

Desarrollo de soluciones para el tratamiento de efluentes en comunidades de artesanos textiles

Gabriela Franzoni ⁽¹⁾ y Guido Roque Bertola ⁽²⁾

Resumen: La identificación de técnicas efectivas y naturales para el tratamiento de efluentes recalcitrantes de la industria textil artesanal, utilizando como fuente de información la búsqueda de bases de datos de patentes, entre otros recursos, da como resultado una capacitación para artesanos de la región andina en Latinoamérica.

Relato de dos voluntarios de la ONG Hecho por Nosotros en la búsqueda de la construcción colaborativa de soluciones innovadoras, y de costos accesibles, que pueda significar para las poblaciones rurales un avance en su calidad de vida, respetando su entorno natural.

Palabras clave: Efluentes textiles - Humedales Artificiales - Tratamiento Natural - Patentes - TRIZ - ONG.

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 57-58]

⁽¹⁾ **Gabriela Franzoni** es Ingeniera Química y Magíster en Ingeniería Ambiental por la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires. Aspirante a Magíster en Procesos Biotecnológicos. Especialista en Innovación y Optimización Fabril, con 30 años de experiencia trabajando en la industria. Colaboradora de hechoxnosotros gavefr@gmail.com

⁽²⁾ **Guido Bertola** es Ingeniero Ambiental por la Universidad Nacional del Litoral. Responsable Técnico-Comercial en Bioingepro SRL, con 5 años de experiencia en diseño y desarrollo de proyectos de tratamiento de agua y depuración de efluentes líquidos. Colaborador de hechoxnosotros. guido.bertola.hxn@gmail.com

1. Introducción

Como técnicos, cada vez que enfrentamos un nuevo desafío, una nueva industria, un desarrollo de producto o proceso, iniciamos el proceso armando redes de información y trabajo. Y ese fue el caso con nuestro comienzo de colaboración con la ONG Hecho por Nosotros, una organización sin fines de lucro con estatus consultivo en el ECOSOC de la

ONU, que aborda proyectos de investigación y educación para alcanzar soluciones innovadoras a los problemas sociales, económicos y ambientales vinculados a la industria textil en las zonas rurales de Latinoamérica (Hecho por Nosotros, 2022).

Según un estudio de la OMS y UNICEF (2015), más de 1.800 millones de personas consumen agua de una fuente contaminada con líquidos cloacales, aumentando drásticamente el contacto con microorganismos patógenos, que pueden provocar enfermedades como cólera, fiebre tifoidea y polio.

Los emprendimientos textiles, en particular, se convierten en un rubro de preocupación, ya que muchas veces están ubicados en zonas rurales, con acceso limitado a tecnologías de saneamiento y sin conexión a redes cloacales municipales. Además, los costos de plantas de depuración tradicionales resultan prohibitivos para estas pequeñas comunidades que quieren avanzar en etapas de tratamiento de sus residuos líquidos.

Identificada la necesidad primaria, nos propusimos generar herramientas técnicas para que los artesanos pudieran purificar sus efluentes domésticos y textiles con técnicas naturales, de forma tal de impactar de forma positiva en su entorno.

Comprendimos, en segunda instancia, que resulta crítico buscar soluciones que, además de evitar que la contaminación generada por sus actividades llegue a los cuerpos de agua de los cuales se abastece la fauna local y la propia comunidad, sean sencillas y efectivas.

2. Desarrollo

Para comenzar a abordar la problemática, en primer lugar, estudiamos las características propias del efluente típico a depurar, en el contexto de una pequeña comunidad rural de artesanos textiles, que desarrollan allí sus actividades cotidianas y de producción a pequeña escala.

2.1. Características específicas de la industria y sus efluentes

Dentro de la industria textil, existen diferencias en las características de los efluentes, según el tipo de fibra utilizada, el grado de mecanización de la producción, los productos químicos empleados y la etapa del proceso realizado (tratamiento de materias primas, fabricación de tejidos, acabado de los tejidos, confección de los productos finales, etc.) (Grimau & Rosell, 2015). Sin embargo, se pueden establecer algunas particularidades habituales en la industria artesanal:

Particularidades de los efluentes generados en emprendimientos textiles artesanales (Grimau & Rosell, 2015):

- De forma frecuente son coloreados, debido a la utilización de colorantes.
- Su carga orgánica en general es cercana al doble de la que presenta un efluente cloacal.
- No suele contener compuestos altamente tóxicos ni microorganismos patógenos.
- Habitualmente tienen bajos niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno.

