8.2.3 Análisis de la eficiencia en el uso del agua del cultivo de kenaf en Argentina

La región central semiárida de Argentina está caracterizada por un régimen pluviométrico y térmico en el que el kenaf puede marcar diferencias respecto de otros cultivos en cuanto al secuestro de carbono y la economía del agua.

El objetivo del ensayo fue medir la producción de biomasa y la eficiencia en el uso del agua para producirla en un cultivo de kenaf implantado fuera de la fecha óptima de siembra. La experiencia se llevó a cabo en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). El suelo se clasificó como un haplustol étnico muy frecuente en los suelos de la región.

La siembra se realizó en verano, el 4 de enero de 2010. El cultivo emergió a la semana de haber sido sembrado. El cultivar de kenaf usado fue el Tainung 2. Cada parcela estuvo conformada por tres surcos de cinco metros de largo, con una separación de 35 centímetros entre éstos para un área total de 5,25 metros cuadrados. Se evaluaron tres tratamientos, 20 centímetros (150.000 plantas por hectárea), 10 centímetros (300.000 plantas) y tres centímetros (800.000 plantas por hectárea) entre plantas dentro del surco, con dos repeticiones cada uno.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se estimó como la relación entre la producción de biomasa aérea y el agua evapotranspirada en cada muestreo. Se realizaron las pruebas estadísticas de varianza y de medias para detectar la significancia de la diferencia entre los tratamientos.

En cuanto a la **EUA**, los valores fueron **18,7 kilos de materia seca por milímetro y por hectárea; 25,7 kilos de materia seca mm/ha. y 14,4 kilos de materia seca mm/ha.**, respectivamente. La EUA global alcanzó los 59 kilos de materia seca por milímetro y por hectárea.

A pesar del atraso en la fecha de siembra, el kenaf logró secuestrar tanto carbono como un maíz o sorgo granífero sembrado en seco y en fecha óptima para la región. En cuanto a la EUA, y considerando una global para el maíz y sorgo (grano

y rastrojo) no superior a los 30 kilos/mm/ha, el cultivo también se mostró muy eficiente en el uso del agua.

2.8.2.4 *Análisis de la rentabilidad del cultivo de kenaf en Tennessee*

El presupuesto inicial de la siguiente tabla incluye una producción de 7,2 toneladas por acre, el rendimiento promedio obtenido de experimentos realizados entre 2001 y 2003 para cuatro variedades en la Universidad de Tennessee, Millán Research and Education Center.

Apartado	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio (dólares)	Total (dólares)
<i>Ingresos por kenaf</i>	Tallos	Tn	7,20	55	396
<i>Gastos variables:</i>					195,40
Semillas	8,5/ pie	Lb	6,6	3	19,80
Fertilizantes					58,9
Mano obra					4,00
Herbicidas					46,60
Maq. Combustible y reparaciones					4,28
Limpieza, capital y otros					61,82
<i>Gastos Fijos</i>					73,11
Maq. Producción y cosecha					66,93
Gastos de laboreo					6,18
Retorno					127,49

Presupuesto granja Kenaf. Estimación de costos y rendimientos por hectárea, Inicial sin labranza, (filas a 38 pulgadas), asumiendo equipo de 12/16 filas.

Tabla extraída: Economic Feasibility of Kenaf Production in Three Tennessee Counties. Ernest Baaen et al. University of Tennessee Agricultural Economics

2.8.2.5- Situación actual y perspectiva del kenaf

El interés actual que existe a nivel mundial sobre el kenaf está basado fundamentalmente en su versatilidad productiva y rusticidad agronómica, que le otorga una gran importancia económica tanto para países desarrollados como subdesarrollados donde puede contribuir al desarrollo no sólo de la industria textil sino también de otras industrias mediante la sustitución de productos y materiales importados que de él se obtienen, así como mediante la exportación de éstos a otros países.

El comercio mundial de kenaf cobra cada día mayor importancia pues ha pasado de ser un cultivo puramente textil (como la producción de sacos para envasar productos agrícolas y de la industria) a un cultivo en el cual cada vez es más importante la variedad industrial de sus usos, incrementándose así su valor económico, máxime cuando se está imponiendo a nivel mundial la vertiente ecológica de su plantación productiva como alternativa a la madera en la elaboración de pasta papelera de alta calidad y bajo costo (Kaldor et al., 1990; Sabharwal et al., 1994).

Se necesitan de siete a 40 años para la mayoría de los árboles para alcanzar el tamaño lo suficientemente útil para la pulpa. Sólo la fabricación de papel requiere grandes cantidades de agua y energía y más o menos, el 10 por ciento de la madera cortada se pierde.

El kenaf puede producir pulpa de 300 a 500 por ciento más por hectárea, por año que los árboles - a la mitad del costo. En cuatro o cinco meses se convierte en papel de alta calidad papel de periódico. Dicho papel tarda más en desaparecer, requiere menos tinta y proporciona un mayor contraste

Entre las propiedades de las fibras de kenaf destacan además la porosidad, la resistencia y la elasticidad, siendo una excelente materia prima para la fabricación

de papel para bolsas de té y filtros de café. Al tener el papel de kenaf buena adherencia también se utiliza como papel de imprenta.

3- *Revisión Bibliográfica*

3.1- *Are Your Plants Suffocating? The Importance Of Oxygen In Hydroponics.**

*Lynette Morgan PhD.
(May/June 2000). Practical Hydroponics & Greenhouses, p 52

INTRODUCCIÓN

El oxígeno disuelto es algunas veces el ingrediente que se olvida en la solución nutritiva.

La pobre oxigenación y la inundación del sistema radicular, en hidroponía, raramente produce síntomas llamativos en el cultivo pero sí una disminución en el crecimiento y rendimiento. Mientras medimos cuidadosamente el cF (factor de conductividad eléctrica) y pH, pocos son los productores que miden los niveles de oxígeno disuelto (O₂) en sus sistemas de producción.

El oxígeno es vital para el funcionamiento radicular y de la planta.

OXÍGENO – UN REQUERIMIENTO ESENCIAL

El requerimiento de oxígeno por la planta se conoce desde 1968. Sin embargo, no fue hasta el desarrollo de los sistemas hidropónicos comerciales, en particular el NFT, que se hicieron observaciones detalladas sobre el efecto del oxígeno disuelto en la solución. El sistema radicular requiere oxígeno para la respiración aeróbica, un proceso esencial que libera la energía requerida para el crecimiento radicular.

Raíces saludables, con buen suministro de oxígeno, son capaces de absorber más selectivamente los iones de la solución. La energía metabólica que es requerida para este proceso es obtenida de la respiración radicular, la cual es inhibida por la falta de oxígeno. A pesar de esto, las investigaciones han indicado que en NFT, una gran porción de raíces necesitan ser anaeróbicas antes que los brotes pierdan

nitrógeno, fósforo y potasio vía sistema radicular (Jackson, 1980). El calcio, a diferencia de los otros nutrientes, es absorbido por los “ápices radiculares no suberizados” (puntos de crecimiento). El ápice radicular tiene una gran demanda de energía para la producción y crecimiento celular y, por lo tanto, es vulnerable a la carencia de oxígeno. Debido a que el calcio no se mueve rápidamente desde las partes más viejas a las más jóvenes, las regiones más sensibles serán los puntos de crecimiento con bajas tasas de transpiración (tales como los ápices de las hojas y frutos); esto produce desórdenes como quemadura de puntas (tip burn) y pudrición apical (blossom-end rot) y son más severos ante la falta de oxígeno.

El agotamiento de oxígeno en soluciones estancadas es tóxico para casi todas las plantas. Los síntomas producidos por baja oxigenación frecuentemente son atribuidos a otras fuentes.

SÍNTOMAS DE LA FALTA DE OXIGENO

El primer signo de una inadecuada oxigenación es el marchitamiento de la planta durante el mediodía, cuando los niveles de temperatura y luminosidad son los más altos.

La falta de oxígeno reduce la permeabilidad de las raíces al agua y habrá una acumulación de toxinas; así el agua y los minerales no pueden ser absorbidos en cantidades suficientes para el crecimiento bajo condiciones de estrés. Por lo tanto el crecimiento de la planta es reducido y el rendimiento se verá afectado. Si la falta de oxigenación continua, las deficiencias comenzarán a manifestarse, las raíces morirán y la planta no desarrollará. Una vez que ha comenzado el deterioro de la raíz, provocado por la anaerobiosis, los patógenos oportunistas como el *Pythium* pueden entrar rápidamente a la planta y destruirla.

Otro efecto de falta de oxígeno más visible y prolongado, el cual ocurre en cultivos inundados, es la hoja “epinástica”. Por la falta de oxígeno, las plantas son inducidas a incrementar la producción de etileno. La epinastia es la curvatura hacia debajo de las hojas, lo que da a la planta una apariencia de marchitez. Si la falta de

oxígeno continúa y es severa habrá clorosis de las hojas (amarillamiento), abscisión prematura de hojas y flores.

Frecuentemente el examinar la raíz no es un buen indicador si la planta está sufriendo de falta de oxígeno. Algunas veces el productor asume que una masa de raíces blancas y gruesa es signo de buena salud; sin embargo, una masa de raíces marrones y delgadas en un cultivo casi maduro es normal y no necesariamente significa enfermedad o falta de oxígeno.

¿DE DONDE OBTIENEN EL OXÍGENO LAS RAÍCES?

Normalmente se asume que las raíces de un sistema NFT obtienen oxígeno de la solución nutritiva y quizás algo del aire donde la masa de raíces no está sumergida. En una situación ideal de NFT se tiene una película delgada de solución (1 mm) fluyendo a lo largo del canal, esto permite que la mayor parte de raíz se sitúe sobre el líquido. Las raíces expuestas a la humedad del aire pueden utilizar el oxígeno del aire como éste se difunde desde el aire a la delgada película de agua sobre la superficie externa de la raíz.

Las raíces de las plantas pueden absorber oxígeno de la interfase aire-agua lo cual ocurre en las raíces que se encuentran en la parte superior de la masa radicular, los sistemas radiculares tienen la habilidad de "especializarse". Esta situación existe en raíces expuestas a la humedad del aire, las cuales son altamente eficientes para absorber oxígeno de ese medio y las raíces sumergidas son también eficientes utilizando el oxígeno disuelto (también en concentraciones muy bajas) contenido en la solución. Si las raíces superiores se sumergen y las inferiores se exponen al aire, ocurre rápidamente un marchitamiento y reducción en el crecimiento de la planta (Hurd, 1978).

Además existen otras fuentes de oxígeno. Primero, el oxígeno puede ser transportado dentro de la planta, la parte superior de la planta tiene acceso al oxígeno del aire y éste puede ser transportado hacia las raíces en caso de estrés. Segundo, bajo condiciones de un inadecuado suministro de oxígeno externo, las tasas de absorción de nitrato y su reducción del tejido radicular tiende a aumentar, lo que provee una fuente interna de oxígeno atómico el cual puede ser utilizado

en procesos metabólicos sustituyendo al oxígeno externo (Gilbert y Shive, 1942). El oxígeno es liberado cuando las plantas reducen los iones nitrato absorbido y este oxígeno está disponible para ser utilizado por las células vegetales (Pepkowitz y Shive, 1944).

