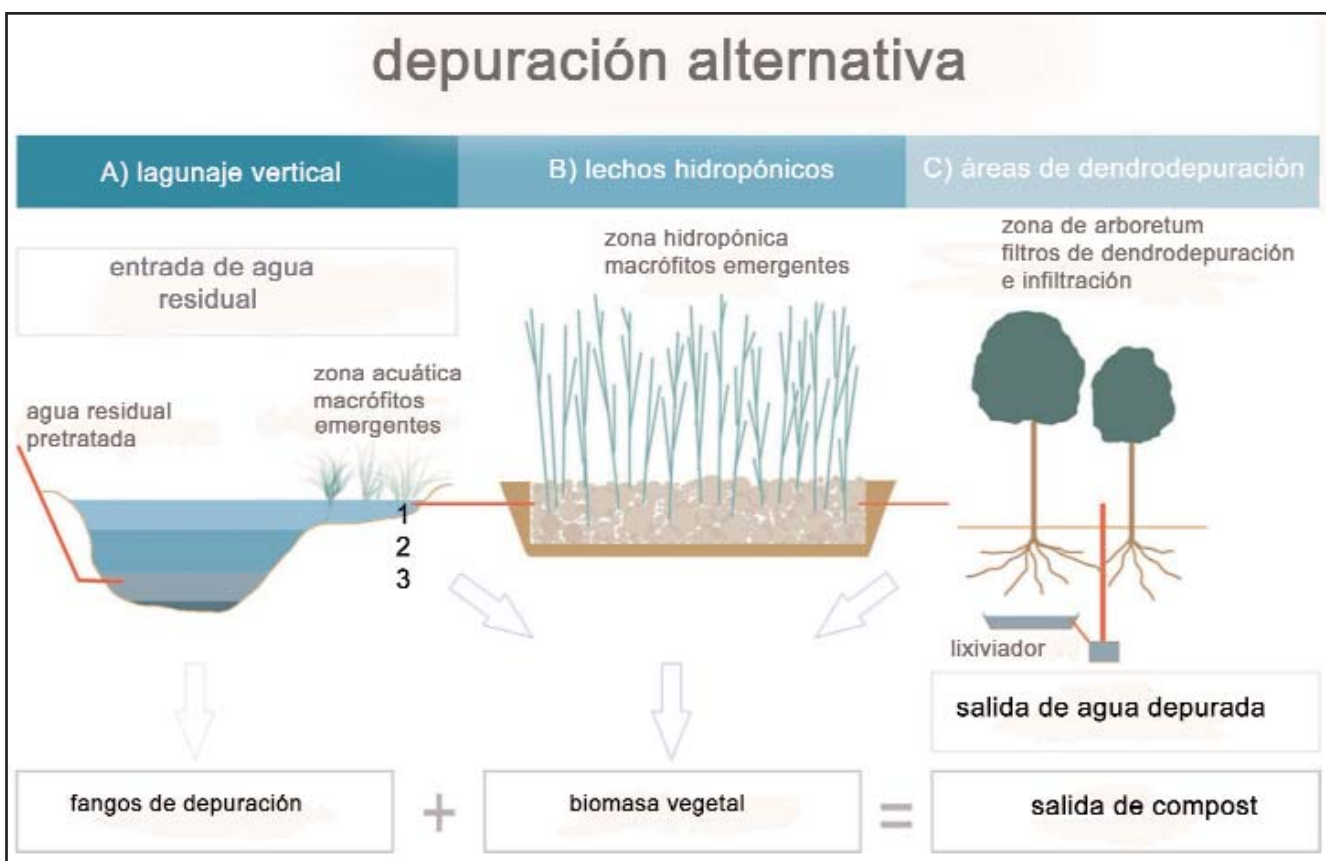


Biólogos de la UIB diseñan un Sistema Integrado de Depuración Alternativa

PALABRAS CLAVE: aguas residuales, depuración, árboles, riberas, rehabilitación de torrentes, eficiencia de depuración, calidad ambiental

El sistema no consume energía y la depuración se realiza por lagunaje, lecho hidropónico y dendrodepuración. Los investigadores han seleccionado las especies leñosas que en el caso de Mallorca serían las más adaptadas para depurar aguas residuales

KEYWORDS: waste waters, water purification, trees, riverbanks, landscape restoration, purification efficiency, environmental quality