De estas características, identificamos que el atributo más dificultoso a la hora de depurar el efluente es la presencia de colorantes, debido a que en general son sustancias que presentan muy baja biodegradabilidad y dificultan (o encarecen) la utilización de sistemas de tratamiento tradicionales (Sarayu & Sandhya, 2012).

2.2. Estrategia técnica de trabajo. Las patentes delinearon el curso de la investigación

Utilizamos la técnica TRIZ (un acrónimo proveniente del ruso, que significa Teoría Para Resolver Problemas). Se trata de una metodología basada en la búsqueda en base de datos de patentes, y que plantea tanto los patrones de evolución del proceso de invención como las reglas para ayudar al pensamiento inventivo y para delinear estrategias de identificación de patrones sistemáticos de pensamiento disruptivo (Altshuller, 1999).

Utilidad de las Fuentes de Información

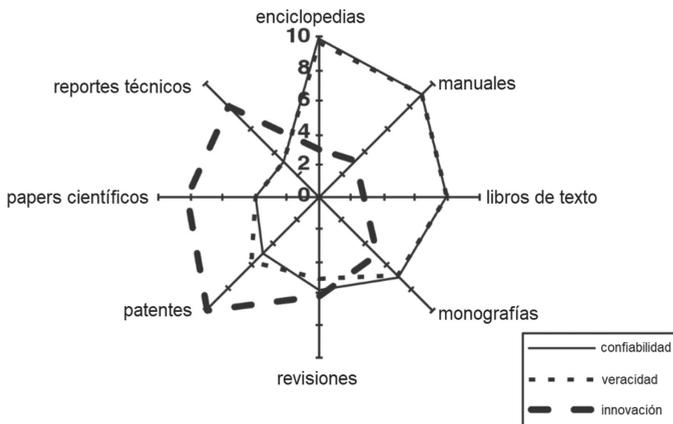


Imagen 1. Utilidad de las fuentes de información (Savransky, 2000). Traducción propia.

Buscábamos un diseño ideal que pudiese minimizar las externalidades, y que utilizara materiales disponibles en el entorno. En nuestro sistema de tratamiento de efluentes ideal para el entorno rural, intentábamos lograr la depuración sin la existencia de un sistema. Y si bien esta declaración es extrema, nos empujó más allá de la noción de mejoras incrementales de los tratamientos tradicionales y hacia soluciones sencillas, pero altamente innovadoras. La revisión de la bibliografía, de las bases de datos de patentes y la evaluación de los sistemas de efluentes de alta carga recalcitrante nos mostró la importancia de la combinación de procesos ingenieriles para disminuir el impacto ambiental. Su acción conjunta pone en juego no sólo distintos procesos fisicoquímicos, como tratamientos de biodegradación, adsorción y oxidación, sino también elevados tiempos de retención y costos del sistema. Utilizando la idealidad como una premisa básica y como motor, encontramos que existe un correlato entre estas tecnologías de depuración utilizadas en las industrias textiles de gran calibre y los ecosistemas de humedales naturales, que establecen condiciones físicas, químicas y biológicas óptimas.

Con esta información, enunciarnos el problema a resolver, de forma tal de marcar nuestro norte:

Enunciado del problema ambiental a resolver

- Encontrar la manera de *eliminar, reducir o prevenir la contaminación* de los cursos superficiales de agua que se utilizan como agua de consumo diario, bajo la condición de generación de efluentes textiles de la industria artesanal rural.
- Encontrar una manera de *resolver la contradicción*: el sistema de tratamiento debe existir para no comprometer la fuente de agua de consumo, y no debe existir una afectación del entorno, ni importantes gastos monetarios en mantenimiento del sistema.
- Encontrar una manera de *prescindir del tratamiento convencional, mecanizado e industrial* para obtener la depuración de las aguas residuales.

Habiendo aplicado el método TRIZ, llegamos a la conclusión de que los humedales artificiales constituyen una solución cercana a la idealidad para el tipo de efluente planteado y las comunidades que lo generarán.