Sin embargo, las fuentes de oxígeno interno por sí solas son a corto plazo y no pueden proveer la suficiente cantidad de oxígeno requerido para sostener un buen crecimiento.

LA DINAMICA DEL OXIGENO EN SOLUCIONES NFT

Si la aireación no es adecuada para un sistema radicular, gases tales como el etileno y CO₂ que son productos de deshecho producidos por las raíces no pueden difundirse y se acumulan en la zona radicular.

Se asumen que todas las raíces están sumergidas y que la solución nutritiva no absorbe oxígeno del aire cuando atraviesa el canal. Sin embargo, estas suposiciones no son del todo correctas, en realidad la raíz no está totalmente sumergida y tiene cierto porcentaje sobre el flujo de nutrientes y es capaz de absorber oxígeno de la atmósfera por difusión a través de la película de humedad que cubre las raíces.

Los investigadores han reportado que canales con pendientes de 1 en 50, las áreas estancadas son menores que en canales con menor pendiente (Hurt, 1987).

OXIGENACION EN EL DFT (Técnica de Flujo Profundo)

El sistema de flujo profundo (DFT) difiere del NFT en que la altura de la solución es mayor y se mantiene todo el tiempo y puede ser en un sistema de flujo o no. Soluciones profundas tiene un mayor requerimiento de oxígeno y éste debe ser introducido manualmente ya que el sistema radicular se encuentra sumergido totalmente. Frecuentemente se inyecta aire a la solución o se introduce nutrientes frescos a intervalos regulares a lo largo de las camas de cultivo. Un estudio reportó que el agotamiento del oxígeno en la solución en un DFT está en función a la distancia del punto de aireación, así las plantas que estuvieron lejos de la fuente de aireación tuvieron menores niveles de oxígeno (Zeroni et al, 1983).

¿QUÉ AFECTA AL CONTENIDO DE OXIGENO DE LA SOLUCION?

Existen muchos factores que afectan el balance de oxígeno de la solución nutritiva, estos incluyen: la temperatura, la actividad metabólica del sistema radicular, el efecto de microorganismos y algas, manejo de la solución, introducción deliberada de oxígeno atmosférico y la tasa a la cual el oxígeno puede difundirse en la solución.

El agua pura (sin nutrientes) está en equilibrio con el aire que contiene alrededor de 9-10 ppm (mg/l) de oxígeno disuelto a 20°C. , el agua fría y fresca de los riachuelos tiene la habilidad de transportar más oxígeno que el agua de mar que contiene más sales.

Conforme se incrementa la temperatura, la cantidad de oxígeno disuelto decae rápidamente y esto tiene grandes implicancias para los sistemas hidropónicos. Un incremento en la temperatura de la solución nutritiva de 20°C a 30°C reduce el contenido de oxígeno del agua saturada por el aire de 9.62 ppm a 7.8 ppm (mg/l). Combinado a esto, estas temperaturas más altas incrementan al doble la tasa de respiración del sistema radicular por cada 10°C que se incrementa la temperatura hasta 30°C; por lo tanto, podemos tener la siguiente situación: la temperatura se incrementa de 20°C a 30°C en una tarde calurosa, un cultivo maduro y un sistema radicular grande. Los requerimientos de oxígeno son el doble, mientras que la capacidad de transporte de oxígeno decae al 20%, esto significa que el oxígeno en la solución se agota más rápido y la planta puede sufrir falta de oxígeno por algún tiempo.

Este problema de baja oxigenación a altas temperaturas y un incremento en los requerimientos de la raíz, también puede ser exacerbado por la presencia de microorganismos en la solución y que compiten con las raíces por el oxígeno. Prácticamente todos los sistemas hidropónicos tienen una gran población de microorganismos, la mayoría son inofensivos o benéficos pero algunos no lo son. Sin embargo, los sistemas saludables contienen un balance de microorganismos que viven sobre la materia orgánica de la solución. Esta materia orgánica está en forma de carbono respirable que puede derivar de raíces muertas o heridas y también

de raíces saludables que pueden exudar hasta un 18% de productos fotosintéticos (Jackson, 1980). Estos microorganismos compiten con las raíces por oxígeno. El oxígeno utilizado por los microorganismos es sólo una fracción de lo que requiere la masa radicular saludable y la competencia es realmente pequeña.

TEMPERATURA °C

Una mejor opción es asegurar que las tasas de flujo sean lo suficientemente altas para soportar los requerimientos de renovación de oxígeno durante las horas más cálidas del día.

A parte de otros problemas que pueden causar las algas, el agotamiento del oxígeno durante la noche significa que grandes poblaciones no son deseadas en ningún sistema hidropónico.

3.2- KENAF: A MULTI-PRUPOSE CROP FOR SEVERAL INDUSTRIAL APPLICATIONS*

*Andrea Monti; Efthimia Alexopoulou (2013)

A través del “BIOKENAF Project” se ha estudiado el aprovechamiento integrado del Kenaf cubriendo toda la cadena de producción (producción, cosecha y almacenamiento) y evaluando la sustentabilidad del cultivo para productos industriales de alto valor agregado y para energía.

Estos aprovechamientos tienen en cuenta el medio ambiente y los aspectos económicos del cultivo a través de un estudio de factibilidad de mercado de la producción industrial de bio-productos y bio-fuels, respetando la seguridad en el suministro y el manejo sostenible del suelo.

El Kenaf se considera un cultivo anual de fibra de gran interés como materia prima para la industria y como bio-combustible bajo las condiciones climáticas del sur de Europa. La mayor razón para considerar al Kenaf como cultivo de alta productividad, multipropósito, no comestible y de creciente importancia para Europa es debido a que puede proveer materia prima para aplicaciones industriales y energía. El 30-40% del tallo puede ser empleado en aplicaciones de fibra de gran valor, mientras que el 60-70% del tallo puede ser usados entre otras aplicaciones industriales para procesos termoquímicos (combustión pirolisis y gasificación).

Tiene un gran potencial como biomasa con relativamente pocos insumos. En zonas semiáridas como el las del Mediterráneo, requiere 250-400 mm de agua, la cual es mucho menor que en el caso de cultivos convencionales (incluyendo maíz, caña de azúcar, alfalfa), en los requerimientos de agua se parece al algodón. Por otra parte, considerando el bajo requerimiento de Nitrógeno (50-100 kg N/ha), este cultivo es una alternativa al uso del suelo en zonas con poca o moderada disponibilidad de agua. Puede cultivarse en rotación con otros cultivos, lo que es importante en áreas tradicionales de monocultivos (algodón y cereales) y además con riego suplementario consiguiendo bajas cosechas que no serían sustentables fuera de la Unión Europea.

El interés por las fibras naturales se está incrementando debido a las nuevas regulaciones y preocupaciones ambientales, resultando en un mercado creciente de materiales biodegradables y reciclables como el de Europa que ya tiene una bio-economía establecida. La demanda total de esta fibra en el mundo se incrementará desde 50 millones de toneladas al año en 1999 hasta 130 millones de toneladas al año en 2050.

La determinación del manejo apropiado del cultivo es fundamental para el éxito de la inserción del mismo dentro del sistema de cultivo existente, con beneficios económicos. Se han llevado a cabo muchas investigaciones en todo el mundo para identificar su mejor gestión.

El destino final de este cultivo (producción de fibra, de semilla, fibra y semilla, forraje, etc.) es la clave que hay que seguir para realizar una buena gestión

La selección de la variedad más apropiada está fuertemente relacionada con la zona de cultivo así como su uso final. Recientemente se han desarrollado variedades resistentes a plagas y enfermedades con una mejora en la resistencia a la sequía. Para obtener buenas cosechas, si las condiciones climáticas lo permiten, deben ser cultivadas variedades de maduración tardía.

Es un cultivo muy sensible a los nematodos especialmente en suelos arenosos. El Kenaf debe ser cultivado en rotación después del maíz y el sorgo, debe evitarse rotarlo con algodón y cacahuete. La época y el método de cosecha (para producción de fibra, semillas, ambas, forraje, producción de energía, construcción, industria automotriz, etc.) su secado y almacenamiento dependen en gran medida de su uso final así como de la localización del cultivo.

La necesidad de nitrógeno como fertilizante está estrechamente relacionada con las cosechas obtenidas y con su destino final.

El Kenaf ha sido aceptado en la Comunidad Europea como cultivo no comestible con alta producción de biomasa (Venturi 1990) con fibras ricas en celulosa.

3.3- Uso De Las Fibras De Kenaf En La Construcción*

*Optimer System SA.

El sector de la construcción ha sabido sacar el máximo provecho a las prestaciones del Kenaf como aislante natural y cumplir de esta manera las exigencias del sector.

Se trata de un producto ecológico y bio-natural (certificado ANABICEA) que muestra unos excelentes niveles de aislamiento térmico y acústico. Asimismo, no se pudre ni libera sustancias contaminantes y, por sus propias características, es insensible a la humedad y se puede reciclar tras su uso como material para la construcción. Se fabrican paneles de densidad y espesores diferentes para satisfacer cualquier necesidad:

- Aislamiento térmico-acústico en fachadas: (5cm)= 60 kg/m³
- Aislamiento térmico-acústico en cubiertas: (5cm)= 60 kg/m³
- Aislamiento térmico-acústico en paredes: (5cm)= 30 kg/m³
- Aislamiento térmico-acústico en forjados: PAV(1cm)= 33 dB

1.Muro Exterior
2.Fibra de Kenaf 5 cms 60 Kg
3.Aislamiento Reflectivo Super Polynum

Por su parte, el aislamiento acústico de suelos/forjados cubre sus necesidades con el rollo *Isolkenaf Pav*, realizado en fibra de *Kenaf* termofijada con una hoja de polietileno de protección. Este rollo se suministra en dimensiones de 1,20 x 25 m y con espesores de 8, 10 y 15 mm, aportado más de 33 dB de reducción a ruido de impacto en suelos

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS

SUSANA LOZITA THEILIG-2015

La firma Optimer System ha unido las virtudes de este aislamiento natural a un aislante térmico para ser utilizado en un proyecto de vivienda, creando así un aislamiento único que además cumple con todas las directrices del nuevo Código Técnico de la Edificación en materia térmica y acústica. Para comprobar sus beneficios conjuntos, la firma ha querido situar "in situ" ambos aislantes en la primera casa en España que llevará este tipo de material natural complementándolo con Polynum, un aislamiento térmico reflectivo. En esta primera casa construida en España, se pueden comprobar las máximas prestaciones de los paneles "Isolkenaf" termofijados para aislamiento térmico y acústico de muros de viviendas. Con dimensiones de 1,40m x 0,60 m y espesores de 120 mm.

Primera casa construida en España con fibras de Kenaf como aislante térmico y acústico.