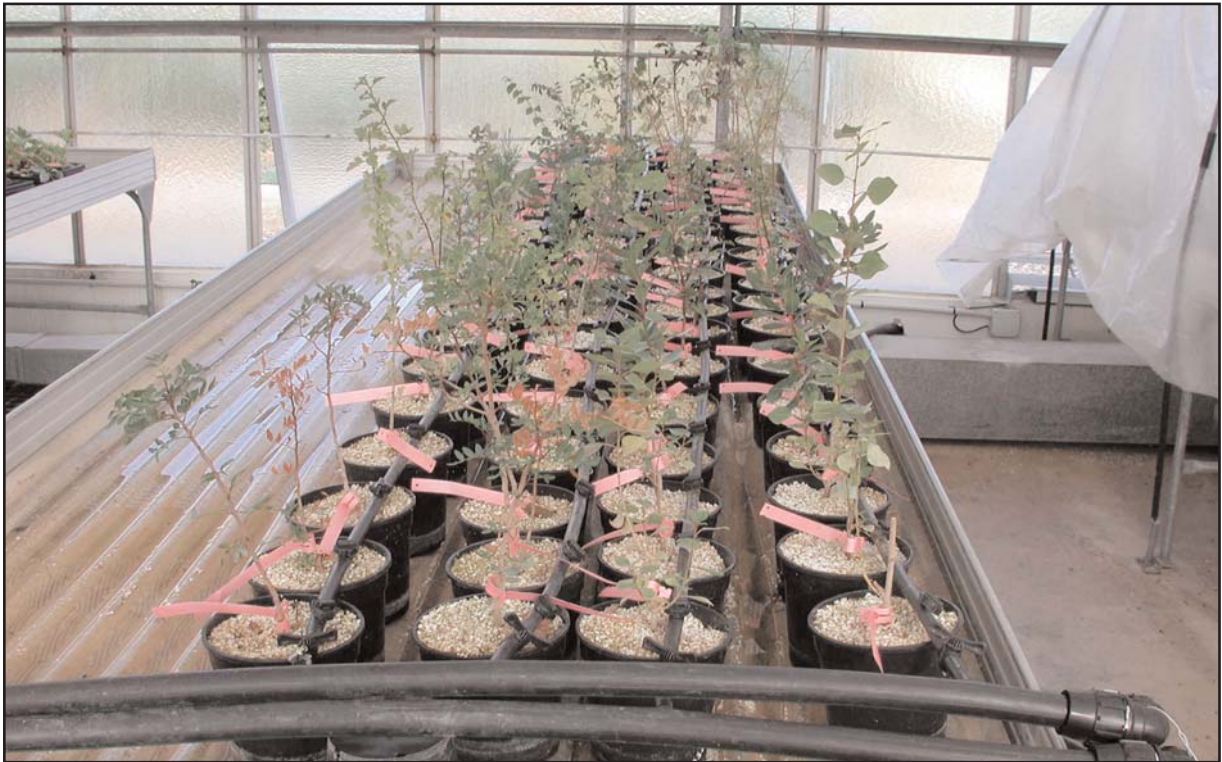


El sistema de depuración de aguas residuales urbanas más extendido, aquel que utiliza procedimientos convencionales y que necesita instalaciones que consumen energía y productos químicos, es un sistema heredado de los países del norte de Europa donde el agua no es precisamente un recurso limitado. No es extraño que en esos países el producto que más interesa en el proceso de depuración no sea el agua depurada, si no la materia orgánica extraída

durante ese proceso (fangos y lodos que posteriormente son utilizados en agricultura). En países más meridionales la situación da un vuelco considerable ya que el recurso limitante es el agua. Más aún, muchos países llamados del Tercer Mundo padecen un problema añadido: la precariedad económica para llevar a término instalaciones depuradoras de tecnología convencional que suponen un gasto importante de energía.

Figura 1: esquema de un Sistema Integrado de Depuración Alternativa. La tercera fase, la dendrodepuración, es la que ha sido objeto de un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Vista general de las plantas en cultivo hidropónico.



Un grupo de investigadores de la UIB, dirigidos por el profesor de Ecología, doctor Antoni Martínez Taberner, acometió en el año 2000 un proyecto de investigación cuyo objetivo principal era el diseño de Sistemas Integrados de Depuración Alternativa, dirigidos precisamente a aquellos países donde el agua es un preciado recurso y donde el gasto energético que supone el tratamiento convencional no es, por caro, asumible.