Por otra parte, encontramos evidencia de que los humedales artificiales son eficientes para la eliminación de color en los efluentes (Bulc & Ojstršek, 2008; Saeed & Sun, 2013), que suele ser uno de los problemas más complejos a resolver, incluso en procesos de depuración industrial. Además, los costos de construcción y requerimientos operativos de los humedales son sensiblemente inferiores (Saeed & Sun, 2013). Por tal motivo, decidimos focalizar la investigación en este tipo de sistemas y desarrollar un instructivo para el diseño y construcción de humedales artificiales para pequeñas comunidades de artesanos textiles. Una vez que definimos el proceso a utilizar y con la finalidad de reunir información confiable y plasmarla en un instructivo accesible para un público no especializado, recurrimos

a una variedad de fuentes bibliográficas, además de las patentes antes mencionadas. Estudiamos y analizamos libros de texto, papers científicos, manuales constructivos, reportes técnicos de sistemas existentes, catálogos comerciales, sitios web de organismos internacionales y realizamos consultas a expertos en el tema.

De esta forma, con la participación de otros voluntarios de la ONG y colaboradores externos, procedimos a la redacción del instructivo y la maquetación de una presentación apta para capacitación.

En las siguientes secciones, resumimos los principales conceptos y recomendaciones que surgieron como resultado de este proceso de trabajo colaborativo.

2.3. Humedales artificiales como técnica de tratamiento de efluentes

En un sentido amplio, los humedales son zonas de un terreno que están inundadas durante temporadas –o durante todo el año– debido a su ubicación en el paisaje. Son sistemas naturales que presentan una gran actividad biológica (microorganismos, plantas, insectos y otros seres vivos) y que, en su forma natural, pueden transformar los contaminantes habituales del entorno en sustancias inofensivas o incluso en nutrientes que pueden ser aprovechados por la naturaleza.

Los humedales artificiales son sistemas construidos por el hombre, que han sido diseñados para imitar y enfatizar características específicas de estos ecosistemas, mejorando su capacidad natural de depuración. Se trata de una forma de tratamiento de efluentes, que permite lograr buenos resultados con costos y esfuerzos relativamente bajos (Kadlec, 2008).

Son construidos con componentes existentes en el entorno, que interactúan en una forma compleja, a fin de proveer un medio ideal para el tratamiento de los efluentes industriales. Los microorganismos que se desarrollan en el suelo (principalmente bacterias y hongos) son los responsables de la mayor parte del tratamiento. Los sistemas de raíces y rizomas de los juncos (plantas macrófitas) transportan oxígeno entregándolo a las áreas que las circundan.

Más lejos de las raíces, el medio es anaeróbico, y crea un mosaico único de esferas de tratamiento biológico de compuestos orgánicos. Facilitando la habilidad del sistema de remover compuestos complejos y refractarios.

Si bien la mayor parte del tratamiento está dado por los microorganismos naturalmente formados, ciertos contaminantes, como el fósforo y el azufre, son removidos vía procesos fisicoquímicos, como la sedimentación, la adsorción, la óxido-reducción y la desorción del sustrato.

Los principales procesos fisicoquímicos y biológicos de degradación de los contaminantes en un humedal artificial están descritos de la siguiente manera (Reed, 1993):

- **Acción bacterial:** conversión y transformación de contaminantes. En la depuración aerobia de los residuos se consume oxígeno. Se realizan también degradaciones de productos orgánicos tóxicos. Siempre se reduce la contaminación orgánica (DBO).
- **Absorción de oxígeno:** si la lámina líquida del lecho no está en saturación de oxígeno disuelto, lo toma de la atmósfera, en una aireación natural.

- **Desorción de oxígeno:** es la situación contraria.
- **Sedimentación:** se origina con el movimiento lento del líquido, que hace que los sólidos –que poseen una velocidad de sedimentación mayor que el avance del líquido– se depositen en el fondo. En ciertos casos, se produce una floculación por aglomeración de partículas. En otros, se producen turbulencias (en la entrada del lecho) que hace que los sólidos se distribuyan uniformemente en toda la celda.
- **Degradación natural:** la supervivencia de muchos organismos tiene un plazo limitado, por lo que gran parte de ellos muere pasado un período de tiempo dentro del mismo humedal. Simultáneamente, buena parte de compuestos orgánicos son oxidados a través de la acción fotoquímica.
- **Adsorción:** muchos contaminantes químicos tienden a unirse por adsorción con diversos sólidos, lo que dependerá, de la cantidad y composición de estos los sólidos presentes en la fase líquida en forma de suspensión. Después, esta adsorción se complementa casi siempre con la sedimentación de los mismos en la matriz del suelo.
- **Volatilización:** los contaminantes volátiles presentes en el líquido se transfieren a la atmósfera.
- **Reacciones químicas:** además de las reacciones fotoquímicas que ya hemos indicado en la degradación natural, en el humedal existen fenómenos de hidrólisis, oxidaciones diversas, reducciones, etc.
- **Evaporación:** aparte de la volatilización y de la desorción de oxígeno, muchos gases que se pueden aportar con el afluente se pueden evaporar, y lo mismo ocurre con gran parte de la masa de la celda, que puede ver reducido así su volumen.

