
**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**INFORME FINAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN
BIOLOGÍA**

**Apoyo en la investigación bibliográfica en enzimas termofílicas que
hidrolizan residuos agroindustriales (modalidad a distancia).**

QUE PRESENTA EL ALUMNO (A)

Elisa Yoalli Torres López

**Matrícula
2163067045**

ASESORES:



**Dra. María del Carmen Monroy Dosta
Asesor Interno**

Nº económico: 28906



**Dra. María Eugenia Hidalgo Lara
Asesor Externo**

Cédula profesional: 1114022

Ciudad de México,

Fecha: Mayo, 2022

Resumen:

El aprovechamiento de los residuos agroindustriales se ha convertido en un tema de gran interés por los diversos beneficios ambientales y económicos obtenidos, que promueve un desarrollo sostenible. Debido a que estos residuos cuentan con un alto potencial de aprovechamiento en diferentes procesos que incluyen su uso como sustrato barato para la producción de productos de valor agregado, como la producción de enzimas termófilas, las cuales tienen un amplio espectro de aplicación, principalmente industrial. En esta revisión se proporciona una perspectiva general de las principales enzimas termofílicas que hidrolizan residuos agroindustriales, algunas de las estrategias y metodologías que se han utilizado para su aprovechamiento. Como resultado de la revisión se identificaron a las celulasas, lacasas y xilanasas como tres de las enzimas termofílicas principales para la hidrólisis de los residuos, al método de SmF como uno de los más utilizados para la producción de enzimas, a los pretratamientos químicos y mecánicos como los principales métodos previos a la hidrólisis enzimática y a los complejos enzimáticos comerciales Celluclast y Novozyme como los más empleados para dicha hidrólisis, en donde, las enzimas provienen principalmente de los géneros de *Trichoderma* y *Aspergillus*, sin embargo, también se ha utilizado con más frecuencia *Saccharomyces*.

Palabras clave: *residuos agroindustriales, enzimas termofílicas, hidrólisis enzimática.*

Índice

- Marco institucional.....1-2
- Introducción.....3
- Ubicación geográfica del programa o proyecto donde se realizaron las actividades del Servicio Social.....4
- Objetivo general del programa o proyecto donde se realizaron las actividades del Servicio Social.....4
- Especificación y fundamento de las actividades desarrolladas de acuerdo al calendario propuesto..... 4-11
- Impacto de las actividades del Servicio Social en programa o proyecto de adscripción..... 11
- Aprendizaje y habilidades obtenidas durante el desarrollo del Servicio Social...11-12
- Fundamento de las actividades del Servicio Social..... 12-13
- Referencias 13-26

Marco institucional

El Cinvestav es una institución pública mexicana dedicada al desarrollo de ciencia, tecnología y a la educación a nivel de posgrado. Tiene como objetivo preparar científicos y tecnólogos especializados, a nivel de posgrado, en diversas disciplinas, así como la realización de investigación básica y aplicada, que permita elevar los niveles de vida e impulsar el desarrollo de la nación. Inició sus actividades en 1961 bajo la dirección del científico mexicano Arturo Rosenblueth Stearns. Actualmente cuenta con veintiocho departamentos de investigación que se encuentran distribuidos por los nueve planteles a lo largo de la República Mexicana; Unidad Guadalajara, Unidad Irapuato, Unidad Mérida, Unidad Monterrey, Unidad Querétaro, Unidad Saltillo, Unidad Tamaulipas, Unidad Zacatenco y Sede Sur (Cinvestav, 2017).

El Departamento de Biotecnología y Bioingeniería se localiza en la parte posterior del Cinvestav, Unidad Zacatenco, que ocupa un área de 55 hectáreas de jardines arbolados, el cual ha estado activo desde 1972, sin embargo, el edificio de 3,000 m², fue construido en 1976 y ha sido constantemente renovado desde entonces. El departamento ha sido el formador del primer grupo de investigación y docencia en Biotecnología y Bioingeniería del país. Dentro de los objetivos del Departamento inicialmente fueron orientados hacia el desarrollo de nuevas tecnologías biotecnológicas de aprovechamiento de recursos agrícolas u otras fuentes de carbono disponibles a nivel nacional, para ayudar en la alimentación de poblaciones marginadas. Así, proyectos como la producción de proteínas unicelulares a partir de metanol o de celulosa, la extracción y concentración de proteínas vegetales a partir de plantas nativas, y la producción de esteroides fueron temas prioritarios. Durante este periodo, progresivamente se desarrollaron también actividades en biotecnología ambiental tales como la ecología microbiana de suelos contaminados o la digestión anaerobia de residuos (Cinvestav, 2021).

El Departamento cuenta actualmente con tres Líneas de Investigación; (i) Biotecnología Ambiental, (ii) Biología Molecular y Biocatálisis, y (iii) Bioprocesos y Bioproductos. El Departamento cubre, por lo tanto, los principales aspectos de la Biotecnología y Bioingeniería moderna. El enfoque de las investigaciones realizadas cubre tanto

investigación básica (Biología Molecular, Genética, entre otras) como aplicada (desarrollo de procesos de control de la contaminación, aprovechamiento de residuos, procesos industriales, entre otros) (Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, 2021).

Introducción

El aprovechamiento de residuos agroindustriales es tema de gran interés por cuanto supone procesos amigables con el medioambiente y busca crear conciencia en las personas y en la sociedad en general, debido a que los residuos agroindustriales son sustratos adecuados para la producción de enzimas, con gran aplicación en las industrias alimentaria, manufacturera, cosmética y farmacéutica, entre otras. En donde dentro de las enzimas más importantes producidas a partir de estas materias primas (cereales, leguminosas, caña de azúcar, entre otras) se encuentran las hemicelulasas, las celulasas, las pectinasas y las xilanasas, las cuales tienen un amplio espectro de aplicación (Tovar, 2016; Malagón *et al.*, 2017).

Por otra parte, al adecuar una materia orgánica producto de una actividad agroindustrial determinada sin beneficio aparente en dicho proceso, se genera valor agregado, pues se parte de materias primas de valor bajo, y éstas se transforman en productos de mayor valor, muchas veces mediante transformaciones sencillas y de poca inversión. Asimismo, se disminuye el estrés ambiental al reducir la disposición impropia de materia orgánica que al descomponerse sin los procesos adecuados y en lugares indebidos genera problemas de polución (Shraddha *et al.*, 2011; Darabzadeh *et al.*, 2018).

Por lo que, en países como el nuestro con economías emergentes y una gran riqueza de recursos naturales no explotados, especialmente de microorganismos como hongos, bacterias y levaduras, que son productores importantes de enzimas con aplicaciones potenciales en procesos industriales, lo cual puede representar un importante nicho de mercado y un impulso para la economía, resulta importante implementar protocolos para la hidrólisis de residuos agroindustriales, lo cual permitiría generar productos de valor agregado a partir de los desechos agroindustriales, tales como el bagazo de caña, la cascarilla de arroz, etc. Esta revisión proporciona una perspectiva general de las principales enzimas termofílicas que hidrolizan residuos agroindustriales, algunas de las estrategias y metodologías que se han utilizado para su aprovechamiento.

Ubicación geográfica

Las actividades se llevarán a cabo a distancia en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, ubicado en Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, Gustavo A. Madero, CP 07360 Ciudad de México, CDMX (Fig. 1).