Planchas de fibra natural de Kenaf para la construcción de viviendas

4- Objetivos concretos

4.1- Elección de cultivos para cumplir con los objetivos iniciales

A fin de dar seguimiento al objetivo inicial planteado en el punto 1.3, se han seleccionado dos cultivos que reúnen los requisitos más importantes para hacer posible esta investigación: Adaptarse a las condiciones climáticas de la zona, presentar una utilidad posterior, necesitar muy pocas labores de mantenimiento, ser resistentes a las plagas, disponibilidad y tolerancia a diferentes calidades del agua. Estos cultivos son:

- Aloe Vera: Como cultivo de prueba
- Kenaf: Como cultivo principal de esta investigación

4.2- Determinar la calidad del agua a ensayar

En la selección del agua a ensayar se ha teniendo en cuenta:

- ❖ La contaminación que presenta el agua residual según su origen
- ❖ El uso posterior que se le pretende dar al cultivo ensayado
- ❖ Que el agua cubriera las necesidades de nutrientes que muestra la bibliografía para los cultivos seleccionados
- ❖ La intención de probarlos en condiciones extremas
- ❖ Futuras aplicaciones de esta técnica de tratamiento

Considerando todos estos indicadores se ha elegido agua residual de dos orígenes diferentes:

- Agua residual de fosa séptica doméstica con fuerte carga orgánica
- Agua residual de alcantarillado previa al ingreso a la EDAR cuyas características la ubican por debajo de los límites de vertidos a una planta de tratamiento de aguas residuales

El agua de ambos orígenes fue sometida a un proceso primario de eliminación de gruesos.

4.3- Definir el sistema hidropónico más adecuado

Después de revisar la bibliografía y con la finalidad de proporcionar un medio adecuado de crecimiento a los cultivos seleccionados, controlar en todo momento la calidad del agua y evitar cualquier descarga ambiental, se eligió un sistema hidropónico cerrado con recirculación del agua y aireación.

4.4- Analizar las variables que afectan al proceso de tratamiento

Partiendo de la bibliografía referente a los contaminantes del agua y de la referente a las necesidades de los cultivos, se seleccionaron parámetros representativos tanto de la reducción de la contaminación como de las necesidades para un adecuado crecimiento de las plantas. Ellos son:

pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto, Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Potasio total.

4.5- Evaluar la eliminación de nutrientes en el período de estudio

Habiéndose alcanzado los objetivos anteriores con la amplia revisión bibliográfica que se ha llevado a cabo, se dispone así de todos los datos necesarios para continuar con la investigación a fin de alcanzar este objetivo concreto a través de la fase experimental.

5- Objetivos definitivos

5.1- Objetivo 1

Evaluar la adaptabilidad de plantas de Aloe Vera al crecimiento como cultivo hidropónico.

5.2- Objetivo 2

Evaluar el rendimiento de Aloe Vera en la depuración de las aguas residuales y específicamente en la eliminación de nutrientes.

5.3- Objetivo 3

Utilizar los datos obtenidos en el ensayo con Aloe Vera para optimizar el ensayo del cultivo principal de la investigación: Kenaf.

5.4- Objetivo 4

Evaluar la adaptabilidad de plantas de Kenaf al crecimiento como cultivo hidropónico.

5.5- Objetivo 5

Evaluar el rendimiento de Kenaf en la depuración de las aguas residuales y específicamente en la eliminación de nutrientes.

5.6- Objetivo 6

Definir un destino medioambiental y económicamente recomendable para el cultivo, después de su empleo para eliminar nutrientes del agua residual.

6- Descripción de la Fase Experimental

6.1- Metodología General

Para la realización del estudio se hizo una amplia revisión bibliográfica identificando los atributos y variables de mayor incidencia en el crecimiento de las plantas de un cultivo hidropónico (Aloe Vera y Kenaf), así como las variables que influyen en la calidad y tratamiento del agua a utilizar. Una vez identificados los principales factores, se realizó un estudio experimental para valorar la incidencia de las variables identificadas.

6.2- Selección del agua residual a utilizar en el ensayo

Siguiendo las premisas planteadas en el punto 4.2, se realizan los ensayos con agua residual bruta de dos orígenes diferentes:

- Agua residual doméstica obtenida directamente de la fosa séptica
- Agua residual urbana obtenida de un punto de muestreo del sistema de alcantarillado

6.3- Selección de los vegetales utilizar en el ensayo

Si bien todos los organismos vegetales pueden desarrollarse añadiendo sales minerales al agua de la instalación hidropónica, en este caso el cultivo dispondría solo de los nutrientes propios del agua residual. Las condiciones consideradas fueron:

- Disponibilidad
- Adaptación climática a la zona del ensayo
- Requerimientos nutricionales
- Costo
- Resistencia a las plagas y factores ambientales.
- Utilidad posterior del cultivo

Se seleccionaron dos especies vegetales:

- Aloe Vera, cultivo alternativo y disponible inmediatamente, en espera de la obtención de plantas de kenaf o de semillas fértiles
- Kenaf, cultivo principal de esta investigación

6.4- Clasificación de los ensayos

Los ensayos se desarrollaron en tres etapas:

1ºEtapa: Ensayo con Aloe Vera en instalación hidropónica

2ºEtapa: Ensayo experimental de kenaf en suelo de la zona

3ºEtapa: Ensayo de plantas de kenaf en instalación hidropónica

A- Con agua de fosa séptica

B- Con agua de alcantarillado

7- Ensayos

7.1- 1ªEtapa: Ensayo con Aloe Vera en instalación hidropónica

Para la realización de este ensayo se diseñó la siguiente instalación

7.1.1-Materiales

- Tubo de PVC de 125 mm de diámetro y 2 m de largo
- Dos codos de PVC de 125 mm
- Una llave de riego
- Vasos de plástico
- Agua residual de una fosa séptica domiciliar
- Plantas de **aloe vera** del mismo tamaño(11)
- Cobertura de plástico
- Bidones
- Toma muestra
- Medidores de pH, conductividad
- Recipientes para recoger las muestra para analizar
- Agua residual de fosa séptica

7.1.2-Esquema de la instalación

7.1.3-Metodología

Se realizaron perforaciones en la parte superior del tubo del tamaño del diámetro medio de los vasos a utilizar.

Los codos de PVC se colocaron en los extremos del mismo con la boca hacia arriba para evitar que el agua del interior se derrame y permitiendo el acceso al interior del tubo para observar el estado del agua, medir el pH, observar el desarrollo radicular, etc.

La llave de riego se colocó en un extremo del tubo en la parte inferior para poder tomar las muestras de agua.

Unos 15 días antes de iniciar el ensayo se seleccionaron plantas de aloe vera pequeñas, de igual tamaño separándolas de la planta madre y colocándolas en recipientes individuales en turba. De esta forma se dejó a las plantas recuperarse del trasplante antes de someterlas al ensayo.

Se colocó el tubo contra una pared para protegerlo del viento y a 40 cm de altura para que el agua del interior que sale por la llave se pueda recoger en un cubo ubicado debajo.

Se aseguró el tubo a la pared y se colocó una pequeña estructura para sostener el plástico a una altura de 1,5 m para proteger el sistema en caso de lluvia.

Se analizó inicialmente el pH, la conductividad, la temperatura y se introdujeron 15 litros de agua en el tubo. Se colocaron tapas en las bocas superiores de los tubos para que no se contamine el interior y evitar además la evaporación del agua.

Se colocaron las plantas de aloe en los vasos perforados en la parte inferior y se ubicaron en las perforaciones del tubo.

Se introdujeron en el tubo 13 litros de agua residual, proveniente de una fosa séptica domiciliar.

Se selló el espacio entre el tallo de las plantas y el contorno de la perforación del tubo para que no haya escapes de vapores. De este modo se pretendió disponer de agua el mayor tiempo posible para observar los cambios en el contenido de nutrientes.

En este ensayo no se suministró oxígeno al agua. A fin de que todas las plantas dispusieran de la misma concentración de nutrientes, el agua se recirculó una vez a la semana manualmente, abriendo la llave y recogiénola en un bidón. A continuación se vertía nuevamente en el extremo opuesto del tubo.

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS
HIDROPÓNICOS

SUSANA LOZITA THEILIG-2015

Este ensayo se llevó a cabo durante un mes a fin de evaluar la instalación y realizar los cambios necesarios hasta tanto poder disponer de las plantas de kenaf provenientes del ensayo en suelo.

Análisis de la evolución del ensayo

En la primera semana el agua que al ser de fosa séptica contenía mucha materia orgánica y sólidos sedimentables cambió de color y se volvió transparente, ligeramente amarilla. Durante los primeros 20 días las plantas progresaron adecuadamente en tamaño y color. La observación de las raíces mostró un crecimiento importante y el agua estaba muy clara y sin olor.

La temperatura a la que se encuentra la sustancia de riego para las plantas en etapa de crecimiento es otra variable incidente en el crecimiento de éstas. Investigaciones realizadas sugieren que las raíces de las plantas deben estar entre 22 y 24°C en el día, y entre 15 y 18°C en la noche. En fases de máximo calor la temperatura no debería sobrepasar los 38°C (AGROBETA, 2012).

Debido al color oscuro del tubo, a las altas temperaturas del mes de agosto y a la cantidad de horas de sol que recibió la instalación en esa ubicación, la temperatura del agua en el interior del tubo superó los 40° C.

A consecuencia de esto las plantas comenzaron a deteriorarse y hubo que quitarlas y finalizar el ensayo.

7.1.4-Resultados

Las concentraciones de los parámetros seleccionados, iniciales y finales se pueden observar en la siguiente tabla:

Cultivo hidropónico: Aloe vera								
Fecha	Temp. M	pH	Conduc.	DBO5	DQO	Nitratos	Fosfatos	SS
2015	°C	pH	μS	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
5 Ag	25	8,03	1260	1150	1485	<0.2	31,8	1147.6
01-sep	25	7.18	1109	80	368	<2	36.73	51
% Reducción				99,3	75,21	1*	2*	95,55

7.1.5-Análisis de los resultados

Algunas raíces ya habían empezado a descomponerse, sus hojas cambiaron de color verde a tonos marrones, no obstante el agua lucía clara y sin olor.

Los porcentajes tan altos de reducción de DBO5 (99,3%), DQO (75,2%) y Sólidos en suspensión SS (95,5%) evidencian un alto rendimiento de depuración.

El aumento en el contenido de Nitratos puede deberse a la nitrificación del amoníaco en forma soluble que no se pudo eliminar por volatilización directa por estar selladas las plantas a la tubería pudo haber sido adsorbido mediante reacciones de intercambio iónico, captado por la vegetación y los microorganismos, y ser transformado en nitratos mediante reacciones de nitrificación biológica con el mínimo aporte de oxígeno que se producía al recircular semanalmente el agua.

También se puede asociar este aumento a la descomposición orgánica de las raíces sumergidas en el agua al final del período. La fracción soluble del nitrógeno orgánico al hidrolizarse pudo haber formado aminoácidos, que pudieron a su vez transformarse en iones amonio y luego nitrificarse.

En este ensayo la muestra final presenta una concentración algo mayor de fosfatos que la inicial, lo que puede deberse a la liberación en el agua del fósforo retenido previamente en las raíces al interrumpirse el proceso de crecimiento de las plantas y comenzar su descomposición.

7.1.6-Conclusiones

Este ensayo ayudó a rediseñar la instalación, incorporando aireación, bombeo y localizándola en un lugar más apropiado. Para tener en cuenta todas las formas en que se presentan los compuestos nitrogenados se reemplazó el análisis de Nitratos por el de Nitrógeno total.

Siguiendo igual criterio con el fósforo se decidió analizar Fósforo total, aunque en este caso la variación sería mínima por ser los ortofosfatos mayoritarios en el resultado del fósforo Total.