Existen diferentes tipos de humedales artificiales, entre los cuales se distinguen principalmente tres (Kadlec, 2008):

1. **Humedales con superficies de agua libre:** se trata de sistemas que tienen una superficie de agua directamente en contacto con la atmósfera, y son similares a los pantanos naturales. Si bien son eficientes, la superficie de agua atrae a la fauna silvestre, en particular, insectos que pueden transmitir enfermedades. Por tal motivo, este tipo de humedales no suele ser utilizado como tratamiento principal de efluentes a pequeña escala. En cambio, se lo suele aplicar como pulido final de un líquido que ya fue previamente tratado.
2. **Humedales subsuperficiales de flujo horizontal (SSFH):** también llamados “humedales horizontales”. Típicamente utilizan una capa de rocas, arena u otros materiales, sobre la cual se planta vegetación específica. El agua se mantiene debajo de la superficie, y fluye de forma horizontal entre el ingreso y la salida del humedal.
3. **Humedales de flujo vertical (FV):** estos sistemas distribuyen el agua en una superficie de arena o rocas, sobre la cual crece vegetación. El líquido se depura cuando se va filtrando hacia los estratos más bajos del humedal, donde se ubican las raíces de las plantas.

Dado que los humedales horizontales son más sencillos en su construcción que los verticales, y que, en un diseño simplificada, no requieren energía eléctrica para funcionar, focalizamos la capacitación a los artesanos rurales en la construcción de humedales horizontales.

En la siguiente imagen, se observa un diagrama de un humedal artificial de flujo horizontal, con sus diferentes componentes. Entre ellos, se distinguen:

- La zona de ingreso y egreso, que se construyen con rocas de gran tamaño para evitar obstrucciones;
- La zona de tratamiento, generalmente constituida por piedras de pequeño tamaño y otros materiales, en donde se desarrolla el sistema de raíces de las plantas macrófitas que crecen en la superficie;
- Un sistema de colección de efluente tratado con un tanque de salida, que permite variar el nivel de líquido dentro del humedal de acuerdo a los requisitos operacionales; y una cañería de salida del efluente depurado, ya sin contaminantes.

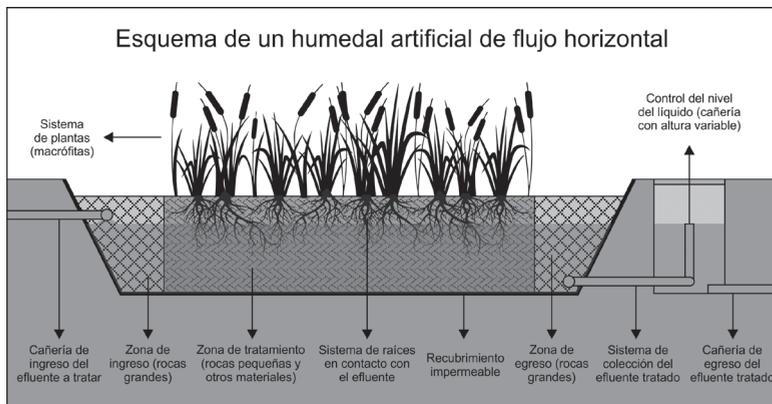


Imagen 2. Esquema de un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal.

Es importante indicar que, antes del humedal en sí, es habitual que se incluya un sistema de pretratamiento sencillo, que permita eliminar sólidos que puedan obstruir las distintas zonas del humedal o disminuir su vida útil. El método más utilizado es el de cámaras sépticas (UN Habitat, 2008).

