

"APRENDIZAJE SITUADO Y FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIEROS CIVILES AMBIENTALES: LA EXPERIENCIA DE LAS CLÍNICAS AMBIENTALES – UFRO”

Marcia Zambrano, Universidad de La Frontera, marcia.zambrano@ufrontera.cl

Laura Azocar, Universidad de La Frontera, laura.azocar@ufrontera.cl

Cristian Bornhardt, Universidad de La Frontera, cristian.bornhardt@ufrontera.cl

Mara Cea, Universidad de La Frontera, mara.cea@ufrontera.cl

María Eugenia González, Universidad de la Católica, ma.eugenia.g.g@gmail.com

Dante Rodríguez, Seremi de Medio Ambiente Región de La Araucanía, DRodriguez.9@mma.gob.cl

Olga Rubilar, Universidad de La Frontera, olga.rubilar@ufrontera.cl

RESUMEN (maximo 15 lineas)

La experiencia analiza el trabajo de estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Frontera de Temuco con 10 municipios de la región de La Araucanía adscritos al Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM) con el objetivo de diagnosticar y resolver distintas problemáticas asociadas a la gestión local ambiental durante el primer semestre del año 2017.

A través de 5 asignaturas del Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Civil Ambiental, se trabajó en la caracterización físico-química y biológica de cursos de agua, diseño de plantas de biodiesel, caracterización de residuos y diagnóstico del funcionamiento de biodigestores. Después de visualizar en terreno cada uno de estos problemas, los estudiantes trabajaron en propuestas de soluciones, siendo el fin último de cada una de ellas el mejorar la calidad de vida de los habitantes de esas comunas.

Producto de este trabajo fue posible contribuir a la formación de futuros ingenieros a través de innovaciones microcurriculares en asignaturas vinculadas a este proyecto. La metodología utilizada para este propósito se basó en la aplicación de una enseñanza situada y experiencial facilitando un aprendizaje activo y centrado en experiencias significativas y motivantes, el fomento del pensamiento crítico y la toma de conciencia. Este modelo de enseñanza-aprendizaje se gestó en el marco de un convenio establecido entre el Ministerio del Medio Ambiente y la Universidad de La Frontera en temáticas de índole ambiental propiciando la vinculación temprana de los estudiantes con el ámbito laboral.

PALABRAS CLAVES: Clínicas de Asistencia Ambiental, Aprendizaje Activo, Residuos sólidos, Biodigestores, Planta de producción de biodiesel, Cursos de agua superficiales

INTRODUCCIÓN

Frecuentemente se ha señalado que la metodología de aprendizaje activo favorece la adopción de actitudes críticas por parte de los estudiantes, al forzarlos a establecer vínculos entre la teoría y la práctica, y poner énfasis en los aspectos contextuales del trabajo ingenieril. El aprendizaje activo posibilita el “aprender interactuando desde y con otros, movilizandolos recursos personales y saberes delimitados y complejos, bajo condiciones contextualizadas y desafiantes; lo anterior, por medio de metodologías que logren este propósito”.

En ese contexto la Universidad de La Frontera ha impulsado una iniciativa que pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes de 10 comunas de la región de La Araucanía. A través de las Clínicas de Asistencia Ambiental, proyecto que lidera la carrera de Ingeniería Civil Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, que surgió a través del convenio suscrito en 2016 con el Ministerio del Medio Ambiente. Esta experiencia ha entregado a los estudiantes posibilidad de vincularse directamente con la realidad que enfrenta un tercio de las comunas de La Araucanía, obteniendo herramientas que contribuyen a su formación académica, personal y profesional.

Es sabido que hoy en día existe una gran problemática con los residuos de origen domiciliario, pues resulta ser un problema que afecta a toda la población, no quedando exento de esta complicación la ciudad de Temuco, específicamente la localidad de Labranza, donde se genera 300 toneladas diarias y 3 ton semanal respectivamente. Al ser grandes generadoras de basura, se está viendo en la obligación de buscar alternativas para estos residuos, pues cada día se está dificultando la disposición, teniendo que enviar estos desechos a rellenos sanitarios de otros sectores, siendo un gran trayecto que recorrer, lo que conlleva un elevado costo. Por otro lado, el impacto ambiental generado por la disposición inadecuada de aceite residual doméstico plantea la necesidad de tres municipios de la Región de evaluar su utilización como materia prima para producción de biodiesel y proyectar una planta para su comuna.