Por otra parte se decidió incorporar el análisis del Potasio total, por ser el tercer nutriente esencial de cualquier cultivo y poder cuantificar la cantidad extraída del agua.

7.2- 2ª Etapa: Ensayo de cultivo de Kenaf en suelo de la zona

Este ensayo se llevó a cabo en una parcela de una hectárea en la zona regable de Villamartin, específicamente en la finca “El Novillero”, cedida expresamente para ensayar el cultivo experimental de Kenaf a la empresa Kenaf Fiber Industries S.L. Esta finca se eligió por estar muy próxima al lugar donde se proyecta instalar la industria de procesamiento de la fibra, con el objetivo de comprobar la viabilidad agronómica (en cantidad y calidad) y económica de este cultivo. Se ha pretendido que esta parcela experimental sea demostrativa para todos los agricultores de la zona y de la provincia, así como para todas las empresas vinculadas directa e indirectamente y que estén interesados en implantar este tipo de cultivo.

7.2.1- Metodología

La empresa **Kenaf Fiber Industries S.L** ha realizado un ensayo de cultivo experimental de Kenaf ocupando una finca de regadío de 7725 m² de regadío con suelo representativo de la zona, de buena fertilidad y sin problemas de salinidad.

El objetivo de esta parcela experimental es que los agricultores y profesionales del sector interesados en este proyecto observen *"In situ"* el desarrollo y comportamiento agronómico de la planta desde su siembra hasta su recolección y que los resultados obtenidos sirvan a la empresa a la hora de tomar decisiones en la elección de las variedades que ha obtenido los mejores resultados en estas particulares condiciones edafo-climáticas.

7.2.2-Climatología de la zona

A partir del estudio de todas las variables climáticas del municipio de Villamartín se puede extraer una síntesis que lo caracteriza. La temperatura media anual es de 17,42 °C. El mes más frío corresponde a Diciembre, mientras que la temperatura máxima se da en Julio. Las precipitaciones medias están alrededor de los 506 mm. El mayor volumen de lluvia se da en Diciembre, Marzo y Octubre, suelen presentar un carácter fuerte debido a la inestabilidad propia del clima mediterráneo. El verano es el periodo más seco, con valores muy bajos de precipitaciones. Los días de lluvia oscilan en torno a los 71 días al año. Así, los meses de mayor humedad relativa son los comprendidos entre Diciembre y Marzo. Todo ello, junto con un total de 2.893 horas de sol al año, define el clima que impera en el municipio de Villamartín.

7.2.3-Suelos

El suelo donde se ubica la parcela experimental de kenaf se clasifica como Vertisol, conocido comúnmente en la zona como "Bujeos". Son suelos muy representativos de la zona, de muy buena calidad agrológica. Están constituidos en general por suelos profundos con perfiles de tipo A/Bv/C y con un gran contenido en arcilla (mayor del 60%), lo que propicia la aparición de grandes grietas en verano. Aunque tradicionalmente se utiliza para cultivos de secano, en la zona donde se ha realizado el ensayo es zona regable y no presenta problemas de hidromorfismos ni

encharcamientos a pesar del alto contenido en arcillas. Son suelos con un pH comprendido entre 6-8, con una muy buena fertilidad y sin problemas de salinidad.

Suelo de la finca "El Novillero" en Villamartín, Cádiz. Oct 2015

A continuación se describen todas las actuaciones realizadas para la implantación de esta parcela experimental, así como el desarrollo y resultados preliminares obtenidos.

7.2.4-Diseño Experimental y protocolo de cultivo

La parcela experimental de Kenaf se ha instalado en la finca "El Novillero", situada en la zona regable de Villamartín. En esta finca de 200 ha se ubica gran cantidad de cultivos tanto de secano (cereales y oleaginosas) como horticolas de regadío (zanahoria, tomates de industria, remolacha de mesa, lombardas, etc.).

La superficie dedicada a la parcela experimental ha sido de 7.725 m². Adjunto a este documento se recoge un plano con la ubicación de la parcela así como superficies dedicadas a cada variedad y diseño experimental.

Una vez seleccionada la parcela donde se quería ubicar la plantación de kenaf, se inició un protocolo de cultivo aconsejado y asesorado por uno de los socios de la empresa que es especialista en este tipo de cultivo en Israel.

Labores preparatorias del suelo

- El cultivo anterior a la siembra del Kenaf fue de remolacha de mesa.
- Una vez recolectado este cultivo se realizó un pase con **subsolador** a 50 cm de profundidad (28 mayo), ya que el sistema radicular del kenaf es profundo y pivotante (alcanza aproximadamente entre 50-60 cm de profundidad), por lo que es necesario que esta labor sea profunda a fin de que el desarrollo radicular no tenga ningún impedimento edáfico.
- Posteriormente se realizó un pase con grada para desmenuzar adecuadamente el suelo (2 junio). Con esta labor se incorporó el abonado de fondo.
- Por último se realizó la preparación del suelo para la siembra con un rulo de 20x20 (3 junio).

Siembra

Se han testado 7 variedades de Kenaf procedentes de Israel, seleccionándose estas como las más aptas para su futura implantación. Las superficies destinadas a cada una de estas variedades estuvo en función de la cantidad de semilla disponible de cada una de ellas, oscilando de 555 m² la superficie más pequeña (variedad 7) a 1.925 m² la superficie de mayor tamaño (variedad 6).

La siembra se realizó el día 5 de junio utilizándose una sembradora de precisión Monocen.

La densidad de plantación fue aproximadamente de **340.000 plantas por ha**, con un marco de plantación de 50 cm entre líneas y 5 cm entre plantas.

La profundidad de siembra ha sido de 3-4 cm. Las semillas germinaron a los 6-7 de su siembra.

Control de malas hiervas

Se realizó un tratamiento con herbicida de preemergencia el día 6 de junio con pendimethalin al 33% (3 l/ha).

Este tratamiento fue muy efectivo y prácticamente erradicó los problemas de competencia del cultivo con malas hierbas, debido también principalmente al rápido crecimiento de la planta del kenaf respecto a las mismas, evitando de esta manera el desarrollo y posterior daño que las malas hierbas pudieran ocasionar.

Fertilización

Como se comentó anteriormente, con la labor de grada se incorporó un abonado de fondo el día 2 de junio con una dosificación de **200 kg/ha de 8-15-15**.

Posteriormente el día 23 de julio se inició un protocolo de **fertirrigación con 150 kg/ha de abono cristalino 18-18-18** durante 6 semanas.

Control de plagas y enfermedades

Aunque apenas ha existido incidencias en plagas y ninguna en enfermedades, el día 6 de julio se realizó un tratamiento con piretroides y clorpirifos ante la presencia de áfidos y coleópteros que estaban produciendo pequeños daños en las hojas de las plantas pero que en ningún momento revestían gran importancia, aun así se decidió dar este tratamiento para evitar que la plaga tuviera mayor incidencia.

En general el kenaf es una planta muy rústica y resistente a plagas y enfermedades.

Riego

Con el objetivo de favorecer la germinación y posterior desarrollo de las plántulas, se inició el riego de cobertura por aspersión hasta que las plantas tuvieron aproximadamente 50 cm de altura.

Posteriormente se planteó un protocolo de riego (fertirrigación) con una programación semanal hasta mitad de septiembre.

Fertirrigación de kenaf mediante cintas de riego

El riego se inició el 3 de junio y terminó a mediados de septiembre. La cantidad de agua aportada fue de **3.700 m³/ha**.

Recolección

Se pretendía realizar la recolección a principios de octubre, una vez que el cultivo había alcanzado su desarrollo óptimo, pero las continuas lluvias acontecidas en el último mes impidieron la misma, por lo que esta operación se retrasó hasta que se pudo entrar con la cosechadora en el campo.

La recolección se realizó el día 9 de noviembre con un apero de cuchilla acoplado a un tractor. El corte de la planta se realizó a ras del suelo.

Una vez realizado el corte hay que esperar unos 10 días para que la planta pierda humedad (<12%) para posteriormente hilarla y empacarla.

En esta fase se recogieron muestras de cada una de las variedades para estimar producciones, altura y grosor de los tallos y porcentaje de humedad o contenido en materia seca.

Por otra parte de las dos variedades que han tenido un mejor comportamiento se ha empacado 800 kg de cada para analizar la calidad de la fibra en una fábrica extractora de fibra de kenaf de Dinamarca.

7.2.5-Comportamiento del cultivo

En general el cultivo del kenaf ha tenido un desarrollo y comportamiento agronómico extraordinario, sobrepasando con creces las expectativas previstas.

De las 7 variedades ensayadas, 5 son de ecotipos de hoja estrecha y 2 de hoja ancha, se han observado diferencias respecto a la germinación, crecimiento y desarrollo de las mismas, siendo las variedades 5 y 6 las que mejor comportamiento agronómico y en desarrollo vegetativo han tenido en campo a falta de evaluar la calidad de su fibra en la fábrica.

Evolución y desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo

En este apartado se debe hacer una incidencia respecto a la fecha de siembra, ya que idealmente esta se tendría que haber realizado a finales de abril o principios de mayo que es cuando tenemos temperaturas superiores a 15 °C. Por diversos motivos no se pudo hacer en ese momento, retrasándose la misma hasta principios de junio, aun así el desarrollo del cultivo no se vio afectado en ningún momento.

En general y para nuestras condiciones climáticas el desarrollo de este cultivo es de 4-5 meses. El periodo vegetativo de este cultivo está muy influido por el número de horas de luz. Así, los periodos de días largos o con muchas horas de luz influyen favorablemente en el mayor desarrollo o alargamiento del periodo vegetativo que se traduce al final en un mayor rendimiento de cosecha. Por lo tanto, las condiciones del sur de España en general y de Villamartín en particular son favorables en este aspecto.

Todas las variedades, excepto la 1 y 2 tuvieron un buen porcentaje de germinación. El crecimiento y desarrollo de las plantas fue muy rápido influyendo en gran medida el sistema de fertirrigación adoptado. En mediciones realizadas en el campo, las plantas llegaron a crecer una media de 25 cm semanales.

No han existido problemas de daños ni incidencias por malas hierbas, plagas o enfermedades.

Las primeras flores empezaron a aparecer a finales de septiembre, coincidiendo con el ciclo y periodo óptimo para la cosecha.

7.2.6-Resultados obtenidos

Se estima que de acuerdo a las muestras de plantas de cada una de las variedades recogidas en el campo y a falta de tener datos de pesos de la cosecha empacada, el rendimiento por Hectárea podría estar entre **18-20 ton/ha**.

7.2.7- Análisis de la rentabilidad del cultivo

Considerando una zona de cultivo de 1500 ha, se podría abastecer a la fábrica por todo un año. Saldrían a diario camiones para toda Europa. El precio que se ofrecen a los agricultores es un precio fijo. Al no haber competencia en estos momentos es un precio sin riesgo.

Las pruebas demuestran una gran productividad en esta región, pero es necesario que la industria de extracción de la fibra se encuentre en la cercanía del cultivo para que este proyecto sea rentable. La demanda de esta fibra es enorme en Alemania y países nórdicos. Con 4 meses de cultivo se cubre la demanda de la industria trabajando las 24 horas con tres turnos durante 230 días.