Se trata de un tanque enterrado al cual ingresa el efluente sin tratar, y en el cual puede sedimentar cualquier sólido grueso que ingrese con el líquido, degradándose y acumulándose lentamente. Además, en la superficie del tanque séptico, se pueden acumular otro tipo de contaminantes flotantes, como grasas y aceites. Cada cierto tiempo (alrededor de una vez al año, en sistemas pequeños), estos residuos deben ser extraídos y dispuestos de forma segura para que la cámara séptica siga funcionando sin inconvenientes. Estos tanques pueden ser fabricados con materiales locales o de descarte, y su construcción es sencilla.

2.4. Los humedales son ventajosos debido a la simplicidad de su tratamiento:

Los humedales artificiales son sistemas de depuración que se construyen a partir de materiales locales, no requieren mano de obra especializada para su construcción ni para su operación. Sus principales componentes son el sustrato (generalmente rocas de diferentes tamaños y, en ocasiones, arena o arcilla) y plantas autóctonas con capacidad para desarrollarse en entornos con altos niveles de agua y raíces inundadas.

Una de sus grandes ventajas es que se basan en una depuración pasiva: el líquido ingresa al sistema y fluye a través de él, logrando una efectiva depuración gracias a las plantas y microorganismos presentes. Asimismo, son aplicables incluso en zonas donde no hay acceso a la red eléctrica, ya que se pueden aprovechar las pendientes naturales del terreno sin necesidad de recurrir a equipamiento electromecánico.

Se trata de tratamientos naturales, que cumplen su función prácticamente sin recurrir a insumos y recursos no renovables. Se constituyen como una solución descentralizada óptima para pequeñas comunidades, tanto para sus efluentes cloacales como para las pequeñas cantidades de líquidos industriales que puedan generar.

2.5. Los humedales artificiales y los efluentes textiles

Para comenzar la tarea de dimensionar la superficie del humedal en función de la carga contaminante específica del líquido a tratar, recurrimos a valores promedio para efluentes de la industria textil enunciados precedentemente.

Los resultados de estudios bibliográficos que analizamos (Bulc & Ojstršek, 2008; Chandanshive et al., 2018; Jayabalan et al., 2020; Mbuligwe, 2005; Noonpui & Thiravetyan, 2011; Saeed & Sun, 2013; Sethulekshmi & Chakraborty, 2021; Shahzadi et al., 2014; Tee et al., 2015) reflejan los siguientes resultados:

- Los humedales tienen la capacidad de depurar el efluente industrial, reduciendo la carga orgánica (DBO y DQO) en un alto porcentaje, de entre el 65% y 85%.
- Los humedales horizontales suelen tener baja efectividad en la remoción de nitrógeno. Como los efluentes textiles generalmente tienen concentraciones bajas, esto no constituye una desventaja de gran importancia.
- Los humedales son capaces de eliminar el color con una muy buena eficiencia, mayor, incluso, que los métodos tradicionales. Algunos estudios demuestran que, bajo las condiciones mayormente anaeróbicas de los humedales horizontales, los colorantes se mineralizan completamente. Otras formas convencionales de decolorización tradicionales simplemente convierten las tintas en otros compuestos orgánicos que pueden ser tóxicos, por lo que el tratamiento con humedales se torna en una opción muy interesante. Las eficiencias de remoción reportadas en la literatura rondan un 70% a 90% y, lógicamente, dependen del tipo de colorante utilizado, su concentración y el tipo de sistema empleado.
- Los humedales horizontales tienen mejores eficiencias de remoción de color que los humedales verticales, posiblemente debido a la predominancia de condiciones anaeróbicas.

- Si bien puede ajustarse el diseño del humedal para optimizar la remoción de contaminantes –por ejemplo, con la inoculación con bacterias especiales o con la implantación de especies vegetales foráneas– la evidencia muestra que los humedales horizontales tradicionales, con plantas autóctonas aptas para las condiciones del efluente, son efectivos en la depuración.
- Una estrategia válida para la selección de las plantas a aplicar en humedales es la búsqueda de vegetación autóctona que crezca naturalmente en zonas inundadas, especialmente si se encuentran en zonas contaminadas, ya que demuestra su alta resistencia a las condiciones de estrés bajo las que estará en un humedal artificial.
- Las aguas residuales textiles presentan cierto grado de toxicidad, por lo que el normal crecimiento de las plantas del humedal puede verse afectado. Tratar en conjunto el efluente cloacal e industrial puede atenuar este efecto.
- Es habitual que los efluentes textiles tengan una cierta concentración de sulfatos, que, al ser sometidos a condiciones anaeróbicas, se transforman en ácido sulfhídrico, generando malos olores. Sin embargo, pocas investigaciones han reportado este efecto indeseado.