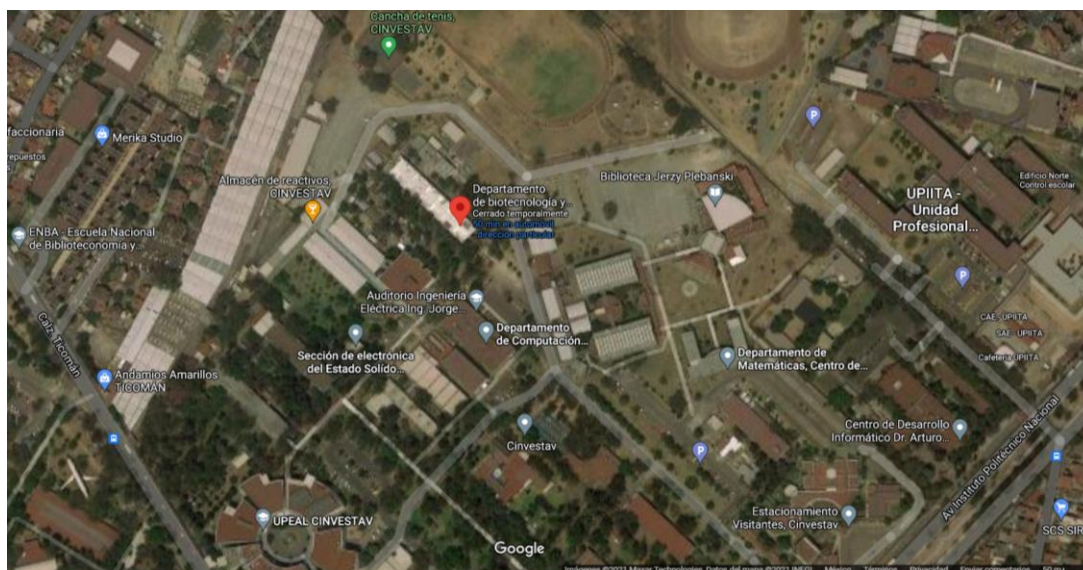


Figura 1. Ubicación geográfica del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (Google Earth ®, 2021).

Objetivo general

Realizar estudios para la aplicación de enzimas fúngicas termofílicas para la hidrólisis de residuos agroindustriales, con la finalidad de generar productos de valor agregado, a partir de residuos tales como bagazo de caña, cascarilla de arroz, etc., y al mismo tiempo contribuir a la mejora del medio ambiente, al reducir los residuos generados por las diferentes agroindustrias.

Especificación y fundamento de las actividades desarrolladas de acuerdo al calendario propuesto

Con base en la revisión realizada los residuos agroindustriales más utilizados en el mejoramiento de la calidad del ambiente y producción de productos de interés social y económico (bioenergéticos como biodiesel, bioetanol, biogás y biomasa energética, así como en la producción de abono orgánico, alimentos para animales, papel, biomateriales, entre

otros) son los provenientes del procesamiento de frutas y vegetales, principalmente del bagazo de caña (**Tabla 1. y Fig. 2**). Dentro de los cuales las enzimas más importantes producidas a partir de estas materias primas se encuentran las celulasas, lacasas y xilanasas, la cuales, para su producción. El método más utilizado ha sido SmF (fermentación por estado sólido) (**Tabla 2**).

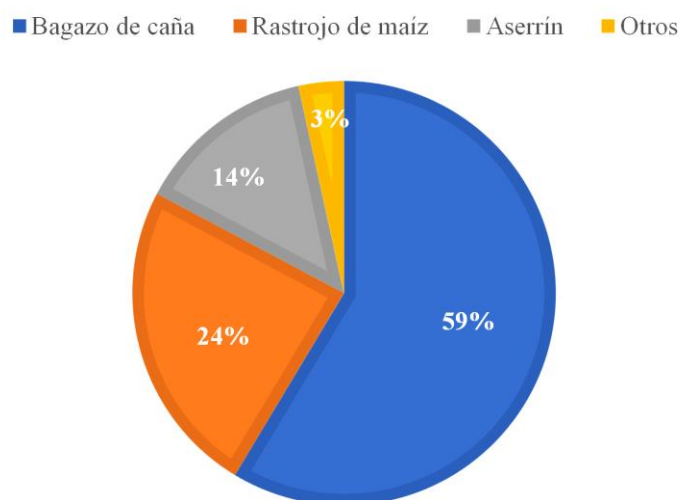


Figura 2. Residuos agroindustriales más utilizados en las investigaciones sobre la hidrólisis enzimática.

Tabla 2. Microorganismos y métodos para la producción de enzimas

| <i>Autor</i> | <i>Microorganismo</i> | <i>Método</i> |
|--|------------------------------------|---------------|
| (Schafner y Toledo, 1992) | <i>T. viridae</i> | SmF |
| (Bronnenmeier <i>et al.</i> , 1995) | <i>Thermotoga maritima</i> | SmF |
| (Reczey <i>et al.</i> , 1996) | <i>T. reesei</i> | SmF |
| (Hreggvidsson <i>et al.</i> , 1996) | <i>Rhodothermus marinus</i> | SmF |
| (Abdel-Fattah <i>et al.</i> , 1997) | <i>A. niger</i> | SmF |
| (Xia, 1999) | <i>T. reesei</i> ZU 02 | SSF |
| (Romero <i>et al.</i> , 1999) | <i>Neurospora crasa</i> | SmF |
| (Krishna, 1999) | <i>Bacillus subtilis</i> | SSF |
| (Kalogeris <i>et al.</i> , 1999) | <i>Thermoascus auranticus</i> | SSF |
| (Wateewuthajarn y Pinphanichakarn, 2000) | <i>Streotimycetes sp.</i> PC22 | SmF |
| (Tsoo <i>et al.</i> , 2000) | <i>A. niger</i> NRRL3 | SSF |
| (Maheswari y Chandra, 2000) | <i>S. cuspidosporus</i> | SSF |
| (Ducros <i>et al.</i> , 2000) | <i>S. lividans</i> | SmF |
| (Endo <i>et al.</i> , 2001) | <i>Bacilo sp.</i> KSM N252 | SmF |
| (Antonopoulos <i>et al.</i> , 2001) | <i>S. albus</i> | SmF |
| (Nacimiento <i>et al.</i> , 2002) | <i>Streotimycetes sp.</i> AMT-3 | SmF |
| (Heck <i>et al.</i> , 2002) | <i>Bacillus subtilis</i> | SSF |
| (Fujian <i>et al.</i> , 2002) | <i>Penicillium decumbans</i> | SSF |
| (Li <i>et al.</i> , 2003) | <i>Chaetomium thermophilum</i> CT2 | SmF |
| (Kotchoni <i>et al.</i> , 2003) | <i>Bacilo pumilus</i> | SmF |

| | | |
|---|--|-----------|
| (Bailey y Tahtiharju, 2003) | <i>Phaenerocheate chrysosporium</i> | SmF |
| (Yang <i>et al.</i> , 2004) | <i>T. reesei</i> y <i>A. niger</i> | SSF |
| (Szijarto <i>et al.</i> , 2004) | <i>T. reesei</i> RUT C30 | SmF |
| (Shen & Xia, 2004) | <i>T. reesei</i> ZU-02 | SmF |
| (Saha, 2004). | <i>Mucor circinelloides</i> | SmF |
| (Oinonen <i>et al.</i> , 2004) | <i>Melnocarpus albomyces</i> | SmF |
| (Kansoh y Nagieb <i>et al.</i> , 2004) | <i>S. galbus</i> | SmF |
| (Ding <i>et al.</i> , 2004) | <i>S. olivaceoviridis</i> E-86 | SmF |
| (Adsul <i>et al.</i> , 2004) | <i>Penicillium janthinellum</i> | SmF |
| (Weber y Agblevor, 2005) | <i>T. reesei</i> RUT C30 | SmF |
| (Sharma y Bajaj, 2005) | <i>Streotimycetes</i> sp. CD3 | SmF |
| (Jang y Chang, 2005) | <i>Streptomyces drozdowiczii</i> | SmF |
| (Grigorevski de-Limaa <i>et al.</i> , 2005) | <i>Streptomyces drozdowiczii</i> | SmF |
| (Ninawe <i>et al.</i> , 2006) | <i>S. cyaneus</i> , <i>S. tendae</i> y <i>S. caelestis</i> | SmF |
| (Singhania <i>et al.</i> , 2007) | <i>T. reesei</i> RUT | SSF |
| (Meryandini, 2007) | <i>Streptomyces</i> sp. C1-3 | SmF |
| (Ninawe y Kuhad, 2008) | <i>S. cyaneus</i> SN32 | SmF |
| (Hernández <i>et al.</i> , 2008) | <i>S. avermitilis</i> CECT3339 | SSF |
| (Dutta <i>et al.</i> , 2008) | <i>Penicillium citrinum</i> | SFF |
| (Xu <i>et al.</i> , 2009) | <i>Acremonium cellulolytius</i> (CF-2612) | SmF |
| (Meryandini <i>et al.</i> , 2009) | <i>Streotimycetes</i> sp. 234P-16I | SmF |
| (Mahesh <i>et al.</i> , 2009) | <i>T. citrinovirida</i> | SmF |
| (Alberton <i>et al.</i> , 2009) | <i>S. viridosporus</i> T7A | SSF |
| (Romdhane <i>et al.</i> , 2010) | <i>Talaromyces thermophilus</i> | SmF |
| (Bajaj y Singh, 2010) | <i>Streptomyces</i> sp. 7b | SSF |
| (Abd <i>et al.</i> , 2010) | <i>S. lividans</i> NRC | SmF |
| (Nawel <i>et al.</i> , 2011) | <i>Jonesia denitrificans</i> BM-13 | SmF |
| (Zhu <i>et al.</i> , 2012) | <i>S. chart</i> | SmF |
| (Saratale <i>et al.</i> , 2012) | <i>Streptomyces</i> sp. MDS | SmF |
| (Kumar <i>et al.</i> , 2012) | <i>Streptomyces</i> sp. RCK-2010 | SmF |
| (Deesukon <i>et al.</i> , 2012) | <i>Streotimycetes</i> sp. SWU10 | SmF |
| (Jalis <i>et al.</i> , 2014) | <i>Aspergillus fumigatus</i> MS16 | SmF y SSF |
| (Samina <i>et al.</i> , 2015) | <i>A. fumigatus</i> MS16 | SSF |
| (Yang <i>et al.</i> , 2016) | <i>Pichia pastori</i> | SmF y SSF |
| (Guillén-Navarro <i>et al.</i> , 2017) | <i>Penicillium citrinum</i> | SSF |
| (Simas-Dias <i>et al.</i> , 2018) | <i>A. niger</i> ATCC 1004 | SmF |
| (Zehra <i>et al.</i> , 2020) | <i>A. fumigatus</i> MS16 | SmF y SSF |