El mismo doctor Antoni Martínez afirma que incluso en el caso de las Islas Baleares, una zona no desfavorecida, "el efecto producido por el alto consumo energético y el dióxido de carbono emitido a la atmósfera es mucho más grave, en términos ecológicos, que verter agua no tóxica y con un sencillo pretratamiento físico en un mar oligotrófico (pobre en nutrientes) como es el Mediterráneo, siempre que el vertido se realice lejos de la costa y no afecte a las comunidades bentónicas".

Estos sistemas integrados se fundamentan sobre las llamadas tecnologías blandas, es decir, sistemas que no demandan más aporte energético que aquel que procede del Sol. En otras palabras, se trata de utilizar la naturaleza o, mejor, adaptarse a ella para procesar el agua residual mediante procesos naturales como la

fotosíntesis, la evapotranspiración, la filtración, la acción bacteriana, la precipitación y la acción de la vegetación.

Los investigadores ya han diseñado un modelo de Sistema Integrado de Depuración Alternativa que incluye tres fases principales:

La primera fase, la de la decantación y precipitación, se resuelve en las depuradoras convencionales mediante todo tipo de tamices y la utilización de compuestos químicos que provocan la floculación de la fase dispersa en el agua con posterior retirada mecánica de los coágulos. En los Sistemas Integrados, en cambio, se resuelve mediante un lagunaje vertical. Los investigadores han escogido esta modalidad ya que el lagunaje horizontal necesita más espacio. Esta primera fase ya ha sido ensayada con éxito; funciona desde hace más de un año en el campus de la UIB y se comercializa a través de empresas locales como el Institut Biotecnològic de les Illes Balears.

La segunda fase del modelo es el cultivo hidropónico (sin tierra). Después de un tiempo de estancia en la laguna, el agua residual ha estabilizado considerablemente su carga orgánica e inorgánica por

la acción bacteriana y se han reducido, asimismo, los sólidos en suspensión. Esta agua es conducida entonces a un cultivo en lecho hidropónico (sin tierra) con plantas de alta productividad que se encargan de eliminar el exceso de nutrientes.

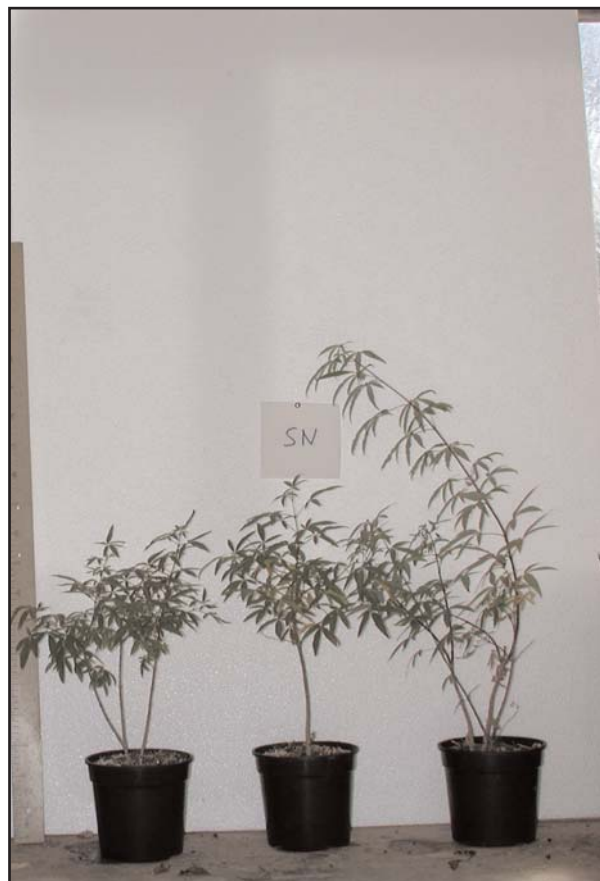
Finalmente, la tercera fase es la dendrodepuración, es decir la utilización de plantas leñosas (árboles y arbustos) para que sean sus sistemas radiculares quienes eliminen la carga de nutrientes del agua y la incorporen a su biomasa, favoreciendo la infiltración del residuo de agua recuperada hacia la reserva del acuífero. El agua es aplicada al suelo donde se han sembrado determinadas especies leñosas, siempre en la ribera de torrentes. El suelo actúa como un filtro, con un efecto antipatogénico ya que todos los posibles microorganismos patógenos quedan atrapados.