En cuanto al diseño de los humedales, compartimos algunas consideraciones generales:

- Al igual que en los humedales para líquidos cloacales, recomendamos un pretratamiento por tanque séptico (u otro método similar), una zona de ingreso distribuido, con material de tamaño relativamente grande para evitar obstrucciones, una zona central con piedras más pequeñas, donde se logra la efectiva depuración, y una zona de salida que permita regular el nivel del líquido. La profundidad sugerida para el humedal y los tamaños de rocas a utilizar son los mismos que para el tratamiento de efluentes domésticos.
- Indicamos que el humedal sea al menos el doble de largo que de ancho, para minimizar la posibilidad de que el líquido fluya por caminos preferenciales, y que haya partes del sistema que no sean efectivamente utilizadas.
- Un método complementario para la remoción de color, en aquellos casos donde el humedal no sea suficiente, es la utilización de carbón activado granular, o, de forma más sencilla, carbón en pequeños trozos. Este material tiene la capacidad de adsorber ciertas sustancias y actuar como filtro. Su capacidad es limitada, por lo que el mismo debe reemplazarse cada cierto tiempo.

2.6. Dificultades en la efectiva aplicación de humedales como forma de tratamiento

A pesar de las múltiples ventajas identificadas para el tratamiento de efluentes cloacales y textiles en comunidades rurales, su efectiva aplicación sigue siendo un desafío. Durante el transcurso del trabajo, fuimos encontrando diferentes motivos de preocupación, que se listan a continuación.

En primer lugar, en muchas zonas no existen regulaciones o lineamientos claros respecto al tratamiento que deben realizarse a los efluentes generados en zonas rurales. Las normativas generalmente hacen foco en centros urbanos, con plantas de tratamiento convencionales y centralizadas. Sin embargo, según el Banco Mundial (2022) aproximadamente un

19% de la población de Latinoamérica y el Caribe es rural, lo que equivale a más de 120 millones de personas.

En segundo lugar, existe gran desconocimiento respecto a los riesgos asociados a una incorrecta depuración de los efluentes, las enfermedades que pueden acarrear y los daños al ambiente que pueden provocar. Asimismo, en estas zonas no se suelen difundir los diferentes métodos disponibles para lograr una eliminación de los contaminantes. Por este motivo, la aplicación de métodos de tratamiento adecuados, como los humedales, resultan muchas veces poco factibles.

La intención primaria de la redacción del instructivo se centra en la difusión de los puntos antes mencionados, democratizando el acceso a la información, presentando los principales riesgos de un efluente no tratado, capacitando sobre los distintos métodos de depuración disponibles, resaltando los beneficios de los humedales artificiales y dando lineamientos para su construcción, operación y mantenimiento.

A pesar de ello, resulta complejo lograr una comunicación fluida con las comunidades, muchas veces aisladas y con escaso acceso a conexiones de internet estables. Además, como la economía de los artesanos depende fuertemente de su producción diaria, frecuentemente no es sencillo lograr espacios de tiempo suficientes para exponer las ideas principales y, posteriormente, lograr la materialización de los proyectos en tiempos razonables. Asimismo, si bien los humedales son sistemas de tratamiento comparativamente económicos, no deja de tratarse de obras que requieren una serie de materiales y mano de obra, lo que se traduce en costos que muchas veces son difíciles de afrontar por las economías de las familias rurales.

3. Conclusiones

En las últimas décadas, el trabajo de diferentes actores de la sociedad civil ha contribuido, con aproximaciones teóricas y prácticas, al tratamiento de los efluentes de la industria textil con sistemas naturales. Muchas de ellas fueron reflejadas en la bibliografía de acceso libre y en las bases de datos de patentes.

Sin dudas, las patentes de múltiples investigadores fueron la piedra fundacional para el armado de los cuadernos de formación de nuevos voluntarios y artesanos. Y el acceso a dicha información nos ha proporcionado, como técnicos, una primera fuente de material de lectura confiable y actualizada para el comienzo de nuestro trabajo como voluntarios en la ONG Hecho por Nosotros.