Los pretratamientos mayormente empleados han sido químicos (ácidos, álcalis), en donde involucran la exposición del material a compuestos químicos durante diferentes periodos de tiempo y temperaturas, seguido de los mecánicos (secado, molienda) en el cual, se realiza

una reducción de tamaño de partícula para aumentar el área de superficie de hidrólisis y disminuir el grado de polimerización de los compuestos (Tabla 1).

Actualmente la hidrólisis enzimática se lleva a cabo principalmente con complejos enzimáticos comerciales como Celluclast y Novozyme (Tabla 1 y fig. 3), las cuales provienen principalmente de los géneros *Trichoderma* y *Aspergillus*. Los sistemas fúngicos ofrecen mejores perspectivas de obtener enzimas con actividad y propiedades similares a las originales. Géneros como *Trichoderma* y *Aspergillus* suelen ser buenos productores, sin embargo, también se ha estado haciendo uso de distintas especies de levaduras como *Saccharomyces* (Tabla 1 y fig. 4).

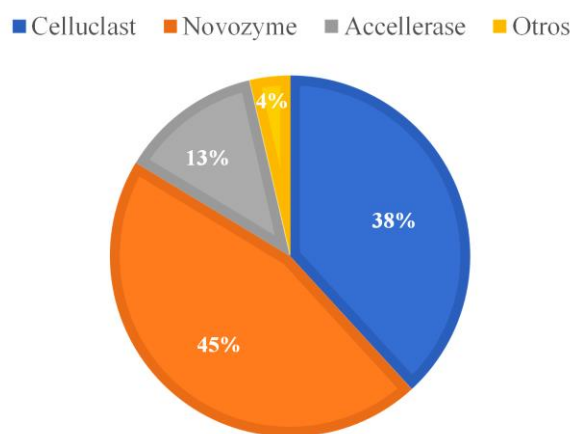


Figura 3. Complejos enzimáticos más utilizados para la hidrólisis enzimática de residuos agroindustriales.

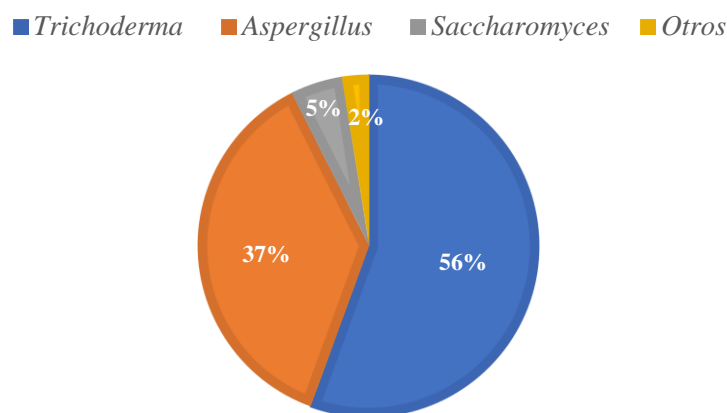


Figura 4. Géneros de los principales microorganismos productores de enzimas degradadoras de biomasa lignocelulósica.

Tabla 1. Investigaciones de hidrólisis enzimática de residuos agroindustriales

| <i>Autor</i> | <i>Residuo agroindustrial</i> | <i>Pretratamiento</i> | <i>Complejos enzimáticos</i> | <i>Microorganismo</i> |
|--------------------------------------|---|--|----------------------------------|--|
| (Ruiz, 2001) | Torta de yuca y umari | Térmico | Fungamyl 500BG Celluclast | <i>Aspergillus oryzae</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Trichoderma reesei</i> |
| (Martín <i>et al.</i> , 2002) | Bagazo de caña | Térmico | Novozyme | TMB 3001 de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Pichia stipitis</i> <i>Aspergillus sp.</i> |
| (Martín <i>et al.</i> , 2002) | Tallos de tabaco | Vapor | Celluclast | <i>T. reesei</i> |
| (Schell <i>et al.</i> , 2003) | Rastrojo de maíz | Ácido sulfúrico | Ultra-low microbial (Iogen) | <i>Trichoderma longibrachiatum</i> <i>T. reesei</i> |
| (Adsul <i>et al.</i> , 2005) | Bagazo de caña | Térmico | Avicel Celulasa y xilanasa | <i>Penicillium janthinellum</i> NCIM 1171 |
| (Lloyd y Wyman, 2005) | Rastrojo de maíz | Ácido sulfúrico | Spezyme CP Novozyme | <i>T. longibrachiatum</i> <i>T. reesei</i> <i>Aspergillus sp.</i> |
| (Mejía <i>et al.</i> , 2007) | Mango común | Secado y molienda | Celluclast Pectinex Ultra SPL | <i>T. reesei</i> |
| (Martín <i>et al.</i> , 2007) | Bagazo de caña Cascara de arroz Cascara de maní Tallos de yuca | Ácido sulfúrico | Celluclast Novozyme | <i>T. reesei</i> <i>Aspergillus sp.</i> |
| (Martín <i>et al.</i> , 2008) | Trébol Ballica | Oxidación húmeda | Celluclast Novozyme | <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (Salvi <i>et al.</i> , 2009) | Sorgo (tallos, hojas y raíces) | Secado y molienda Hidróxido de amonio | Spezyme CP Novozyme | <i>T. longibrachiatum</i> <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (Buaban <i>et al.</i> , 2010) | Bagazo de caña | Secado y molienda | Novozyme Celulasa y xilanasa | <i>Aspergillus flavus</i> <i>P. stipitis</i> NCC15191 |
| (Vega, 2010) | Bagazo de caña Aserrín de laurel | Secado y molienda | Celluclast Novozyme Avicel | <i>T. atroviride</i> <i>T. reesei</i> <i>Aspergillus sp.</i> <i>Penicillium sp.</i> <i>S. cerevisiae</i> |
| (Paredes <i>et al.</i> , 2010) | Banano | Hidróxido de calcio Ácido sulfúrico | Lacasa, celulasa y xilanasa | <i>Pleurotus ostreatus</i> <i>Pleurotus pulmonarius</i> <i>Lentinula edodes</i> |
| (Vidal, 2010) | Almidón de ñame | Secado y molienda | Novozyme | <i>Aspergillus sp.</i> |
| (López-Miranda <i>et al.</i> , 2010) | Aserrín de pino | Alcalino NaOH Ácido sulfúrico Exposición a vapor | Novozyme Celluclast | <i>T. reesei</i> <i>Aspergillus sp.</i> |