El segundo objetivo del proyecto es de ámbito paisajístico y consiste en aprovechar el nuevo sistema de depuración para restaurar riberas de torrentes

Así como las dos primeras fases del proyecto habían sido ya desarrolladas por el equipo de investigadores, quedaba por llevar a la práctica la tercera de estas fases: la dendrodepuración. Por este motivo, los investigadores iniciaron un proyecto, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, con el objetivo de experimentar con 32 especies distintas, plantas susceptibles de actuar como filtro verde.

El objetivo era en realidad doble. En primer lugar, averiguar qué especies eran las mejor adaptadas al riego con agua residual, calcular su crecimiento y obtener de esos datos una referencia válida en cuanto a la absorción de nutrientes. De esta manera se podrían diseñar riberas d'autodepuración en los torrentes y ríos, los cuales podrían recibir el agua una vez depurada a través de ese "filtro verde" y de ellos ir a parar a los acuíferos, recargándolos.

En este sentido, algunas de las especies que han mostrado una mayor capacidad de absorción de nutrientes y una mejor adaptación al riego con agua residual son la adelfa (*Nerium oleander*), el chopo o



*Las imágenes muestran las diferencias en el crecimiento del zausgatillo (*Vitex agnus-castus*) según fue regada con agua residual (fotografía superior) o con solución nutritiva (fotografía inferior).*

Vista general de la parcela ubicada junto a la depuradora de Algaida-Montuïri, perteneciente al IBASAN, donde se llevaron a cabo los experimentos de dendrodepuración



álamo blanco (*Populus alba*), el ciprés (*Cupressus sempervirens*), el tamarisco (*Tamarix sp.*), el terebinto o cornicabra (*Pistacia terebinthus*), y el zausgatillo o hierba de la castidad (*Vitex agnus-castus*).

El segundo objetivo del proyecto era meramente paisajístico y consistía en aprovechar el nuevo sistema de depuración para acometer la restauración de riberas de torrente. Esta parte del proyecto ha dado lugar a una aportación tecnológica sin precedentes en Mallorca: un programa informático, el ECOSIG, capaz de indicar para cualquier parcela de terreno elegida sobre el mapa de la isla, aquellos parámetros ambientales principales y las especies más apropiadas para realizar una restauración de ribera de torrente. Este programa se mantiene abierto desde la web de la UIB y mereció el IV Premio de Investigación 2001/2002 otorgado por la Caja de Ahorros de Baleares "Sa Nostra".

Finalmente cabe destacar que el equipo de investigadores de la UIB ha contactado con la organización Ingenieros sin Fronteras con el objetivo de hacer posible la implementación de este Sistema Integrado de Depuración Alternativa en zonas desfavorecidas donde el consumo energético de los sistemas convencionales y la necesidad de ahorrar agua no aconseja los métodos convencionales.

Los experimentos de dendrodepuración

Tal como se ha avanzado, la tercera fase del Sistema Integrado de Depuración Alternativa quedaba por llevarse a la práctica y éste fue el objetivo de un proyecto de investigación que bajo el título "Selección de especies leñosas y diseños de rehabilitación paisajística de riberas para la depuración de aguas residuales" fue financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. El proyecto ha tenido una duración de tres años, desde finales de 2000 a finales de 2003.

El poder depurador de las especies fue testado en tres experimentos: en cultivo hidropónico, en cultivo en tierra estandarizada y en parcela

El estudio fue dividido en cuatro tipos distintos de experimento: cultivo de especies en un lecho hidropónico y regadas sólo con agua residual y sin tierra; cultivo en contenedor o maceta con tierra en la que se regaban las plantas con agua residual y con solución nutritiva de control; cultivo de especies en parcela experimental; y, finalmente, realización de un análisis paisajístico de los torrentes de Mallorca y desarrollo de un sistema experto (programa

informático) de apoyo al diseño para la rehabilitación de riberas de torrente.

El primer experimento consistió en controlar el crecimiento de 20 especies de plantas en un cultivo hidropónico. Durante dos años se compararon los crecimientos de ejemplares de estas especies separados según el método de riego. Unos ejemplares fueron regados con agua residual y otros con solución nutritiva de control. La medida de tolerancia al agua residual se obtuvo a través de control de la altura y el diámetro basal de las plantas. Este experimento, con plantas no enraizadas en tierra, permitió saber qué plantas soportaban mejor las aguas residuales independientemente del tipo de suelo.