Por su parte, en la comunidad Gallardo Tranamil Pichun se realizó la instalación de 9 biodigestores, destinados para un control en los residuos agrícolas generados por el ganado de las familias y también como una manera de generar energía limpia a través de desechos. Desde su entrega en noviembre del año 2016 hasta la fecha no se vieron los resultados esperados en la producción del biocombustible. En este contexto se establecieron tres áreas de estudio para detectar los posibles problemas que impedían la producción de biogás. Adicionalmente, por requerimiento de siete comunas de la región fue necesario realizar una caracterización físico-química y biológica cursos de aguas superficiales. Por otra parte, otro aspecto importante que les preocupa a las municipalidades es conocer la calidad de sus ríos y aguas superficiales, lo cuales tienen un alto interés turístico y económico.

Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo fue diagnosticar y resolver distintas problemáticas asociadas a la gestión local ambiental de la Región de La Araucanía mediante actividades realizadas por estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil Ambiental y de otras especialidades de la Universidad de La Frontera.

DESARROLLO

La alianza MMA – UFRO permitió que tanto estudiantes como sus docentes, abordaran problemas ambientales en 10 municipalidades, adscritas al SCAM. La caracterización físico-química y biológica de cursos de agua en 7 comunas (Nueva Imperial, Collipulli, Purén, Traiguén, Gorbea, Victoria y Loncoche); el diseño de plantas de biodiesel para Temuco, Nueva Imperial y Angol; la caracterización de residuos en Temuco, además de biodigestores en Nueva Imperial fueron parte de los problemas abordados por los estudiantes en contexto real.

Acerca de la metodología de trabajo

- Caracterización de Residuos Sólidos:

La caracterización de los residuos fue realizada en el Estadio German Becker, lugar de acopio de los residuos sólidos urbanos, recolectados en distintas casas de Labranza, elegidas aleatoriamente, con el propósito de conocer la fracción de residuos orgánicos de los hogares de Labranza. Protegidos con elementos de seguridad (cubre calzado, mascarilla con filtro biológico y overo, guantes) los estudiantes de la Asignatura de “**Ingeniería de Residuos Sólidos**”, procedieron al pesaje de la basura utilizando una pesa industrial para posteriormente proceder con la caracterización de estos residuos a través del método de cuarteo. Éste consideró dividir la totalidad de la basura en cuatro partes iguales, deshaciéndose de dos cuartos opuestos y mezclándose los otros dos restantes. Estos dos se volvieron a mezclar y homogenizar, para seguir con el proceso de cuarteo. Esto se realizó 3 veces. Paralelo al proceso de cuarteo, se realizó la medición de la densidad en las muestras que no seguían en el proceso.

Una vez terminado el cuarteo, comenzó la separación de las distintas fracciones que incluyó la materia orgánica, celulósica, textil, vidrio, metales y otros, donde cada una fue distribuida en bolsas plásticas negras. Terminada la clasificación, se pesó cada bolsa y se hizo un registro de ésta. Finalizada la caracterización, se limpió el lugar donde se trabajó y se llevó los materiales utilizados a la Universidad para la realización de análisis de laboratorio (determinación de contenido de humedad y cenizas).

- Determinación de Humedad: En el laboratorio, se marcaron y pesaron 3 crisoles por grupo siendo un total de 9, a estos crisoles se le agregó aproximadamente 10 gramos de muestra homogénea de residuos de las bolsas guardadas. Luego, se secó la muestra en la estufa a 105 °C por 2 horas, posteriormente la muestra se llevó al desecador por 30 minutos con el fin de enfriar, luego se pesó y se registró su masa.
- Determinación de contenido de ceniza: Después de registrar la masa de a muestra después del secado a 105°C, se incineró el residuo en un horno mufla a 550°C por 4 horas, para luego apagarlo. Al día siguiente se pesó y registró su masa. Con este procedimiento se logró calcular los compuestos volátiles.