| | | | | |
|---|--|---|--|---|
| (Cortínez, 2010) | Eucalipto Madera de Lengua | Secado y molienda Ácido sulfúrico Alcalino NaOH | Celluclast Novozyme | <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (Limay y Rodríguez, 2010) | Naranja Alcachofa Bagazo de caña | Secado y molienda Ácido sulfúrico | Novozyme Acellerase 1500 | <i>Trichoderma viride</i> <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (dos Santos <i>et al.</i> , 2010) | Aserrín de Eucalipto | Ácido sulfúrico | Novozyme | <i>Aspergillus sp.</i> |
| (González- Rentería <i>et al.</i> , 2011) | Frijol | Hidróxido de sodio | Celluclast Novozyme | <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (Pereira <i>et al.</i> , 2011) | Bagazo de caña | Vapor | Celulasas Xilanasas Enzimas acesorias | <i>T. reesei</i> RUT C30 <i>Aspergillus awamori</i> 2B.361 U2/1 |
| (Salcedo <i>et al.</i> , 2012) | Bagazo de caña | Secado y molienda Ácido sulfúrico | GC 880 Celluclast | <i>T. longibrachiatum</i> <i>T. reesei</i> |
| (Dasgupta <i>et al.</i> , 2013) | Bagazo de caña | Vapor Ácido sulfúrico | Advanced Biochemicals Ltd | <i>Kluyveromyces sp.</i> IPE453 |
| (López <i>et al.</i> , 2013) | Yuca | Ácido sulfúrico Hidróxido de sodio Peróxido de hidrógeno | Accellerase 1500 | <i>T. reesei</i> |
| (Tyagi <i>et al.</i> , 2014) | Bagazo de caña | Ácido sulfúrico | Xilanasas | <i>S. cerevisiae</i> |
| (Acevedo <i>et al.</i> , 2014) | Bagazo de caña | Secado y molienda | Celluclast Rocksoftm Super ACE | <i>T. longibrachiatum</i> |
| (Dagnino <i>et al.</i> , 2014) | Cascarilla de arroz Aserrín de algarrobo | Ácido sulfúrico | Sigma-Aldrich (Novozyme) | <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (Lara <i>et al.</i> , 2014) | Piña de sotol | Térmico (exposición a vapor) | Celluclast | <i>Trichoderma viridae</i> |
| (García <i>et al.</i> , 2014) | <i>Jatropha curcas</i> (Piñón) | Ácido sulfúrico | Celluclast | <i>T. reesei</i> |
| (van den Brink <i>et al.</i> , 2014) | Paja de trigo Bagazo de caña | Secado y molienda | Celluclast Novozyme | <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (Albernas- Carvajal <i>et al.</i> , 2014) | Bagazo de caña | Ácido sulfúrico Alcalino | Novozyme | <i>Aspergillus sp.</i> |
| (Romero <i>et al.</i> , 2015) | Banano | Molienda + Hidróxido de sodio Molienda + proceso hidrotérmico Molienda y secado | TRICHOEM 5WP Celluclast | <i>T. reesei</i> |

| | | | | |
|--|---|--|--|---|
| (Arellano, 2015) | <i>Jatropha curcas</i> (piñón de tempate) <i>Pennisetum sp.</i> (hierba de elefante) | Ácido sulfúrico Alcalino | Celluzyme Novozyme | <i>Aspergillus sp.</i> <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> |
| (Nair <i>et al.</i> , 2015) | Salvado de trigo | Ácido fosfórico | Cellic Ctec2 Novozyme | <i>Aspergillus oryzae</i> <i>A. niger</i> |
| (Song <i>et al.</i> , 2016) | Mazorca de maíz Rastrojo de maíz Paja de arroz | Ácido sulfúrico | Celulasa Xilanasa | <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> <i>S. cerevisiae</i> |
| (Loustau-Cazalet <i>et al.</i> , 2016) | Rastrojo de maíz | Secado y molienda Hidróxido de sodio Peróxido de hidrógeno | Sigma-Aldrich (Novozyme) | <i>T. longibrachiatum</i> |
| (Orencio-Trejo <i>et al.</i> , 2016) | Rastrojo de maíz Sorgo | Ácido sulfúrico | Celluclast | <i>T. reesei</i> |
| (Peciulyte <i>et al.</i> , 2017) | Salvado de trigo | Secado y molienda | Celluclast Novozyme | <i>T. longibrachiatum</i> <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> <i>Aspergillus sp.</i> <i>Trichoderma atroviride</i> <i>Podospora anserina</i> <i>Stagonospora nodorum</i> |
| (Marembo <i>et al.</i> , 2017) | Bagazo de caña | Secado y molienda Ácido sulfúrico | Celluclast Novozyme | <i>T. longibrachiatum</i> <i>T. reesei</i> <i>T. niger</i> |
| (Batallas <i>et al.</i> , 2018) | Bagazo de caña | Hidróxido de sodio | Novozyme Celulasa y xilanasa | <i>Bacillus sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i> |
| (Du <i>et al.</i> , 2018) | Mazorca de maíz | Secado y molienda Ultrasonido en amoníaco acuoso (USAA) | Multifect CL | <i>T. reesei</i> |
| (Castillo <i>et al.</i> , 2019) | Cascarilla de arroz | Alcalino-Peróxido Ácido-Peróxido Silicato-Peróxido | Novozyme | <i>T. reesei</i> <i>Aspergillus sp.</i> |
| (Vázquez, 2019) | Moringa | Ácido sulfúrico | Lacasa | <i>Penicillium funiculosum</i> |
| (Xu <i>et al.</i> , 2019) | Mazorca de maíz | Ácido-alcalino Secado y molienda | Imperial Jade Bio-Technology Co., Ltd | <i>Trichoderma sp.</i> |

| | | | | |
|--|------------------|---|--|--|
| (Salcedo <i>et al.</i> , 2019) | Bagazo de caña | Ácido-alcálico Organosolv | Accelase XC Accellerase 1500 Accellerase BG Accellerase XY Celluclast Citrozyme Ultra Clarex Citrus Klerzyme Optimash BG Pectinasa Ultra Rapidase ADEX Viscozyme L (Novozyme) | <i>T. longibrachiatum</i> <i>T. reesei</i> <i>A. niger</i> <i>Aspergillus sp.</i> |
| (Knawang-Chhunji <i>et al.</i> , 2019) | Bagazo de caña | Ácido sulfúrico Secado y molienda | Celluclast | <i>T. reesei</i> |
| (Olivo <i>et al.</i> , 2021) | Residuo de maíz | Secado y molienda Álcali y Ácido- Álcali Térmico | Celulasa | <i>A. niger</i> |
| (Yang <i>et al.</i> , 2022) | Rastrojo de maíz | Secado y molienda | Cellic Ctec2 (Novozyme) | <i>T. longibrachiatum</i> <i>A. niger</i> |

Impacto de las actividades del Servicio social en programa o proyecto de adscripción

El servicio social realizado contribuye al conocimiento sobre la aplicación de enzimas fúngicas termofílicas para la hidrólisis de residuos agroindustriales y con ello dar inicio a nuevos proyectos, reforzar los fundamentos teóricos de los que ya están en curso a nivel de licenciatura y posgrado y en términos de metodología amplia la información de los protocolos que han sido utilizados con mayor eficacia de acuerdo a las condiciones y equipo de los diferentes laboratorios interesados por aplicar este conocimiento.

Aprendizaje y habilidades obtenidas durante el desarrollo del Servicio Social

Durante el periodo de Servicio social, algunas de las habilidades desarrolladas fueron la búsqueda en bases de datos especializadas para después hacer la lectura y análisis de cada una de bibliografías obtenidas (análisis e interpretación de datos), y con ello realizar la

síntesis de información en tablas y graficas (explicación y representación coherente de los resultados obtenidos).

Por otro lado, pude ampliar mis conocimientos hacia los procesos celulares, energía y consumo de sustancias fundamentales, patrones biológicos y ecológicos, procesos ecológicos, así como una visión hacia la producción de bienes y servicios mediante la utilización de sistemas biológicos o de sus productos. Además de reiterar mi interés por la investigación principalmente en temas de biología molecular, celular y sus diversas aplicaciones como el desarrollo de procesos de control de la contaminación, aprovechamiento de residuos, procesos industriales, entre otros.