La adelfa, el álamo blanco, el ciprés, el tamarisco, el terebinto y el zausgatillo son, entre las especies autóctonas y naturalizadas en Baleares, las que muestran una mayor capacidad de absorción de nutrientes y, por tanto, un mayor efecto depurador

A consecuencia de estas experiencias se pudo hacer una primera selección de plantas que mostraron una muy buena tolerancia al agua residual: el mirto (*Myrtus communis*), la hiedra (*Hedera helix*), la adelfa (*Nerium oleander*), la higuera (*Ficus carica*), el tamarisco (*Tamarix sp.*), el terebinto (*Pistacia terebinthus*), y el zausgatillo (*Vitex agnus-castus*).

Los mejores crecimientos tanto en altura como en diámetro basal los obtuvieron la adelfa, el tamarisco y el zausgatillo.

El segundo experimento consistió en cultivar las especies en contenedores o macetas. Aquí se introducía un nuevo parámetro: la acción del sustrato. Se trataba de comprobar el comportamiento de las especies sembradas en tierra estandarizada, controlando los nutrientes que se les aportaba. Eso permitió saber no sólo la respuesta de la planta al agua residual, si no también la resistencia al sustrato edafológico. Se midieron las alturas y los diámetros basales y, además, se contabilizaron las pérdidas de follaje y frutos con el objeto de calcular un balance



final de biomasa de los individuos correspondiente a dos periodos vegetativos.

Estas experiencias constataron que especies como la adelfa y el ciprés eliminan grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio de las aguas residuales.

El tercer experimento consistió en el cultivo de las especies en una parcela experimental de 1.000 metros cuadrados, subdividida en 32 subparcelas que incluían nueve individuos de 32 especies distintas. En este caso los individuos eran ya pequeños árboles y/o arbustos, de 2 a 3 metros de altura. Enterrados a un metro y medio de profundidad bajo los sistemas radicales de las plantas, se instalaron unos colectores para recoger el agua residual sobrante una vez había pasado por el filtro formado por la tierra y las raíces de los árboles. Se trataba pues de calcular el balance entre el agua residual de riego y la que se infiltra finalmente en el acuífero, una vez eliminada la que ha pasado por el "filtro verde".

Las especies que mostraron una mejor adaptación al agua residual, y que mejor crecieron, fueron la adelfa, el terebinto, el ciprés, el zausgatillo, el álamo blanco,

Diversos individuos de álamo blanco (Populus alba), durante la fase de experimentación en macetas.

el tamarisco, el olmo, el mirto, el pino, el álamo negro y el lentisco.

La parcela donde se realizó el experimento está ubicada en la depuradora de Algaida-Montuiri y fue cedida por el Instituto Balear de Saneamiento. Los investigadores, tras comparar los resultados obtenidos en los tres experimentos relatados, en cada uno de los cuales fueron controlados diversos parámetros del agua de riego después de haber entrado en contacto con el aparato radicular de las plantas, concluyeron que la adelfa, el álamo blanco, el ciprés, el tamarisco, el terebinto y el zaugatillo son las especies que muestran una mayor absorción de nutrientes y, por tanto, por lo que se refiere a la flora autóctona y/o naturalizada de Mallorca, tienen un mayor efecto depurativo. En el caso de la hiedra sólo se obtuvieron resultados del primer experimento, en cultivo hidropónico, medio en el que se muestra muy efectiva.

Según los investigadores, todas estas especies podrían complementar la biodiversidad de las actuales

plantaciones de chopos, única especie utilizada actualmente en la depuración terciaria y en contadas depuradoras convencionales.