Las características del área rural de Villamartín en extensión y características del suelo, aportes de lluvia y temperatura durante los 4 meses necesarios para este cultivo la hacen idónea para producir la cantidad necesaria para la industria, la

cual se instalará en la localidad para recibir la producción de los agricultores, extraer y elaborar la fibra para ser posteriormente exportada.

Esto no solo ofrece una opción extra de cultivo en rotación para los agricultores de la zona, con características muy similares al algodón al que están acostumbrados a cultivar, sino que además demandará mano de obra local para cubrir la demanda de la industria durante todo el año.

Coste de Siembra /Ha: Lo mismo que el algodón 8-10 kg/Ha. Poca mano de obra, solo 4 meses.

Rendimiento: Se estima un rendimiento de 18-20 ton/ha. La rentabilidad es la del maíz o superior.

Actualmente los precios mundiales oscilan entre los 300 y 500 dólares la tonelada lo que ofrecería un total de 6.000-10.000 dólares/ha de cultivo.

Cosecha: Para cultivar el kenaf no hace falta esperar que florezca, se corta desde abajo. Se deja secar en el suelo y luego se recoge. Se empaca para la fábrica con un 22% de humedad con lo cual pesa más y esto beneficia al agricultor.

7.2.8-Conclusiones

En general el kenaf es una planta muy fácil de cultivar y sin grandes complicaciones agronómicas, con un ciclo de desarrollo vegetativo similar al del algodón. Esto quiere decir que aquellos agricultores que sepan cultivar algodón van a tener más facilidad en implantar este tipo de cultivo.

A diferencia del algodón y otro tipo de cultivos no va a tener grandes incidencias en malas hierbas, plagas y enfermedades, por lo tanto los costes de cultivo en este tipo de insumos serán menores.

Es un cultivo que responde extraordinariamente a la aplicación de agua y nutrientes, por lo que para obtener los mejores rendimientos de cosecha y por lo tanto económicos hay que hacer un buen manejo de este tipo de insumos.

Como se mencionó anteriormente, de las 7 variedades testadas, las que mejor comportamiento han tenido en cuanto a desarrollo vegetativo y homogeneidad de plantación han sido las variedades 5 y 6, a falta de que se compruebe la calidad de sus fibras.

La gran fortaleza en la implantación de este cultivo es que va a estar directamente vinculado con la industria (similar a la industria del algodón), con la ventaja de no presentar altibajos en el precio de venta, ya que la demanda de este tipo de fibra en Europa está creciendo cada año.

Por lo tanto, se plantea realizar contratos a medio largo plazo con unas condiciones y precios previos conocidos por el agricultor. Estas circunstancias propician estabilidad y confianza a la hora de que el agricultor se organice y programe su plan de explotación y rotación de cultivos dentro de su finca.

7.3- 3ª Etapa: Ensayo de plantas de kenaf en instalación hidropónica

A- Con agua de fosa séptica

B- Con agua de alcantarillado

Para la realización de este ensayo se amplió la instalación:

Materiales:

- Tubo de PVC de 125 mm de diámetro y 4 m de largo
- Cuatro codos de PVC de 125 mm
- Una llave metálica de riego
- Macetas de invernadero
- Agua residual de una fosa séptica domiciliaria
- Agua residual de punto de muestreo de alcantarillado
- Plantas de kenaf de muy distinto tamaño
- Cobertura de plástico
- Bidones
- Toma muestra
- Medidores de pH, conductividad y temperatura
- Recipientes para enviar las muestra a analizar:
- Andamio
- Cubo de almacenamiento de agua con tapa

- Bomba de recirculación
- Aireadores de pecera
- Perlita
- Ácido sulfúrico y pipeta
- Guantes
- Plásticos resistentes
- Alargador de corriente
- Estufa alógena
- Manguera

7.3.1-Esquema de la instalación

7.3.2-Metodología

Para desarrollar esta etapa de los ensayos se unieron dos tubos de 2 m cada uno por medio de codos y de un trozo más corto formando un circuito. Igualmente se colocaron dos codos hacia arriba en los extremos a fin de impedir la salida del agua.

El inicio de uno de los tubos se elevó con respecto al final, y el diseño se continuó con una pequeña inclinación al unir el segundo tubo de tal modo que el agua se moviera por gravedad entrando por un tubo, pasara al otro y saliendo por la llave metálica. A esta llave se le conectó una manguera para dirigir el caudal al contenedor colocado en el suelo.

El extremo inferior de la tubería finalizó por encima de los 30 cm de altura del suelo permitiendo el drenaje desde la manguera al contenedor de almacenamiento con facilidad. En el contenedor se ubicó una bomba de recirculación para enviar el agua a la cabecera del proceso.

Se reguló el caudal de la bomba y la apertura de la llave de riego para igualar el caudal de bombeo con el de desagüe y mantener el proceso en equilibrio continuo. Se colocó un aireador en el depósito para oxigenar toda el agua que se bombeaba hacia el proceso.

Toda la instalación se apoyó en un andamio al que se techó y cubrió lateralmente con plástico a modo de invernadero para mantener condiciones climáticas más propias de un cultivo tropical y a su vez aislarlo de viento y lluvia. Asimismo se posicionó a mayor altura la tubería diseñada en la 1ª etapa para colocar diferente composición de agua residual en cada uno de estos sistemas.

El 3 de Octubre se recogieron plantas de diferentes especies y tamaños, en la plantación en suelo del ensayo de Villamartín. Las plantas más grandes estaban muy sujetas a la tierra y sus raíces se dañaban al intentar desplantarlas. Hay que tener en cuenta que las raíces de kenaf se desarrollan en sentido horizontal varios metros alrededor y es posible que se corten numerosas raíces al extraerlas.

Las plantas que se encontraban en el borde de la finca, debido al maltrato del viento y los animales presentaban muy poca altura y su extracción fue más sencilla.

Plantas de kenaf del borde de la finca, de menor tamaño, recogidas para ensayar en hidroponía.

El traslado de las plantas desde Villamartín a Rota se realizó en ausencia de agua ya que por la altura de ciertos ejemplares solo se podían colocar horizontalmente.

Una vez que las plantas estuvieron en la instalación se dejaron sumergidas sus raíces en agua potable y arena lavada para que las de mayor envergadura pudieran sostenerse hasta que se colocaran en macetas. Al día siguiente se prepararon los recipientes a medida de sus raíces y tallo, y se adaptaron las perforaciones del tubo a estas macetas. Posteriormente se rellenaron las macetas con perlita para ofrecerle un mínimo de sustento a las plantas y se distribuyeron entre dos sistemas hidropónicos. Cada grupo se ensayó con diferente calidad de agua.

Cada grupo de plantas se ensayó con agua de diferente origen.

7.3.3-A. Con agua de fosa séptica

El 7 de Octubre se extrajo agua de una fosa séptica, se diluyó para evitar que una alta concentración pudiera dañar las plantas. Se llenó el tubo d PVC y el contenedor de almacenamiento. En el tubo se colocaron 11 plantas y las restantes se dejaron en el contenedor hasta adaptarles contenedores apropiados. Todo bajo invernadero para protegerlas de las temperaturas inferiores de la noche, los vientos y la lluvia.

Se colocó el agua residual en el sistema.

7.3.3.1- Características agua de partida

Volumen de agua: 10 litros

Nº de plantas: 11

pH: 8,06

Temperatura: 25 °C

Conductividad: 1260 μ S

DBO5: 130 mg/L

DQO: 318 mg/L

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS
HIDROPÓNICOS

SUSANA LOZITA THEILIG-2015

Se tomó una muestra inicial y se envió al laboratorio para determinar las concentraciones de los siguientes parámetros:

DBO5, DQO, Nitrógeno, Fósforo y Potasio

La instalación se sometió a una aireación continua en dos puntos a lo largo del tubo. No se instaló bomba de recirculación pero se movía el agua diariamente para homogenizar el contenido de oxígeno inyectado. Esto se hacía levantando alternativamente los extremos del tubo y forzando al agua a moverse de un lado a otro.

Al cabo de una semana las plantas ya habían desarrollado nuevas raíces y hojas.

Se vació el agua del tubo semanalmente abriendo la llave de riego y recogiénola en un cubo para luego volver a introducirla en el tubo. Esto se hizo para distribuir además del oxígeno disuelto las partículas sedimentables de un lado a otro del tubo. Los macetas se hicieron entrar a presión en las perforaciones para evitar que se cayeran dentro del agua y alteraran su calidad.

Para no alterar la calidad del agua analizada no se completó el nivel de agua en el interior del tubo. Las plantas fueron consumiendo el agua a lo largo del ensayo.

La muestra de agua tomada para realizar el análisis del día 6 de noviembre, fue la última EL volumen remanente en el tubo era muy escaso para poder seguir con el ensayo.

Parte del volumen de agua fue consumido por las plantas, otra parte por evapotranspiración y una pequeña proporción pudo haberse evaporado debido a temperaturas ambientales que se mantuvieron alrededor de los 25 °C durante varias horas al día, a pesar de estar los extremos del tubo bien cerrados.

7.3.3.2-Resultados analíticos y gráficos

Fecha	Muestra	Nitrógeno total	Red./ período	Período	Red./día	Oxígeno
2015		(mg/L)	%	días	%	Horas
09-oct	FS-1	51				
16-oct	FS-2	34,3	32,75	7	4,68	24
23-oct	FS-3	18,4	46,36	7	6,62	12
28-oct	FS-4	5,5	70,11	5	14,02	24
06-nov	FS-5	3,9	29,09	9	3,23	12
Reducción Total %		92.35

Fecha	Muestra	Potasio Total	Red./ período	Período	Red./día	Oxígeno
2015		(mg/L)	%	días	%	Horas
09-oct	FS-1	29,68				
16-oct	FS-2	37,9	-27,70	7	-3,96	24
23-oct	FS-3	41,9	-10,55	7	-1,51	12
28-oct	FS-4	32,4	22,67	5	4,53	24
06-nov	FS-5	7	78,40	9	8,71	12
Reducción Total %		76.41

Fecha	Muestra	Fósforo total	Red./ período	Período	Red./día	Oxígeno
2015		(mg/L)	%	días	%	Horas
09-oct	FS-1	7,64				
16-oct	FS-2	4,14	45,81	7	6,54	24
23-oct	FS-3	3,23	21,98	7	3,14	12
28-oct	FS-4	1,87	42,11	5	8,42	24
06-nov	FS-5	1,09	41,71	9	4,63	12
Reducción Total %		85,73

7.3.3.3-Análisis de los resultados

El consumo de Nitrógeno muestra una curva lineal hasta el día 28 de octubre.

Entre el día 28 de octubre y el día 6 de noviembre se bajó el pH con ácido sulfúrico (0,5N) hasta llevarlo a pH 7,5. La dosis de oxígeno disminuyó al desconectar el aireador por la noche y encenderlo de día. Se puede observar que en estas condiciones la curva de eliminación del nitrógeno tiene una pendiente favorable aunque algo más suave que en el periodo anterior. Estos efectos son menos notorios en el fósforo. Sin embargo la absorción de potasio aumentó a estos valores de pH. En el primer y segundo periodo el aumento del potasio en el agua puede deberse a la liberación del contenido del mismo de las raíces al agua, fruto de su crecimiento inicial en suelo fertilizado, hasta llegar a un equilibrio. Al bajar el pH se produjo una nueva absorción de potasio.