- Producción de biodiesel a partir de Aceite de Residual Doméstico:

La producción de biodiesel con aceites residuales de fritura habitualmente genera problemas de operación al utilizar el método convencional de producción de biodiesel. Lo anterior, se debe a cambios en la composición del aceite debido a su uso a altas temperaturas durante la preparación de alimentos. Los problemas generados están asociados a la generación de una emulsión (similar al jabón), lo cual genera contaminación del biodiesel y baja productividad. En

El Desafío de la interdisciplinariedad en la Ingeniería y su Impacto en la Formación Profesional

función de lo anterior. En el presente estudio en el contexto de las asignaturas de “**Proyecto de Ingeniería**” y “**Laboratorio de Ingeniería Ambiental**” se evaluó a nivel de laboratorio una tecnología para producir biodiesel a partir de aceites residuales de fritura que permita producir biodiesel de alta calidad y proyectar una planta a escala local.

La muestra previamente caracterizada fue sometida a un proceso de Transesterificación en dos etapas (**Tablas 1 y 2**). El producto de estas etapas fue llevado a un proceso de sedimentación. El biodiesel obtenido en el sobrenadante fue extraído del sedimentador, sometido a un proceso de destilación y un posterior lavado y secado.

Tabla 1. Condiciones de operación etapa 1

Parámetro	Valor
Metanol (mol metanol/ mol lípido)	12
Temperatura (°C)	60
H ₂ SO ₄ (% v/v)	1
Agitación aprox. (rpm)	350
Tiempo (min)	90

Tabla 2. Condiciones de operación etapa 2

Parámetro	Valor
Metanol (mol metanol/ mol lípido)	6
Temperatura (°C)	60
NaOH o KOH (% p/p)	1
Agitación aprox. (rpm)	350
Tiempo (min)	60

- Diagnóstico del funcionamiento de biodigestores

En el marco de la asignatura de “**Bioenergía**” asignatura electiva de especialidad de las carreras de Ingeniería Civil, los estudiantes de diversas disciplinas de la Ingeniería abordaron el análisis para la detección de problemas dividiéndose en tres áreas:

- Desempeño biológico del biodigestor
- Temperatura de operación
- Almacenaje y distribución

Se evaluó la actividad de las bacterias presentes en los biodigestores. Para ello se tomaron muestras provenientes de dos biodigestores y se analizaron en laboratorio, para comprobar la existencia de bacterias metanogénicas. También se evaluó el sustrato y determinó su potencial Bioquímico de metano (BMP) y presencia de inhibición por NH₃.

- Caracterización físico-química y biológica cursos de aguas superficiales

En la Asignatura de “Química Analítica Ambiental” los estudiantes mediante la utilización de métodos de análisis (Standard Methods) procedieron a realizar análisis físico-químico y biológico en cursos de aguas superficiales correspondiente a siete municipios de la Región de la Araucanía. Los parámetros analizados fueron: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK), Sólidos Suspendidos Totales (SST), sólidos sedimentables (SS), pH, turbidez y conductividad.

RESULTADOS**- Caracterización de Residuos Sólidos:**

Se caracterizó dos toneladas de residuos obtenidos de 112 viviendas, considerando un promedio de 4 personas por vivienda, se estimó un total de 448 personas que generan residuos.

Se obtuvo la siguiente composición de los residuos domiciliarios, calculada como promedio de los 3 días trabajados: papel y cartón 3,91%; textiles 4,22%; plásticos 8,24%; vidrio 2,32%; metales 2%; materia orgánica 67,9%; y otros residuos 11,45%. Para estos resultados se consideraron muestras de 187,2 kg, 125,7 kg y 91,4 kg para los días 1, 2 y 3, respectivamente. Además, en base a estas muestras se calculó una tasa de producción per cápita de residuos (PPC) de 1,6 kg/hab/día. Los valores de densidad obtenidos para los días 2 y 3 fueron 0,249 kg/L y 0,204 kg/L respectivamente, considerando que el día 1 no se midió. Los porcentajes de humedad obtenidos fueron de 73,94% para el día 1, 52,98% para el día 2, y 61,02% para el día 3. En tanto, los porcentajes de compuestos volátiles en las muestras fueron de 5,07% para el día 1, 39,53% para el día 2 y 14,77% para el día 3.