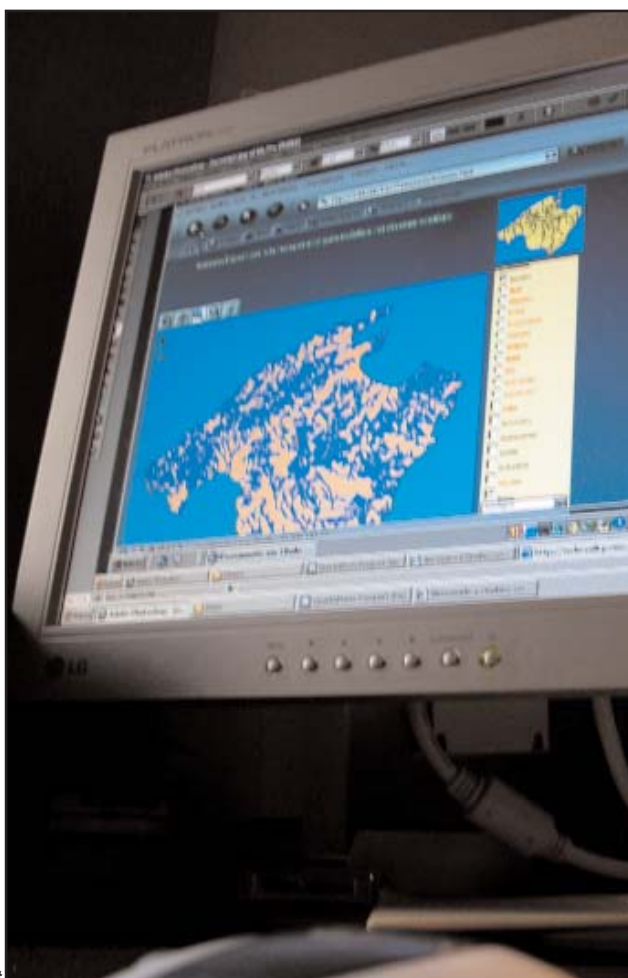
Para los investigadores, "las ventajas paisajísticas y de potenciación de la vida silvestre van ligadas al incremento de la biodiversidad. Además, debe considerarse que la inclusión de especies perennifolias permite que la actividad en cuanto a la absorción de nutrientes del agua residual se mantenga durante un periodo más prolongado que en el caso de utilizar sólo especies caducifolias como el chopo".

El ECOSIG

El cuarto experimento del proyecto consistió en poner a punto un sistema experto que sirviera de apoyo para el diseño de rehabilitación de riberas. Los investigadores partieron de un sistema de información geográfica sobre la red hídrica de Mallorca. En la red se localizaron los puntos geográficos que quedaban rodeados parcialmente de una mayor altitud. De esta forma se reprodujo una hipotética red de desagüe de la isla, que fue contrastada con los mapas existentes sobre aguas superficiales en Mallorca. De la comparación de ambos conjuntos de datos se pudo confeccionar un mapa hídrico dividido en parcelas para cada una de las cuales el programa incorporó diversas variables ambientales: insolación, orientación, altura, ocupación del suelo, índice de humedad, temperaturas limitantes, precipitaciones máximas y mínimas, zonas húmedas, cuencas hidrográficas, hábitats, régimen de vientos, influencia antrópica viaria y urbana y capacidad agronómica del suelo. Esta matriz, de 34 variables ambientales, se cruzó con otra confeccionada con 40 especies leñosas, autóctonas y/o naturalizadas, susceptibles de colonizar las riberas de los torrentes de la Isla. Además se incluyó la tolerancia y la adaptabilidad de cada especie para cada variable. Este cruzamiento permitió que el programa informático pudiera calcular en cada momento y para cada parcela la viabilidad de cada una de las especies en un hipotético diseño de restauración.

El programa fue trasladado a internet e instalado en el servidor de la UIB como ECOSIG, ofrecido así a toda persona o entidad que deba tomar decisiones respecto a la siembra de especies en riberas de torrentes.

<http://agile2002.uib.es/Ecosig/index.htm>



El sistema experto ECOSIG es accesible a través de internet

Proyecto financiado

Referencia: REN2000-1236/TECNO.

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Título: Selección de especies leñosas y diseños de rehabilitación paisajística de riberas para la depuración de aguas residuales.

Acrónimo: Dendrodepuración

Clasificación UNESCO: 250811, 330806, 330811.

Periodo: 2000-2003

Investigador responsable

Dr. Antoni Martínez Taberner, professor d'Ecologia.

Departamento de Biología

Edificio Guillem Colom Casanovas

Tel.: 971 17 31 39

E-mail: antoni.martinez-taberner@uib.es



Otros miembros del equipo

Dr. Guillem Ramon Pérez de Rada

Dr. Miquel Morey Andreu

Dr. Jaume Vadell Adrover

Dr. Gabriel Moyà Niell

Dr. Maurici Ruiz (LSIG)

Pere Sampol Barceló

Nicolau Cañellas Serrano

Miquel Salgot Marçay

Joan J. Romero Bosch

Rosa Ocón Buiria

Francesc Garcia Mas.