Desarrollo radicular de dos ejemplares al final del ensayo

Estado de las plantas al final del ensayo

7.3.4-B. Con agua de alcantarillado

7.3.4.1- Caracterización analítica del agua residual de partida

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES LÍMITE (Título IV. Ordenanza Municipal de Vertidos del Ayto. de Rota)
pH (IN SITU)	Unid. de pH	7,7	6-9
TEMPERATURA (IN SITU)	°C	22,9	40
CONDUCTIVIDAD A 25°C (IN SITU)	μS/cm	1356	5000
D.B.O. ₅	mg O ₂ /L	190	1000
D.Q.O.	mg O ₂ /L	325	1750
SÓLIDOS EN SUSPENSION	mg/L	68,7	1000
SÓLIDOS SEDIMENTABLES A 60 min	mL/L	<0,6	10
ACEITES Y GRASAS	mg/L	5,81	200
DETERGENTES ANIONICOS	mg/L	0,5	10
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/L	63,4	300
CIANUROS TOTALES	mg/L	< 0,015	1,5
FENOLES	mg/L	0,1	3

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Ácido cianhídrico (CHN)	cm ³ gas /cm ³ aire	< 0,81*10 ⁻⁸
Cloro (Cl ₂)	cm ³ gas /cm ³ aire	3,83*10 ⁻⁸
Dióxido de azufre (SO ₂)	cm ³ gas /cm ³ aire	19,94*10 ⁻⁸
Monóxido de carbono (CO)	%	< 0,03
Sulfuro de hidrógeno (SH ₂)	cm ³ gas /cm ³ aire	46,91*10 ⁻⁶
Amoniaco (NH ₃)	cm ³ gas /cm ³ aire	21,30*10 ⁻⁸

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES LIMITE (Título IV. Ordenanza Municipal de Vertidos del Ayto. de Rota)
TOXICIDAD	U.T.	6,4	15
COLOR (PT / CO)	mg/L Pt-Co	43	BIODEGRADABLE EN PLANTA
SULFUROS	mg/L	0,55	5
MOLIBDENO	mg/L	< 0,02	1
ZINC	mg Zn/L	0,14	10
ESTAÑO	mg/L	0,08	2
HIERRO	mg Fe/L	2,36	25
MANGANESO	mg Mn/L	0,11	3
MERCURIO	µg Hg/L	< 0,2	2
NIQUEL	mg Ni/L	< 0,02	3
SELENIO	mg Se/L	< 0,02	1
BARIO	mg Ba/L	0,09	12
ARSENICO	mg As/L	< 0,005	0,7
ALUMINIO	mg Al/L	0,31	10
CADMIO	mg Cd/L	< 0,0008	0,7
BORO	mg B/L	0,28	2
PLOMO	mg Pb/L	< 0,02	1,2
CROMO VI	mg/L	< 0,02	0,6
CROMO TOTAL	mg Cr/L	< 0,02	3
COBRE DISUELTO	mg Cu/L	< 0,02	0,5
COBRE TOTAL	mg Cu/L	0,07	3
SULFATOS	mg/L	78	500
FLUORUROS	mg F/L	0,3	9
NITRÓGENO AMONICAL	mg/L	31,03	25
NITRATOS	mg/L	<0,2	80
ORTOFOSFATOS	mg PO ₄ /L	4,43	100

El agua se recogió desde la arqueta llenando un bidón de 25 litros para abastecer la instalación y apartando varios litros que se enviaron al laboratorio para su completa caracterización. Se llevó el bidón hasta la instalación, se midió el pH, la temperatura y la conductividad y se introdujeron 20 litros de agua en el sistema y, simultáneamente, se tomó otra muestra para analizar solo los parámetros seleccionados Nitrógeno total, Fósforo total y Potasio total (NPK) y disponer así rápidamente de las concentraciones iniciales.

Hasta el día 6 de noviembre en el circuito había 20 plantas, todo bajo invernadero para protegerlas de las temperaturas inferiores de la noche, el viento y la lluvia.

A partir de esta fecha se incorporaron 11 plantas más al circuito, colocadas en una tubería a un nivel superior. El agua recirculaba desde la parte final del circuito inferior por bombeo hasta un extremo del tubo superior y desde el otro extremo de éste al circuito inferior por gravedad. Al final del cual el agua caía a un contenedor donde se bombeaba nuevamente al tubo superior como puede observarse en el siguiente esquema:

7.3.4.2-Esquema de la instalación

Se distribuyeron dos entradas de aire directamente en la tubería superior y otras dos en el contenedor. El pH se controló de tal manera de mantenerlo en un rango de 5,8 a 7,5 adicionando ácido sulfúrico. El 12 de noviembre se bajó el pH de 8,10 hasta 5,15. La recirculación homogeneizó este valor hasta alcanzar el valor de pH: 6,75 en una hora.

El día 13 de noviembre el pH se volvió a bajar hasta 5,81. El día 14 de noviembre el pH nuevamente presentaba un valor de 6,59 por lo que se añadió ácido sulfúrico hasta conseguir un pH de 6,1. La intención fue evaluar el rango de pH que

presentara un mayor rendimiento de remoción de nutrientes. Paralelamente se redujo la oxigenación alternando periodos con oxígeno y periodos anóxicos.

7.3.4.3-Resultados analíticos y gráficos

Fecha	Code	DBO5	DQO	Temp. M	pH
2015		(mg/L)	(mg/L)	°C	pH
28-oct	AR-1	190	325	25	7,7
06-nov	AR-2			24,5	7,9
12-nov	AR-3			24	6,7
14-nov	AR-4			24,7	6,1
16-nov	AR-5	21	62	24	6,2
% Reducción		88,95	80,923

Fecha	Code	Nitrógeno total	Temp. M	pH	Red./ período	Período	Red./día	Oxígeno
2015		(mg/L)	°C	pH	%	días	%	Horas
28-oct	AR-1	57,9	25	7,7				
06-nov	AR-2	44	24,5	7,9	24,01	7	3,43	12
12-nov	AR-3	31,6	24	6,7	28,18	7	4,03	12
14-nov	AR-4	18,7	24,7	6,1	40,82	5	8,16	12
16-nov	AR-5	36,1	24	6,2	-93,05	9	-10,34	12

Fecha	Code	Fósforo total	Temp. M	pH	Red./ período	Período	Red./día	Oxígeno
2015		(mg/L)	°C	pH	%	días	%	Horas
28-oct	AR-1	5,67	25	7,7				
06-nov	AR-2	7,19	24,5	7,9	-26,81	7	-3,83	12
12-nov	AR-3	5,99	24	6,7	16,69	7	2,38	12
14-nov	AR-4	7,21	24,7	6,1	-20,37	5	-4,07	12
16-nov	AR-5	7,18	24	6,2	0,42	9	0,05	12

Fecha	Code	Potasio Total	Temp. M	pH	Red./ período	Período	Red./día	Oxígeno
2015		(mg/L)	°C	pH	%	días	%	Horas
28-oct	AR-1	63,4	25	7,7				
06-nov	AR-2	72,1	24,5	7,9	-13,72	9	-1,52	12
12-nov	AR-3	70	24	6,7	2,91	6	0,49	12
14-nov	AR-4	69,6	24,7	6,1	0,57	2	0,29	12
16-nov	AR-5	69,7	24	6,2	-0,14	2	-0,07	12

7.3.4.4-Análisis de los resultados

A la vista de los resultados obtenidos podemos observar que el pH es un parámetro muy importante en el rendimiento del proceso, incluso más que el oxígeno.

Se obtuvieron mejores resultados en el ensayo de la etapa 1º donde no se modificó el pH, el que fue aumentando a lo largo de los días hasta alcanzar un valor de 8,5. En este ensayo la acidificación ha impedido la asimilación de fósforo y potasio por las raíces, incluso ha aumentado la concentración en el agua probablemente debido a una disolución de una fracción previamente precipitada.

En el caso del Nitrógeno, su evolución muestra un porcentaje de reducción superior al 20 % por semana, hasta llegar a la última semana donde su valor aumenta considerablemente. En este punto hay que hacer notar que al ser la última muestra del ensayo se debió recoger 1 litro de agua para analizar DBO, DQO, Nitrógeno, fósforo y Potasio. Como el sistema ya no tenía suficiente agua, hubo que inclinar el tubo con lo que se recogió además sedimentos del fondo. No obstante la reducción de la DBO y la DQO fue importante como así también el volumen de agua que se redujo a menos de la mitad en este periodo.

8- Conclusiones

De estos tres ensayos realizados se pueden extraer numerosas conclusiones, entre ellas:

La depuración mediante cultivos hidropónicos se presenta como una muy buena opción, no solo para la eliminación de nutrientes sino para la reducción de otros parámetros como son la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno.

Las raíces, con buen suministro de oxígeno, son capaces de absorber más selectivamente los iones de la solución. La energía metabólica que es requerida para este proceso es obtenida de la respiración radicular, la cual es inhibida por la falta de oxígeno. La oxigenación es esencial para mantener saludables las raíces y conseguir una mayor captación de los nutrientes por parte de las raíces de las plantas.

En ausencia de oxígeno se produce una depuración anaerobia pero no se observa reducción de nutrientes mediante este tratamiento ya que la falta de oxígeno reduce la permeabilidad de las raíces al agua.

Si la falta de oxigenación continua, las deficiencias comienzan a manifestarse, las raíces mueren y la planta no se desarrolla.

Una vez que ha comenzado el deterioro de la raíz, provocado por la anaerobiosis, los patógenos oportunistas como el *Pythium* pueden entrar rápidamente a la planta y destruirla. Esto es lo que sucedió con las plantas de Aloe Vera.

Un aumento de la temperatura mejora el rendimiento pero si es muy alta afecta al cultivo. Debe protegerse la instalación de una larga exposición al sol principalmente en los meses de verano.

El cultivo del kenaf ha demostrado ser muy apropiado para reducir rápidamente los nutrientes del agua residual a la vez que muy resistente a las variaciones de

calidad de agua, temperatura y pH, aunque éste último puede afectar mucho el rendimiento con pequeñas variaciones.

Para un desarrollo a mayor escala de este cultivo en instalación hidropónica, será necesario recurrir a un sustrato de soporte más denso que la perlita que permita a la planta sujetarse y sostener un tallo de 2 metros de altura.

Debido a la gran cantidad de agua y nutrientes que ha demandado este cultivo, el sistema hidropónico apropiado es del tipo cerrado con recirculación y aireación. Podría utilizarse como tratamiento terciario de aguas residuales o también como tratamiento secundario, como ha quedado demostrado con los ensayos realizados utilizando tanto agua residual como agua más concentrada de fosa séptica (etapa 1º y 3ª). En este caso el efluente del tratamiento secundario realizado usando plantas de kenaf puede ser utilizado para someterlo a tratamiento terciario por otras plantas, siguiendo la normativa de reutilización de aguas residuales.