A partir de este punto el desafío a futuro yace, pues, en:

- Asegurar el acceso gratuito a información técnica de calidad para toda la comunidad de emprendedores sociales.
- Lograr espacios de capacitación sin pérdida de capacidad productiva en las familias involucradas.
- Generar estrategias de formación accesibles para los artesanos, ya sea mediante encuentros presenciales o facilitando el acceso a internet.

- Fomentar programas y políticas sociales que tiendan a mejorar la salud y la calidad ambiental de los pobladores rurales.
- Facilitar el acceso a programas de financiamiento que permitan la efectiva construcción de sistemas de depuración en los contextos antes mencionados.

Referencias bibliográficas

Páginas Web

- Banco Mundial. (4 de octubre de 2019). ¿Cuánto le Cuestan Nuestros Armarios Al Medio Ambiente? World Bank. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/09/23/costo-moda-medio-ambiente>
- Espacenet - Patent Search. (2022). *Búsqueda de patentes en línea*. Oficina europea de patentes. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de: https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP
- Hecho por Nosotros. (2022). *About Us: Hecho X Nosotros*. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de <https://es.hechoxnosotros.org/about-us>
- López-Calva, L. F. (23 de mayo de 2022). *Más claro que el agua: Water management and governance in Latin America and the Caribbean: United Nations Development Programme*. UNDP. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de <https://www.undp.org/latin-america/blog/graph-for-thought/m%C3%A1s-claro-que-el-agua-water-management-and-governance-latin-america-and-caribbean>
- UNICEF. (Junio de 2015). *Progress in Sanitation and Drinking Water*. UNICEF. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de <https://www.unicef.org/reports/progress-sanitation-and-drinking-water>
- UN-Water. (2021). *Summary: 2021 progress update on SDG 6: Water and Sanitation for all*. UN-Water. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/>
- UN-Water. (2022). *Water facts: quality and wastewater*. UN-Water. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de <https://www.unwater.org/water-facts/quality-and-wastewater/>
- UN-Water. (2022). *Water scarcity: UN-water*. UN. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de <https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity>

Bibliografía de referencia para la aplicación de la técnica TRIZ

- Altshuller, Genrich. (2005). *40 Principles: Extended Edition*. Translated by Lev Shulyak with additions by Dana Clarke, Sr. Worcester, MA: Technical Innovation Center. ISBN 0-9640740-5-2.
- Altshuller, Genrich. (1994). *And Suddenly the Inventor Appeared*. Translated by Lev Shulyak. Worcester, MA: Technical Innovation Center. ISBN 0-9640740-2-8.

- Altshuller, Genrich. (1984). *Creativity as an Exact Science*. New York, NY: Gordon & Breach. ISBN 0-677-21230-5.
- Altshuller, Genrich. (1999). *The Innovation Algorithm: TRIZ, systematic innovation, and technical creativity*. Worcester, MA: Technical Innovation Center. ISBN 0-9640740-4-4.
- Savransky, S. D. (2000). *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. CRC press.