Entidades e instituciones colaboradoras

Caixa d'Estalvis de Balears "Sa Nostra".

Tirme

Institut Balear de Sanejament (IBASAN). Govern de les Illes Balears.

Universitat de Girona (Dra. Antonina Torrens)

Universidad Politécnica de Madrid. (Equip del Dr. Luis Gil)

Grup d'Ordenació del Territori de la Universitat Politècnica de València (Dr. José Luis Miralles)

Universitat Pompeu Fabra (Dr. Josep Blat i el Sr. Antoni Navarrete)

Departament de Ciències de la Informació de la London University (Dr. Jonathan Raper)

Webs de interés

<http://agile2002.uib.es/Ecosig/index.htm>

Sistema Experto para la recuperación paisajística y el diseño ecológico de zonas ambientalmente degradadas:

Los torrentes de Mallorca

Publicaciones

Martínez-Taberner, A., Ruiz-Pérez, M., Ramón, J. & Guaita, X. Applying Expert System Technology in Geographical Information System: A Case of Landscape Restoration for Riverine Woods in Majorca Island. (En preparación para la revista Ecological Restoration).

Adrover, M., Moyà, G., Vadell, V., Ramón, G., Sanchez-Forss, A. & Martínez-Taberner, A. Waste water enhancement by woody plants (en preparación para la Water Science and Technology previa presentación a la 6th International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, held conjunction with the Wetland Systems for Water Pollution Control 9th Conference of the IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control. Avignon, 28 Sep-1Oct. 2004).

Morey, M., Martínez-Taberner, A., & Ruí-Perez, M. 2003.- Ecología del Paisaje en la Islas Baleares. Actas II Jornadas Ibéricas de Ecología del Paisaje. 42-40.

Martínez Taberner, A., Ruíz-Pérez, M., Ramón, J. & Guaita, F., 2003.- Sistema experto para la recuperación paisajística y diseño ecológico de torrentes. Actas IX Conferencia Iberoamericana de SIG. 1-13.

Artículos de divulgación

M. Ruiz-Pérez, M.- 2003. Sistema Expert per a la recuperació paisatgística i el disseny ecològic de zones ambientalment degradades. Gea 12, pg. 36.

Comunicaciones a congresos

Sanchez-Forss, A., Ramón, J., Vadell, J. & Martínez-Taberner, A.

La dendrodepuración como alternativa en el ciclo de depuración de aguas residuales. V Jornadas Técnicas de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Palma de Mallorca 2001

Ramón, J., Sanchez-Forss, A., Vadell, J. & Martínez-Taberner, A. La dendrodepuració como a alternativa al cicle de depuració d'aigües residuals

III Jornades de Medi Ambient de les Balears. Palma de Mallorca 2001

Cladera, P., Mestre, I. & Martínez-Taberner, A. Disseny per a un parc de depuració terciaria. Parc a Santanyi. III Jornades de Medi Ambient de les Balears. Palma de Mallorca 2001

Moyà, G., Martínez-Taberner, A., Adrover, M., Ramón, G., & Ramón, J. Experimental Dendrodeuration: First Results. Small Wastewater Technologies and Management for the Mediterranean Area. Sevilla 2002.

Moyà, G., Martínez-Taberner, A., Munar, J., Margarit, J. & Rita, J. El agua en la UIB: un modelo de gestión asociado a la recuperación de un ecosistema acuático. II Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. Sevilla 2002

Martínez-Taberner, A. Sistemes ecoeficients de depuració d'aigües residuals. Conferencias del Club Diario de Ibiza. Eivissa 2003

Martínez-Taberner, A., Ruiz-Pérez, M., Ramón, J. & F. Guaita. Sistema experto para la recuperación paisajística y el diseño ecológico de torrentes. IX Conferencia Iberoamericana de SIG, VII Congreso Nacional de la AESIG y II

Reunió del GMCSIGT. Càceres 2003

Martínez-Taberner, A., Ruíz-Pérez, M., Ramón, J. & Guaita, F. Sistema expert per a la recuperació paisatgística i el disseny ecològic de zones ambientalment degradades: els torrents de Mallorca. IV Congrés de Ciència del Paisatge. Intervencions en el Paisatge. Castelló d'Empúries 2003

Morey, M., Martínez-Taberner, A. & Ruiz-Pérez, M. Ecología del paisaje en las islas Baleares. II Jornadas Ibéricas de Ecología del Paisaje. Alcalá de Henares, 2003