En pequeños núcleos urbanos, con aumento de la población en verano, este sistema puede ser una buena solución al tratamiento principal de los vertidos como así también como tratamiento de apoyo por coincidir la mayor demanda de tratamiento con el periodo más propicio para el desarrollo del cultivo.

La demanda de kenaf en Europa es muy importante actualmente para la fabricación de materiales aislantes térmicos y acústicos para la industria de la construcción y automotriz. Para que sea rentable la incorporación de este cultivo al mercado es necesario procesarlo en origen y exportar sus fibras. Los buenos resultados obtenidos con el cultivo en suelo han propiciado el proyecto de instalación de una industria procesadora en la provincia de Cádiz lo que permitiría un destino provechoso de este cultivo después de cumplir la función de depuración. Al utilizarse sus fibras para industria no alimentaria, se reducen los riesgos sanitarios.

Por todas estas consideraciones la eliminación de nutrientes de aguas residuales mediante el empleo de cultivos hidropónicos como el kenaf es posible y recomendable en el del sur de España como así también en zonas de climas similares o más cálidos.

Ampliando el campo de aplicabilidad de este tratamiento, se presenta muy interesante como alternativa de tratamiento en países menos desarrollados donde la urbanización es extensiva y sin acceso a redes de alcantarillado.

En este contexto se presentan casos de zonas rurales con cuencas hidrológicas "sensibles" a la contaminación, con numerosas zonas de turismo de montaña cuyas aguas fluyen a ríos y lagos que también son fuente de suministro de agua a grandes poblaciones.

Coincide en algunos casos la falta de redes, la inexistencia de infraestructura mayor para la depuración, el incremento considerable de pequeñas urbanizaciones generadoras de agua residual y la presencia de suelo rocoso que impide cualquier tipo de filtración. En estas situaciones "reales" la disposición final del agua residual es realmente un problema ambiental e hidráulico.

EL tratamiento con cultivos hidropónicos para pequeñas urbanizaciones ofrecería un uso al agua de mala calidad, prevendría la llegada de esta por escorrentía a las fuentes de agua de abastecimiento y la cosecha del cultivo ofrecería una pequeña rentabilidad que haría posible solventar el mínimo mantenimiento que este proceso de depuración requiere.

El período de crecimiento del cultivo coincide con los meses de mayor temperatura siendo éstos los más problemáticos debido al aumento de los vertidos producidos por el incremento del turismo en esas zonas.

9- Futuras investigaciones

Estos ensayos buscaron fundar las bases para que en futuras investigaciones se profundice sobre el comportamiento y las condiciones óptimas de todos parámetros que influyen en el proceso, formulando un modelo estadístico preciso que permita:

- La determinación de la influencia de cada variable sobre el crecimiento de la planta, en el lugar donde se quieran implementar cultivos hidropónicos, minimizando costos y tiempos de cosecha, maximizando la productividad y uniformando los ciclos productivos de las plantas.
- La determinación de la influencia de cada variable sobre el rendimiento en la depuración del agua, especialmente en la remoción de nutrientes.
- Identificar la combinación idónea de variables y la correlación entre ellas para optimizar el proceso.

10- Bibliografía

ADAMSON, W.G., G.A. WHITE y J.J.HIGGINS. (1972)

Variation in leaf development and dry matter yield among kenaf varieties and introductions.

Crop Science.12(3): 341-343.

ÁLVAREZ, MARTHA y E.VINENT. (1979)

Respuesta del kenaf al fotoperiodismo". Agrotécnia de Cuba 11(1): 1-10.

AMY VICKERS. (1979)

Handbook of Water use and conservation

2ªEdición. 2002. Water Plow Press. Amherst, MA ISBN 1-931579-07-5

ÁLVAREZ, MARTHA y E.VINENT.

Respuesta del kenaf al fotoperiodismo". Agrotécnia de Cuba 11(1): 1-10.

ANDREA MONTI; EFTHIMIA ALEXOPOULOU (2013)

Kenaf: a multi-prupose crop for several industrial applications

Springer-Verlang . ISBN:978-1-4471-5067-1. London 2013

A.OLIVIERI, J. SOLLER, K.OLIVIERI, R.GOEBEL, G. TCHOBANOGLIOUS (2005)

Seasonal tertiary wastewater treatment in California: An analysis of public health benefits and costs. Water Research, Volume 39, Issue 13, August, Pages 3035-3043.

BHAGOO, M.S., H.S.TEHRANI y J.HENDERSON.

Kenaf performance in the San Joaquin Valley, California.

Abstracts on Tropical Agriculture 12(12): 109.

BHAGOO, M.S., H.S.TEHRANI y J.HENDERSON. (1987)

Effect of planting date, nitrogen levels, row spacing and plant population on.

BRIX, H. (2004).

Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage.

Vol. 1. pp.1-9. 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Avignon,France.

CROUSE, B.W. (1973)

Effect of growing temperature in chemical-physical properties of kenaf fibers.

Crop Science 13(1): 52-54.

CUADRA, R. M. (1994)

Proyección de los cultivos productores de fibras no forestales.

, La Habana, 6pp.

CHARLES L. WEBBER III. (1996)

Response of Kenaf to Nitrogen Fertilization
p. 404-408. In: J. Janick (ed.), Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.

CLAUDIA SADOFF Y MIKE MULLER

La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático.
TEC Background papers. Nº 14

CRITES, R., MIDDLEBROOKS, E. Y REED, S. (2006).

Natural Wastewater Treatment Systems. CRC Press,
Taylor & Francis Group.

COMISIÓN EUROPEA (2003).

Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales. Adaptados a las pequeñas y medias colectividades (500– 5.000 H. E.)
Oficina de las publicaciones oficiales de las comunidades europeas. Luxemburgo.

DONALD R. ROWE; ISAM MOHAMED ABDEL-MAGID (1995)

Handbook of Wastewater reclamation and reuse
USA. ISBN 0-87371-671-X.

DA VIA, J. D., M. O. BAGBY, B. A. WOLF, F. K. PAULDEN y J. R. GROSS. (1978)

Cubbing increases density of kenaf (Hibiscus cannabinus, L
California Agriculture, 32(9):11-12.

ERNEST BAZEN; ROLAND K. ROBERTS, BURTON C. ENGLISH. (2007)

Economic Feasibility of Kenaf Production in Three Tennessee Counties
University of Tennessee Agricultural Economics. Selected Paper prepared for presentation at the Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, Mobile, Alabama, February 3-6.

EULOGIO MORENO. (2015)

Cultivo Experimental de Kenaf en la zona de Villamartín
Ingeniero agrónomo de BC Ingenieros; Grupo de Desarrollo Rural Sierras de Cádiz; Comunidad de Regantes Villamartín. Noviembre.

FAHMY, R., L. ABAUSHOLA., A. M. HELLA y S. A. ABDEL SALAM. (1989)

The effect of plant population levels on growth, yield and fiber quality of kenaf (Hibiscus cannabinus).. Abstracts on Tropical Agriculture 14(7):103.

GALVAO, A., MATOS, J., RODRIGUES, J. Y HEATH, P. (2005).

Sustainable sewage solutions for small agglomerations.
Water Science & Technology, Vol. 52, Nº 12-2005. pp. 25-32

GIRALDO ACOSTA ALCOLEA

Aspectos generales del kenaf (Hibiscus cannabinus, L.), en Cuba

Investigador del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", La Habana, Cuba

GLENN O. SCHWAB; RICHARD K. FREVERT; TALCOTT W. EDMISTER; KENNETH K. BARNES T. 1990.

Ingeniería y conservación de suelos aguas.

John Wiley & Sons, Inc. ISBN 968-18-1817-2. Editorial LIMUSA SA.

GARCÍA, J Y MUJERIEGO, R. (1997).

Humedales construidos de flujo superficial para tratamiento terciario de aguas residuales urbanas en base a la creación de nuevos ecosistemas. Tecnoambiente, 75, 37-42.

HERNÁNDEZ, A. (1997).

Depuración de aguas residuales. Colección Sénior N°

9. Publicación del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

HERNÁNDEZ MUÑOZ, AURELIO. (2001)

Depuración y Desinfección de Aguas Residuales (5ª ED.) (En papel)

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. ISBN 9788438001905

HERNÁNDEZ, A. (1991).

Saneamiento y Alcantarillado.

Colección Sénior N° 8. Publicación del Colegio de Ingenieros de Caminos, C. y Puertos de Madrid.

HIGGINS, JOSEPH J. (1974)

Kenaf Leaf Development and Stem height: Index of Crop Yield in the United States Technical Bulletin 1477. Institution/Association: United States Department of Agriculture. Economic Research Service. Total Pages: 35.

HORGAN, BRIAN. (March 2003)

Denitrification Impedes Fertilizer Effectiveness.

Turfgrass Trends, p 52-57. March 2003.

IBT TONATIUH MANZANO SÁNCHEZ.DIRECTOR: M. EN C. RICARDO CONTRERAS CONTRERAS. (2010)

Reducción del tiempo de absorción de nitrógeno y fósforo presentes en el agua residual mediante un pretratamiento, empleando un sistema hidropónico.

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Unidad Zacatenco. Sección de Estudios de Postgrado.

INGENIERO JAVIER SANCHEZ V. (2000)

Fertirrigación: Principios, Factores, Aplicaciones

(FERTITEC S.A.)Seminario de Fertilización: Apukai-Comex Perú. Lima.

ISABEL MARÍA RODRÍGUEZ GARCÍA. (2006)

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS

SUSANA LOZITA THEILIG-2015

Caracterización química de fibras de plantas herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad
Químicas por la Universidad de Sevilla para optar al título de Doctor en Ciencias.

IWMI: ROBYN JOHNSTON; CHU TAI HOANH et al.
Rethinking Agriculture in the Greater Mekong Region.
Summary report. Pág 20

JAVIER RUZA RODRÍGUEZ, MIGUEL ÁNGEL BORDAS MARTÍNEZ, GEMMA ESPINOSA EXPÓSITO, ALEJANDRA PUIG INFANTE. (2007)

Manual para la gestión de vertidos

Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente por: Coordinadora: C. Danés Castro. Catálogo general de publicaciones oficiales. Edita: Centro de Publicaciones. Secretaria General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente

J. RAMIS, J. ALBA, R. DEL REY, E. ESCUDER, V. J. SANCHÍS. (2010)

Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf

Materiales de Construcción. Vol. 60, 299, 133-143. Julio-septiembre

JOSE G. PENA, EXTENSION ECONOMIST-MANAGEMENT (2005)

Greenhouse Vegetable Production Economic Considerations, Marketing, and Financing.

Texas Cooperative Extension, May, 2005.

JOSEPH A. SALVATO. (1992)

Environmental Engineering and Sanitation

A Wiley Interscience Publication. 4ª Edición.

LAURA MARCELA CAMPILLO, MARÍA FERNANDA COTE, NATALIA ANDREA HERRERA, SILVIA CAMILA MENESES, JUAN JOSÉ SANTAMARÍA.

Factores que inciden en el crecimiento de un cultivo hidropónico

Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga, Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Industria

LYNETTE MORGAN PHD. (2000)

Are Your Plants Suffocating? The importance of Oxygen in Hydroponics.