Fundamento de las actividades del Servicio Social

La generación de subproductos o residuos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos es actualmente una problemática a nivel mundial, debido a que en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos adecuadamente, situación que contribuye al proceso de contaminación ambiental. Los residuos agroindustriales cuentan con un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos, agregación de valor a productos originales y recuperación de condiciones ambientales alteradas.

El aprovechamiento de estos residuos se ha convertido en un tema de gran interés por los diversos beneficios ambientales y económicos obtenidos, que promueven un desarrollo sostenible. Además, se busca crear conciencia en las personas y en la sociedad en general, debido a que dichos residuos son sustratos adecuados para la producción de enzimas como las celulasas, xilanasas, lacasas, entre otras, las cuales tienen un amplio espectro de aplicación, por ejemplo, en diversas industrias como la farmacéutica, alimentaria, manufacturera, agrícola, textil, papelera, nanotecnología y una de mayor impacto, la industria de biocombustibles, entre otras.

Por lo que en países como el nuestro con gran producción de desechos agroindustriales y una gran riqueza de recursos naturales no explotados, especialmente de microorganismos como hongos, bacterias y levaduras, los cuales son productores importantes de enzimas con aplicaciones potenciales en procesos industriales, representan un importante nicho de

mercado e impulso para la economía, por ello resulta importante implementar protocolos para la hidrólisis de residuos agroindustriales, por tanto permitiría generar productos de valor agregado a partir de desechos como el bagazo de caña, rastrojo de maíz, cascarilla de arroz, entre otros.

Lo anterior tiene una gran vinculación con la Misión de la Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, la cual consiste en: “Formar biólogos cuyas habilidades, competencias y conocimientos les permitan participar en el diagnóstico, gestión y planeación del uso, conservación y restauración de los recursos naturales”, por lo que es de gran importancia que los egresados nos vinculemos en actividades de investigación multidisciplinar en campos de acción del futuro, como lo es el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, ya que nos permite ampliar los conocimientos hacia los procesos celulares, energía y consumo de sustancias fundamentales, patrones biológicos y ecológicos, procesos ecológicos así como una visión hacia la producción de bienes y servicios mediante la utilización de sistemas biológicos o de sus productos, al mismo tiempo nos permite poner en práctica, los conocimientos, habilidades y herramientas adquiridas durante la formación académica.

Referencias

1. Abd, El-Nasser, N. H., Amal, A. M. & Abeer, A. K. (2010). Xylanase production by *Streptomyces lividans* (NRC) and its application on waste paper. *Aus J Basic Appl Sci*; 4: 1358.
2. Abdel-Fattah, A. F., Osman, M. Y. & Abdel-Naby, M. A. (1997). Production and immobilization of cellobiase from *Aspergillus niger* A20. *Chem Eng J*; 68:189–96.
3. Acevedo, D., Granados, C., & Guerrero, E. M. (2014). Cinética Enzimática del Bagazo de Caña para la Producción de Glucosa Utilizando la Enzima *Trichoderma longibrachiatum*. *Información tecnológica*, 25(5), 65-72. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000500010>
4. Adsul, M. G., Ghule, J. E., Singh, R., Shaikh, H., Bastawde, K. B., Gokhale, D. V. & Varma, A. J. (2004).

5. Adsul, M.G., Ghule, J.E., Shaikh, H., Singh, R., Bastwde, K.B., Gokha le, D.V. & Varma, A. J. (2005). Enzymatic hydrolysis of delignified bagasse polisaccharides. *Carbohydrates Polymers*, 62 (1): 6-10.
6. Albornas-Carvajal, Y., Corsano, G., Mesa, G. L., Santos, H. R. & González, S. E. (2014). Study of enzymatic hydrolysis kinetic of pretreated bagasse. *Afinidad - Barcelona-*. 72. 127-132.
7. Alberton, L. R., Vandenberghe, L. P. S., Assmann, R., Fendrich, R. C., Rodríguez-León, J. & Soccol, C. R. (2009). Xylanase production by *Streptomyces viridosporus* T7A in submerged and solid-state fermentation using agro-industrial residues. *Braz. arch. biol. Technol*; 52: 000.
8. Antonopoulos, V. T., Hernández, M., Arias, M. E. & Mavrakos, E. (2001). The use of extracellular enzymes from *Streptomyces albus* ATCC 3005 for the bleaching of eucalyptus kraft pulp. *Appl Microbiol Biotechnol*; 57: 92.
9. Arellano, P. C. (2015). Obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos sometidos a hidrolisis enzimática. Universidad Veracruzana (Facultad de ciencias químicas). Tesis. Maestría. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46812/ArellanoPeralesCarla.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
10. Bailey, M. J. & Tahtiharju, J. (2003). Efficient cellulase production by *Trichoderma reesei* in continuous cultivation on lactose medium with a computer-controlled feeding strategy. *Appl Microbiol Biotechnol*; 62:156–62.
11. Bajaj, B. K. & Singh, N. P. (2010). Production of xylanase from an alkali tolerant *Streptomyces* sp. 7b under solid-state fermentation, its purification, and characterization. *Appl Biochem Biotechnol*; 162: 1804.
12. Batallas, M. F., Salvador, P. C. A., Villavicencio, M. J., González, G. H., & González S. E. (2018). Hidrólisis enzimática del bagazo de caña para la obtención de etanol empleando enzimas nativas y comerciales. *Revista Centro Azúcar*, 45(4), 11. Recuperado a partir de http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/84

13. Bronnenmeier, K., Kern, A., Liebl, W. & Staudenbauer, W. L. (1995). Purification of *Thermotoga maritima* enzymes for the degradation of cellulosic materials. *Appl Environ Microbiol*; 61:1399–407.
14. Buaban, B., Inoue, H., Yano, S., Tanapongpipat, S., Ruanglek, V., Champreda, V., Pichyangkura, R., Rengpipat, S. & Eurwilaichitr, L. (2010). Bioethanol production from ball milled bagasse using an on-site produced fungal enzyme cocktail and xylose-fermenting *Pichia stipitis*. *J Biosci Bioeng*, 110(1):18-25. doi: 10.1016/j.jbiosc.2009.12.003. Epub 2010 Jan 25. PMID: 20541110.
15. Castillo, G., Yasmin, J. M., Montalvo, J. J., Paola, A., & Visitación F. L. (2019). Pretratamiento e hidrólisis enzimática de la cascarilla de arroz. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 476-488. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.261>
16. Cinvestav. 2017. Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Internet. Fecha de consulta 13 de agosto 2021. Disponible en https://www.cinvestav.mx/Portals/0/sitedocs/conocenos/01281-Folleto%20ESPANOL_II.pdf
17. Cinvestav. 2021. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. Internet. Fecha de consulta 16 de agosto 2021. Disponible en <https://www.cinvestav.mx/Departamentos/Biotecnologia-y-Bioingenieria>
18. Cortínez, V. V. (2010). Comparación de Pretratamientos en Residuos Forestales para la Producción de Bioetanol de Segunda Generación: Hidrólisis Ácida y Líquidos Iónicos. Tesis posgrado. Santiago de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102377>
19. Dagnino, E., Chamorro, E., Felissia, F. & Area, M. (2014). Obtención de bioetanol a partir de la celulosa presente en cascarilla de arroz y aserrín de algarrobo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 18(1):06.01-06.07.
20. Darabzadeh, N., Hamidi-Esfahani, Z., & Hejazi, P. (2018). Optimization of cellulase production under solid-state fermentation by a new mutant strain of *Trichoderma reesei*. *Food science & nutrition*, 7(2), 572–578. <https://doi.org/10.1002/fsn3.852>
21. Dasgupta, D., Suman, S.K., Pandey, D. *et al.* (2013). Design and optimization of ethanol production from bagasse pith hydrolysate by a thermotolerant