Bibliografía de referencia para humedales artificiales

- Baughman, G.L., Perkins, W.S., Lasier, P.J., Winger, P.V. (2003). *Effect of treatment in a constructed wetland on toxicity of textile wastewater*, Review 3 (2003) 28-30.
- Bisschops, I., & Spanjers, H. (2003). *Literature review on textile wastewater characterisation*. *Environmental technology*, 24(11), 1399-1411.
- Bulc, T. G., & Ojstršek, A. (2008). *The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment*. *Journal of hazardous materials*, 155 (1-2), 76-82.
- Chandanshive, V. V., Kadam, S. K., Khandare, R. V., Kurade, M. B., Jeon, B. H., Jadhav, J. P., & Govindwar, S. P. (2018). *In situ phytoremediation of dyes from textile wastewater using garden ornamental plants, effect on soil quality and plant growth*. *Chemosphere*, 210, 968-976.
- Davies, L. C., Carias, C. C., Novais, J. M., & Martins-Dias, S. (2005). *Phytoremediation of textile effluents containing azo dye by using Phragmites australis in a vertical flow intermittent feeding constructed wetland*. *Ecological Engineering*, 25(5), 594-605.
- Delgadoillo, O. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Nelson Antequera.
- Farheen, K. S., Reyes, N. J., & Kim, L. H. (2021). *Constructed Wetlands in Treating Domestic and Industrial Wastewater in India: A Review*. *Journal of Wetlands Research*, 23(3), 242-251.
- Grimau, V. L. & Crespi Rosell, M. (2015). *Gestión de los efluentes en la industria textil*. *Cuaderno Tecnológico N° 18*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Delegación de la Comisión Europea en Argentina.
- Jayabalan, J. B., Amirthalingam, S., Sekar, S., Santhanam, N. K., & Manoharan, S. (2020). *Treatment of textile effluent using sub surface flow constructed wetlands*. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2240, No. 1, p. 130001). AIP Publishing LLC.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. CRC press.
- Masi, F., Rizzo, A., & Regelsberger, M. (2018). *The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm*. *Journal of environmental management*, 216, 275-284.
- Mbuligwe, E. (2005). *Comparative treatment of dye-rich wastewater in engineered wetland systems (EWSs) vegetated with different plants*, *Water Res.* 39 (2005) 271-280.
- Metcalf, L., Eddy, H. P., & Tchobanoglous, G. (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse (Vol. 4)*. New York: McGraw-Hill.
- Noonpui, S., & Thiravetyan, P. (2011). *Treatment of reactive azo dye from textile wastewater by burhead (Echinodorus cordifolius L.) in constructed wetland: effect of molecular size*. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 46(7), 709-714.

- Reed, S. C. (1993). *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: a technology assessment (No. 74)*. US Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Rodriguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., & Arias, C. A. (2020). *Constructed wetlands in Latin America and the Caribbean: a review of experiences during the last decade*. *Water*, 12(6), 1744.
- Saeed, T., & Sun, G. (2013). *A lab-scale study of constructed wetlands with sugarcane bagasse and sand media for the treatment of textile wastewater*. *Bioresource technology*, 128, 438-447.
- Sarayu, K., & Sandhya, S. (2012). *Current technologies for biological treatment of textile wastewater—a review*. *Applied biochemistry and biotechnology*, 167(3), 645-661.
- Sasse, L. (1998). *DEWATS: Decentralised wastewater treatment in developing countries*. BORDA, Bremen Overseas Research and Development Association.
- Sethulekshmi, S., & Chakraborty, S. (2021). *Textile wastewater treatment using horizontal flow constructed wetland and effect of length of flow in operation efficiency*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106379.
- Shehzadi, M., Afzal, M., Khan, M. U., Islam, E., Mobin, A., Anwar, S., & Khan, Q. M. (2014). *Enhanced degradation of textile effluent in constructed wetland system using *Typha domingensis* and textile effluent-degrading endophytic bacteria*. *Water research*, 58, 152-159.
- Tee, H. C., Lim, P. E., Seng, C. E., Nawi, M. A. M., & Adnan, R. (2015). *Enhancement of azo dye Acid Orange 7 removal in newly developed horizontal subsurface-flow constructed wetland*. *Journal of environmental management*, 147, 349-355.
- UN-HABITAT. (2008). *Constructed Wetlands Manual*. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu.
- Wallace, S. D., & Knight, R. L. (2006). *Small-scale constructed wetland treatment systems: feasibility, design criteria and O & M requirements*. IW

Abstract: The identification of effective and natural techniques for the treatment of recalcitrant wastewater from the artisan textile industry, using as a source of information the search for patent databases, among other resources, results in training for artisans from the Andean region in Latin America.

Story of two volunteers from the NGO Hecho por Nosotros in the search for the collaborative construction of innovative solutions at affordable costs, which can mean an improvement in the life quality of rural populations, respecting their natural environment.

Keywords: Textile wastewater - Constructed wetlands - Natural treatment - Patents - TRIZ - NGO.

Resumo: A identificação de técnicas eficazes e naturais para o tratamento de efluentes recalcitrantes da indústria têxtil artesanal, utilizando como fonte de informação a busca em bancos de dados de patentes, entre outros recursos, resulta na capacitação de artesãos da região andina da América Latina.

Relato de dois voluntários da ONG Hecho por Nosotros na busca pela construção colaborativa de soluções inovadoras, a custos acessíveis, que possam significar melhoria na qualidade de vida das populações rurais, respeitando seu ambiente natural.

Palavras chave: Efluentes têxteis - Wetlands construídos - Tratamento natural - Patentes - TRIZ - ONG.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo]