Practical Hydroponics & Greenhouses, p 52 (May/June 2000)

MARCUS JOPONY, AWANG AHMAD MOHD YUNUS, ONG SHIN YING, LEE SEIK YI AND YONG SOO HUN. UNIVERSITY OF MALAYSIA SABAH, JALAN (2013)

Kenaf Fibres (Hibiscus Cannabinus) as a potential low-cost adsorbent for wastewater treatment

UMS. 88400 Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia. International Journal of Science, Environment ISSN 2278-3687 (O) and Technology. Vol. 2, No 5, 2013, 805 – 812.

MÉNDEZ F., MARCIAL A.; RICARDO C., MARTHA P.; PÉREZ P., JENY; HERNÁNDEZ C., GEISY; CAMPOS, OSVALDO. (2006)

Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana

Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 15, núm. 3, 2006, pp. 17-21. Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. Cuba.

NICOLÁS ORTIZ Y AGUSTÍN SOMMO

Kenaf biomasa para propósitos múltiples

Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC), bajo la tutoría de los ingenieros agrónomos Ricardo Héctor Maich y Jorge Francisco Cosiansi.

REAL DECRETO 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

REAL DECRETO 849/1986, de 11 de abril por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

Ruiz, G. S. (2004)

Hidropónia Básica, el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra.
México D.F.: Diana S.A.

© Secretariado Alianza por el Agua (2008)

Manual de depuración de aguas residuales
Ecología y Desarrollo. EDICIÓN Ideasamares. DEPÓSITO LEGAL Z-2802/08

Simply Hydro. (2008)

Basic hydroponic systems and how they work.
Retrieved November 11, 2011

UNIVERSIDAD DEL NORDESTE, FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA. (1969)

Estudios agrotécnicos con el kenaf en la provincia de Corrientes, Argentina,
1ed., Prov. de Corrientes., Argentina, núm. 8, 17pp.
MAG/BCIE/IICA

VINENT, E. (1982)

Efecto de distancia de siembra en el kenaf (Hibiscus cannabinus, L.) para la producción de fibra..
Agrotécnica de Cuba 14(1):51-62.

WHITERS, N. J. (1973)

Production of kenaf under temperature conditions.
New Zeland Journal of Experimental Agriculture: 253-258.

WHITERS, N. J. (1971)

Influence on date of harvest in the yield of kenaf..
Agronomy Journal 63(3):509-511.

11- Anexo- Analítica

11.1- Agua de Fosa séptica- Ensayo Aloe

11.1.1-Aloe-1

Informe de análisis

DATOS GENERALES

INFORME Nº: 1661981
ANÁLISIS Nº: 2702326
MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG
DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134
POBLACION: 11520-ROTA
DENOMINACIÓN MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMESTICA FOSAS SEPTICAS
DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico 1L(1), conteniendo agua residual
FECHA RECEPCIÓN: 6/08/2015
FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 21/08/2015

Análisis realizado por LABAQUA Madrid. Acreditado por ENAC nº 109/446;-LABAQUA, S.A. con sede en C/Santa Leonor, 39
 1ª planta, 28037 Madrid- Tel. 913589611 - Fax 913589482:
 Fecha inicio análisis 6/08/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	MAD-G-PE-0006 (Manometría)	1150	mg O ₂ /L
Demanda Química de Oxígeno	MAD-G-PE-0192 (UV/VIS)	1485	mg O ₂ /L
Sólidos en suspensión	MAD-G-PE-0047 (Gravimetría)	1147.6	mg/L
Aniones			
Nitratos	MAD-C-PE-0133 (CI)	< 0.2	mg/L
Ortofosfatos	MAD-E-PE-0018 (UV-VIS)	31.80	mg/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio.
 El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Madrid por Técnico Superior: Inmaculada Simón De Pablo, Director Técnico: Blanca San Vicente De La Riva.

Documento firmado electrónicamente. Autenticidad verificable mediante código seguro
 5b7cb2d88c568113da3d6e31aee9755f0665059 en www.frmt.es.

Emitido en MADRID, 21 de Agosto de 2015

11.1.2-Aloe-2

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS

SUSANA LOZITA THEILIG-2015

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME N°: 1673097 ANÁLISIS N°: 2709833 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: MUESTRA N°2 FOSA SEPTICA DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico 1L(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 2/09/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 8/09/2015

Análisis realizado por LABAQUA Madrid. Acreditado por ENAC n° 109/446; LABAQUA, S.A. con sede en C/Santa Leonor, 39 1ª planta, 28037 Madrid- Tel. 913589611 - Fax 913589482:
 Fecha inicio análisis 2/09/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	MAD-G-PE-0006 (Manometría)	80	mg O ₂ /L
Demanda Química de Oxígeno	MAD-G-PE-0192 (UV/VIS)	368	mg O ₂ /L
Sólidos en suspensión	MAD-G-PE-0047 (Gravimetría)	51.0	mg/L
Aniones			
Nitratos	MAD-C-PE-0133 (Cl)	<2	mg/L
Ortofosfatos	MAD-E-PE-0018 (UV-VIS)	36.73	mg/L

OBSERVACIONES

Se aumenta el límite de cuantificación de los nitratos por efecto matriz

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Madrid por Técnico Superior: Inmaculada Simón De Pablo, Director Técnico: Blanca San Vicente De La Riva.

Documento firmado electrónicamente. Autenticidad verificable mediante código seguro 5b7cb2d88c568113da3d6e31aece9755f0665059 en www.fnmt.es.

Emitido en MADRID, 8 de Septiembre de 2015

11.2-Agua de Fosa séptica- Ensayo kenaf

11.2.1-FS-1

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1698872 ANÁLISIS Nº: 2728370 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: FOSA SEPTICA ROTA CADIZ DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico 1L(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 9/10/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 21/10/2015

Análisis realizado por LABAQUA Madrid. Acreditado por ENAC nº 109/446;-LABAQUA, S.A. con sede en C/Santa Leonor, 39 1ª planta, 28037 Madrid- Tel. 913589611 - Fax 913589482:
 Fecha inicio análisis 9/10/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	MAD-G-PE-0006 (Manometría)	130	mg O ₂ /L
Demanda Química de Oxígeno	MAD-G-PE-0192 (UV/VIS)	318	mg O ₂ /L
Nitrógeno total	MAD-G-PE-0193 NT (UV/VIS)	51.0	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	MAD-E-PE-0132 (ICP/OES)	29.68	mg/L
Metales			
Fósforo total	MAD-E-PE-0132 (ICP/OES)	7.64	mg/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Madrid por Técnico Superior: Inmaculada Simón De Pablo, Director Técnico: Blanca San Vicente De La Riva.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en MADRID, 21 de Octubre de 2015

11.2.2-FS-2

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1700053 ANÁLISIS Nº: 2731323 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: MUESTRA 3 DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 18/10/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 22/10/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 18/10/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0070 Quimioluminiscencia	34.3	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	37.9	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	4.14	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Carol Cortada Cortes, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 22 de Octubre de 2015

11.2.3-FS-3

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1705275 ANÁLISIS Nº: 2737302 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: FOSA SEPTICA DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 23/10/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 30/10/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 23/10/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0070 Quimioluminiscencia	18.4	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	41.9	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	3.23	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Elena Soria, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 30 de Octubre de 2015

11.2.4-FS-4

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1708325 ANÁLISIS Nº: 2741490 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMESTICA. FOSA SEPTICA-CH DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 28/10/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 4/11/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 29/10/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0070 Quimioluminiscencia	5.5	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	32.4	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	1.87	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Julio Llorca Porcel, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 4 de Noviembre de 2015

11.2.5-FS-5

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1713075 ANÁLISIS Nº: 2748078 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMESTICA FOSA SEPTICA MUESTRA 9 DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 8/11/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 12/11/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 8/11/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0070 Quimioluminiscencia	3.9	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	7.0	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	1.09	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Julio Llorca Porcel, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 12 de Noviembre de 2015

11.3- Aguas Residuales de alcantarillado: ARs

11.3.1-AR-1

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1708317
ANÁLISIS Nº: 2737303
MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG
DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134
POBLACION: 11520-ROTA
DENOMINACIÓN MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMESTICA AR-1/CH
DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual
FECHA RECEPCIÓN: 28/10/2015
FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 4/11/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
Fecha inicio análisis 29/10/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0070 Quimioluminiscencia	57.9	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	63.4	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	5.67	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Julio Llorca Porcel, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 4 de Noviembre de 2015

11.3.2-AR-2

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME N°: 1711850 ANÁLISIS N°: 2748079 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: AGUA RESIDUAL DOMESTICA AR-2 MUESTRA 17 DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 8/11/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 11/11/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC n° 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 8/11/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0070 Quimioluminiscencia	44.0	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	72.1	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	7.19	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Carol Cortada Cortes, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 11 de Noviembre de 2015

11.3.3- AR-3

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1718845 ANÁLISIS Nº: 2751735 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: AR-3 MUESTRA 19 DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 13/11/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 23/11/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 13/11/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0007 Kjeldahl	31.8	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	70.0	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	5.99	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Jose Gallardo Armengot, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 23 de Noviembre de 2015

11.3.4-AR-4

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1719848 ANÁLISIS Nº: 2752505 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: AR - 4 (MUESTRA 13) DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico de 250 mL(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 17/11/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 23/11/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 17/11/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Nitrógeno total	A-F-PE-0007 Kjeldahl	18.7	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	69.6	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	7.21	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Jose Gallardo Armengot, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 23 de Noviembre de 2015

11.3.5-AR-5

Informe de análisis

DATOS GENERALES
INFORME Nº: 1719847 ANÁLISIS Nº: 2752831 MUESTRA REMITIDA POR: SUSANA LOZITA THEILIG DOMICILIO: Av. Príncipe de Asturias 2-134 POBLACION: 11520-ROTA DENOMINACIÓN MUESTRA: AR - 5 (MUESTRA 4) DESCRIPCIÓN MUESTRA: Plástico 1L(1), conteniendo agua residual FECHA RECEPCIÓN: 17/11/2015 FECHA FINALIZACIÓN Y EMISIÓN: 23/11/2015

Análisis realizado por LABAQUA Alicante. Acreditado por ENAC nº 109/LE285; C/ Dracma,16-18- Pol. Ind. Las Atalayas 03114 ALICANTE - Tel. 965 10 60 70 - Fax 965 10 60 80:
 Fecha inicio análisis 17/11/2015.

PARÁMETROS	MÉTODOS	RESULTADOS	UNIDADES
Caracteres Físico-Químicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	A-F-PE-0002 Método Manométrico	21	mg O ₂ /L
Demanda Química de Oxígeno	A-F-PE-0003 Digestión - Colorimetría	62	mg O ₂ /L
Nitrógeno total	A-F-PE-0007 Kjeldahl	36.1	mg/L
Cationes Mayoritarios			
Potasio total	A-D-PE-0025 ICP-OES	69.4	mg/L
Metales			
Fósforo total	A-D-PE-0025 ICP-OES	7.18	mgP/L

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio. El laboratorio dispone de la incertidumbre de sus medidas a disposición del cliente.

Aprobado en Labaqua Alicante por Técnico Superior: Jose Gallardo Armengot, Director Técnico: Francisco García Andreu.

Documento firmado electrónicamente en su formato digital. Autenticidad verificable utilizando el certificado raíz de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.

Emitido en ALICANTE, 23 de Noviembre de 2015