- yeast *Kluyveromyces* sp. IIPE453 using response surface methodology. *SpringerPlus*, 2, 159. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-159>
22. Deesukon, W., Nishimura, Y., Sakamoto, T. & Sukhumsirichart, W. (2012). Purification, characterization of GH11 Endo-b-1,4-xylanase from thermotolerant *Streptomyces* sp. SWU10 and overexpression in *Pichia pastoris* KM71H. *Mol Biotechnol*; 00
 23. Ding, C. H., Jiang, Z. Q., Li, X. T., Li, L. T. & Kusakabe, I. (2004). High activity xylanase production by *Streptomyces olivaceoviridis* E86. *World J Microbiol Biotechnol*; 20: 7.
 24. dos Santos, D., Camelo, A. C., Rodrigues, K. C., Carlos, L. C., & Pereira, N., Jr (2010). Ethanol production from sugarcane bagasse by *Zymomonas mobilis* using simultaneous saccharification and fermentation (SSF) process. *Applied biochemistry and biotechnology*, 161(1-8), 93–105. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8810-x>
 25. Du, R., Su, R., Qi, W., & He, Z. (2018). Enhanced enzymatic hydrolysis of corncob by ultrasound-assisted soaking in aqueous ammonia pretreatment. *3 Biotech*, 8(3), 166. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1186-2>
 26. Ducros, V., Charnock, S. J., Derewenda, U., Derewenda, Z. S., Dauter, Z., Dupont, C., Shareck, F., Morosoli, R., Kluepfel, D. & Davies, G. J. (2000). Substrate specificity in glycoside hydrolase family 10: Structure and kinetic analysis of the *Streptomyces lividans* xylanase IOA. *J Biol Chem*; 275: 23020.
 27. Dutta, T., Sahoo, R., Sengupta, R., Ray, S. S., Bhattacharjee, A. & Ghosh, S. (2008). Novel cellulases from an extremophilic filamentous fungi *Penicillium citrinum*: production and characterization. *J Ind Microbiol Biotechnol*; 35: 275–82.
 28. Endo, K., Hakamada, Y., Takizawa, S., Kubota, H., Sumitomo, N., Kobayashi, T. & Ito, S. (2001). A novel alkaline endoglucanase from an alkaliphilic *Bacillus* isolate: enzymatic properties, and nucleotide and deduced amino acid sequences. *Appl Microbiol Biotechnol*; 57:109–16.
 29. Fujian, X., Hongzhang, C. & Zuohu, L. (2002). Effect of periodically dynamic changes of air on cellulase production in solid-state fermentation. *Enzyme Microb Technol*; 30:45–8.

30. García, A., Cara, C., Moya, M., Rapado, J., Puls, J., Castro, E. & Martín, C. (2014). Dilute sulphuric acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of *Jatropha curcas* fruit shells for ethanol production. *Industrial crops and products*, Vol. 53, p.148-
31. González-Rentería, S.M., Soto-Cruz, N.O., Rutiaga-Quiñones, O.M., Medrano-Roldán, H., Rutiaga-Quiñones, J.G., & López-Miranda, J. (2011). Optimización del proceso de hidrólisis enzimática de una mezcla de pajas de frijol cuatro variedades (Pinto villa, Pinto saltillo, Pinto mestizo y Flor de mayo). *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(1), 17-28. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000100003&lng=es&tlng=es.
32. Grigorevski de-Limaa, A. L., do-Nascimento, R. P., da-Silva Bon, E. P. & Coelho, R. R. (2005). *Streptomyces drozdowiczii* cellulase production using agro-industrial by products and its potential use in the detergent and textile industries. *Enzyme Microb Technol*; 37:272–7.
33. Guillén-Navarro, K., & Amaya-Delgado, L., & Sánchez, J.E., & Peña-Maravilla, M., & Calixto-Romo, M.A. (2017). Cellulases and xylanases production by *Penicillium citrinum* cgetcr using coffee pulp in solid state fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(3),757-769. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62053304006>
34. Heck, J. X., Hertz, P. F. & Ayub, M. A. Z. (2002). Cellulase and xylanase production by isolated Amazon bacillus strains using soybean industrial residue based solid-state cultivation. *Braz J Microbiol*; 33:213–8.
35. Hernández, A., López, J. C., Santamaría, R., Díaz, M., Fernández-Abalos, J. M., Copa-Patiño, J. L. & Soliveri, J. (2008). Xylan-binding xylanase Xyl30 from *Streptomyces avermitilis*: cloning, characterization, and overproduction in solid-state fermentation. *Int Microbiol*; 11: 133.
36. Hernández-Salas, J.M., Villa-Ramírez, S., Veloz-Rendón, J.S., Rivera-Hernández, K.N., González-César, R.A., Plascencia-Espinosa, M. & Trejo-Estrada, S.R. (2009). Comparative hydrolysis and fermentation of sugarcane and. *Bioresource technology*, 100. 1238-45. 10.1016/j.biortech.2006.09.062

37. Hreggvidsson, G. O., Kaiste, E., Holst, O., Eggertsson, G., Palsdottir, A. & Kristjansson, A. J. (1996). An extremely thermostable cellulase from the thermophilic eubacterium *Rhodothermus marinus*. *Appl Environ Microbiol*; 62:3047–9.
38. Jalis, H., Ahmad, A., Khan, S. A. & Sohail, M. (2014). Utilización de cáscaras de manzana para la producción de enzimas que degradan la pared celular vegetal por *Aspergillus fumigatus* MS16. *J Anim Plant Sci.*; 24 (2).
39. Jang, H. & Chang, K. (2005). Thermostable cellulases from *Streptomyces* sp. scale-up production in a 50-l fermenter. *Biotechnol Lett*; 27:239–42.
40. Kalogeris, E., Fountoukides, G., Kekos, D. & Macris, B. J. (1999). Design of a solid-state bioreactor for thermophilic microorganisms. *Bioresour Technol*; 67:313–5.
41. Kansoh, A. L. & Nagieb, Z. A. (2001). Xylanase and mannanase enzymes from *Streptomyces galbus* NR and their use in biobleaching of softwood kraft pulp, *Antonie van Leeuwenhoek*. *Int J Gen Mol Microbiol*; 85: 103.
42. Knawang-Chhunji, K.I., Madhao, M. & Rintu-Banerjee, R. (2019). Optimization of saccharification of enzymatically pretreated sugarcane tops by response surface methodology for ethanol production. *Biofuels*, 10, pp. 73-80. DOI: 10.1080/17597269.2017.1409058.
43. Kotchoni, O. S., Shonukan, O. O. & Gachomo, W. E. (2003). *Bacillus pumilus* BpCRI 6, a promising candidate for cellulase production under conditions of catabolite repression. *Afr J Biotechnol*; 2:140–6.
44. Krishna, C. (1999). Production of bacterial cellulases by solid state bioprocessing of banana wastes. *Bioresour Technol*; 69:231–9.
45. Kumar A, Gupta R, Shrivastava B, Khasa Y P & Kuhad R C. (2012). Xylanase production from an alkalophilic actinomycete isolate *Streptomyces* sp. RCK-2010, its characterization and application in saccharification of second generation biomass. *J Mol Catalysis B: Enzymatic*; 74: 170.
46. Lara, L., Fuentes, L., Aguilera, C. A., Gutiérrez, B., Rodríguez, J., Noé, A. C. & De la Garza H. (2014). Hidrolisis enzimática de Piñas de Sotol para incrementar la concentración de azúcares aplicando diferentes tratamientos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

https://smbb.mx/congresos%20smbb/morelia07/TRABAJOS/Area_I/Carteles/CI-35.pdf

47. Li, D. C., Lu, M., Li, Y. L. & Lu, J. (2003). Purification and characterization of an endocellulase from the thermophilic fungus *Chaetomium thermophilum* CT2. *Enzyme Microb Technol*; 33:932–7.
48. Limay, V. D. A. & Rodríguez, M. L. P. (2010). Estudio de la hidrólisis enzimática de desechos agroindustriales lignocelulósicos para la obtención de azúcares fermentable. Universidad Nacional del Santa. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Tesis doctoral. Perú.
49. Lloyd, T. A., & Wyman, C. E. (2005). Combined sugar yields for dilute sulfuric acid pretreatment of corn stover followed by enzymatic hydrolysis of the remaining solids. *Bioresource technology*, 96(18), 1967–1977. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.011>
50. López, N. L., Acosta, C. A. & Gelves, Z. R. (2013). Evaluación de pretratamientos químicos para la hidrólisis enzimática de residuos lignocelulósicos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (69),317-326. ISSN: 0120-6230. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43029812024>
51. López-Miranda, j., Soto-Cruz, N. O., Rutiaga-Quiñones, O. M., Medrano-Roldán, H., & Arévalo-Niño, K. (2010). Optimización del proceso de obtención enzimática de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 25(2), 95–102. Recuperado a partir de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/21586>
52. Loustau-Cazalet, C., Sambusiti, C., Buche, P., Solhy, A., Bilal, E., Larzek, M., & Barakat, A. (2016). Innovative deconstruction of biomass induced by dry chemo-mechanical activation: Impact on enzymatic hydrolysis and energy efficiency. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(5), 2689-2697.
53. Mahesh, C., Alok, K., Sangwan, N. S., Gaurav-Shailendra, S., Darokar-Mahender, P. & Sangwan-Rajinder, S. (2009). Development of a mutant of *Trichoderma citrinoviride* for enhanced production of cellulases. *Bioresour Technol*; 100:1659–62.