La clasificación realizada indicó que el mayor porcentaje de basura corresponde a la materia orgánica siendo un promedio del 68 %. Considerando que la población de Labranza en la comuna de Temuco alcanzó los 25.000 habitantes el año 2016, se obtuvo una cantidad de 27.160 kg/día de materia orgánica. Según el último informe elaborado por el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) a nivel nacional para el año 2010 el porcentaje de materia orgánica que contienen los residuos domiciliarios corresponde a un 53% ("Sistema Nacional de Información Ambiental", 2010), mientras que el último informe entregado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) para el año 2011 el porcentaje de materia orgánica es del 48% ("Ministerio de Medio Ambiente", 2011), por lo que se puede observar que la localidad de Labranza supera esos valores por sobre un 12% del promedio nacional.

Este contenido de materia orgánica permitiría una reducción de ésta a través de procesos como el compostaje. Se obtuvo una densidad de 0,22 kg/L superior a lo informado por Tchobanoglous et al. (1994) de 0,15 kg/L, esta diferencia se puede deber al trasvasije de los residuos o la manipulación que se les realizó dentro de la misma caracterización. El contenido de Humedad fluctuó entre 52 y 72% valores superiores al óptimo para el proceso de compostaje (45-60%). Por lo anterior, es necesario disminuir el nivel de humedad para lograr una degradación aerobia óptima de los residuos.

- Producción de biodiesel a partir de Aceite de Residual Doméstico:

El biodiesel producido luego de la transesterificación en dos etapas fue trasvasiado a un sedimentador, según se aprecia en la Figura 1.

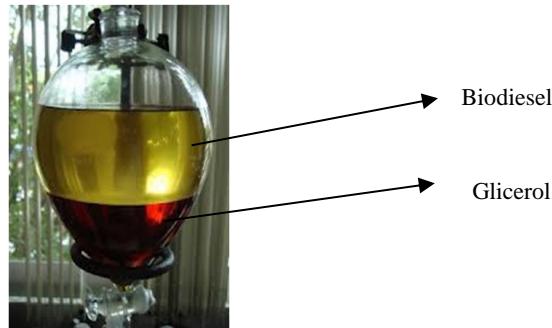


Figura 1. Biodiesel y glicerol generados luego de la transesterificación en dos etapas.

El producto obtenido del sobrenadante fue destilado para la recuperación del metanol, el cual puede ser posteriormente reutilizado en el proceso.

Luego de la destilación, el biodiesel fue lavado para la remoción de los residuos persistentes en la mezcla. El producto generado fue finalmente secado y caracterizado. El biodiesel obtenido demostró tener un 80% de pureza. Tras análisis adicionales, pudo ser comprobado que este valor de pureza está relacionado con el proceso de secado del producto final, lo cual puede ser fácilmente solucionado con un secado adicional. La acidez del producto alcanzó un valor de 0,4 mg/L KOH, lo cual cumple con la norma chilena de biocombustibles. Considerando que este parámetro es un factor clave que complejiza la producción de biodiesel utilizando aceites residuales, el valor obtenido permite comprobar la efectividad de la tecnología evaluada.

Se determinó dimensiones de una planta de biodiesel considerando la disponibilidad potencial de aceite residual de toda la Región de La Araucanía y se desarrolló la ingeniería conceptual asociada para una planta de estas características

- Diagnóstico del funcionamiento de biodigestores

Los resultados indicaron que el biodigestor contiene bacterias metanogénicas y estas se encuentran activas. Además, valores de amonio indicarían que no se estaría viviendo una situación de inhibición.

Sin embargo, la producción de biogás depende de factores como el tipo de sustrato, pH, presencia de inhibidores y temperatura. Fue posible apreciar que el biodigestor registró disminución de temperatura por la localización cercana al río, lo que podría influir en la velocidad de reacción de los procesos biológicos. Se ha comprobado que a mayor temperatura mayor son los niveles de producción de biogás, logrando su óptimo alrededor de los 40°C.

Para un correcto uso de los biodigestores es primordial la utilización de un manual de operación y una pequeña capacitación. Se realizó propuestas de mejoras en lo que respecta al almacenamiento de manera de asegurar una presión suficiente al domicilio, distribución que incluya al menos válvulas de paso y purga. Mejorar el sistema de alimentación para lograr una operación continua y estable del digestor. Junto con ello se recomendó un análisis de fugas.