54. Maheswari, U. M. & Chandra, T. S. (2000). Production and potential applications of a xylanase from a new strain of *Streptomyces cuspidosporus*. *World J Microbiol Biotechnol*; 16: 257.
55. Malagón, M. M. L., Rodríguez, L. J. A., & Rodríguez, P. L. F. (2017). Enzimas: algunas aplicaciones de “micromáquinas” como impulsoras de tecnología verde. *Semilleros: Formacion Investigativa*, 85-90.
56. Marembo, C, Mamphweli, S. & Okoh, O. (2017). Bioethanol production from lignocellulosic sugarcane leaves and tops, *Journal of Energy in Southern Africa*; 28, pp. 1-11, DOI: 10.17159/2413-3051/2017/v28i3a2354
57. Martin, C., Alriksson, B., Sjöde, A., Nilvebrant, N. O., & Jönsson, L. J. (2007). Dilute sulfuric acid pretreatment of agricultural and agro-industrial residues for ethanol production. *Applied biochemistry and biotechnology*, 137-140(1-12), 339–352. <https://doi.org/10.1007/s12010-007-9063-1>
58. Martin, C., Fernández, T., García, R., Carrillo, E., Marcet, M., Galbe, M. & Jönsson, L.J. (2002). Preparation of Hydrolysates from tobacco stalks and ethanolic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18 (9), p. 857-862.
59. Martín, C., Galbe, M., Whalbon, C. & Jonsson, L. (2002). Ethanol production from enzymatic hydrolysates of sugar cane bagasse using recombinant xylose – utilizing *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*, 31 (3): 274- 282
60. Martín, C., Thomsen, M. H., Hauggaard-Nielsen, H., & Belindathomsen, A. (2008). Wet oxidation pretreatment, enzymatic hydrolysis and simultaneous saccharification and fermentation of clover-ryegrass mixtures. *Bioresource technology*, 99(18), 8777–8782.
61. Mejía, F., Martínez-Correa, H., Gutiérrez, J. & Castano, C. (2007). Usage of the common mango agroindustrial waste (*mangifera indica* L.) in the destruction of fermentables sugars. *Ingeniería y Ciencia*. 3.
62. Meryandini, A. (2007). Characterization of xylanase from *Streptomyces* sp. strain C1-3. *Hayati J Biosci*; 00: 115.

63. Meryandini, A., Hendarwin, T., Fahrurrozi, Akhdiya, A., Saprudin, D. & Lestari, Y. (2009). Characterization and purification a specific xylanase showing arabinofuranosidase activity from *Streptomyces* sp. 234P-16. *Biodiversitas*; 9: 115.
64. Nair, R.B., Lundin, M., Brandberg, T., Lennartsson, P.R. & Taherzadeh, M.J. (2015). Dilute phosphoric acid pretreatment of wheat bran for enzymatic hydrolysis and subsequent ethanol production by edible fungi *Neurospora intermedia*. *Ind. Crops Prod.*, 69, pp. 314-323. DOI: 10.1016/j.indcrop. 2015. 02.038.
65. Nascimento, R. P., Coelho, R. R. R., Marques, S., Alves, L., Gírio, F. M., Bon, E. P. S. & Amaral-Collaço, M. T. (2002). Production and partial characterisation of xylanase from *Streptomyces* sp. strain AMT3 isolated from Brazilian cerrado soil. *Enz Microb Technol*; 31: 549.
66. Nawel, B., Said, B., Estelle, C., Hakim, H. & Duchiron, F. (2011). Production and partial characterization of xylanase produced by *Jonesia denitrificans* isolated in Algerian soil. *Proc Biochem*; 46: 519.
67. Ninawe, S., Kapoor, M. & Kuhad, R. C. (2008). Purification and characterization of extracellular xylanase from *Streptomyces cyaneus* SN32. *Bioresour Technol*; 99: 1252.
68. Ninawe, S., Lal, R. & Kuhad, R. C. (2006). Isolation of three xylanase producing strains of actinomycetes and their identification using molecular methods. *Curr Microbiol*; 53: 178.
69. Oinonen, A. M., Londesborough, J., Joutsjoki, V., Lantto, R. & Vehmaanperä, J. (2004). Three cellulases from *Melanocarpus albomyces* for textile treatment at neutral pH. *Enzyme Microb Technol*; 34:332–41.
70. Olivo, U. M. A., Díaz, M. B. L., Haro, B. C., & Borrás, S. L. M. (2021). Optimización De La Hidrólisis Para El Tratamiento De Residuos Lignocelulósicos Con Enzimas De *Aspergillus Niger*. *Ciencia en Desarrollo*, 12(1), 99–111. <https://doi.org/10.19053/01217488.v12.n1.2021.12820>
71. Orencio-Trejo, M., Torres-Granados, J., Rangel-Lara, A., Beltrán-Guerrero, E., García-Aguilar, S., Moss-Acosta, C., ... Lozoya-Gloria, E. (2016). Cellulase and Xylanase Production by the Mexican Strain *Talaromyces stollii* LV186 and Its

- Application in the Saccharification of Pretreated Corn and Sorghum Stover. *Bio Energy Research*, 9(4), 1034–1045. <https://doi.org/10.1007/S12155-016-9791-6>
72. Paredes, M. D. A., Alvarez, N. M. F., & Silva, O. M. (2010). Obtención de Enzimas Celulasas por Fermentación Sólida de Hongos para ser Utilizadas en el Proceso de Obtención de Bioalcohol de Residuos del Cultivo de Banano. *Revista Tecnológica*, 81-88.
73. Peciulyte, A., Pisano, M., de Vries, R. P., & Olsson, L. (2017). Hydrolytic potential of five fungal supernatants to enhance a commercial enzyme cocktail. *Biotechnology letters*, 39(9), 1403–1411. <https://doi.org/10.1007/s10529-017-2371-9>
74. Pereira, L. T., Pereira, L. T., Teixeira, R. S., Bon, E. P., & Freitas, S. P. (2011). Sugarcane bagasse enzymatic hydrolysis: rheological data as criteria for impeller selection. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 38(8), 901–907. <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0857-8>
75. Polysaccharides from bagasse: applications in cellulase and xylanase production. *Carbohydr Polym*; 57:67–72.
76. Reczey, K., Szengyel, Z. S., Eklund, R. & Zacchi, G. (1996). Cellulase production by *T. reesei*. *Bioresour Technol*; 57:25–30.
77. Romdhane, I. B. B., Achouri, I. M. & Belghith, H (2010). Improvement of highly thermostable xylanases production by *Talaromyces thermophilus* for the agro-industrials residue hydrolysis. *Appl Biochem Biotechnol*; 162: 1635.
78. Romero, B. H., Tinoco, G. O. & Dávila, D. K. (2015). Hidrólisis enzimática de residuos agroindustriales del banano para la obtención de jarabe glucosado aplicando tres pretratamientos. *Datos Industriales*, 18 (1),101-107. ISSN: 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81642256012>
79. Romero, M. D., Aguado, J., Gonzalez, L. & Ladero, M. (1999). Cellulase production by *Neurospora crassa* on wheat straw. *Enzyme Microb Technol*; 25:244–50
80. Ruiz, P.R. (2001). Hidrólisis enzimática de desechos del umarí (poraqueiba sericea tulasne) y de la yuca (manihot esculenta crantz). *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, Vol.1, Nº 1, p. 22 – 29.
81. Saha, B. C. (2004). Production, purification and properties of endoglucanase from a newly isolated strain of *Mucor circinelloides*. *Process Biochem*; 39:1871–6.

82. Salcedo, M. J. G., Florez, P. L. M., & López, G. J. E. (2019). Significant enzymatic activities in the residues hydrolysis of the sugar cane harvest. *DYNA*, 86(210), 35–41. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.75286>
83. Salcedo, M., Jairo, G., Galán, L., Jorge, E, & Pardo, F. L. M. (2012). Hidrólisis enzimática de residuos de la cosecha de caña de azúcar. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14 (1), 171-181. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752012000100015&lng=en&tlng=es.
84. Salvi, D., Aita, G., Robert, D. & Bazan, V. (2009). Ethanol production from sorghum by a dilute ammonia pretreatment. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 37. 27-34. 10.1007/s10295-009-0645-5.
85. Samina, N., Sohail, M. Ahmad, A., Shakeel, K. & Shakeel. (2015). Production of xylanases and cellulases by *Aspergillus fumigatus* MS16 using crude lignocellulosic substrates. *Pakistan Journal of Botany*; 47. 779-784.
86. Saratale, G. D., Saratale, R. G. & Oh, S. E. (2012). Production and characterization of multiple cellulolytic enzymes by isolated *Streptomyces* sp. MDS. *Biomass and Bioenergy*; 47: 302.
87. Schafner, D. W. & Toledo, R. T. (1992). Cellulase production in continuous culture by *Trichoderma reesei* on xylose-based media. *Biotechnol Bioeng*;39: 865–9.
88. Schell, D. J., Farmer, J., Newman, M., & McMillan, J. D. (2003). Dilute-sulfuric acid pretreatment of corn stover in pilot-scale reactor: investigation of yields, kinetics, and enzymatic digestibilities of solids. *Applied biochemistry and biotechnology*, 105 - 108, 69–85. <https://doi.org/10.1385/abab:105:1-3:69>
89. Sharma, P. & Bajaj, B. K. (2005). Production and partial characterization of alkali tolerant xylanase from an alkalophilic *Streptomyces* sp. CD3. *J Sci Ind Res*; 64: 688.
90. Shen, X. & Xia, L. (2004). Production and immobilization of cellobiase from *Aspergillus niger* ZU-07. *Process Biochem*; 39:1363–7.
91. Shraddha R. S., Sehgal S., Kamthania M. & Kumar, A. (2011). Laccase: Microbial, sources, production, purification, and potential biotechnological applications. *Enzyme Res*. Article in press.

92. Simas-Dias, D., Acevedo-Jaramillo, L., Vasconcelos, U., & Pereira, N. (2018). Caracterización de b-glucosidasas producidas por *Aspergillus niger* atcc 1004 en fermentación sumergida a partir de bagazo de caña de azúcar. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 17 (1), 365-377. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n1/Simas>
93. Singhanian, R. R., Sukumaran, R. K. & Pandey, A. (2007). Improved cellulase production by *Trichoderma reesei* RUT C30 under SSF through process optimization. *Appl Biochem Biotechnol*; 142:60–70.
94. Song, H. T., Gao, Y., Yang, Y. M., Xiao, W. J., Liu, S. H., Xia, W. C., Liu, Z. L., Yi, L., & Jiang, Z. B. (2016). Synergistic effect of cellulase and xylanase during hydrolysis of natural lignocellulosic substrates. *Bioresource technology*, 219, 710–715.
95. Szijarto, N., Faigl, Z., Réczey, K., Mézesc, M. & Bersényi, A. (2004). Cellulase fermentation on a novel substrate (waste cardboard) and subsequent utilization of homeproduced cellulase and commercial amylase in a rabbit feeding trial. *Ind Crops Prod*; 20:49–57.
96. Tovar C. D., 2016. Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales. Edit. Bonaventuriana. 180 p. ISBN: 978-958-8785-81-3
97. Tsao, G. T., Xia, L., Cao, N. & Gong, C. S. (2000). Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* for cellobiase production. *Appl Biochem Biotechnol*; 84–86:743–9.
98. Tyagi, S., Javeria, S., Baliyan, N., & Vadde, V.T. (2014). Enzymatic Saccharification of Bagasse Pith for Bioethanol Production by using Strain of *Saccharomyces Cerevisiae*. http://www.irphouse.com/ijgeb-spl/ijgebv5n1_10.pdf
99. van den Brink, J., Maitan-Alfenas, G. P., Zou, G., Wang, C., Zhou, Z., Guimarães, V. M., & de Vries, R. P. (2014). Synergistic effect of *Aspergillus niger* and *Trichoderma reesei* enzyme sets on the saccharification of wheat straw and sugarcane bagasse. *Biotechnology journal*, 9(10), 1329–1338.
100. Vázquez, M. E. L. (2019). Producción de celulasas en fermentación sumergida utilizando microorganismos aislados de *Moringa oleífera* con potencial aplicación en procesos biotecnológicos. IPN. Tesis doctoral. <http://rdbc.cbg.ipn.mx/handle/20.500.12273/743>

101. Vega, M. (2010). Uso de residuos celulósicos de la agroindustria para la producción de bioetanol. Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
102. Vidal, R. C. (2010). Evaluación de la producción de jarabes glucosados por medio de la aplicación de enzimas amilasas sobre el almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*). *Revista De Investigaciones UNAD*, 9(2), 189–201. <https://doi.org/10.22490/25391887.681>
103. Wateewuthajarn, K. & Pinphanichakarn, P. (2000). Purification and characterization of xylanases from *Streptomyces* sp. PC22. *J Sci Res*; 25: 245.
104. Weber, J. & Agblevor, F. A. (2005). Microbubble fermentation of *Trichoderma reesei* for cellulase production. *Process Biochem*; 40:669–76.
105. Xia, L Cen P. (1999). Cellulase production by solid state fermentation on lignocellulosic waste from the xylose industry. *Process Biochem*; 34:909–12.
106. Xu, F., Yano, S., Inoue, H. & Sawayama, S. (2009). Strain improvement of *Acremonium cellulolyticus* for cellulase production by mutation. *J Biosci Bioeng*;107(3):256–61.
107. Xu, Q., Yang, W., Liu, G., Liang, C., Lu, S., Qi, Z., Hu, J., Wang, Q., & Qi, W. (2019). Enhanced Enzymatic Hydrolysis of Corncob by Synthesized Enzyme-Mimetic Magnetic Solid Acid Pretreatment in an Aqueous Phase. *ACS omega*, 4(18), 17864–17873. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02699>
108. Yang, J., Gao, C., Yang, X., Su, Y., Shi, S., & Han, L. (2022). Effect of combined wet alkaline mechanical pretreatment on enzymatic hydrolysis of corn stover and its mechanism. *Biotechnology for biofuels and bioproducts*, 15(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s13068-022-02130-0>
109. Yang, J., Xu, X., Ng, T. B., Lin, J., & Ye, X. (2016). Laccase gene family in *Cerrena* sp. HYB07: Sequences, heterologous expression and transcriptional analysis. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 21(8), 1017. <https://doi.org/10.3390/molecules21081017>
110. Yang, Y. H., Wang, B. C., Wang, Q. H., Xiang, L. J. & Duan, C. R. (2004). Research on solid-state fermentation on rice chaff with a microbial consortium. *Colloids Surf B: Biointerf*; 34:1–6.

111. Zehra, M., Syed, M. N., & Sohail, M. (2020). Banana Peels: A Promising Substrate for the Coproduction of Pectinase and Xylanase from *Aspergillus fumigatus* MS16. *Polish journal of microbiology*, 69(1), 19–26. <https://doi.org/10.33073/pjm-2020-002>
112. Zhu, Y., Li, X., Sun, B., Song, H., E, Li. & Song, H. (2012). Properties of an alkaline-tolerant, thermostable xylanase from *Streptomyces chartreusis* L1105, suitable for xylooligosaccharide production. *J Food Sci*, 77.