El Desafío de la interdisciplinariedad en la Ingeniería y su Impacto en la Formación Profesional

Caracterización físico-química y biológica cursos de aguas superficiales Los resultados obtenidos de la caracterización de aguas superficiales de los municipios de la Región de La Araucanía no mostraron contaminación en relación a los parámetros evaluados en cuanto a la normativa vigente NCh 1333 “Requisitos de calidad del agua para diferentes usos”. Esto probablemente se debe a que las fuentes de aguas superficiales evaluadas no tienen una mayor intervención, ya que algunas de ellas procedían de ríos de aguas cordilleranas y de lugares con proyecciones de ser protegidas.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a la metodología realizada en la caracterización de los RSU correspondientes a la localidad de Labranza, se pudo conocer de manera empírica la normativa correspondiente, como también su directa aplicación a situaciones de la vida real y del mundo profesional. Por otro lado, al realizar una caracterización de los RSU, se pudo estimar la cantidad generada por los habitantes de 112 viviendas, para luego estudiar su clasificación y realizar análisis de humedad y ceniza. Producto de esto, fue posible calcular los porcentajes correspondientes principalmente a materia orgánica, lo que dio un promedio total de 62%. Además de estos análisis, en base a la literatura se pudo calcular una producción per cápita de residuos generados.
- Para optimizar el funcionamiento de los biodigestores se elaboró un diagrama del sistema en general donde se incorporan todos los equipos necesarios como válvulas de purga, válvulas anti retorno, válvulas de paso y filtros, además de eliminar el segundo digestor y transformarlo en un post-digestor. Además de las soluciones físicas diseñadas para el sistema, se elaboró un manual de operación del digestor que contempla desde la puesta en marcha hasta las operaciones del día a día.
- Los resultados de laboratorio demostraron la factibilidad de obtener biodiesel a partir de aceites residuales con un 80% de pureza, lo cual puede ser incrementado con un proceso de secado adicional. Asimismo, a partir de datos obtenidos de disponibilidad de aceites residuales en la región fue posible dimensionar una planta de biodiesel y desarrollar la ingeniería conceptual para una planta de estas características
- Las aguas superficiales de 7 municipalidades de la región de La Araucanía no presentaron indicios de contaminación ambiental de acuerdo a los parámetros evaluados y la NCh 1333
- Finalmente y en término de la innovación metodológica desarrollada, se puede concluir que al presentarles a los estudiantes un escenario de trabajo en contexto real, con problemáticas concretas de la comunidad, se cumplieron los principios del aprendizaje situado, ocurriendo aprendizajes significativos y contextualizado acorde a la Política de Formación Profesional de la Universidad de La Frontera, es decir, poner foco al proceso de enseñanza –aprendizaje desde la perspectiva de una formación centrada en el estudiante. En este enfoque situado y vivencial se apreció la necesidad del cambio de rol tanto del docente como del estudiante, ya que el aula cobra una dimensión distinta siendo el espacio de reunión para la discusión, organización y concreción de acciones para responder a una exigencia real. Ya no está el docente centrado en la transmisión de contenidos, sino en la actividad conjunta con los estudiantes, en un rol de mediador en la adecuada utilización del conocimiento para la resolución de problemas. Es de

El Desafío de la interdisciplinariedad en la Ingeniería y su Impacto en la Formación Profesional

este modo que el pensamiento, crítico, la responsabilidad social, la capacidad de autoaprendizaje cobran real sentido y son altamente valoradas y visibles en el quehacer.

BIBLIOGRAFÍA

Tchobanoglous, G., Theissen, H., & Eliassen, R. (1993). Gestión integral de residuos sólidos. Volumen 1, editorial McGRAW-HILL

AGRADECIMIENTOS

- Facultad de Ingeniería y Ciencias por el apoyo brindado en la ejecución de este proyecto
- Laboratorio de Medios, INGENIERÍA 2030 por el soporte y registro en terreno de imágenes y videos
- Dirección de Desarrollo Curricular y Docente por el apoyo brindado en la innovación microcurricular en cada una de las asignaturas involucradas en este proyecto